



HAL
open science

**Approche didactique d'une question socialement vive
agronomique, la réduction de l'usage des pesticides,
modélisation du raisonnement agro-écologique et
socioéconomique d'élèves et d'étudiants : appuis et
obstacles à l'enseigner à produire autrement**

Nadia Malek Cancian

► **To cite this version:**

Nadia Malek Cancian. Approche didactique d'une question socialement vive agronomique, la réduction de l'usage des pesticides, modélisation du raisonnement agro-écologique et socioéconomique d'élèves et d'étudiants : appuis et obstacles à l'enseigner à produire autrement. Education. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2015. Français. NNT : 2015TOU20111 . tel-01355817

HAL Id: tel-01355817

<https://theses.hal.science/tel-01355817>

Submitted on 31 Aug 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par :

Nadia CANCIAN

le lundi 30 novembre 2015

Titre :

Approche didactique d'une Question Socialement Vive Agronomique la
réduction de
l'usage des pesticides - modélisation du raisonnement agro-écologique et
socioéconomique d'élèves et d'étudiants :
appuis et obstacles à l'enseigner à produire autrement

École doctorale et discipline ou spécialité :

ED CLESCO : Sciences de l'éducation

Unité de recherche :

UMR Éducation Formation Travail Savoirs (EFTS)

Directeur/trice(s) de Thèse :

Madame Laurence Simonneaux, Professeur des Universités ENFA

Jury :

Monsieur OLRY Paul, Professeur des Universités, AgroSup Dijon (Rapporteur)
Madame COQUIDE Maryline, Professeure des Universités, STEF IFE ENS LYON /ENS de
Cachan (Rapporteur)
Monsieur DORE Thierry, Professeur des Universités, AgroParisTech
Madame PANISSAL Nathalie, Maître de Conférences, Université Toulouse - Jean Jaurès
Monsieur PREVOST Philippe, Institut Agronomique, Vétérinaire et Forestier de France
Madame Laurence Simonneaux, Professeur des Universités ENFA

Cette thèse a contribué au projet Didacphyto et a bénéficié de financements dans ce cadre.

« Le projet Didacphyto entre dans le cadre de l'Appel à projet de recherches "Pesticides", action pilotée par les ministères chargés de l'agriculture et du développement durable, avec l'appui financier de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto 2018 »



La rédaction de la thèse, un long fleuve assez tonique pour les méninges. Souvent au détour d'un texte, je me suis laissée surprendre : « *Comme lorsque l'oeil découvre dans un livre la phrase que l'esprit attendait depuis longtemps sans réussir à la formuler* »

Pour la thèse, ... je dirai savourer les choses autrement...

« *Le luxe n'est pas un état mais le passage d'une ligne, le seuil où, soudain, disparaît toute souffrance* ». de Sylvain Tesson, *Dans les forêts de Sibérie*, 2011, (p. 82).

Un grand merci à mon équipe à la maison qui a supporté et encouragé (Michel, mes enfants, mes parents)

Un grand merci à L. comme je l'appelle, qui contre vents et marées a tenu le choc et la direction

Une pensée particulière pour Blanche et Marie-Angéline qui ont su écouter et partager de sacrés fous rires

Un merci à cette équipe de choc Didacphyto pour l'émulation scientifique et la chaleur humaine

Un grand merci à Marie P. qui a excellé dans les traductions

Un grand merci aux deux collègues Nathalie et Florian

Table des matières

Table des matières	7
Liste de annexes Tome II (CD)	23
Liste des tableaux	24
Liste des figures	26
Introduction	31
Problématique :	33
La question de la réduction de l'usage des pesticides de synthèse dans l'agriculture et les paris en termes de formation	33
1.1. Le changement est difficile : la dépendance au chemin est tellement forte.....	34
1.2. Pesticides et enjeux en termes de qualité des environnements et en termes de santé humaine	36
Les pesticides sont l'objet d'une réglementation qui encadre les usages	36
Des raisons aux inquiétudes	37
• La contamination des milieux	37
• La santé des populations : « sous-évaluation des dangers et des risques présentés par les pesticides » et première hypothèse de recherche	37
L'agriculture est donc perçue à l'aube d'une transition.....	40
1.3. Pesticides et enjeux agronomiques : produire suffisamment et mieux avec moins de pesticides	42
1.4. Pesticides et enjeux socioprofessionnels en termes de formation : des questions et des hypothèses de recherche.....	44
L'enseignement agricole technique et la discipline d'enseignement agronomie ont un rôle à jouer pour contribuer au changement.....	44
Nous retenons un ancrage théorique dans le champ de la didactique des questions socialement vives.	47
Chapitre 1	55
Approche socio historique de l'usage des pesticides et émergence du plan Ecophyto	55
1. Une mise en contexte de la question de la réduction de l'usage des pesticides de synthèse dans l'agriculture	55
1.1. Pesticides et enjeux environnementaux.....	55
1.2. Pesticides et enjeux sociopolitiques : favoriser des systèmes de production plus soutenables et sécuriser les usages	57
1.3. Pesticides et enjeux agronomiques : produire assez et mieux avec moins de pesticides	58
1.4. Pesticides et enjeux socio-professionnels	59
2. L'approche socio-historique de la question de l'usage des pesticides dans l'agriculture	60
2.1. Pour une entrée en matière	60
Notion de protection des cultures, d'ennemi des cultures, d'organismes nuisibles, de bioagresseur, de ravageur, de parasite, d'adventice et de mauvaise herbe, de cible	61
Pesticide, produit phytopharmaceutique, biocide, résidu, produit phytosanitaire, insecticide, fongicide, herbicide.....	62

Un ensemble de termes pour évoquer la notion de « pesticide» pour protéger les cultures des bioagresseurs	63
2.2. De la naissance de l'agriculture à 1945.....	66
2.2.1. De la naissance de l'agriculture au XVIIIème siècle	66
La pratique de l'agriculture favorise des cortèges de bioagresseurs.....	66
La protection des cultures repose sur l'empirisme.....	67
Quelques signes d'avancées pour protéger les cultures	69
Les prémisses d'une évolution dans la conception de la protection des cultures	70
2.2.2. Du XVIIIème siècle à 1945.....	71
Un contexte socio-économique particulier.....	71
Les sciences et les techniques pour améliorer la pratique agricole ordinaire	72
La contribution de la chimie à l'agriculture avant 1945	74
Le laboratoire, les stations d'expérimentation et la chimie agricole.....	74
Une forme de modernisation de l'agriculture prônée par des agronomes.....	76
La nécessité d'un cadrage réglementaire	77
La naissance d'une forme diversifiée d'encadrement	80
L'instruction et les enseignements	80
Les associations.....	80
Le cas de la gestion des adventices de la naissance de l'agriculture à 1945.....	81
Conclusion.....	82
2.3. De 1945 à nos jours : de l'avènement de l'agriculture industrielle à la question de la transition agroécologique	84
2.3.1. L'après-guerre et le modèle retenu pour moderniser l'agriculture française	84
Des fondements de l'agriculture américaine comme source d'inspiration pour l'agriculture française.....	84
Le modèle des agricultures américaines.....	85
2.3.2. De la fin de la guerre à la fin des années 1970.....	95
Le conseil est orienté.....	96
2.3.3. Des années 80 aux années 2000 : le processus d'intensification et la montée des contestations	99
Le paradigme de la modernisation agricole et le paradigme du productivisme.....	99
La logique agronomique des systèmes intensifs agricoles.....	100
Ajustements stratégiques des firmes phytosanitaires	104
L'intensification et externalités négatives.....	104
2.3.4. Synthèse : un effet de verrouillage en cinq points	105
2.3.5. Les années 90 et 2000, les logiques de production ne sont pas ébranlées malgré les critiques	106
Des effet du sommet de Rio et de la Pac 1992.....	106
A partir de la loi d'orientation agricole de 1999, un nouveau contrat social ?	108
Des effets d'une remise en cause de la procédure d'autorisation des produits phytosanitaires.....	109
En guise de synthèse pour cette partie	110
2.3.6. Pesticides et aspects réglementaires aujourd'hui.....	111
2.3.6.1. La réglementation des pesticides : une multitude de cadres	111
2.3.6.2. Les évolutions du cadrage réglementaire pour les produits phytopharmaceutiques.....	112
Evolution de la procédure d'autorisation de mise sur le marché (A.M.M.).....	112
• Evolution de la forme de la prescription : un règlement remplace la directive	112
• Deux zones géographiques pour affiner l'évaluation.....	114

• Renforcement des procédures d'évaluation des substances actives et des spécialités commerciales pour tenir compte des risques de toxicités.....	114
Principe de substitution pour les substances présentant un « risque »	116
Des incertitudes difficilement réductibles pour la mesure des résidus	116
Harmonisation des Limites Maximales de Résidus (LMR) au niveau européen... ..	117
Les préparations naturelles peu préoccupantes à usage phytopharmaceutique : PNPP	117
Pour conclure.....	118
3. Le plan Ecophyto 2018.....	118
3.1. Quelques éclairages sur le contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018.....	118
3.2. Panorama non exhaustif du contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018.....	119
- Le rapport du Comité de la prévention et de la précaution (CPP) « Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires » (2002)	121
• Comment analysons-nous la contribution de ce rapport avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	122
- La communication « Vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides » du 1er juillet 2002 [COM(2002) 349 final].....	122
• Comment analysons-nous la contribution de ce rapport avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	123
- Le plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides PIRRP (2006-2009).....	123
• Comment analysons-nous la contribution de ce plan avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	124
- L'expertise collective scientifique de l'Inra « pesticides agriculture et environnement » (Inra & Cemagref, 2005).....	125
• Comment analysons-nous la contribution de cette expertise avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	127
- L'évènement Grenelle Environnement	128
Objectifs :	129
• Comment analysons-nous la contribution de cet événement-processus avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	131
- Le rapport « Belpomme » sur le chlordécone : nouvelle configuration de la controverse	132
• Comment analysons-nous la contribution de ce rapport avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	133
- « Pesticides : Révélation sur un scandale français » (Nicolino et Veillerette, 2007)	133
• Comment analysons-nous la contribution de cet ouvrage grand public avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	134
L'étude scientifique Ecophyto R& D (INRA & Cemagref, 2009)	134
• Comment analysons-nous la contribution de cette étude avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	135
- Le projet de directive cadre européenne pour une utilisation durable des pesticides	139
• Comment analysons-nous la contribution de cette future directive avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?	139
3.3. Les traits saillants du plan Ecophyto 2018.....	140
Les travaux structurants du comité opérationnel (comop) d'experts « Ecophyto 2018 »	141

Le plan Ecophyto intégré dans un projet stratégique de développement de l'agriculture	142
Le plan Ecophyto 2018 décrypté.....	142
• La déclinaison opérationnelle du pilotage du plan.....	143
• L'ambition de généraliser des systèmes économes en pesticides	144
• Des indicateurs pour suivre les progrès.....	148
Evaluation de la mise en œuvre du plan.....	151
Synthèse et mise en perspective	151
3.4. Les premiers bilans.....	152
Les débats soulevés par le « si possible »	153
Quelques éléments de bilan pour la période 2008-2012 et des résultats encourageants pour 2013.....	153
Quelques éléments sur les résultats de l'évaluation in itinere de l'axe 5 « épidémiosurveillance » et axe 2 « réseau de fermes DEPHY »	156
• Un premier bilan mitigé pour le nouveau réseau d'épidémiosurveillance (axe 5 du plan).....	156
• Un premier bilan réalisé en 2013 pour l'axe 2 « réseau de ferme DEPHY »	157
(i)L'action 14 est une action emblématique du plan Ecophyto.....	157
(ii)Mais la dynamique enclenchée émaillée de résultats encourageants reste fragile	158
(iii)Le pilotage du déploiement global de l'action 14 doit être revu.....	160
3.5. Une nouvelle mise en perspective du plan Ecophyto dans le projet agroécologique (2014).....	161
Chapitre 2.....	165
La problématique agronomique de la réduction de l'usage des pesticides dans les systèmes de production grandes cultures».....	165
1. Concilier la réduction de 50% des usages des pesticides imposée par le plan Ecophyto et la protection des cultures : changement de paradigme ?	169
1.1. Les niveaux de rupture proposés par l'étude Ecophyto R&D (2009) pour le plan Ecophyto.....	170
1.1.1. Le cadre E.S.R. : un outil conceptuel d'analyse de la dépendance aux pesticides	170
Le niveau E « Efficience » : améliorer la mise en œuvre d'une technique.....	171
Le niveau S « Substitution » : améliorer en remplaçant une technique par une alternative	172
Le niveau R « Reconception » : biodiversité fonctionnelle et résilience pour remettre en cause la dépendance aux pesticides.....	172
En synthèse.....	175
1.1.2. La définition concrète des niveaux de rupture proposés par l'étude Ecophyto R&D (2009)	176
1.2. La traduction des niveaux de rupture en termes de pratiques pour protéger les cultures	178
1.2.1. Le niveau d'utilisation intensive des pesticides N0	178
Contours	178
Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures	178
1.2.2. Le niveau d'utilisation des pesticides N1	179
Contours	179
Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures	179
Résultats attendus pour les grandes cultures	180

1.2.3. Le niveau d'utilisation des pesticides N2a.....	180
Contours	180
Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures	180
Résultats attendus pour les grandes cultures	180
Les concepts de lutte intégrée et de protection intégrée.....	181
• La lutte intégrée et variations définitives.....	181
• La protection intégrée.....	181
• Lutte versus gestion.....	182
1.2.4. Le niveau d'utilisation des pesticides N2c.....	183
Contours	183
Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures	183
Résultats attendus pour les grandes cultures	183
Echo particulier pour notre recherche	184
1.2.5. Le niveau d'utilisation des pesticides N3.....	185
Contours	185
Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures	185
Résultats attendus pour les grandes cultures	185
1.3. Des objectifs de niveaux à atteindre sur le plan national : Conséquences	186
2. Le concept d'agro-écologie et notion de transition	187
2.1. Agro-écologie, une forme de déclinaison du développement durable	188
2.1.1. Un concept polysémique	188
2.1.2. Agro-écologie et développement durable	190
2.2. Le concept d'agro-écosystème et la question des ressources	191
2.3. Des principes fondateurs pour l'agro-écologie « pratique ».	193
Alors l'agro-écologie pour la pratique des agricultures, c'est ou ce n'est pas.....	193
Des principes auxquels s'adosse une grande variété de pratiques	193
2.4. Quelques éléments sur l'agro-écologie scientifique.....	194
Des échelles d'étude de plus en plus englobantes.....	194
Des courants scientifiques en agro-écologie et controverses	195
2.5. L'agro-écologie en France	196
Que sous tend la notion de transition dans cette perspective de changement ?	197
Le concept de transition	197
Théorie des transitions sociotechniques pour penser la perspective de la transition agro-écologique	198
Pertinence de la grille d'analyse pour le cas de la réduction des pesticides	201
En conclusion en France	202
3. Des notions pour raisonner la protection des cultures.....	202
3.1. Les éléments à considérer pour aborder la protection des cultures dans un contexte de limitation des usages des produits phytosanitaires.....	203
3.1.1. La connaissance des cycles	203
3.1.2. Des concepts liés à la quantification de la nuisibilité des bioagresseurs : dégâts, dommages, pertes et notion de seuils	204
La notion de nuisibilité et pertes	204
Une forme de quantification de la nuisibilité à partir des concepts dégâts, dommages et pertes économiques	205
• Limite de la notion de dégâts chez les adventices et de la notion de pertes économiques.....	207
• Polysémie de la notion de seuil	207
• Seuils et risques	210
3.2. Le cas spécifique de la déclinaison de la notion de nuisibilité chez les adventices....	212

Comment s'exprime la nuisibilité chez les adventices ?.....	213
Evaluation de la nuisibilité.....	214
La notion de traits.....	216
4. Des moyens de protection des cultures.....	219
4.1. Notions de niveaux de production et de facteurs de production.....	219
4.2. Rappels de points saillants d'appui.....	221
4.3. Des moyens pour gérer la protection des cultures.....	221
4.3.1. Des principes de gestion reposant sur des connaissances des cycles de bioagresseurs.....	222
4.3.2. La notion de levier et hiérarchie des leviers.....	223
4.3.3. Différentes mesures et panorama des leviers pour protéger les cultures visant la réduction de l'emploi des pesticides.....	225
Les mesures préventives.....	225
• Le contrôle génétique.....	225
• Le contrôle culturel.....	227
• La lutte biologique.....	228
• Lutte physique.....	230
• Lutte phytosanitaire ou lutte chimique.....	231
4.4. Synthèse.....	232
Chapitre 3.....	237
Enseigner-apprendre des controverses.....	237
Etat et contribution des recherches sur les questions socialement vives ...	237
1. Les différents courants d'apprentissage.....	239
1.1. Le béhaviorisme ou encore le comportementalisme.....	239
Principes et concepts.....	239
Conséquences en termes d'enseignements-apprentissages.....	240
Le statut de l'erreur.....	240
1.2. Le cognitivisme ou rationalisme.....	240
Principes et concepts.....	240
Conséquences en termes d'enseignements-apprentissages.....	241
Le statut de l'erreur.....	241
1.3. Le constructivisme piagétien.....	241
Principes et concepts.....	241
Conséquences en termes d'enseignements-apprentissages.....	242
Le statut de l'erreur.....	243
1.4. Le socioconstructivisme.....	243
Les grands principes.....	243
Trois concepts-clés.....	245
• la zone de développement proche.....	245
• Le conflit sociocognitif.....	245
• La médiation sémiotique.....	245
Conséquences en termes d'enseignement-apprentissage.....	246
• La place de l'erreur.....	247
Synthèse.....	247
1.5. Mise en perspective pour notre recherche.....	247
Ce que nous retenons pour notre recherche.....	247
2. « Qu'est-ce qu'apprendre ? » Des éléments pour des enseignements-apprentissages efficaces issus des sciences cognitives.....	250

Des orientations pour renouveler les formes d'enseignements-apprentissages : vers de nouvelles théories éducatives ?	250
• Un ancrage éducatif socioconstructiviste	252
• Favoriser l'intégration des connaissances	252
• Des concepts, des habiletés et la métacognition pour des apprentissages efficaces.....	252
• Tenir compte du fonctionnement du cerveau pour le stockage de l'information dans les enseignements-apprentissages.....	253
• Chunks et mémoires à court terme.....	255
• Le double codage de l'information dans la mémoire de travail.....	255
• Le rôle de la mémoire sémantique pour améliorer l'efficacité du traitement des nouvelles informations	255
• Considérer l'imbrication de la cognition, de la motivation et des émotions dans le processus d'apprentissage	256
Apprendre à construire des structures de connaissances transférables	257
• Favoriser des configurations d'apprentissage collaboratif.....	258
• Développer une « expertise d'adaptation » : un enjeu éducatif	258
Des perspectives pour inverser la tendance ?.....	260
Mise en perspective pour notre recherche.....	260
3. Didactique des QSV : faire exister la tension entre raisonnements informels et des éducations citoyennes et politiques	262
3.1. Définition des questions socialement vives et Socioscientific Issues	262
3.1.1. Les Questions Socialement Vives 'QSV', trois niveaux de vivacité dans les savoirs	262
3.1.2. Le processus de transposition et le concept de savoirs de référence.....	266
3.2. Socioscientific Issues 'SSI' versus 'QSV' : contributions communes et nuances.....	268
Des dilemmes socioscientifiques 'SSI'	268
Des problèmes multi scalaires ayant des implications dans plusieurs domaines... ..	268
Une alphabétisation scientifique nécessaire « scientific literacy » : des nuances avec les courants STS et STSE.....	269
Enseigner-apprendre des QSV/SSI pour se construire une expérience personnelle	271
3.3. Argumentation et raisonnements socioscientifiques : question d'évaluation	274
3.3.1. Argumentation et raisonnement informel	274
Argumentation et logique informelle	274
Du raisonnement formel au raisonnement socioscientifique	275
3.3.2. Evaluer la qualité des raisonnements RSS	276
Quatre exemples de grille d'analyse des raisonnements.....	278
3.4. Synthèse et reformulation de deux questions de recherche (QR6 et QR8).....	282
Chapitre 4.....	285
Présentation de la démarche multi-strate de la recherche : des méthodologies de recueil et d'analyse de données.....	285
Chapitre 4.....	289
Partie 4I- L'analyse curriculaire des référentiels Bac pro CGEA et BTS APV	289
1. Ecophyto et la transition agro-écologique : une invitation à une reconfiguration de l'agronomie et à la façon de l'enseigner-l'apprendre dans les lycées agricoles.....	290
1.1 Une construction diachronique du champ scientifique en tensions : entre théorie et pratiques, généricité et singularité.....	291

Un détour par l’histoire de l’agronomie	291
1.2. Quatre points-clés pour discuter les implications didactiques pour les sciences agronomiques enseignées-apprises dans les lycées agricoles	294
(i)Reconsidérer la complexité du vivant comme levier de gestion des systèmes économiques en pesticides	294
(ii)Considérer le milieu biophysique comme une entité agissante.....	296
(iii)Considérer les acteurs de terrain comme des producteurs de savoirs à part entière	297
(iv)Redonner une place centrale aux porteurs d’enjeux dans les solutions à découvrir ou à proposer.....	300
2. Un panorama général illustrant la contribution de l’enseignement agricole technique à la formation de futurs acteurs de l’agriculture	301
2.1. Présentation des missions de l’enseignement agricole « technique » et de quelques chiffres-clés	301
2.1.1. Les missions de l’enseignement agricole public	301
2.1.2. L’enseignement agricole en quelques chiffres	302
2.2. L’enseignement agricole : des forces et des faiblesses	304
2.2.1. Un rôle d’accompagnement des évolutions de l’agriculture	304
2.2.2. Des ruptures vécues par l’enseignement agricole technique, formes de faiblesses à dépasser	306
2.2.3. Une légitimité et des atouts pour aborder des questions agricoles et des questions de société qui dépassent le cadre agricole	308
Des actions éducatives qui confrontent les élèves/étudiants à la complexité du vivant et de l’action et à celle de maintenir un lien au vivant	309
La nécessité d’aider à construire une opinion éclairée sur différents sujets de société	309
Un ensemble de mesure pour aider les élèves/étudiants à prendre conscience des effets des pratiques sur les milieux et à évaluer la durabilité des systèmes de production.....	310
L’éducation au développement durable, des démarches pour alimenter la nécessité de discuter des choix	311
2.3. Conclusion.....	311
Des atouts indéniables, mais... ..	312
3. Comment l’enseignement agricole technique contribue t-il ou peut-il à alimenter la question de la réduction de la dépendance des systèmes de production aux pesticides et la sécurisation de leurs emplois ?	312
3.1. Définition d’une méthodologie pour conduire l’analyse curriculaire	313
• Le concept de curriculum : des visées définitoires différentes	313
• Un contexte daté pour les curricula.....	313
• Quatre déclinaisons du curriculum : le curriculum prescrit, le curriculum potentiel, le curriculum co produit, le curriculum réel.....	314
• Des appuis sur le référentiel de formation, les documents d’accompagnement des référentiels, le référentiel professionnel et le réseau national thématique d’appui 314	
Synthèse des éléments retenus pour produire la comparaison	316
3.2. Le contexte de la réforme de la voie professionnelle et conséquence sur l’écriture des référentiels de diplôme	318
3.2.1. Le contexte d’une nouvelle norme d’écriture et introduction de la notion de compétence.....	318
3.2.2. Une nouvelle forme d’écriture des référentiels de diplôme	319

Structure d'un référentiel de diplôme.....	319
• L'intérêt de cette nouvelle écriture.....	320
• (i)Le référentiel de diplôme est une annexe de l'arrêté.....	320
• (ii)Les différentes parties du référentiel de diplôme	320
Le référentiel professionnel.....	321
Le référentiel de certification	321
Le référentiel de formation.....	322
• (iii)Les documents d'accompagnement le référentiel de diplôme	322
Un accompagnement nécessaire par des sessions institutionnelles de lancement .	324
3.2.3. Un cursus de baccalauréat professionnel en 3 ans	324
3.3. La redéfinition du référentiel de diplôme Bac pro CGEA et du BTS APV	326
3.3.1. L'analyse du curriculum Bac pro CGEA et du BTS APV : le curriculum prescrit et un curriculum potentiel	327
(i)Le Bac pro CGEA système à dominante cultures et son architecture générale .	327
(ii) Définition des contours d'un curriculum potentiel à partir de l'architecture modulaire de la formation et curriculum prescrit.....	328
• Synthèse	334
3.3.2. L'analyse du curriculum BTS APV : le curriculum prescrit et un curriculum potentiel.....	335
(i)Le curriculum prescrit du BTS APV et son l'architecture générale.....	335
(ii)Définition des contours d'un curriculum potentiel à partir de l'architecture modulaire de la formation et curriculum prescrit.....	336
3.3.3. Des appuis dans le curriculum potentiel pour aborder la diversité des problématiques en lien avec les pesticides et des démarches qu'il faudrait favoriser ...	342
Ce que nous interprétons « en creux »	343
4. Les évolutions de la prescription <i>via</i> les notes de service et/ou circulaires et la contribution du système national d'appui.	344
4.1. Les évolutions de la prescription <i>via</i> les notes de service et/ou les circulaires de la DGER.....	345
Les pesticides : une problématique en arrière-plan dans l'enseignement	345
• L'agriculture biologique comme point d'ancrage pour discuter les usages des pesticides	345
• Le développement durable : une mise en perspective en termes d'éducation et de pratiques professionnelles	346
A partir de 2008, les questions de la sécurisation des usages et les emplois des pesticides enfin mis en lumière	346
Synthèse des points saillants et des singularités de prescriptions analysées.....	348
4.2. Le système national d'appui et l'action 16.....	350
L'affichage de la volonté de promouvoir des systèmes durables via l'implication des fermes des établissements agricoles.....	350
Le système national d'appui.....	350
L'action 16, son intérêt pour le système éducatif.....	352
Le réseau thématique « Agronomie-Ecophyto » et son intérêt pour notre recherche	353
4. Synthèse : des points d'appui pour conduire l'expérimentation de recherche	356
4.1. Des enjeux didactiques en lien avec des situations de classe reposant sur la conception de système innovant	356
4.2. De premiers jalons pour un dispositif de recherche en didactique des questions socialement vives.	358
La didactique des questions socialement comme cadre théorique d'ancrage	365

Chapitre 4.....	367
Partie 4II : Conduire l'analyse des états de la controverse.....	367
1. Ancrages théoriques pour produire les cartographies des controverses sur l'usage des pesticides en agriculture et les analyser	369
1.1. La théorie de l'acteur-réseau ou la sociologie de la traduction.....	370
1.1.1. Approche conceptuelle et méthodologique fondant la théorie de l'acteur-réseau	371
L'approche conceptuelle	371
L'approche méthodologique de l'ANT	373
• Trois principes méthodologiques	374
Agnosticisme méthodologique et pragmatisme	374
Le principe de symétrie généralisée	374
Les principes d'association et d'irréduction.....	375
1.1.2. Les critiques/controverse et des réponses.....	376
1.1.3. Des intérêts pour notre recherche, l'ANT comme base conceptuelle et méthodologie pour une approche singulière des controverses autour de l'usage des pesticides	377
La place des controverses dans l'ANT.....	377
Des principes à respecter dans la perspective de la construction d'une démarche originale de cartographie.....	378
Rendre compte du « monde » plat.....	379
1.1.4. De l'exercice de cartographies des controverses initié par Bruno Latour aux projets de recherche cartographiques	379
L'exercice pédagogique de cartographie des controverses selon Latour.....	379
• Les objectifs de l'exercice pédagogique	380
• Un groupe d'étudiant organisé pour explorer la controverse.....	381
• Les méthodologies mobilisées	383
Cartographier des controverses au cœur de deux projets de recherche, MACOSPOL et EMAPS.....	383
• Brève présentation du projet MACOSPOL (2007-2009).....	384
Le projet MACOSPOL.....	384
Le projet EMAPS (Electronic Maps to Assist Public Science) (2011-2014)	384
• Ce que nous retenons :	385
1.1.5. Synthèse	386
Ce que nous retenons.....	386
1.2. Ancrages théoriques pour aborder les notions de risques et d'incertitudes dans les argumentations des actants dans les cartographies des controverses.....	386
1.2.1. Les contours de la notion de risques, une forme de questionnement de la rationalité	388
Le concept de rationalité	389
Risques, incertitudes et corrélats.....	390
• Le sens commun du risque et des termes associés	390
1.2.2. La littérature scientifique et la notion de risque et d'incertitude.....	391
Le risque comme réalité tangible qui existe en soi : la conception quantitative du risque par les sciences « dures » et l'émergence de la notion d'incertitude.....	393
• Critique.....	394
Le risque comme une création individuelle ou collective : des contributions des sciences sociales	395
• Le risque n'est pas extérieur aux individus : les perceptions des risques et le paradigme psychométrique	395

Critiques	398
• Des apports indéniables.....	398
• Mais des points discutés.....	399
De la théorie des biais culturels à la Théorie Culturelle des risques.....	399
Les principes structurants « premiers » : les formes sociales définies par une matrice « grid- group ».....	401
Critique de la théorie culturelle : intérêts et limites dans le cadre de notre recherche	407
• La Théorie culturelle des risques présentent des intérêts.....	408
• Les limites et les choix méthodologiques	409
Des concepts/notions qui évoluent au cours des théorisations successives	409
Quatre types de biais, est-ce suffisant ?	409
Des mises à l'épreuve empirique qui ne valident pas de manière uniformes les grands principes.....	409
1.2.3. Que retenons-nous ?	410
2. Présentation de la démarche retenue pour cartographier les controverses sur l'usage des pesticides.....	410
2.1. La méthodologie pour construire le corpus de référence.	411
2.2. Méthodologie pour analyser les controverses	414
La mise en évidence des arguments, des interrelations pour construire un réseau et des formes de rationalité	414
La mise en évidence d'une forme de rationalité en lien avec la perception des risques (Théorie Culturelle des risques de Douglas).....	414
Comparaison des deux cartographies	414
2.3. Méthodologie pour construire la représentation de la controverse	414
La représentation graphique	414
Une autre forme de représentation de la controverse.....	415
3. Résultats	416
3.1. Description des « cartographies » des controverses pour 1983 et pour 2007	416
Des controverses dans un « contexte » daté.....	416
3.2. Risques et rationalités.....	422
3.3. Conclusion : l'exercice latourien et notre démarche d'étude socio-épistémologique	424
Ce qui nous rapproche de la cartographie latourienne	424
Ce qui nous en distingue	425
Chapitre 4.....	427
Partie 4III - La construction d'une situation éducative	427
La démarche de recueil des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques à partir d'une situation-problème.....	427
Rappel de la question de recherche QR4	427
Orientation de notre recherche : modéliser un outil didactique pour enseigner-apprendre à construire des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques dans une perspective de durabilité.	428
1. Le choix de la forme de la situation éducative : une situation-problème.....	429
1.1. La pertinence d'une entrée par un problème en agronomie	429
1.2. Une configuration de travail reposant sur une situation-problème à résoudre.....	430
1.2.1. L'obstacle	430
1.2.2. L'initiative et le sens	431
1.3. Mise en perspective pour la construction de la situation-problème	432
2. Présentation des blocs d'informations et de leur justification	433

2.1. Présentation synthétique des blocs d'informations	433
2.2. Présentation détaillée des blocs d'informations	435
2.2.1 Le bloc d'informations n°1, bloc « contextes »	435
Les grandes lignes du contenu	435
Justifications des intérêts des contenus et du bloc	435
2.2.2. Le bloc d'informations n°2, bloc « caractérisation du système de culture pratiqué »	437
Les grandes lignes du contenu	437
Justifications des intérêts des contenus et du bloc	438
Intérêts	443
2.2.3. Le bloc d'informations n°3, bloc « bibliothèque de références»	444
Les grandes lignes du contenu	444
Justifications des intérêts des contenus et du bloc	444
Intérêts sur le plan didactique et pour la discipline agronomie.....	445
2.2.4. Le bloc d'informations n°4, bloc « problématisation de la situation »	450
Les grandes lignes du contenu	450
Justifications des intérêts des contenus et du bloc	450
2.2.5. Le bloc d'informations n°5, bloc « Les questions données aux élèves pour traiter le problème rencontré et argumenter les prises de décision consignes de travail »	451
Les grandes lignes du contenu	451
Justifications des intérêts des contenus et du bloc	451
• Les consignes pour étudier la bibliothèque	452
• Les consignes pour résoudre le problème agronomique	453
2.2.6. Synthèse et rappels des choix méthodologiques à expliciter	454
3. Des choix méthodologiques pour notre expérimentation de recherche	457
3.1. Le scénario de l'expérimentation	457
Choix des terrains de l'expérimentation.....	457
Deux phases de travail distinctes dans le temps.....	458
• Le travail sur la bibliothèque de ressources (phase 2)	458
• La résolution de la QSV du cas d'étude (phase 3)	458
Un environnement de travail marqué par la discipline agronomie pour la résolution du problème visant l'élargissement du cadre des références pour prendre des décisions	459
• La notion de savoirs robustes	461
Une résolution du problème à l'oral et en collaboration	461
3.2. Construction de blocs de sens	462
Trois trames écrites structurées sous la forme de blocs de sens, prenant appui sur les 5 blocs d'informations.....	462
• La mise en activités sur la bibliothèque	462
• Le choix d'un ordre de présentation des sources dans le bloc « bibliothèque »	463
• La mise en activité à partir du cas d'étude « corps de la situation-problème »	464
• La proximité du bloc problématisation avec une partie du bloc consignes ...	464
Des sources d'informations brutes retravaillées dans la bibliothèque et dans le corps de la situation-problème	464
• Prévenir la saturation cognitive.....	464
• Prise en compte du principe du double codage de l'information et présentation des informations	465
4. La validité interne et externe de notre démarche de recueil de données	467

La validité interne de notre démarche de recueil de données à partir de la situation- problème.....	467
Assurer la validité externe.....	469
Chapitre 4.....	471
Partie 4IV La définition des niveaux de complexité des raisonnements....	471
Rappel de la question de recherche QR6 reformulée.....	471
1. Critères et indicateurs pour évaluer <i>a priori</i> la qualité du raisonnement agro- écologique et socioéconomique (SAR) des élèves/étudiants.....	472
1.1. Des raisonnements sur la dimension agro-écologique et la prise en compte de la complexité sur d'autres dimensions.....	472
1.2. Première grille d'évaluation de la complexité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques inscrits dans le développement durable (SAR).....	472
2. Types d'arguments définis <i>a priori</i> pour évaluer les SAR.....	473
2.1. Contours des éléments considérés pour préciser les types d'argumentations <i>a priori</i>	474
(i)La prise en compte des objectifs de l'agriculteur.....	474
(ii)Place centrale des arguments agronomiques dans notre recherche.....	476
(iii)La prise en compte de la pluralité des arguments pour caractériser la qualité des SAR.....	476
2.2. Arguments et argumentations attendus <i>a priori</i> : un préalable à la définition des niveaux de complexité des SAR.....	478
2.2.1. Quatre « registres » d'éléments attendus pour la caractérisation des raisonnements produits : leviers, contextes, aspects argumentaires, domaines de référence.....	478
2.2.2. Les onze types différents d'argumentation attendue.....	479
Des argumentations de type « justifications » prenant appui sur plusieurs domaines de référence en tenant compte du contexte situé.....	479
Des argumentations de type « justifications » prenant appui sur un domaine de référence au moins en tenant compte du contexte situé.....	480
Des argumentations de type « justifications » prenant appui sur plusieurs domaines de référence sans tenir compte du contexte situé.....	480
Des argumentations de type « justifications » ne prenant appui que sur un domaine de référence sans prendre appui sur un contexte.....	480
Des argumentations de type « conséquences » dans le contexte situé.....	480
Des argumentations de type « conditions » dans le contexte situé.....	480
Des argumentations ouvertes sur le contexte élargi prenant appui sur un ou plusieurs domaines de référence.....	480
2.3. Proposition de modélisation des argumentations et d'une « unité d'analyse » après une première confrontation de la grille au corpus.....	481
La définition de la notion d'épisode.....	481
• Un épisode.....	483
Une proposition de modélisation des argumentations dans le processus de raisonnement SAR.....	484
3. Définition des niveaux de complexité des SAR.....	484
3.1. Deux partis pris méthodologiques.....	485
(i)La difficulté à intégrer la hiérarchie de l'efficacité des leviers dans l'évaluation des SAR.....	485
• Le cas du levier « lutte chimique ».....	486
(ii) L'évaluation de leviers et de leurs différentes spécifications dans les SAR....	487
3.2. Explication des onze niveaux de complexité des raisonnements SAR attendus.....	487
Le niveau N11.....	487
Le niveau N10.....	488

Les niveaux N9 et N8	488
Le niveau 7	488
Les niveaux N6 et N5	488
Les niveaux N4 et N3	489
Les niveaux N2 et N1	489
3.3. La grille d'analyse de la complexité des SAR	489
3.3.1. La grille des raisonnements SAR	490
3.3.2. Les quatre sauts « épistémiques » et le niveau charnière N7	491
La définition des sauts « épistémiques »	491
Le niveau de complexité N7, structurant pour enseigner-apprendre des SAR	492
3.4. Présentation détaillée de leviers pour gérer des populations d'adventices annuelles .	494
4. Validités interne et externe de notre démarche de définition des niveaux de complexité des SAR	500
Chapitre 4.....	503
Partie 4V - Eléments de méthodologie pour analyser le corpus discursif .	503
Un corpus d'étude, trois analyses de données distinctes.....	503
1. Le recueil des données lié à la résolution de la situation-problème.....	504
1.1. Le terrain de l'étude	504
Les critères de choix du terrain de l'étude	505
• Deux filières d'enseignement professionnel retenues	505
• L'implication dans l'action 16 et le réseau « Agronomie-Ecophyto »	506
• Le facteur « disponibilité » des acteurs du terrain	506
• Intérêt de conduire en vraie grandeur le test du modèle de la situation-problème en se calant sur des pratiques ordinaires	507
Quelques traits des deux classes d'élèves/étudiants de l'étude.....	507
1.2. Les différentes étapes du recueil de données	508
• Les cinq types de données recueillies	510
1.3. Les trois niveaux d'analyse	510
Le niveau macro	510
Le niveau méso.....	511
Le niveau micro : des « moments » du processus de raisonnement « décortiqué ».....	511
Quelles sont les informations à identifier dans le corpus ?.....	511
2. La méthodologie de « transformation » du recueil de données pour constituer les corpus d'étude	512
2.1. Les différentes étapes du traitement des données pour constituer les corpus d'étude	512
2.2. Etape 1, le traitement des données audio	512
2.3. Etape 2, le choix de deux fils de discussion : un pour la classe de Bac pro CGEA et un pour la classe de BTS APV	513
2.3.1. L'intérêt des discussions de type exploratoire (Mercer, 1995)	513
2.3.2. Méthodologie d'analyse des transcriptions écrites pour identifier les deux corpus à analyser.....	515
Choix du fil de discussion pour la classe de Bac pro CGEA	515
• Extrait du fil de discussion BL2	515
• Extrait du fil de discussion BL3	516
Choix du fil de discussion pour la classe de BTS APV	517
2.4. Etape 3, le séquençage du corpus en épisodes	518
Eléments de méthode pour le séquençage du corpus en épisodes.....	518
• Le préalable : numéroter les Tours de Parole (TP)	518
• La démarche de séquençage en épisodes	518

2.5. Etape 4, choix de la présentation du corpus et définitions des codages « fins » des tours de parole	519
Structure du tableau organisant chaque fil de discussion.....	519
Explicitation du codage fin : les leviers, les justifications, les conséquences et les conditions avec les domaines de référence et les domaines d'appui des connaissances/références.....	521
• Les éléments techniques du codage et exemples	521
Le codage des leviers et de leurs spécifications (cf. annexe n°13)	521
• Un codage encore plus fin des justifications, des conséquences et des conditions pour conduire des analyses au niveau micro	524
Autres données collectées comme points d'appui.....	525
3. La méthodologie de traitement des deux corpus de données pour les trois niveaux d'analyse.....	525
3.1. La méthodologie de traitement des données du corpus codé	526
3.1.1. Organisation de matrices des scores.....	526
3.1.2. Approche quantitative et qualitative des argumentations dans les fils de discussions.....	526
Le traitement des données à partir des matrices des scores	527
Le traitement des données à partir de l'analyse des corpus AC1 (groupe BTS) et BL3 (groupe Bac pro)	527
3.2. Détermination des niveaux de complexité des SAR	527
3.2.1. Explicitation de la démarche de détermination des niveaux de complexité des raisonnements.....	527
Scorisation des niveaux de complexité	527
Explicitation de la démarche retenue pour évaluer les niveaux de raisonnements produits par les élèves/étudiants.....	527
3.2.2. Les différents niveaux de complexité déterminés	529
3.3. Les erreurs de raisonnement et des « propositions/arguments » exprimant des risques/incertitudes vis-à-vis des pesticides	529
Chapitre 5.....	531
Résultats et discussion.....	531
Rappels des visées de la recherche et choix de présentation des résultats	531
1. L'analyse au niveau macroscopique.....	532
1.1. Une première caractérisation générale des corpus	532
Un pari réussi : un exercice réalisé en moins de deux heures	532
Des échanges brefs, des énoncés elliptiques, usage de la mémoire didactique : des points communs pour BL3 et AC1	532
Un appel de demandes d'appui des référents variable	533
1.2. Sur quoi se fondent les discussions des élèves et des étudiants pour résoudre le problème de vulpins résistants ?.....	533
1.2.1. Des résultats concernant les leviers mobilisés	533
Le levier rotation	534
La lutte chimique.....	534
Le levier labour	534
1.2.2. Analyse quali-quantitative des argumentations	535
Des justifications qui dominent.....	536
Le domaine de référence agronomique est le plus prégnant	537
La forte mobilisation du système de représentations-connaissances (Bétoine et Legardez, 1995) chez les élèves/étudiants	538
Une analyse plus fine des argumentations	539

Que révèle l'analyse des justifications ?	540
Que révèle l'analyse des conséquences et des conditions ?	542
Conséquences dans le fil de discussion BL3(bac pro) (cf. figure n°93)	543
Conditions dans le fil de discussion BL3 (bac pro)	543
Conséquences dans le fil de discussion AC1 (groupe BTS)	544
Conditions dans le fil de discussion AC1 (groupe BTS)	545
Synthèse	546
1.3. L'enchaînement des épisodes et leurs contenus	546
1.3.1. Les douze épisodes de la résolution pour le sous-groupe BL3 en Bac pro CGEA	547
1.3.2. Les seize épisodes de la résolution pour le sous-groupe AC1	552
1.4. Les niveaux de complexité des raisonnements	556
1.4.1. Présentation de résultats moyens.....	557
La moyenne des niveaux tous leviers confondus sur l'ensemble des épisodes,	557
Le niveau moyen atteint dans un épisode, tous leviers confondus,.....	558
Le niveau moyen de complexité de chacun des leviers sur toute la résolution,.....	560
1.4.2. Le niveau de complexité de chaque levier dans chacun des épisodes	561
• (i)La qualité des raisonnements.....	561
• La qualité des raisonnements pour BL3	561
• La qualité des raisonnements pour AC1	562
• (ii) Le processus de construction des raisonnements	564
• Le processus de construction des raisonnements pour BL3.....	564
• (ii) Le processus de construction des raisonnements pour AC1	564
A quel niveau de complexité la proposition finale correspond t'elle pour chacun des groupes ?	565
Evaluation de la solution proposée en référence au cadre ESR (Hill et MacRae, 1995).....	567
2. Le niveau d'analyse mésoscopique	567
3. Le niveau micro	572
Des erreurs de raisonnements et des contours flous d'effets de leviers, l'effet régulateur du groupe.....	572
Des risques/incertitudes vis-à-vis des pesticides, aucun argument en lien avec la santé des utilisateurs	573
Une mise au travail marquée par une attention difficile sur la durée pour BL3	578
Une ressource externe sur les couverts de l'interculture fait progresser les raisonnements	579
En guise de synthèse	579
• Des appuis	579
• Des obstacles	580
4. Discussion générale et conclusion	580
Des résultats pluriels et de natures différentes	580
• En quoi ces premiers résultats de la recherche constituent-ils un outillage didactique pour construire des situations éducatives visant la promotion des alternatives aux pesticides répondant aux exigences du développement durable et inscrites dans une perspective agro-écologique ?	582
• Prendre appui sur des enseignants d'agronomie « développeurs »	583
Contribution dans le domaine des sciences de l'éducation	584
Conclusion.....	585
Bibliographie.....	587

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Classification des produits par type de cible	61
Tableau n°2 : Un ensemble de termes pour évoquer la notion de « pesticide » et de bioagresseurs	64
Tableau n°3 : Influence des systèmes agricoles performants sur la forme de modernisation de l'agriculture française	87
Tableau n°4 : Evolution des lancements de nouveaux produits de 1930 à 1979 (Assouline, 1989)	96
Tableau n°5 : Neuf contributions pour mettre en perspective du contexte d'émergence du plan Ecophyto.....	119
Tableau n°6 : Modèles ESR d'après Hill et MacRae (1995) et Bellon <i>et al.</i> (2007)	171
Tableau n°7 : Liste des principaux indicateurs retenus pour l'étude Ecophyto R&D (2009)	177
Tableau n°8 : Les niveaux de rupture définis par l'étude Ecophyto R&D (2009).....	177
Tableau n°9 : Notion stabilisée repérée dans le projet Endure (en gras) pour la protection intégrée des cultures PIC et variantes	208
Tableau n°10 : Les traits rencontrés chez un grand nombre d'adventices	217
Tableau n°11 : Différentes méthodes de contrôle cultural contre les insectes, les « mauvaises herbes », les maladies, les Nématodes <i>in</i> Aubertot <i>et al.</i> (2005b) adapté de Bajwa et Kogan (2004).	228
Tableau n°12 : Présentation synthétique de l'imbrication des strates dans la démarche de recherche	287
Tableau n°13 : Possibilité d'orientation à la fin de la seconde professionnelle-Orientation de droit à l'issue de la seconde professionnelle	325
Tableau n°14 : Quelques points saillants de l'analyse diachronique de prescriptions... ..	348
Tableau n°15 : Points d'ancrage pour construire une expérimentation en didactique pour amener les élèves/étudiants à concevoir des alternatives aux pesticides	359
Tableau n°16 : La distribution des rôles pour cartographier des controverses	382
Tableau n°17 : Approche du risque et de l'incertitude selon les disciplines (Althaus, 2005, p. 569).....	392
Tableau n°18 : Les quatre types culturels et les conceptions variables du savoir, de la nature, du corps et la perception des risques (Douglas 1978 , Schwarz et Thompson, 1990 ; Douglas, 1992 ; Calvez, 2006, Peretti- Watel, 2001 ; 2010 ; Duclos, 1994)	404
Tableau n°19 : Rationalité face aux risques selon les quatre groupes sociaux proposés par Douglas (1978).....	407
Tableau n°20 : Des porte-paroles dans les controverses	417
Tableau n°21 : Rationalités de quelques actants entre 1983 et 2007	423
Tableau n°22 : Une vue simplifiée des cinq blocs d'informations	434
Tableau n°23 : Présentation du corpus de documents de la bibliothèque	447
Tableau n°24 : Les blocs d'informations fournies à renseigner pour construire la situation-problème.	455
Tableau n°25 : Première grille d'analyse de la complexité des SAR.....	473
Tableau n°26 : Les quatre registres attendus dans les argumentations fondant les raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques	479
Tableau n°27 : Structuration du script didactique dans la TACD (actes/scènes/jeux d'apprentissage/épisodes/événements) <i>in</i> (Sensevy, 2011, p. 254)	482
Tableau n°28 : Deux spécifications du levier « déchaumage ».....	485
Tableau n°29 : Les onze niveaux de complexité des raisonnements des SAR	490

Tableau n°30 : Proposition de clarification des leviers, principes et d'effets escomptés de leviers pour gérer les adventices annuelles	496
Tableau n°31 : Les critères de choix des établissements de l'expérimentation	506
Tableau n°32 : Capture d'écran de la matrice de recueil des données codées	526
Tableau n°33 : Correspondance entre le codage des argumentations dans les tours de parole et les niveaux de complexité des raisonnements SAR	528
Tableau n°34 : Scores et pourcentages des aspects argumentaires pour les huit leviers mobilisés par BL3 (Bac pro CGEA)	535
Tableau n°35 : Scores et pourcentage des aspects argumentaires pour les huit leviers mobilisés par AC1 (BTS APV)	535
Tableau n°36 : Extrait de la grille d'analyse <i>a priori</i> de la complexité des SAR et positionnement des scores	558
Tableau n°37 : Les niveaux de complexité des leviers <i>rotation, labour, désherbage mécanique</i> et la <i>lutte chimique</i> pour les groupes BL3 et AC1	563

Liste des figures

Figure n°1 : Les cadres réglementaires pour l'usage des pesticides	63
Figure n°2 : L'homologation des pesticides avant 1943	79
Figure n°3 : La logique des systèmes productivistes dans les années 80 en productions végétales (plutôt grandes cultures).....	104
Figure n°4 : La composition d'une spécialité commerciale.....	113
Figure n°5 : La double évaluation des produits phytosanitaires	114
Figure n°6 : Ensemble des ressources retenues pour discuter le contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018.....	121
Figure n°7 : Les étapes de processus Grenelle Environnement	130
Figure n°8 : Réseau expérimentation et démonstration proposé par l'étude R&D Ecophyto (1/2).....	138
Figure n°9 : Réseau expérimentation et démonstration proposé par l'étude R&D Ecophyto (2/2).....	138
Figure n°10 : Les actions 14 et 16 dans l'axe 2 du plan Ecophyto 2018	147
Figure n°11 : La segmentation pour déterminer les différents NODU selon les usages	149
Figure n°12 : Evolution comparée du NODU et des QSA en zones agricoles en base 100 (hors traitements de semences et produits de la liste « biocontrôle vert ») – Calcul MAAF, données BNV-D (date d'extraction : 30 juin 2013).....	154
Figure n°13 : Nombre de doses unités en millions d'hectares en zone agricole, hors traitements de semences et produits de la liste « biocontrôle vert »- Calcul MAAF, données BNV-D (date d'extraction : 30 juin 2013)	154
Figure n°14 : Les leviers techniques et non techniques mobilisés par l'angle d'entrée du système de culture dan DEPHY (Tierca Consultants, 2013, p. 18)	159
Figure n°15 : Combinaison de niveaux de rupture pour des objectifs de réduction des pesticides en grandes cultures (de -10% des IFT à -50%) à partir de Bultault <i>et al.</i> (2010)	186
Figure n°16 : Les trois acceptions de l'agro-écologie dans le monde aujourd'hui(Wezel <i>et al.</i> , 2009).....	190
Figure n°17 : Les changements d'échelle dans les définitions de l'agro-écologie au cours du temps (Wezel <i>et al.</i> , 2009)	194
Figure n°18 : La perspective multi-niveaux de la transition Geels et Schot, 2007 (p. 401)	201
Figure n°19 : Triptyque considéré pour caractériser le système d'interactions entre le peuplement cultivé et les bioagresseurs	204
Figure n°20 : Typologie de pertes (d'après Zadoks et Schein, 1979).....	205
Figure n°21 : Schématisation de la quantification de la nuisibilité relation « <i>dégâts, dommages, pertes</i> » à partir de Savary 1991 ; Aubertot <i>et al.</i> 2005b.	207
Figure n°22 : Décider d'agir sur le bioagresseur : un risque, un seuil, une décision et des actions.....	211
Figure n°23 : Quatre seuils et les risques considérés.	212
Figure n°24 : Approche simplifiée d'un cycle de bioagresseurs : la contamination, la multiplication, la dispersion et la conservation.	213
Figure n°25 : Différentes nuisibilités des adventices	215
Figure n°26 : Nuisibilités des adventices et seuils	216
Figure n°27 : Approche fonctionnelle et traits chez les adventices (d'après Lavorel et Garnier, 2002)	218
Figure n°28 : Trois niveaux de production en fonction des trois types de facteurs de production.....	220

Figure n°29 : Les quatre principes pour gérer les bioagresseurs dans le cadre de la protection des cultures.....	222
Figure n°30 : Cinq catégories de solutions pour gérer les bioagresseurs et leviers disponibles pour le cas des adventices annuelles.....	225
Figure n°31 : Vers une intégration des courants scientifiques abordant l'apprentissage (Bransford <i>et al.</i> , 2006, p. 210).....	251
Figure n°32 : Développer une capacité d'adaptation pour dépasser l'approche psycho-analytique (d'après Bériot, 2006, p. 64-65).....	258
Figure n°33 : Efficience et innovation, deux dimensions de l'expertise d'adaptation (d'après Bransford <i>et al.</i> , 2006, p. 223).....	259
Figure n°34 : Le processus de transposition didactique.....	267
Figure n°35 : Le modèle de Toulmin (1958).....	277
Figure n°36 : La grille d'analyse des RSSD (raisonnement socioscientifique dans une perspective de durabilité) (Morin, 2013, p. 114).....	281
Figure n°37 : La complexité du milieu vivant, un levier pour gérer les systèmes agroécosystèmes.....	295
Figure n°38 : Caractériser le fonctionnement d'un agroécosystème d'après Cancian et Magne (2015, non publié).....	296
Figure n°39 : Répartition en pourcentage du nombre d'établissements du second degré et de l'enseignement supérieur court par statut (public, CNEAP, UNMFREO, UNREP) à la rentrée 2011 (DGER, 2012).....	303
Figure n°40 : Structure de la matrice curriculaire (Lange et Victor, 2006, p. 88).....	315
Figure n°41 : Une première représentation de la matrice curriculaire.....	315
Figure n°42 : Des éléments de la démarche retenue pour l'analyse de la prise en compte des problématiques en lien avec les pesticides dans le Bac pro CGEA et le dans le BTS APV.....	317
Figure n°43 : Les trois composantes du référentiel de diplôme.....	321
Figure n°44 : Les parties du référentiel de diplôme professionnel et les documents complémentaires correspondants.....	323
Figure n°45 : Architecture du référentiel de seconde professionnelle.....	326
Figure n°46 : Architecture du bac pro CGEA rénové (version 2010).....	328
Figure n°47 : Architecture modulaire du référentiel de formation du Bac pro CGEA spécialité système à dominante cultures (sdc).....	329
Figure n°48 : Synthèse de l'analyse des modules de l'enseignement général (EG) et les modules professionnels communs (EP communs) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel.....	330
Figure n°49 : Synthèse de l'analyse des modules (MP) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel.....	331
Figure n°50 : Deux activités pluridisciplinaires en lien avec la protection des cultures.....	333
Figure n°51 : Architecture simplifiée du référentiel de formation du BTS APV.....	335
Figure n°52 : Architecture simplifiée du référentiel de formation BTS APV.....	336
Figure n°53 : Synthèse de l'analyse des modules du domaine commun (DC) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel.....	337
Figure n°54 : Synthèse de l'analyse des modules du domaine professionnel (DP) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel.....	338
Figure n°55 : Synthèse de l'analyse des modules du domaine professionnel (DP) centraux pour la protection des cultures avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel.....	339
Figure n°56: Activités pluridisciplinaires en lien avec le module M59 dans le BTS APV.....	341

Figure n°57: Points d’ancrage de l’analyse curriculaire critique du Bac pro CGEA option sdc et du BTS APV	342
Figure n°58 : Les acteurs du SNA.....	352
Figure n°59 : Cartographier des controverses	382
Figure n°60°: Trop complexe ou trop simpliste : deux cartographies qui ne servent pas les desseins de la cartographie des controverses (Venturini <i>et al.</i> , 2015).....	385
Figure n°61 : Exemple d’une carte cognitive (Slovic, 1987, p. 282).....	397
Figure n°62 : Les facteurs de risques recensés par Slovic (1987, p. 282).....	397
Figure n°63 : La matrice des types culturels structurée à partir des dimensions « Group-Grid » (Douglas, 2003, p. 1354).....	402
Figure n°64 : Les différents-thèmes clés retenus pour conduire la recherche exploratoire la mise en mots des controverses et deux types de <i>media</i> pour accéder à la diversité des points de vue.....	412
Figure n°65 : Mise en perspective des deux dates-clés retenues (1983 et 2007) pour conduire l’analyse des controverses sur l’usage des pesticides	413
Figure n°66 : Territoires définis structurant la cartographie	415
Figure n°67 : Evolution du poids des acteurs-réseaux et des arguments saillants dans les controverses sur les pesticides entre 1983 et 2007.....	417
Figure n°68 : Cartographie des controverses en 1983 (actants, interrelation, arguments)	420
Figure n°69 : Cartographie des controverses sur l’usage des pesticides en 2007.....	421
Figure n°70 : Extrait de la trame écrite présentant les éléments du contexte de l’exploitation agricole avec des commentaires	437
Figure n°71 : Un exemple de schéma décisionnel (d’après Petit <i>et al.</i> , 2012a, p. 93)...	439
Figure n°72 : La trame du bloc « problématisation » commentée	451
Figure n°73 : Le scénario de l’expérimentation	459
Figure n°74 : La trame de la bibliothèque organisée pour garder la « mémoire du sens »	463
Figure n°75 : Le document n°10 avant d’avoir éliminé et retravaillé des informations	465
Figure n°76 : Le document n°10 après avoir retravaillé des informations	465
Figure n°77 : Figure initiale avec des commentaires (en bleu).....	466
Figure n°78 : Figure retravaillée avec des commentaires (couleur bordeaux).....	467
Figure n°79 : Modélisation des argumentations qui fondent les SAR.....	484
Figure n°80 : 11 niveaux de complexité des raisonnement SAR et quatre sauts « épistémiques »	492
Figure n°81 : Les différentes phases de l’expérimentation de la recherche.....	508
Figure n°82 : Principes de codage pour anonymiser les locuteurs	513
Figure n°83 : Répartition des registres argumentaires pour le groupe BL3 (bac pro) ...	536
Figure n°84 : Répartition des registres argumentaires pour le groupe AC1 (groupe BTS)	536
Figure n°85 : Répartition des aspects argumentaires pour le groupe BL3 (bac pro)	537
Figure n°86 : Répartition des arguments en fonction des domaines de référence pour AC1 (groupe BTS)	537
Figure n°87 : Répartition des arguments selon le domaine d’appui des connaissances pour BL3 (groupe Bac pro)	538
Figure n°88 : Répartition des arguments selon le domaine d’appui des connaissances pour AC1 (groupe BTS).....	539
Figure n°89 : Répartition des justifications/domaine de référence pour le groupe BL3	540
Figure n°90 : Répartition des justifications/domaine de référence pour le groupe AC1	540

Figure n°91 : Approche comparée de la répartition des justifications agronomiques par domaine d'appui des connaissances en Bac pro et en BTS.....	541
Figure n°92 : Justifications économiques, écologiques et sociales sur les différents domaines d'appui des connaissances pour le groupe AC1	542
Figure n°93 : Pourcentage des conséquences par domaine de référence pour le groupe BL3 (bac pro)	542
Figure n°94 : Répartition des conséquences par domaine de référence et par d'appui des connaissances pour le groupe BL3 (bac pro)	543
Figure n°95 : Pourcentage des conséquences par domaine de référence pour le groupe AC1 (groupe BTS)	544
Figure n°96 : Répartition des conséquences en fonction du domaine d'appui du groupe AC1 (groupe BTS)	544
Figure n°97 : Pourcentage des conditions par domaine de référence pour le groupe AC1 (groupe BTS).....	545
Figure n°98 : Répartition des conditions en fonction du domaine d'appui du groupe AC1 (groupe BTS).....	546
Figure n°99 : Détermination du niveau moyen de complexité des raisonnements/épisode pour le groupe BL3	559
Figure n°100 : Niveau moyen de complexité des raisonnements/épisode pour le groupe AC1	559
Figure n°101 : Niveau moyen de complexité des raisonnements/levier pour le groupe BL3.....	560
Figure n°102 : Niveau moyen de complexité des raisonnements/levier pour le groupe AC1	560
Figure n°103 : Les scores des leviers dans les épisodes pour le groupe BL3	562
Figure n°104 : Les scores des leviers dans les épisodes pour le groupe AC1.....	564
Figure n°105 : Trace écrite du groupe BL3 remis au chercheur à la fin de la résolution	566
Figure n °106 : Schéma décisionnel remis au chercheur à la fin de la résolution.....	567

Introduction

Lorsque nous avons débuté la thèse, le plan Ecophyto était associé à un premier horizon et à une condition : 2018 était définie comme une date butoir pour parvenir à réduire de 50% l'usage des pesticides dans l'agriculture et le « si possible » posait explicitement des limites floues à l'effort demandé à la profession. Le plan n'avait pas un caractère prescriptif et comportait une série de recommandations fondées sur le consensus partagé qu'il était incontournable de limiter la dépendance aux pesticides dans l'agriculture. Les controverses sur l'usage des pesticides agricoles n'ont pas cessé pour autant.

L'agro-écologie et le plan Ecophyto n'étaient pas explicitement liés dans un projet d'agriculture et l'agro-écologie n'était pas aussi prégnante dans les discours du Ministre en charge de l'agriculture. Le projet « enseigner à produire autrement » n'était pas encore défini dans ses grandes lignes par la Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche (DGER). Le plan Ecophyto 2018 s'est installé dans le paysage comme s'il suffisait de partager des points de vue pour que cela se traduise par une mise en activités collective des parties prenantes impliquées, en l'occurrence pour plan ministériel, tout le monde : les agriculteurs aux commandes de la « ferme France », les consommateurs en tant que « mangeurs » de produits agricoles, les politiques chargés des dépenses publiques, les citoyens pour leur pouvoir de vote, les chercheurs et le développement pour leur soutien à l'innovation, les mondes de l'éducation pour préparer les générations futures à relever les défis. Les agriculteurs, la recherche agronomique entre autres, le développement agricole ont alimenté les débats afin de décliner concrètement le projet à l'échelle régionale et nationale. La spécificité des territoires ultramarins a été soulignée suite à la prise de conscience dans l'affaire du chlordécone. L'action 14 visait la démonstration concrète du possible à l'échelle des exploitations agricoles. La DGER pour le ministère en charge de l'agriculture s'est saisie des recommandations en débutant une rénovation de fond de ses prescriptions curriculaires et en impliquant ses « fermes de lycées » dans des actions d'expérimentation et de développement (Action 16). Les enseignants ont du traduire concrètement sous la forme de savoirs enseignables des orientations nouvelles et objets de controverses. Ils se sont vite trouvés déstabilisés par les contours flous de ce qu'il convenait de promouvoir et par la difficulté à appréhender les risques/incertitudes découlant des choix des options pour réduire la dépendance : personne n'avait de solution robuste, préconstruite et transposable en l'état. L'incomplétude des savoirs de référence, pour partie en construction et controversés, la pluralité des sources de savoirs, la reconfiguration des pratiques de référence ont brouillé les repères des élèves/étudiants et des enseignants. La diversité des domaines questionnés par la perspective de réduire la dépendance aux pesticides a dépassé le cadre de référence des savoirs pour envisager la construction des enseignements apprentissages. Comme dans les sociétés, les valeurs des parties prenantes, leur perception des risques/incertitudes des solutions alternatives se sont immiscées dans la classe. Les aspects liant la santé des consommateurs et des utilisateurs de pesticides animaient ponctuellement des débats à la faveur d'affaires médiatisées. Les jardiniers amateurs, les autres professionnels utilisateurs des pesticides et les collectivités territoriales étaient invités à se pencher sur les perspectives de réduction, mais étaient moins ciblés que la profession agricole. Voilà comment cette thèse a débuté, muée par l'objectif d'alimenter la question du didactique et des effets des controverses sur l'enseigner-apprendre à réduire la dépendance des pesticides, en particulier pour la discipline scolaire agronomie et pour les enseignants de cette discipline dans l'enseignement agricole. L'implication dans le projet Didacphyto, dans le cadre d'un Appel à Propositions de Recherche (APR) « pesticides », a donné une autre dimension à cette thèse en contribuant à alimenter des réflexions d'un petit collectif de scientifiques.

Aujourd'hui, le plan Ecophyto fait partie d'un des six programmes d'actions prioritaires du projet agro-écologique pour l'agriculture. Il a perdu « son » 2018. L'année 2025 et une inscription agro-écologique marquée et explicite constituent un nouvel horizon. Les résultats des actions « Ecophyto » depuis sa mise en place ne font pas apparaître une très nette diminution de la dépendance aux pesticides des systèmes agricoles. Les aspects santé humaine en lien avec les pesticides animent de manière récurrente les débats et les médias. Les preuves abondent de plus en plus des liens causaux complexes et difficiles à prévoir entre pesticides et santé humaine. Eviter l'exposition aux produits phytosanitaires à la source, et par voie de conséquence limiter très fortement leur utilisation, reste la perspective la plus soutenable. Le projet « enseigner à produire autrement » de la DGER (2014) prend une forme concrète à l'échelle de tous les établissements de l'enseignement agricole et des référents en agro-écologie sont chargés d'impulser une nouvelle dynamique. La thèse se fonde toujours sur la question de l'enseigner-apprendre à produire autrement avec moins de pesticides mais la focale est l'élève et/ou l'étudiant.

La construction du cheminement scientifique n'a pas été un long fleuve tranquille, mais des lignes directives ont structuré nos explorations : pourquoi la dépendance aux pesticides est-elle aujourd'hui encore si forte ? pourquoi est-ce si facile à dire « réduire l'usage » et apparemment si difficile à faire et à apprendre à le faire ? pourquoi les raisonnements en agronomie ne permettent-ils pas de passer ce cap de la dépendance ? comment parvenir à soutenir le travail quotidien des enseignants de « traduction » des savoirs à enseigner-apprendre à concevoir des systèmes agricoles économes en pesticides ? comment aider les élèves/étudiants se destinant au métier d'agriculteur à être mieux armés pour penser, décider et agir de manière autonome et responsable dans un contexte incertain, marqué par la contrainte prescrite de réduire la dépendance aux pesticides ?

Notre inscription dans le champ des sciences de l'éducation et dans la didactique nous est apparue évidente. Dans un premier chapitre, nous proposons une partie introductive et problématisante afin de situer le cadre de notre recherche. Nous justifions notre ancrage scientifique à la croisée de la didactique des questions socialement vives et de la didactique de l'agronomie. Nous précisons également l'intérêt d'enseigner-apprendre des raisonnements complexes informels mobilisant des savoirs de la discipline scolaire « agronomie ». Cette partie introductive, nous a conduit à proposer une analyse socio-historique afin de comprendre comment la dépendance aux pesticides s'est construite dans la durée et en quoi l'agronomie y a contribué. Dans un deuxième chapitre, nous avons fait l'état des savoirs de référence pour appréhender la conception de systèmes économes en pesticides. Dans un troisième chapitre, nous avons conduit une analyse dans le champ des sciences de l'éducation afin de cerner notre cadre conceptuel. Dans un quatrième chapitre, nous avons structuré notre démarche méthodologique de recueils et de traitements des données en cinq sous chapitres. Nous avons conduit une analyse curriculaire de deux référentiels professionnels de l'enseignement technique (4I). Nous avons produit une analyse des états de la controverse sur l'usage des pesticides pour deux dates-clés (4II). Nous avons conçu un dispositif d'expérimentation pour réaliser une partie des recueils de données auprès de deux classes (4III). Nous avons proposé un modèle de situation-problème pour faire émerger des raisonnements complexes. Nous présentons une grille d'analyse des niveaux de complexité des raisonnements attendus *a priori* (4IV). Enfin, nous avons clarifié un autre volet méthodologique de traitement des données recueillies à partir de la situation-problème (V). Dans un cinquième et dernier chapitre, nous présentons nos résultats et nous les mettons en perspective dans le cadre de l'enseignement et nous discutons notre contribution scientifique dans le champ des sciences de l'éducation.

Problématique :

La question de la réduction de l'usage des pesticides de synthèse dans l'agriculture et les paris en termes de formation

L'avenir, en effet, n'est pas ce qui vient « après » le présent, mais ce qui est différent de lui et surtout ce qui est « ouvert » (Berger, 1959, p. 85-86) in II. - PREMIERS RETOURS SUR LA PROSPECTIVE (1959) Berger, pp.85-92

Aujourd'hui, les débats autour des pesticides sont nombreux et nous interpellent individuellement et collectivement en tant que citoyen, consommateur, contribuable sur des thèmes aussi divers que la qualité de notre cadre de vie (pollution de l'air, du sol et de l'eau, atteinte de la biodiversité), la qualité des aliments, la santé humaine, les choix politiques en termes de soutien à des formes d'agriculture. L'actualité médiatique aborde régulièrement des sujets en lien avec les pesticides. Les usages de ces produits sont remis en cause et un consensus s'est dessiné avec le Grenelle Environnement (2007), visant la sécurisation de leurs usages et une utilisation plus mesurée dans l'agriculture. Faisant en particulier écho à ces demandes sociétales, le gouvernement français a mis en place le plan ministériel Ecophyto en 2008. Celui-ci définit des exigences en termes de sécurisation des usages et de réduction d'emploi des pesticides pour les secteurs professionnels agricoles et non agricoles (agriculture, espaces verts, entre autres) et pour les jardiniers amateurs. Il pose des objectifs de résultats : la mesure-phare est sans doute l'annonce de réduction de 50 % des usages des pesticides de synthèse dans un délai de 10 ans si possible, sous réserve de leur substituabilité. Afin d'opérationnaliser concrètement ce plan, 9 axes ont été précisés, assortis d'objectifs que plus d'une centaine d'actions doivent contribuer à atteindre. Depuis 2008, deux versions du plan ont été définies avec des ajustements en termes de délais. Cet horizon n'est pas si facile à atteindre, des freins et des résistances de différentes natures compliquent la réalisation des objectifs, en particulier en raison du changement de paradigme dans les stratégies de protection des cultures (Aubertot, Barbier, Carpentier, Gril, Guichard, Lucas, Savary, Savini, et Voltz, 2005a ; Ricci *et al.*¹, 2011). Le défi à relever est de taille même si le secteur agricole a déjà affronté et surmonté des changements de grande ampleur comme l'ont souligné Mazoyer et Roudart (1997) dans leur panorama des histoires de l'agriculture. Les solutions ne sont pas stabilisées, s'élaborant et s'ajustant chemin faisant... Personne aujourd'hui ne détient de « recettes » ou de modes opératoires qui puissent être généralisés rapidement. Il n'y a pas de solution valide mise au point qui pourrait prétendre à une certaine universalité : comme l'indique Chevassus-au-Louis *in* Deguine, Ferron, et Russell (2008), il s'agit d'un « (...)

¹ Ricci, Bui, et Lamine, 2011

passage progressif d'une croyance en l'arrivée d'une solution définitive et universelle - incarnée successivement par les pesticides de synthèse, la lutte biologique ou les OGM- à une approche « cousue main », combinant des approches toutes imparfaites dans un contexte local particulier. » (p. 9). Le délai de 10 ans (2008-2018) est passé aujourd'hui à 17 ans avec un premier palier de réduction à 20% en 2020 et deuxième palier pour atteindre moins 50% en 2025.

Dès 2008, le ministère en charge de l'agriculture a enjoint la profession dans son ensemble de contribuer à la mise en œuvre du plan. Les professionnels de l'agriculture- agriculteurs, organismes de recherche et de développement, services de l'administration et bien évidemment le ministère en charge de l'agriculture et son système de formation- sont en première ligne. La dimension « formation » du plan Ecophyto est au cœur de notre problématique de recherche. Comme par le passé afin d'accompagner les mutations de l'agriculture, la formation initiale des agriculteurs est considérée comme un des leviers du changement. Former des agriculteurs compétents capables de raisonner les stratégies de protection des cultures en économisant des pesticides est aujourd'hui une injonction du ministre en charge de l'Agriculture. Les difficultés observées sur le terrain à parvenir à l'objectif de réduction des usages de 50 % préconisé par le plan Ecophyto laissent supposer que la seule dimension technique liée aux choix et à la connaissance des alternatives aux pesticides n'est pas seulement en cause. Des considérations économiques, politiques, sociales, éthiques, environnementales pèsent également, rendant les choix et la mise en œuvre difficile et complexe. Notre recherche s'intéresse aux questions d'enseignement-apprentissage liées à la perspective d'enseigner-apprendre à concevoir et gérer des systèmes de production végétale économes en pesticides en cohérence avec le changement de paradigme. Dans la classe et en particulier dans les lycées agricoles, comme dans les sociétés, les problématiques liées à la réduction de l'usage des pesticides dans l'agriculture génèrent des débats au cœur desquels les nombreuses incertitudes brouillent les repères tout à la fois chez les enseignants et chez leurs élèves.

Afin de mettre en lumière, les questions que nous avons souhaitées traiter dans cette recherche et l'angle d'entrée dans le sujet, nous dressons un tour d'horizon d'enjeux liés à la perspective de réduire la dépendance des systèmes de productions aux pesticides et en quoi le système éducatif est interpellé. Quatre focus différents ont été retenus : pesticides et dépendance du chemin ; pesticides et enjeux environnementaux et en termes de santé humaine ; pesticides et enjeux agronomiques ; pesticides et enjeux socioprofessionnels en termes de formation.

1.1. Le changement est difficile : la dépendance au chemin est tellement forte

Un effet de verrouillage d'un système sociotechnique

Au cours des 60 dernières années, la structuration cohérente des formes d'agriculture industrialisées en France a généré un effet de verrouillage (Vanloqueren et Barret, 2008 ; Lamine *et al.*, 2008) autour de l'usage des pesticides. Ces agricultures intensives se sont structurées et développées en se fondant sur des acteurs de l'agriculture professionnalisés et formés pour promouvoir et mettre en œuvre des techniques « modernes », à partir des concepts et/ou des méthodes empruntés à l'industrie pour rationaliser tout le processus de production et répondre ainsi à trois objectifs assignés : (i) produire pour dépasser l'autosuffisance et (ii) participer aux bénéfices de l'excédent commercial des pays, (iii) diminuer les coûts de production pour viser la satisfaction d'une consommation de masse et l'approvisionnement d'un système industriel agroalimentaire.

Cette dynamique de modernisation des agricultures a fait émerger un système social organisé et technique dont la cohérence a profité aux acteurs impliqués :

- un ministère spécifique en charge des affaires et des politiques agricoles. La volonté politique adossée à un cadre législatif favorable a permis à un modèle de s'imposer : l'idée d'un modèle de développement unique s'est imposée reposant sur une organisation sectorisée en filières et sur le recours à des techniques « modernes » pour maximiser la production. Dans ce modèle, l'agriculteur n'est considéré que comme un maillon dans une chaîne d'acteurs dont le pilotage s'est éloigné de la production. Les modes de soutien et d'encadrement des systèmes de production ont favorisé les agricultures « industrialisées » et ils ont survalorisé la fonction de production en n'intégrant que timidement d'abord la modulation des aides en fonction des externalités : « *Les lois de 1960 et 1962 avaient durablement installé le paysage institutionnel agricole sur la base de l'apport des agriculteurs à la satisfaction des besoins de consommation du pays. Leur caractère fondateur est tellement fort qu'il fonctionne comme un frein pour imaginer et concevoir de nouvelles perspectives dans un monde qui a profondément changé* » (Flamant, 2010, p. 18) ;

- un appareil de recherche agronomique dynamique (un institut de recherche officiel incarné par l'institut national de la recherche agronomique (INRA) et des organismes privés de recherche) et un système de développement caractérisés par l'adhésion à une conception de l'innovation : des innovations techniques et scientifiques sont synonymes de progrès. L'ensemble a promu des techniques et développé une rhétorique sur ces techniques pour uniformiser les contextes de production dans le but de répondre aux exigences de l'aval. Il s'agit de bien gérer les transferts techniques et innovations scientifiques vers les agriculteurs. Dans cette conception du progrès, la diffusion des savoirs est descendante (*top-down*) : les pesticides sont des « produits » issus des laboratoires et des mises au point au champ d'expérimentation. Les pesticides sont devenus la clé de voûte des systèmes de production intensifs (Meynard et Girardin, 1991 ; Aubertot *et al.*, 2005a), les intrants « pesticides » ont contribué à l'augmentation de la production et de la productivité de la terre. Ils ont permis l'atteinte d'une forme de rationalisation de la production, leur permettant d'inscrire leur recours dans la durée ;

- un système de formation et de professionnalisation sous la tutelle du ministère en charge de l'agriculture qui définit les politiques éducatives pour promouvoir le modèle de développement de l'agriculture retenu : il faut promouvoir les façons de produire fortement inscrites dans les filières « produits » qui ont des exigences en termes de standards de productions, déconnectées d'une dimension territoriale. Les agriculteurs ont été formés aux techniques modernes pour la mise en valeur des milieux reposant sur l'« exploitation minière » de l'eau, des sols, de la biodiversité considérés comme des matières premières. Mais la mobilisation de ces techniques est assujettie à une condition : artificialiser les milieux pour réduire leur complexité dans le but de prévenir des risques et les aléas qui pourraient perturber l'expression des promesses des innovations promues par la recherche agronomique et le développement agricole. Le recours à certains types d'intrants (engrais de synthèse, pesticides, irrigation, variétés élites, ...) est devenu systématique. Les savoirs considérés comme centraux sont issus des « laboratoires ou des champs contrôlés d'expérimentation ». Les apprentissages-clés sont ceux qui permettent de conduire des processus de production à l'échelle de la parcelle artificialisée, et principalement ceux pertinents pour répondre aux exigences des standards de la filière professionnelle. Il est alors question de suivre les recommandations des techniciens en minimisant les risques technico-économiques ;

- une gouvernance du système resserrée à la frange de la profession agricole partageant la vision d'une forme agriculture industrialisée ouverte à l'exportation. Le système a fonctionné aveuglé par les réussites économiques et est resté un temps sourd aux inquiétudes soulevées par le constat de dérives (Poly, 1978), générant des incompréhensions réciproques.

La dépendance au chemin choisi (*path dependency*, David, 1985) a écarté l'émergence des voies et/ou des voix alternatives au projet de la forme d'intensification de l'agriculture retenue.

1.2. Pesticides et enjeux en termes de qualité des environnements et en termes de santé humaine

Nous abordons ce volet par le fait que la vente et les usages des pesticides sont réglementés, sous-entendant que ce ne sont pas des substances anodines. Malgré ce cadre, les inquiétudes émergent liées aux effets des pesticides sur la qualité de l'eau, des sols, de l'air et sur la biodiversité. Des agricultures plus soucieuses de leurs effets poussent les politiques à agir.

Les pesticides sont l'objet d'une réglementation qui encadre les usages

La palette des pesticides recouvre des produits très hétérogènes, ce sont souvent des substances dangereuses. Les produits sont issus dans leur grande majorité de la chimie organique (pesticides de synthèse). Un petit nombre dérivent de la chimie minérale (soufre, cuivre) et d'autres pesticides sont des produits extraits d'êtres vivants (roténone, nicotine). Les pesticides ne sont pas des produits anodins, c'est pourquoi leur mise sur le marché et leur vente sont réglementées. Ils sont employés pour détruire des êtres vivants considérés comme « nuisibles » pour les cultures et les récoltes, et/ou pour les contrôler et/ou les repousser. Ils font partie de notre quotidien, présents dans des produits à usages domestiques, vétérinaires et dans des produits de jardin. Ils sont aussi utilisés dans le cadre de mesures de protection de santé publique comme la destruction des moustiques dans des zones littorales. Mais les pesticides ont aussi des usages professionnels et l'agriculture est de loin la plus grosse utilisatrice de produits pesticides dans le cadre de la protection des cultures avec la lutte chimique (emploi de produits phytosanitaires). La mise sur le marché des pesticides est l'objet d'une réglementation spécifique depuis la fin de la deuxième guerre mondiale (Fourche, 2004), forme parallèle de ce que l'on observe pour la filière des médicaments. L'efficacité des produits et l'innocuité des pesticides sur la santé humaine et pour l'environnement (toxicologie et écotoxicologie) sont testées, conditionnant l'homologation. Mais malgré ces mesures, des affaires et des preuves scientifiques parfois contradictoires et controversées révèlent des effets délétères sur la santé et sur la qualité des milieux. Les pesticides sont invisibles dans les milieux, les être vivants sont exposés *via* leur cadre de vie et l'alimentation, et cela sans le vouloir et souvent sans le savoir, les populations humaines y compris : l'exposition aux pesticides est multifactorielle (Inserm, 2013).

En France, 90 % des tonnages utilisés de pesticides le sont dans l'agriculture, les autres secteurs professionnels sont les espaces verts, les traitements des bois et de désinsectisation, entre autres. Dans l'agriculture, ils sont employés pour éradiquer des ennemis des cultures ou du moins pour maintenir ces populations en dessous de seuils acceptables. La consommation de pesticides (en tonnages) n'a pas cessé d'augmenter après la deuxième guerre mondiale et elle s'est accrue de manière régulière et importante jusqu'à la fin des années 90. Depuis les années 2000, on assiste plutôt à un ralentissement et une stagnation des tonnages. La France est le « 3^e consommateur mondial de pesticides (à plus de 90% pour l'agriculture) et le 1^{er} utilisateur en Europe en volume total (34% des consommations de l'Europe des 15). (...) La France qui utilise plus d'un tiers des produits phytosanitaires vendus en Europe, est le plus gros utilisateur de fongicides, d'herbicides et de produits divers » (Aubertot *et al.*, 2005b, chapitre 2 p. 7)- Les agricultures intensives des pays du Nord et des pays du Sud ayant recours de manière systématique aux pesticides pour contrôler les ennemis des cultures et ceux des denrées stockées ont contribué à la dégradation des milieux (Aubertot *et al.*, 2005b ; Deguine, Ferron et Russel, 2008 ; ADES (BRGM), 2013) et à la contamination des aliments (Inserm, 2013 ; Anses, 2014 ; DGCCRF, 2012).

Des raisons aux inquiétudes

- *La contamination des milieux*

Des résidus de produits de traitement des cultures sont détectés dans tous les compartiments du milieu, les eaux superficielles et de surface, et dans les eaux côtières, l'air, les sols. Les pesticides transitent en particulier dans les sols pour se retrouver dans l'eau. La dégradation de la qualité des sols par la contamination de substances dont les pesticides font partie est une des principales menaces qui pèsent sur les terres. Des mesures de la qualité de l'air montrent la présence de pesticides directement liée à des épandages de produits phytosanitaires avec des pics saisonniers. En outre les réseaux de surveillance révèlent une contamination et une dispersion des pesticides *via* ce compartiment (Anses et Orp, 2010). Les ressources en eau sont particulièrement surveillées pour des raisons de santé publique (adduction d'eau potable) : « *En 2006, des pesticides ont été détectés au moins une fois dans 90 % des points de mesure du réseau de connaissance générale de la qualité des cours d'eau (1097 points) et dans 55 % des points dans le cas des eaux souterraines (1507 points)* » (Gatignol et Etienne, 2010, p. 19). Le nombre de produits détectés augmente et la plupart des conséquences de ces mélanges n'est pas encore connue. Les pesticides s'accumulent dans les compartiments physiques du milieu et persistent parfois pendant de longues années, expliquant la présence de traces de produits aujourd'hui interdits dans des mesures. Ils se concentrent aussi le long des chaînes alimentaires (bioaccumulation). Ils ont des effets affectant la diversité biologique : ils contribueraient à la diminution des populations d'abeilles domestiques et sauvages dans les zones cultivées intensives. Or la diversité biologique offre des garanties de bon fonctionnement des écosystèmes. Voir cette diversité diminuer, ce serait nous priver des « services » qu'elle rend : épuration de l'eau, de l'air, mécanismes de régulation naturelle des populations y compris celles considérées comme des ennemis des cultures (Le Roux, Barbault, Baudry, Burel, Doussan, Garnier, Herzog, Lavorel, Lifran, Roger-Estrade, Sarthou, et Trommetter, 2008).

- *La santé des populations : « sous-évaluation des dangers et des risques présentés par les pesticides² » et première hypothèse de recherche*

L'exposition aux pesticides dans le cadre de vie (eau potable, denrées, air ambiant, produits antiparasitaires) et *via* les résidus de pesticides dans les aliments est soupçonnée d'entraîner des conséquences néfastes sur la santé des populations fragiles. Les produits de traitements agricoles sont particulièrement visés. L'alimentation est le principal facteur d'exposition des populations (professionnels exceptés) (Inserm, 2013). Les incertitudes sont de plus en plus nombreuses car les atteintes se manifestent sur le long terme et souvent à la suite d'expositions répétées à faibles doses et pour un cumul de substances (effet cocktail). En 2008, une étude EFSA révélait que la moitié des échantillons des aliments contenait des résidus de pesticides. Ce sont très souvent des mélanges de substances : « *27% des échantillons en contiennent au moins deux, 9% plus de quatre. Les effets synergiques entre les principes actifs ont été suspectés depuis longtemps, mais il n'y avait pas eu jusqu'à présent de preuves expérimentales chez l'Homme.* Des recherches conduites dans l'unité ToxAlim de l'Inra de Toulouse ont mis au point un test de génotoxicité qui permet de prouver les effets génotoxiques de certaines combinaisons de pesticides (combinaisons couramment rencontrées) (Graillot, Takakura, Le Hegarat, Fessard, Audebert, et Cravedi, 2012). Des fruits, des légumes et dans une moindre mesure des céréales, issus de formes d'agriculture utilisant des pesticides de synthèse contiennent des résidus de pesticides à des seuils détectables et allant jusqu'à rendre ces denrées non conformes avec la réglementation (DGCCRF, 2012).

² Nicole Bonnefoy (2012). RAPPORT D'INFORMATION fait au nom de la mission commune d'information sur les pesticides et leur impact sur la santé et l'environnement , 348 p.

Nombre de pesticides en plus de leur toxicité intrinsèque se révèlent être aussi des perturbateurs endocriniens. Pour certaines substances pesticides, des liens sont avérés entre l'exposition et la survenue de pathologie : effets cancérigènes, mutagènes et/ou reprotoxiques (CMR) des pesticides organochlorés (DDT et chlordécone (affaire aux Antilles), lindane), les dérivés d'arsénite et pathologies hépatiques et hématologiques sévères. Certains effets délétères sont avérés par des preuves scientifiques chez les professionnels de l'agriculture et leur famille. S'agirait-il d'un problème émergent de santé publique comme le souligne la mission commune « d'information sur les pesticides et leur impact sur la santé »³. Le 23 octobre 2012, dans le cadre des travaux du Sénat, cette mission a remis ses conclusions (Bonnefoy, 2012). Les auteurs insistent sur le fait que « *les dangers et les risques des pesticides pour la santé sont sous-évalués* » (*ibid.*, p.11). Toujours selon le rapport, « *le suivi de ces produits après leur mise sur le marché n'apparaît qu'imparfaitement assuré au regard de leurs impacts sanitaires réels* » (p. 12) et regrettent « *l'absence de protection contre les pesticides à la hauteur des dangers, au stade de la conception, de la fabrication, de la commercialisation ou de l'utilisation de ces pesticides* » (p. 286). Plus grave, certains pesticides sont reconnus perturbateurs endocriniens⁴. Les spécificités de ces substances remettent en cause le paradigme sur lequel se fonde la toxicologie classique « *la dose fait le poison* ». Or c'est sur celui-ci que se reposent les tests officiels pour l'homologation des pesticides avec en particulier la définition d'une dose journalière d'exposition, la DJA⁵. Même les faibles doses sont responsables d'effets délétères et les tests actuels ne permettent pas de rendre compte de leurs effets hormonaux (Kortenkamp *et al.*, 2011⁶).

L'expertise scientifique conduite par l'Inserm (Inserm, 2013) conclut à la nécessité d'accroître et d'approfondir les travaux sur les pesticides employés aujourd'hui. Les présomptions sont fortes et nombreuses sur l'implication des pesticides dans un certain nombre de pathologies lourdes comme les maladies neuro-dégénératives, cancers (dont celui de la prostate), lymphomes non Hodgkiniens, myélome multiple (Inserm, 2013) et les troubles de la reproduction suite à des expositions professionnelles. Le lien entre exposition professionnelle aux pesticides et certaines formes de maladie dont des cancers spécifiques est même avéré : lien entre arsénite de sodium et cancer, entre la maladie de Parkinson et exposition aux pesticides, lien entre composés organochlorés [DDT], composés organophosphorés ou atrazine et lymphomes, présomption entre exposition au DDT et le risque d'Alzheimer (INSERM, 2013). La MSA a entrepris une étude épidémiologique à partir de recensements volontaires afin de caractériser les effets de l'exposition avérée aux pesticides sur la santé : le réseau « Phyt attitude » est en place depuis 1991 et des bilans réguliers sur la base de « *Signalez-nous vos symptômes* » sont édités. Les experts du réseau estiment qu'il y a encore une très large sous-estimation des déclarations tant les expositions répétées aux produits sont devenues ordinaires dans leurs pratiques quotidiennes (CCMSA, 2010). A cela deux raisons sont évoquées : (i) « *la santé a rarement été une priorité pour l'agriculteur, et ça*

³ Le rapport est disponible et téléchargeable à l'adresse :

<http://www.senat.fr/commission/missions/pesticides/index.html>

⁴ Des exemples de molécules pesticides dans cette catégorie : DDT et chlordécone (insecticide), linuron (herbicide).

⁵ DJA : Dose Journalière Admissible. Nous revenons en détail sur ce point dans le chapitre 1.

⁶ Kortenkamp, A., Martin, O., Faust, M., Evans, R., McKinlay, R., Orton, F. et Rosivatz, E. (2012). State of the Art Assessment of Endocrine Disrupters. Final Report. Consultable en ligne http://ec.europa.eu/environment/endocrine/documents/4_SOTA%20EDC%20Final%20Report%20V3%206%20Feb%2012.pdf consulté en juillet 2014. Les auteurs sont critiqués par Lorenz R. Rhomberg, Julie E. Goodman, Warren G. Foster, Christopher J. Borgert et Glen Van Der Kraak (2012) dans « State of the Art Assessment of Endocrine Disrupters, Critical Reviews » in *Toxicology*, 42:6, pp. 465-473 Consultable en ligne <http://dx.doi.org/10.3109/10408444.2012.690367>

ne l'est toujours pas⁷ » (*ibid.*, p. 17) et (ii) « (...) pour l'instant ce n'est pas un problème de santé publique »⁸ (*ibid.*, p. 23). La MSA ne reconnaît aujourd'hui qu'une forme de cancer liée à l'usage de l'arsénite de sodium. Les agriculteurs rencontrent de réelles difficultés à faire reconnaître comme maladies professionnelles, une pathologie lourde en lien avec les pesticides, «*conduisant bien souvent le malade à un véritable parcours du combattant* » (Bonnefoy, 2012, p. 93). Des experts soulignent «*la persistance d'un tabou relatif aux dangers des pesticides* » (Bonnefoy, 2012, p. 104), comme une sorte d'omerta⁹ auprès de la majorité des professionnels. Une avancée est à signaler avec le décret n° 2015-636 du 5 juin 2015 révisant et complétant les tableaux des maladies professionnelles annexés au livre VII du code rural et de la pêche maritime. Le texte de loi dresse une liste (tableau n° 59) des maladies professionnelles relatives aux hémopathies malignes provoquées par les pesticides, permettant la prise en charge du lymphome malin non hodgkinien au titre des maladies professionnelles. Il indique explicitement des produits¹⁰ fortement impliqués dans la survenue de ces lymphomes (composés organochlorés, composés organo-phosphorés ou atrazine). Le secteur de la viticulture est particulièrement touché. Des viticulteurs utilisateurs de pesticides présentent des atteintes graves et, plus inquiétant, des effets imputables aux pesticides chez leurs enfants fortement exposés dans leur milieu de vie ont été montrés (Sultan, 2002 ; Kalfa *et al.*, 2015¹¹) : un enfant d'agriculteur a 4 fois plus de risque d'avoir une malformation génitale.

Mais de plus en plus d'affaires sont médiatisées, confrontant les agriculteurs à leurs riverains et des victimes professionnelles agricoles ou leur famille intentent des procès à des firmes ou portent plainte. Les exemples médiatisés sont de plus en plus nombreux. Dans la Manche en 2011 un arboriculteur est condamné à verser une amende à un apiculteur qui a porté plainte. Cette affaire fait l'effet d'un électrochoc. Les faits reconnus sont retenus : c'est l'épandage d'un insecticide qui a causé la mort des abeilles (les faits remontent à 2007)¹². En 2010 dans le Limousin, un collectif de riverains soutenu par une association écologiste de protection de l'environnement porte plainte contre des arboriculteurs accusés ne pas respecter les conditions d'utilisations des produits de traitements : les épandages des produits ont été réalisés avec des forces de vent de 33 à 36 km/h¹³ alors que les préconisations précisent de ne pas employer ces produits à partir de 19 km/h. Les plaignants affirment ne pas se mobiliser «*contre des personnes mais contre des pratiques*¹⁴ ». Le représentant du ministère public a «*demandé une condamnation qui (ait) du sens* » pour «*se prémunir pour l'avenir* »¹⁵ ». Les

⁷ Christelle Halipré, chimiste de formation et conseillère en prévention à la MSA

⁸ François Dedieu, sociologue de l'INRA

⁹ Un agriculteur français, victime d'intoxications suite à des inhalations d'un herbicide du maïs, a gagné le procès intenté à la firme Monsanto en 2015 : la firme internationale a été reconnue responsable de son intoxication. Les effets du pesticide incrimé sur sa santé ont été officiellement reconnus.

¹⁰ En plus des substances indiquées, la liste comprend également le carbaryl et le toxaphène.

¹¹ Kalfa, N., Paris, F., Philibert, P., Orsini, M., Broussous, S., Fauconnet-Servant, N., Audran, F., Gaspari, L., Lehors, H., Haddad, M., Guys, J.-M., Reynaud, R., Alessandrini, P., Merrot, T., Wagner, K., Kurzenne, J.-Y., Bastiani, F., Bréaud, J., Valla, J.-S., Morisson Lacombe, G., Dobremez, E., Zahhaf, A., Daures J.-P. et Charles Sultan, C. (2015). Is Hypospadias associated with prenatal exposure to endocrine disruptors? A french collaborative controlled study of a cohort of 300 consecutive children Without Genetic Defect. *European Urology* sous presse <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0302283815004091>

¹² Pour en savoir plus <http://www.lafranceagricole.fr/actualite-agricole/phytos-un-arboriculteur-condamne-pour-mauvaise-utilisation-d-un-insecticide-50859.html>

¹³ La mesure repose sur la base de relevés de la station météorologique la plus proche. Les plaignants avancent quant-eux 75km/h. En savoir plus sur <http://www.lafranceagricole.fr/actualite-agricole/phytos-epandage-par-vent-trop-fort-amendes-requises-contre-des-arboriculteurs-37332.html>

¹⁴ Pour en savoir plus sur <http://www.20minutes.fr/planete/651090-20110111-planete-un-proces-electrochoc-contre-pesticides>

¹⁵ Pour en savoir plus sur <http://www.lafranceagricole.fr/actualite-agricole/phytos-epandage-par-vent-trop-fort-amendes-requises-contre-des-arboriculteurs-37332.html#tgdjCoB5C7K7Rbrk.99>

agriculteurs ont été condamnés à verser une amende en 2011. Dans le département de la Côte d'Or en 2013, un viticulteur en agriculture biologique refuse de traiter son vignoble avec un insecticide de synthèse¹⁶ pour se prémunir des attaques de la cicadelle de la flavescence dorée¹⁷. Assigné en justice en 2013, il est condamné¹⁸. Avec le soutien de nombreux anonymes, il fait appel et obtient la relaxe sur la base de preuves fondées sur l'absence de risques sur son exploitation¹⁹. En 2015, la famille d'un vigneron bordelais décédé en 2012 d'une maladie professionnelle imputable à l'emploi répété d'arsénite de sodium porte plainte « *contre X pour homicide involontaire (...), devant le Pôle de santé publique au TGI de Paris*²⁰ ». Des agriculteurs se mobilisent soutenus par des associations écologistes de protection de l'environnement. En 2011, un collectif de « Phyto victimes » s'est même organisé afin de dénoncer les effets des pesticides sur la santé (Salaris, 2014). L'argument santé des utilisateurs pourrait être un facteur décisif chez les agriculteurs les conduisant à renoncer aux recours des pesticides de synthèse pour protéger leurs cultures.

La formation en termes d'éducation à la santé et d'éducation aux risques a un rôle à jouer dans la dynamique de changement à enclencher. Cet aspect nous amène à poser une première hypothèse (**hypothèse 1**) : selon nous, l'argument santé humaine pourrait être un facteur décisif dans l'engagement à renoncer à l'usage systématique des pesticides en particulier chez les futurs agriculteurs en formation. Cependant, selon la MSA (2010), « *la formation agricole n'insiste pas assez sur la prévention, l'éducation à l'hygiène en général est insuffisante, et le risque de façon générale n'est pas intégré dans l'apprentissage* » (CCMSA²¹, 2010, p. 9).

Une contamination généralisée des différents compartiments du milieu et des denrées alimentaires par les pesticides agricoles est observée. Les effets cumulés des pesticides et leur évolution à long terme sont difficiles à évaluer (Aubertot *et al.*, 2005a). Les controverses sont nombreuses et divisent les scientifiques, les professionnels et les citoyens.

L'agriculture est donc perçue à l'aube d'une transition

Le maintien d'un bon niveau de production agricole est un objectif récurrent des différentes politiques agricoles françaises qui se sont succédées, garantissant un rôle stratégique dans les négociations internationales pour les organisations de marchés : la France est le premier producteur agricole européen (Ministère de l'Agriculture, 2012). Les politiques agricoles ont fait la promotion d'une agriculture intensive, dont la modernisation a reposé sur l'usage des pesticides : en 20 ans les rendements ont été multipliés en France par 3 depuis la fin des années 40 et une part de l'accroissement est imputable à l'usage des pesticides pour protéger les cultures (Aubertot *et al.*, 2005a ; Bairoch, 1989). Aujourd'hui, la force de l'agriculture française ne réside pas qu'à l'international et son dynamisme se mesure et est exigé également

¹⁶ L'emploi de pesticides de synthèse est interdit par le cahier des charges de l'agriculture biologique.

¹⁷ La cicadelle de la flavescence dorée est un insecte piqueur volant. L'insecte est l'hôte et le vecteur d'une maladie de la vigne contagieuse (la flavescence dorée) contre laquelle il n'y a pas de remède une fois la maladie installée. Il faut alors détruire le vignoble et brûler les ceps. Cette pathologie fait l'objet d'une surveillance obligatoire et des arrêtés préfectoraux imposent les mesures de traitements préventifs selon les risques.

¹⁸ En savoir plus sur http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/12/04/le-viticulteur-bio-qui-ne-voulait-pas-traiter-ses-vignes-rejuge-en-appel_4533735_3244.html

¹⁹ Ces preuves reposent sur des relevés de recensement des foyers conduits par la DRAAF (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt).

²⁰ TGI : Tribunal de Grande Instance. Le produit incriminé est reconnu dangereux depuis 1955 et il a pourtant continué à être commercialisé. En savoir plus sur <http://www.sudouest.fr/2015/04/23/pesticides-la-famille-murat-porte-plainte-contre-x-pour-homicide-involontaire-1901602-2966.php> et http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/07/07/pesticides-le-parquet-ouvre-une-enquete-preliminaire-pour-homicide-involontaire_4674358_3244.html

²¹ Marcotullio est toxicologue, clinicienne et médecin du travail

en termes de performances sur les plans environnementaux, agronomiques et socio économiques.

L'agriculture des sociétés occidentales est aujourd'hui perçue comme à l'aube d'une transition qui rassemble sur un point au moins les différentes parties prenantes des mondes professionnels, de la société civile et des mondes scientifiques : il est nécessaire de repenser la contribution de l'agriculture au développement durable²² et d'en redessiner concrètement les formes et les modalités. Il y a urgence. Aujourd'hui, la satisfaction des besoins alimentaires est devenue une préoccupation des français reléguée au second plan. Les citoyens interrogent davantage des répercussions des usages des pesticides de synthèse dans l'agriculture. Les publics réclament des pratiques agricoles plus douces, ne détériorant pas la qualité des ressources, préservant la biodiversité et n'affectant pas la qualité des aliments. Les demandes d'actions en faveur de la limitation des emplois des pesticides dans l'agriculture n'émanent plus seulement de mouvements militants écologistes. La pression nationale, relayée par les médias, et les incitations et/ou les prescriptions récurrentes de l'Europe visent la mise en place rapide de systèmes produisant des aliments de qualité limitant les atteintes des milieux. La sécurisation des usages est une réelle préoccupation. Les citoyens réclament ainsi de cibler des dépenses publiques nationales et les allocations des fonds européens en faveur d'agricultures plus soutenables. La réduction de l'usage des pesticides dans l'agriculture est devenue une question politique dont s'est saisi le gouvernement français avec le plan Ecophyto 2018²³ en 2008 face à la montée des mécontentements et aux coûts générés par une agriculture trop consommatrice de pesticides. Un peu en avance sur l'agenda réglementaire européen, le plan Ecophyto traduit les exigences de la directive cadre sur l'usage durable des pesticides²⁴ (2009). Outre sa mesure-phare déjà évoquée plus haut (réduire de 50% l'usage des pesticides de synthèse), le plan impose le retrait des molécules les plus dangereuses pour diminuer à la fois l'exposition des populations et la dépendance des systèmes de production aux pesticides de synthèse.

²² Nous abordons la notion de développement durable et d'agricultures durables dans le chapitre 2. En 1980, pour la première fois la notion de développement soutenable « *sustainable development* » apparaît dans le rapport sur « *La stratégie mondiale pour la conservation* » de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (Granier et Veyret, 2006 ; *Encyclopædia Universalis*, 2014). Gro Harlem Brundtland en 1987 reprend le terme dans le rapport commandé par les Nations Unies pour préparer la conférence du Sommet de la Terre à Rio en 1992. « Rio » va mondialiser ce concept reposant sur le triptyque « développement économiquement viable, écologiquement durable, socialement équitable ». La notion de développement durable est largement utilisée, ses contours ne sont toujours pas bien définis. Ainsi le consensus se fonde sur des bases floues de la nécessaire prise en compte des 3 piliers économique, environnemental et social sans en avoir défini les contenus avec précision. C'est d'abord en termes d'agriculture durable, notion très « autocentrée », que la durabilité des systèmes agricoles s'est construite et par opposition à un modèle d'agriculture intensive lui-même polymorphe mais associé à une forte dépendance aux intrants chimiques extérieurs à la ferme (Feret et Douguet, 2001). Ce n'est que dans un deuxième temps qu'a été pensée la durabilité en termes de contribution au développement durable de l'agriculture. Bawden (1997) a conceptualisé de façon synthétique la diversité de vision du monde dans le développement durable. Hubert en s'inspirant de ses travaux positionne différentes approches paradigmatiques qui les portent (positivisme *versus* constructivisme et approche holistique *versus* approche réductionniste).

²³ Nous consacrons un paragraphe complet au plan Ecophyto dans le chapitre 1.

²⁴ Cette directive impose une révision de la procédure d'homologation et d'évaluation afin de mieux tenir compte de la dangerosité des molécules et des risques des effets en particulier les effets des cocktails de produits et fait la promotion des alternatives aux pesticides. Le chapitre 1 aborde ce point avec plus de détails ci-après.

1.3. Pesticides et enjeux agronomiques : produire suffisamment et mieux avec moins de pesticides

Nous reviendrons plus tard sur les différentes acceptions de l'agronomie²⁵. Nous proposons ici une définition qui permet de comprendre la suite de notre propos. L'agronomie est un champ scientifique et technologique qui s'intéresse aux problèmes que pose la pratique de l'agriculture. Depuis la naissance de la discipline à la fin du XVIII^{ème} siècle, l'agronomie a œuvré à l'amélioration de la production végétale et la production animale. C'est avec un ancrage positiviste des sciences (Perret, 2005) et une vision technocentrée de l'agriculture (Hubert, 2002a) qu'elle s'est construite : les problèmes posés ont une solution que les progrès des techniques pourront résoudre. Parmi les solutions figurent le recours systématique aux pesticides de synthèse comme nous l'avons souligné plus haut, aussi bien dans les agricultures des pays du Nord comme dans celles du Sud avec la révolution verte. Aujourd'hui encore l'agronomie est interpellée par les questions liées aux défis que l'agriculture doit affronter : satisfaire les besoins alimentaires d'une population mondiale qui s'accroît car à l'horizon de 2050, 9 milliards d'hommes sont attendus (MEA, 2005). Griffon (2006) parle de *révolution doublement verte* pour souligner le changement de cap dans les façons de faire en agriculture. Il s'agit de concilier plusieurs types de performances : un bon niveau de rendement, la performance énergétique, la performance économique, la performance environnementale, la performance sociale conduisant à un changement de paradigme : produire autant voire plus, autrement et mieux. Les sciences agronomiques doivent aborder la question de la contribution de l'agriculture au développement durable. Pour les uns, ce sont les systèmes performants qui font un usage raisonné des pesticides qui permettront de nourrir le monde (UIPP et firmes de l'agro-industrie), pour d'autres ce sont des systèmes agro-écologiques, économes en pesticides de synthèse par essence qui permettront d'assurer la souveraineté alimentaire des populations (de Schutter, 2011). Le gouvernement français a choisi une voie en proposant un projet agro-écologique pour transformer son agriculture (2012). Il a réaffirmé son engagement dans la réduction des usages des pesticides en définissant comme prioritaire le plan Ecophyto. Même si nous abordons plus en détail la polysémie de l'agro-écologie dans le chapitre 2, nous traçons ici les contours de ses trois acceptions (Wezel, Bellon, Doré, Vallod, et David, 2009). Elle peut prendre la forme d'un mouvement social qui combine des dimensions techniques, éthiques et politiques. C'est également un ensemble de pratiques qui recouvre une très grande variété de pratiques plus ou moins complexes. Cette agro-écologie pratique se fonde sur des savoirs locaux en lien avec la mobilisation des processus naturels propres aux écosystèmes et sur l'utilisation douce des ressources en respectant leur capacité de renouvellement. Dans sa dimension scientifique, c'est « *un ensemble de méthodes et de pratiques socle d'une révision des liens entre agriculture et écosystèmes dont le but est de garantir la préservation des ressources naturelles* » (Altieri, 1989 in Stassart et al., 2012). C'est aussi « (...) *l'application de l'écologie à l'étude, la conception et la gestion des systèmes agroalimentaires* ». Elle est par définition une pratique interdisciplinaire « *qui implique une redéfinition des frontières scientifiques et sociales, ce qui constitue un défi intellectuel majeur pour la recherche en agronomie* » (Buttel, 2003, in Stassart et al., *ibid.*). La transition agro-écologique promue par le Ministère en charge de l'agriculture réinterroge l'agronomie tant sur ses objets d'étude, ses concepts et ses démarches de recherche. Dans ce qui semble se dessiner aujourd'hui en France, l'agro-écologie se présente comme un cadre d'analyse de la complexité des systèmes technico-socio-écologiques et de leurs adaptations aux incertitudes. Dans ce contexte, même si les sciences agronomiques ont un rôle à jouer, elles n'ont plus le privilège de l'innovation et elles ne suffisent pas pour envisager cette

²⁵ Se reporter pour cela chapitre 2.

transition : l'écologie, les sciences humaines et sociales sont indispensables. Ce sont de nouvelles approches dans la conception des systèmes économes qui accordent cette fois une place centrale (i) à la biodiversité et (ii) aux savoirs locaux pour faire fonctionner les systèmes cultivés. Les processus naturels de régulation biologique doivent remplacer les pesticides pour contrôler les ennemis des cultures et les connaissances des contextes permettent des ajustements permanents et rapides. Réduire de 50% l'usage des pesticides suppose une rupture forte dans les raisonnements pour gérer la protection des cultures : diminuer de 50% l'usage des pesticides ne va pas de soi. Cette perspective remet en cause des fondements des raisonnements de l'intensification à la fois sur le plan des échelles, des pas de temps et des références à considérer. Le plan Ecophyto offre des moyens pour aller explorer les pistes à partir de deux axes. L'axe 3 a pour objectif d'« *innover dans la conception et la mise au point des itinéraires techniques et des systèmes de cultures économes en produits phytopharmaceutiques* ». La recherche agronomique et les acteurs du développement agricole sont en première ligne. L'axe 2, quant-à, lui vise à « *recenser et généraliser les systèmes agricoles et les moyens connus permettant de réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques en mobilisant l'ensemble des partenaires de la recherche, du développement et du transfert* ». Aux côtés de chercheurs et des agents du développement, les agriculteurs sont impliqués en vraie grandeur au sein d'un réseau de fermes de démonstrations de démarches agronomiques alternatives aux pesticides (le réseau Dephy²⁶). Ainsi de nouveaux savoirs co-construits par la recherche, le développement et le terrain (connaissances des agriculteurs) émergent proposant des solutions alternatives dans différents contextes. Une forme renouvelée de production et de circulation des savoirs apparaît nécessaire. Il faut considérer une pluralité des savoirs- les agriculteurs sont eux-aussi à l'origine de la production de savoirs de référence valides (Goulet, Pervanchon, Conneau, et Cerf, 2008) - et de différents points de vue. Il devient nécessaire d'« (...) *inventer une grande diversité de solutions afin qu'elles soient adaptées aux situations locales. Dans ces conditions, l'apport des connaissances autochtones sera décisif. La recherche doit donc elle aussi entreprendre une révolution : mieux se nourrir des connaissances locales, travailler de concert avec les producteurs, et apprendre à hybrider les savoirs et les méthodes de l'expérience paysanne et les pratiques scientifiques* » (Griffon, 2006, p. 7). La collaboration au sein de réseaux pour instruire les questions posées et proposer des solutions valides dans des contextes situés devient une démarche incontournable.

Concevoir des systèmes économes en pesticides impose un renouvellement des raisonnements pour envisager la protection des cultures (Aubertot *et al.*, 2005a et 2005b) au cœur desquels il est souligné « *le rôle primordial des connaissances agronomiques dans la mise en œuvre des pratiques plus économes en pesticides* » (Aubertot *et al.*, 2005a, p. 55) sans que pour autant elles soient suffisantes. Des voies possibles existent et il est nécessaire de les capitaliser et d'autres sont à explorer. Toutefois, les parties prenantes ne sont pas toujours d'accord sur les options à retenir. Pour envisager le changement, il devient nécessaire d'explorer les résistances des parties prenantes au-delà des dimensions épistémiques : ce n'est pas seulement parce qu'ils ne connaissent pas les techniques alternatives aux pesticides que le changement est difficile. Il convient de considérer en quoi la perception des risques et les valeurs des parties prenantes pèsent dans les choix. Quelles peuvent être alors les formes de contributions des sciences agronomiques à la mise au point de systèmes économes en pesticides ? Ce sont des défis lancés à l'agronomie.

²⁶ Nous reprenons de manière plus précise le réseau de fermes Dephy qui correspond à l'action 14 du plan Ecophyto dans le chapitre 2.

1.4. Pesticides et enjeux socioprofessionnels en termes de formation : des questions et des hypothèses de recherche

L'enseignement agricole a un rôle décisif à jouer dans l'accompagnement des changements de pratiques des futurs agriculteurs²⁷. Des aspects disciplinaires sont à considérer pour apprendre à produire avec moins de pesticides mais le panorama que nous avons dressé en amont souligne également l'importance des controverses qui replacent toujours la question des usages des pesticides dans de vifs débats. Nous retenons un ancrage de recherche dans la didactique des questions socialement vives en raison des caractéristiques des problématiques d'enseignement liées à la réduction de l'usage des pesticides et des perspectives d'exploration offertes par ce champ de recherche.

L'enseignement agricole technique et la discipline d'enseignement agronomie ont un rôle à jouer pour contribuer au changement

Le plan Ecophyto et le projet agro-écologique enjoignent la recherche, le développement agricole et la profession à accompagner la transition par la formation des acteurs du monde agricole afin de « *faire de la transmission des connaissances le pilier de la transition écologique* » (Dossier de presse ministère agriculture, 2014²⁸). Le changement de paradigme dans les stratégies de protection des cultures (Aubertot *et al.*, 2005a) amène à concevoir des systèmes moins sensibles aux bioagresseurs et par conséquent plus résilients²⁹, mais aussi à « (...) *donner une large place à l'agroécologie, (...) et reconnaître les limites de solutions techniques et chimiques universelles, dominantes en agriculture intensive,* » (Simonneaux et Cancian, 2013, p. 118). Dans cette configuration de changement de paradigme, les agriculteurs doivent construire des solutions qui mobilisent des connaissances et des compétences nouvelles à contrecourant de ce qui était la norme professionnelle pour les systèmes intensifs majoritairement représentés sur le territoire national. Les hauts rendements ont été associés à l'emploi des pesticides et à la garantie de revenus élevés. La parcelle cultivée et la campagne culturale ont été définies comme les échelles spatiale et temporelle pour évaluer la performance sur les plans technique et économique. Or les changements à opérer dans les systèmes de production appellent à reconfigurer ces pratiques socioprofessionnelles. Une grande majorité des agriculteurs ne sont pas prêts (Aubertot *et al.*, 2005b) à envisager des stratégies plus complexes de protection des cultures pluri-annuelles qui combinent plusieurs leviers³⁰ agronomiques satisfaisant une gamme d'objectifs qui ne se limitent pas à l'obtention de bonnes performances économiques et agronomiques : le changement « (...) *suppose une combinaison de méthodes (...) qui requiert une transformation des pratiques importante et difficile* » (*ibid.*, chapitre 4 p. 103). Les professionnels sont déstabilisés car ils doivent s'appuyer sur des savoirs de plusieurs natures, dont certains ne sont pas stabilisés et parfois controversés. Une forme d'agriculture alternative ne peut plus devenir la référence ou la norme, l'approche est plus complexe : « *Nous devons admettre que les priorités ne sont pas les mêmes pour tous, qu'elles ne sont pas les mêmes partout, et travailler à aider chacun à trouver sa propre solution* », (Meynard, 2012b, p. 144). La formation initiale et des dispositifs d'accompagnement des agriculteurs en activité apparaissent des leviers du changement : « *La transition vers de nouveaux systèmes de*

²⁷ 60 % des exploitants agricoles ont obtenu un diplôme agricole (Agreste, 2012).

²⁸ Consultable sur le site du ministère de l'agriculture, dossier de presse ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt http://agriculture.gouv.fr/http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/140404_DP_JPO_Lycees_ECOPHYTO_cle8bc639-1.pdf

²⁹ Nous revenons dans le chapitre 2 sur la polysémie de la notion de résilience et nous explicitons ce qu'elle recouvre dans le cadre de la conception de systèmes économes en pesticides.

³⁰ Les leviers correspondent aux moyens utilisés pour gérer les populations de bioagresseurs comme la rotation des cultures, les travaux de sols. Les pesticides sont éventuellement mobilisés en dernier recours.

production plus durables repose sur une modification majeure des cadres de pensée et des modes d'acquisition des savoirs et des pratiques. Pour cette raison, l'enseignement agricole doit assumer un rôle majeur pour adapter et anticiper l'évolution des connaissances et des modes de raisonnement » (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt - DGER³¹, 2014, p. 3). Les acteurs impliqués devront apprendre à raisonner autrement : co-construire localement des solutions et discuter de leur validité dans ce contexte situé. La viabilité économique des solutions doit particulièrement être considérée pour que la transition soit soutenable. La refonte des systèmes de production ou le remplacement de la lutte chimique par d'autres moyens génèrent des coûts très variables selon les systèmes de production : « (...) ils représentent 10% des charges opérationnelles sur vigne et près de 50% sur grande culture » (Aubertot *et al.*, 2005b, chapitre 2 p. 56). Ainsi les agriculteurs doivent mobiliser l'approche systémique pour cerner la globalité des problèmes liés à la perspective de réduire leur dépendance aux pesticides tout en combinant plusieurs aspects car ils sont contraints de concilier plusieurs exigences parfois contradictoires selon les échelles.

« *En route mais laquelle ?* », Hubert, Coudel, Coomes, Soulard, Faure et Devautour (2012, p. 215) posent trivialement la question au cœur des enjeux de ce qui doit se jouer aujourd'hui pour demain. Malgré le cadre fixé par le gouvernement, la confusion demeure car il n'y a ni consensus sur la voie, ni sur la hauteur des objectifs, ni sur le délai au sein de la profession : il est difficile de concilier les enjeux pluriels qui sont porteurs de contradictions. Le plan Ecophyto invite directement l'enseignement agricole supérieur et technique à s'impliquer dans la réduction de la dépendance et la sécurisation des emplois des pesticides avec l'axe 4 et l'axe 2. L'axe 4 « *Former à la réduction et à la sécurisation de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques* » impacte explicitement la formation.

Pour l'enseignement technique agricole, le ministère en charge de l'agriculture *via* sa DGER a modifié les prescriptions pour prendre en compte les changements en termes de réduction des usages de pesticides et de sécurisation de leurs emplois. La rénovation de deux référentiels de diplômes nous intéresse particulièrement : le baccalauréat professionnel « Conduite et Gestion de l'exploitation agricole » (Bac pro CGEA) et le Brevet de Technicien Supérieur « Agronomie, Productions Végétales » (BTS APV). Ces deux diplômes permettent de former les futurs agriculteurs. L'axe 2, déjà évoqué plus haut avec le réseau de fermes « Dephy », mobilise également les fermes des établissements de l'enseignement agricole dans des actions de démonstrations et d'expérimentations³². Contribuant à satisfaire les objectifs de conception et de promotion des systèmes alternatifs aux pesticides, les exploitations agricoles des lycées agricoles doivent également devenir des supports concrets pour enseigner et apprendre à produire autrement avec moins de pesticides dans une perspective de durabilité.

Il y a donc un enjeu fort à amener les élèves/étudiants à construire une opinion éclairée (Simonneaux, 2010) sur l'usage des pesticides, sur les risques et les bénéfices de la lutte chimique et sur les alternatives pour prendre part aux débats visant les choix de société et en particulier ceux liés aux agricultures. Au cœur de ces visées éducatives se posent des questions d'éducation aux choix et aux risques pour amener chacun à être critique sur les modes production. : Doré (2013) considère « *qu'il faut placer les élèves/étudiants dans des situations de doute, y compris vis-à-vis de ce que disent des agriculteurs d'autres territoires, en les faisant construire des systèmes de culture ou réfléchir sur la validité des savoirs scientifiques* » (in Simonneaux et Cancian, 2013, p. 117-118). Plus précisément pour les

³¹ La DGER (Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche) « exerce les compétences du ministère relatives à la formation initiale et continue, à la recherche, à la politique d'innovation et au développement » (chlorofil, 2015 à partir de <http://www.chlorofil.fr/systeme-educatif-agricole/organisation-orientations-et-evolution-de-lea/acteurs-de-lea/dger.html>).

³² Comme pour le réseau Dephy (action 14), nous revenons sur la contribution des fermes des établissements de l'enseignement agricole technique dans le chapitre 1 et dans le chapitre 4.

filères du champ professionnel de la production, les futurs agriculteurs doivent devenir des « *paysans-chercheurs* » (Doré, 2013). Cette perspective soulève des questions liées au renouvellement des raisonnements pour gérer concrètement la protection des cultures, et impacte les méthodes d'enseignement et des contenus de la discipline scolaire emblématique « agronomie ». L'agronomie repérée dans les référentiels de formation de l'enseignement agricole technique³³ sous le vocable « sciences et techniques agronomiques » est centrale dans les filières professionnelles et technologiques du champ « productions végétales ». La discipline recouvre un corpus de concepts, de méthodes, de références et de « pratiques dites agronomiques » qui permettent de comprendre, et d'agir sur des processus de production végétale et/ou animale (piloter, conduire et évaluer) en vue d'obtenir des productions. Dans les programmes d'enseignement en productions végétales, la gestion de la protection des cultures est un thème important à considérer : la lutte chimique comme les moyens alternatifs sont des aspects abordés pour appréhender les systèmes économes en pesticides. Un travail de recensement et de caractérisation des approches pédagogiques dans l'enseignement supérieur agricole portant sur les méthodes de conception et d'évaluation des systèmes de cultures innovants (dont certains visaient l'économie de pesticides) a été initié (Willaume, Auricoste et Nesme, 2008). L'enquête a révélé un fort ancrage dans les sciences biotechniques (dont l'agronomie), une diversité des objectifs de formation pour l'évaluation et la conception de systèmes de cultures innovants et une diversité des niveaux d'approches. Les auteurs soulignent également une certaine uniformité dans les échelles retenues pour conduire les travaux avec les étudiants : la parcelle cultivée. Il n'y a pas de recherche équivalente au niveau du secondaire. En France et dans le monde, la didactique s'est peu intéressée aux questions d'enseignement en lien avec les disciplines professionnelles de l'agriculture³⁴ et nous interrogeons « le bon usage » de la discipline « agronomie » dans les filières d'enseignement agricole, en particulier dans les filières professionnelles. Les enseignants en agronomie en formation initiale³⁵ à l'École Nationale de Formation Agronomique³⁶ (ENFA) à Toulouse nous font part de leurs difficultés à aborder la protection des cultures en phase avec des objectifs de réduction de la dépendance aux pesticides³⁷. Pour les enseignants se posent des questions en termes des références d'appui et de choix de scénarios didactiques et pédagogiques pour concevoir des situations d'enseignement-apprentissages amenant à limiter le recours aux pesticides, de posture à adopter face à leurs élèves, aux parents de ceux-ci et aux professionnels du territoire plus ou moins enclins à remettre en question les pesticides. Ils évoquent également des difficultés chez leurs élèves/étudiants : ce sont des repères familiaux et socioprofessionnels qui peuvent être ébranlés entraînant des difficultés à se positionner en tant qu'apprenant : « Est-ce que je me reconnais dans ces façons de concevoir l'agriculture ? Est-ce tenable ? ». Les enseignants soulignent une méfiance de leurs apprenants face aux arguments en faveur de l'écologie et récemment ce sont également ceux en lien avec l'agro-écologie. Quels sont les savoirs de référence pour construire des enseignements qui visent la

³³ Les filières concernées vont de la 4^e technologique en passage par les baccalauréats professionnels et technologiques jusqu'aux BTS.

³⁴ Des travaux pionniers ont été conduits en didactique des sciences, centrés sur un objet agronomique par Prévost (1997) : *Le concept de régulation biologique et la formation professionnelle des agriculteurs, études didactiques*. Thèse de doctorat.

³⁵ Le ministère en charge de l'agriculture dispose de son propre dispositif de formation des enseignants qu'il recrute. Au concours, des disciplines techniques sont spécifiques à ce système d'éducation comme les sciences et techniques agronomiques (STA), productions végétales, spécialité qui nous intéresse en premier lieu. Les enseignants entrent en formation initiale par la voie externe, interne ou réservée.

³⁶ Parmi les différentes missions assurées par l'ENFA, la formation initiale des enseignants est une mission nationale, régaliennne, au cœur des activités de l'école.

³⁷ Ce constat se fonde sur notre expérience de formatrice en agronomie, productions végétales depuis plus de 15 ans à l'ENFA.

conception et pilotage des systèmes économes en pesticides ? Comment accompagner les élèves dans ces apprentissages ?

Ces considérations appellent ainsi de nouvelles formes d'enseignement-apprentissage dans lesquelles les futurs agriculteurs doivent être confrontés à la nécessité de mobiliser des savoirs non stabilisés, à faire des choix en situation d'incertitudes et à prendre conscience que les valeurs et leurs perceptions des risques interfèrent dans ce qu'ils vont retenir ou écarter.

Nous retenons un ancrage théorique dans le champ de la didactique des questions socialement vives.

Nous retenons un ancrage théorique dans le champ de la didactique des questions socialement vives et nous posons l'intérêt de construire des raisonnements informels pour envisager de la réduction des pesticides en mobilisant des savoirs agronomiques

Réduire de 50 % l'usage des pesticides dans les systèmes de production suscite de vifs débats sur les voies possibles pour généraliser les alternatives à ces produits de synthèse. Le sujet met en tension des controverses dans les sphères scientifiques, professionnelles et sociales, relayées par les médias. Cependant, pour enseigner/apprendre ces thématiques, les acteurs de la situation didactique, enseignants et élèves, ne peuvent échapper aux débats polémiques qui entrent dans la classe, reflets de controverses dans la société et au sein de la profession agricole, avivées par leur médiatisation. Envisager la réduction de l'emploi des pesticides et leurs alternatives est une question socialement vive (QSV) sous une forme scolaire, triplement vive comme la définissent Legardez et Simonneaux (2006). Elle est :

- « vive dans la société, (...) considérée comme un enjeu par la société (globalement ou dans certaines de ses composantes) et suscite des débats (des « disputes » aux « conflits ») ; elle fait souvent l'objet d'un traitement médiatique tel que la majorité des acteurs scolaires en ont, même sommairement, connaissance (...) » (*ibid.*, p. 21-22) ;

- « vive dans les savoirs : il existe des débats (« des controverses ») entre spécialistes des champs disciplinaires ou entre experts de champs professionnels ». Les savoirs de référence relevant des sciences humaines et sociales se fondent sur des paradigmes qui « sont souvent en concurrence ». Pour les sciences « dures », il apparaît nécessaire de distinguer « la science stabilisée » et « la science encore débattue dans la sphère scientifique » (*ibid.*, p. 21-22). Ces questions sont également vives dans les pratiques de référence ;

- « vive dans les savoirs scolaires » : les élèves et les enseignants « se sentent souvent démunis pour aborder » de tels sujets. (*ibid.*, p. 21-22). La vivacité dans l'école est d'autant plus importante que ces questions sont vives dans la société et les savoirs et pratiques sociales de référence.

Nous avons choisi d'entrer par les QSV soulevées pour la discipline scolaire *agronomie* émergeant de la perspective de réduire de 50 % l'usage des pesticides de synthèse. Notre recherche se situe donc à la croisée de la didactique de l'agronomie et de la didactique des questions socialement vives. La construction et la mise en œuvre de situations d'enseignement-apprentissage en phase avec la conception d'alternatives aux pesticides confrontent alors les enseignants et leurs élèves à trois niveaux de difficultés : (i) celui d'articuler des savoirs stabilisés avec ceux en train de se faire, souvent controversés, (ii) celui de prendre appui sur des pratiques sociales et professionnelles de référence (Martinand, 1986) en train de se re-construire (agriculture dite conventionnelle³⁸ majoritaire *versus* des formes

³⁸ Dans le chapitre 2, nous revenons sur la définition de l'agriculture conventionnelle. Elle n'a pas de définition précise mais elle permet de caractériser un continuum de systèmes de production intensifs ayant recours assez systématiquement aux intrants de synthèse et extérieurs à l'exploitation. Cette forme d'agriculture est majoritaire sur le territoire national, encore aujourd'hui. Elle est remise en cause en raison de sa dépendance aux pesticides de synthèse.

diverses d'alternatives), (iii) celui de se positionner face à deux conceptions de l'avenir de l'agriculture pour affronter les défis de demain, le modèle agro-écologique fondé sur la « *renaturalisation des systèmes alimentaires* » (Stassart, Baret, Grégoire, Hance, Mormont, Reheul, Stilmant, Vanloqueren et Visser, 2012) et le modèle technocentré reposant sur toujours plus d'innovations bio techno scientifiques. Dès lors, les enseignants doivent composer avec leurs propres incertitudes et celles de leurs élèves. Envisager de réduire l'usage des pesticides implique :

- d'intégrer des considérations de différentes natures très imbriquées (économiques, sociales, techniques, agronomiques, environnementales, éthiques, politiques, ...) parfois difficiles à concilier ;

- de mobiliser des savoirs distribués et pluriels (professionnels, scientifiques, profanes sont tous potentiellement des producteurs de savoirs), stabilisés ou pas, parfois contradictoires, voire controversés. Il est difficile de construire une solution alternative qui limite l'usage des pesticides (voire qui le supprime) et qui intègre tous ces éléments et qui ne se fonde que sur des dimensions technico-économiques.

Nous reviendrons plus en détail dans le manuscrit sur des approches développées dans la didactique des QSV (Legardez et Simonneaux, 2006 ; Simonneaux et Legardez, 2011 ; Simonneaux et Simonneaux, 2014), nous ne retenons ici que des points-clés qui soulignent la pertinence de cet ancrage théorique pour notre thème et les questions en termes d'enseignements-apprentissages qu'il soulève en entrant par une problématique agronomique (concevoir des systèmes économes en pesticides). La didactique des QSV « *étudie le processus d'enseignement-apprentissage sur des objets porteurs de controverses et de débat dans la sphère scientifique, dans la société et les médias et donc dans la classe* » (Simonneaux et Simonneaux, 2014, p. 10). L'enjeu est de doter les futurs acteurs professionnels et citoyens de ressources pour construire une opinion informée (Legardez et Simonneaux, 2006) ou raisonnée (Lange et Victor, 2006) sur les questions qui ont une réalité sociale qui les impliquent : « *chaque élève est, ou sera confronté à des prises de décision sur des questions socialement vives ; l'école doit l'y préparer* » (Legardez et Simonneaux, 2006, p. 13). Les élèves doivent ainsi être en mesure de faire des choix sur ces sujets, d'agir sur le réel (prendre de décisions, conduire des actions) et être capables d'en débattre : les élèves et les étudiants qui se destinent au métier d'agriculteurs sont déjà confrontés à ces dilemmes. Il convient alors de proposer des situations d'enseignements-apprentissages qui confrontent les élèves et les étudiants à des controverses. Un grand nombre de questions socialement vives soulèvent des problèmes dont la résolution impose souvent la mobilisation de savoirs scientifiques : pour le sujet qui nous intéresse, la prise en compte des savoirs agronomiques scientifiques entre autres est nécessaire et indispensable pour appréhender la conception de systèmes économes en pesticides. Si l'expertise scientifique « Agriculture, Pesticides et Environnement » (2005) souligne l'importance des connaissances agronomiques, l'agronomie ne pourra pas tout car « *il n'y aura pas de miracle* » (Tuot, 2007, p. 5) et car « *il n'y a pas non plus de voie unique d'amélioration* » (*ibid.*, p. 7). Si la question des savoirs agronomiques en jeu est importante, « *il convient aussi de prendre en compte les facteurs psychosociaux des apprenants qui peuvent freiner la mise en œuvre d'un produire autrement (...)* » (Simonneaux et Cancian, 2013, p. 119). Des considérations comme les projections sur le futur des acteurs, leur perception des risques et des incertitudes dont les solutions sont porteuses, ce qui leur paraît avoir de l'importance, être juste ou pas, jouent un rôle :

- dans leur engagement dans des voies qui verraient la mise en œuvre de pratiques agricoles alternatives plus soucieuses des répercussions sociales et environnementales ;
- dans l'émergence de résistances (Weiss, Moser, et Germann, 2006). A quoi bon modifier des pratiques si l'avenir de l'agriculture est bouché ?

Les caractéristiques des problèmes soulevés par la construction d'alternatives aux pesticides de synthèse rejoignent celles de nombreuses QSV (biotechnologie, nanotechnologie, téléphonie cellulaire, entre autres) :

- elles ont de fortes implications sociales en lien avec des préoccupations économiques, politiques, juridiques, éthiques (Barab, Sadler, Heiselt, Hickey, et Zuiker, 2007 ; Simonneaux et Simonneaux, 2009) ;
- ces sujets sont complexes car de nombreux aspects sont imbriqués, parfois en contraction ;
- la résolution des problèmes posés par ces questions ne peut pas reposer sur la démarche de raisonnement cartésien fondée sur la logique formelle. Les problèmes sont si complexes qu'il n'est pas possible d'isoler des sous-problèmes pour trouver pas à pas une solution sur la base d'une démarche itérative de déduction/induction/abduction. D'une part, les parties prenantes sont souvent en désaccord sur les termes du problème à résoudre : il y a autant de voies possibles que de parties prenantes, sans espoir de voir émerger une solution qui rassemble tout le monde, ce qui ne veut pas dire que toutes les solutions se valent. D'autre part, ces questions impliquent souvent des savoirs et des méthodes à la pointe de la recherche scientifique, situant ainsi les solutions aux frontières de la connaissance (Simonneaux, 2007 ; Albe, 2009). Dès lors, toutes les informations nécessaires ne sont pas disponibles ou sont incomplètes.

La didactique des QSV s'est inspirée des travaux sur l'argumentation en sciences (Erduran et Jiménez-Aleixandre, 2007) et sur le concept de raisonnement socio-scientifique (Sadler, Barab et Scott, 2007). Les résultats de ces recherches ouvrent des perspectives intéressantes dans le cadre de la formation des futurs agriculteurs. Ils ont révélé que des étudiants confrontés à la résolution des controverses socioscientifiques (SSI - socioscientific issues)-correspondant à un courant anglo-saxon proche de la didactique des QSV- développaient des raisonnements informels, par opposition aux raisonnements formels (Zohar et Nemet, 2002 ; Sadler et Zeidler, 2004). Dans certaines conditions, ces raisonnements informels permettent de construire une solution valide dans un contexte changeant et incertain, négociée à partir de la considération des enjeux parfois contradictoires, fondée sur l'argumentation de position prenant appui sur de multiples domaines de référence (scientifiques, sociaux, professionnels, profanes,...) combinant des savoirs stabilisés et émergents (Zohar et Nemet, 2002 ; Sadler, Klosterman et Topcu, 2011 ; Morin, Simonneaux, Simonneaux, Tytler et Barraza, 2014) tout en étant influencés par l'expression des valeurs et la perception des risques/incertitudes dont les solutions étaient porteuses (Simonneaux et Simonneaux, 2009). Le traitement des SSI et/ou des QSV a révélé une meilleure appropriation des contenus scientifiques *via* le développement d'habiletés argumentatives, un développement de l'attitude critique amenant à considérer différentes alternatives et des conséquences des solutions avant de prendre une décision. Ces situations didactiques semblent créer des conditions d'apprentissage davantage porteuses de sens pour les élèves, visant ainsi la promotion d'une éducation scientifique (Zeidler et Sadler, 2011), qui représente pour nous un moyen de préparer le futur citoyen et professionnel de l'agriculture à décider de manière éclairée et responsable. Selon nous, concevoir des situations d'enseignements-apprentissages pour faire émerger et développer chez les élèves/étudiants des raisonnements complexes informels, situés, permettant d'envisager des systèmes alternatifs aux pesticides inscrits dans une perspective de développement durable en mobilisant des savoirs en agronomie est un enjeu éducatif fort. Ces formes de raisonnements représentent un cadre « pour penser et agir » et contribuerait à satisfaire la finalité de l'apprentissage et de l'enseignement (Hatano et Inagaki, 1986 ;

Bransford, Vye, Stevens, Kuhl, Schwartz, Bell, Meltzoff, Barron, Pea, Reeves, Roschelle et Sabelli, 2006) : « *le but ultime de l'apprentissage et de l'enseignement des différentes matières consiste à acquérir une « expertise d'adaptation » ou « compétence d'adaptation », c'est-à-dire la capacité à appliquer des connaissances et des compétences acquises de manière signifiante avec souplesse et créativité en fonction de la situation rencontrée* » (De Corte, 2010, p. 52).

Ce tour d'horizon du contexte révèle un recours aux pesticides construit dans la durée, très ancré dans des logiques professionnelles agricoles. Le plan Ecophyto dans le cadre de la transition agro-écologique pose des jalons. Cependant, les incertitudes sur les voies possibles et la hauteur des objectifs à retenir pour réduire la dépendance aux pesticides de l'agriculture française n'en demeurent pas moins vives. Le changement de paradigme dans la protection des cultures invite à concilier différents objectifs et des enjeux pluriels parfois contradictoires sur les plans environnemental, sociopolitique, socioprofessionnel. Il génère également des questionnements sur les démarches de construction des savoirs de référence et sur leur circulation, notamment pour les sciences agronomiques. La discipline scolaire « agronomie » apparaît incontournable pour former les futurs agriculteurs et pour les préparer aux changements. Mais elle n'est pas suffisante. Nous allons axer notre étude sur des élèves de Bac pro CGEA, futurs agriculteurs potentiels et des étudiants de BTS APV, futurs agriculteurs et/ou futurs agents du développement agricole³⁹. Nous présumons (i) que ces élèves/étudiants « *sont potentiellement d'importants agents du changement de la société, intégrant bien entendu les changements professionnels* » (Simonneaux et Cancian, 2013, p. 116). Selon nous, à la lumière de notre connaissance des référentiels de diplôme et notre expertise de formatrice, les élèves de Bac pro CGEA sont moins bien armés que des étudiants de BTS APV pour développer des raisonnements complexes informels afin d'aborder la réduction de l'usage des pesticides (**hypothèse 2**). Nous souhaitons le vérifier et/ou l'infirmier concrètement sur un échantillon d'élèves et d'étudiants. Au cœur de notre thèse, nous proposons de construire un scénario didactique et pédagogique autour de la résolution d'une situation-problème qui favorise l'émergence et le développement d'un raisonnement complexe informel ancré dans une perspective de durabilité et qui pour cela se fonde sur des arguments agro-écologiques et socioéconomiques en mobilisant la démarche systémique. Nous souhaitons ainsi faire émerger des freins et des appuis à l'émergence et au développement de ce type de raisonnement. Un enjeu essentiel de cette recherche est de modéliser ce type de raisonnement. Malgré des constats convergents sur la nécessité et/ou l'intérêt de faire évoluer les systèmes agricoles et de limiter le recours aux pesticides, comment expliquer que la transition vers des formes d'agriculture plus économes en pesticides n'aille pas de soi ? Le passé (les expériences antérieures) conditionne ce que les acteurs sont prêts à accepter et donc à apprendre et à faire. C'est pourquoi nous proposons de commencer notre travail de recherche par une approche socio-historique afin de révéler des points structurants de la construction de la dépendance des agricultures françaises aux pesticides et de contextualiser l'émergence du plan Ecophyto : la dépendance s'est inscrite dans la durée mais peut-on restreindre la construction de la dépendance à ces 60 dernières années ?

³⁹ 73 % de ces jeunes agriculteurs sont titulaires du baccalauréat (Agreste, 2012). Sur la base d'enquêtes sur l'insertion des diplômés issus de la formation initiale, 87.3% des titulaires d'un Bac pro CGEA productions végétales en 2010 sont installés ou sont aides familiaux au 01/03/12 (MAAF-DGER, 2013a). Presque 20% des titulaires d'un BTS en productions végétales s'installent ou sont aides familiaux les premières années après l'obtention du diplôme (2 ans après) (MAAF-DGER, 2012). Ils exercent également des métiers en lien avec le conseil. Or le conseil délivré aux agriculteurs venant en appui de leurs prises de décision va influencer le cours de la situation : « *«Le conseil concerne l'orientation d'une action future de celui qui est conseillé, dans l'intérêt de celui-ci* » (Mayen, communication personnelle, cité par Cerf et Maxime, 2006) » » (in Gagneur, 2012, p. 3).

S'inscrire dans une perspective originale à la croisée de la didactique de l'agronomie et de la didactique des QSV ouvre à la fois un vaste terrain pour les investigations, mais en contrepartie offre peu d'opportunités d'appuis conceptuels et méthodologiques. Ainsi, notre recherche a une visée descriptive et compréhensive et un horizon didactique :

- (i) favoriser l'émergence et le développement de raisonnements complexes situés s'appuyant sur un corpus de savoirs agronomiques robustes⁴⁰ et de savoirs en co-construction (Mayen, 2013) pour penser et agir en situation ;
- (ii) analyser les freins et les leviers à l'évolution de ces raisonnements informels complexes et situés.

Le panorama brossé nous amène à poser nos premières questions de recherche (QR) et à rassembler nos premières hypothèses (notées en gras). Nous les précisons au cours de notre travail. Nous mettons en relief hypothèses et questions de recherche avec une trame grisée.

Le passé récent (60 dernières années) semble peser très fortement dans les difficultés à infléchir la dépendance aux pesticides.

QR1 : Nous proposons d'explorer à partir d'une analyse socio-historique comment s'est construite cette dépendance pour préciser le contexte d'émergence du plan Ecophyto et quelles sont les racines de la fascination pour la chimie de l'agronomie.

Dans la perspective d'enseigner-apprendre des concepts et des démarches en lien avec la protection des cultures, nous devons dresser l'état de la question. Pour cela, en nous fondant sur la didactique des QSV, nous devons faire le point à la fois sur les savoirs de référence et sur les controverses.

QR2a : Quels sont les savoirs de référence pour envisager la construction de systèmes économes en pesticides dans le cadre de la transition agro-écologique souhaitée par le ministre en charge de l'agriculture ? QR2b Quels sont les états de la controverse à ce sujet ?

Le ministère en charge de l'agriculture a rénové ces référentiels de diplômes afin d'inscrire son action éducative dans le développement durable.

QR3 : Comment la DGER a-t-elle pris en charge les exigences en termes de réduction de l'emploi des pesticides et de sécurisation de leurs emplois dans l'enseignement agricole technique ?

L'agronomie doit être remise au cœur des raisonnements pour la conception de systèmes économes en pesticides. Nous souhaitons voir quels sont les arguments agronomiques mobilisés dans les solutions proposées. Pour cela, nous devons concevoir un dispositif qui amène les élèves de Bac pro CGEA et les étudiants BTS APV à construire des raisonnements qui mobilisent des arguments agronomiques pour envisager des alternatives aux pesticides.

Nous avons pressenti l'importance d'arguments économiques et nous souhaiterions vérifier l'importance d'arguments sur le plan de la santé humaine. Nous attendons la construction de

⁴⁰ Mayen (2013) définit les savoirs robustes comme des savoirs « *suffisamment reconnus pour leur pertinence vis-à-vis de situations futures que les apprenants devraient avoir à vivre, soit dans leur parcours de formation, soit dans leur parcours professionnel.* « Robuste » signifie (...) que l'on va les retrouver dans un ensemble de situations d'apprentissage ou d'actions (...) et qui sont de nature à éclairer et à outiller la compréhension, l'action et l'apprentissage » (p. 261).

raisonnements complexes qui articulent différents aspects des problématiques en lien avec les pesticides et qui inscrivent les solutions dans une perspective de contribution au développement durable et de transition agro-écologique (pilier environnemental, écologique, économique et social)

QR4 : Quel dispositif didactique et pédagogique concevoir pour favoriser l'émergence et le développement de raisonnements complexes agro-écologiques et socioéconomiques (SAR⁴¹) qui amènent les apprenants à envisager des voies alternatives aux pesticides de synthèse pour gérer la protection des cultures tout en mobilisant des arguments agronomiques dans une perspective de durabilité ?

Notre approche de recherche est compréhensive dans la perspective de mettre en lumière des freins et/ou des appuis à l'émergence et au développement de ce type de raisonnement complexe.

QR5 : Comment alors modéliser un raisonnement complexe agro-écologique et socioéconomique situé produit pour aborder la gestion d'un bioagresseur, tout en limitant le recours aux pesticides ?

Inévitablement toutes les solutions que peuvent proposer des élèves ou des étudiants ne se valent pas : les raisonnements produits par les élèves ou les étudiants ne sont pas équivalents en termes de cohérence et de pertinence. Parmi les arguments mobilisés, nous sommes particulièrement attentives aux arguments agronomiques.

QR6 : Comment évaluer la complexité des raisonnements produits afin de comparer les niveaux des élèves et des étudiants ? QR7 : Peut-on identifier un corpus de savoirs robustes (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013) agronomiques nécessaires pour envisager des alternatives à l'usage des pesticides à l'échelle du système de culture ?

QR8 : Quels sont les freins et les appuis à l'émergence et au développement de raisonnements adaptés ?

Nous venons donc de préciser huit questions de recherche et nous avons deux hypothèses⁴² au début de notre travail d'investigation.

Ce tour d'horizon des enjeux révèle un recours aux pesticides construit dans la durée, très ancré dans des logiques professionnelles agricoles et auxquelles l'agronomie a contribué. Le plan Ecophyto pose des jalons, mais les incertitudes sur les voies possibles et la hauteur des objectifs pour réduire la dépendance aux pesticides de l'agriculture française n'en demeurent pas moins vives.

Comment en est-on arrivé là ? Comment expliquez que la transition vers des formes d'agriculture plus économes en pesticides ne soit pas si évidente face aux nombreuses incertitudes soulevées par les usages des pesticides pour protéger les cultures ? Conduire une approche socio historique permettant de révéler les points structurants de la construction de la

⁴¹ SAR pour Socioeconomic Agroecologic Reasoning car nous avons d'abord communiqué en anglais sur notre recherche.

⁴² Nous rappelons les deux premières hypothèses. **Hypothèse 1** : selon nous, l'argument santé humaine pourrait être un facteur décisif dans l'engagement à renoncer à l'usage systématique des pesticides en particulier chez les futurs agriculteurs en formation. **Hypothèse 2** : Selon nous, à la lumière de notre connaissance des référentiels de diplôme et notre expertise de formatrice, les élèves de Bac pro CGEA sont moins bien armés que des étudiants de BTS APV pour développer des raisonnements complexes informels afin d'aborder la réduction de l'usage des pesticides.

dépendance des agricultures françaises aux pesticides nous apparaît pertinent pour apporter des éléments de réponse.

L'assertion de Berger, de Bourbon-Busset et de Massé (2007) nous invite à réfléchir : une autre époque, les années 50 et d'autres considérations, « *Le monde est donc fatalement conduit à revenir, d'ici peu de générations, à une demande considérablement accrue des produits de l'agriculture et à un retour, sous des formes complètement nouvelles, à une « agrochimie de l'avenir » qu'il convient de préparer dès maintenant* » (Berger, de Bourbon-Busset, et Massé, 2007, p. 39).

Dans l'approche socio historique, nous soulignons chaque fois que possible comment des sciences et des techniques de l'agriculture ont joué un rôle dans la construction de cette dépendance remise en cause aujourd'hui.

Chapitre 1

Approche socio historique de l'usage des pesticides et émergence du plan Ecophyto

1. Une mise en contexte de la question de la réduction de l'usage des pesticides de synthèse dans l'agriculture

Les agricultures des pays industrialisés ont intensifié le recours aux pesticides pour protéger les cultures dans le cadre de la lutte chimique ces cinquante dernières années. Réduire l'usage des pesticides de synthèse dans les systèmes agricoles français est complexe et ne va pas de soi. Aussi un bref tour d'horizon des questions soulevées par la perspective de réduire l'usage des pesticides de synthèse dans l'agriculture est nécessaire. Nous proposons de le faire à partir de quatre différents focus : les pesticides et des enjeux environnementaux ; les pesticides et des enjeux sociopolitiques ; les pesticides et des enjeux agronomiques ; les pesticides et des enjeux socio-professionnels.

Les pesticides ne sont pas des produits anodins pour leur très grande majorité. Etymologiquement, le terme « pesticide » est construit à partir de *pest* qui désigne en anglais un «insecte ou plante nuisible, parasite», lui-même ayant la racine latine *pestis* (qui désigne un animal nuisible) et de *cide* dérivé du verbe latin *caedere* «frapper, abattre, tuer ». Ainsi au sens littéral, un pesticide signifie « tueur de fléaux ». Un pesticide a des propriétés biocides (« produit qui tue un être vivant ou produit destiné à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, ou encore à en prévenir l'action » (ORP)⁴³.

1.1. Pesticides et enjeux environnementaux

L'agriculture intensive des pays du Nord et des pays du Sud en ayant recours de manière systématique aux pesticides a contribué à la dégradation des milieux. La palette des pesticides recouvre des produits très hétérogènes, ce sont souvent des substances dangereuses. Les produits sont issus dans leur grande majorité de la chimie organique (pesticides de synthèse). Un petit nombre dérive de la chimie minérale (soufre, cuivre) et d'autres pesticides sont des produits extraits d'êtres vivants (roténone, nicotine). Les pesticides ne sont pas des produits anodins, leur mise sur le marché et leur vente sont réglementées. Ils sont employés pour détruire les êtres vivants et/ou les contrôler et/ou les repousser. Ils font partie de notre quotidien, présents dans des produits à usages domestiques, vétérinaires et dans des produits de jardin. Ils sont aussi utilisés dans le cadre de mesures de protection de santé publique comme la destruction des moustiques dans des zones littorales. Mais les pesticides ont aussi

⁴³ ORP (Observatoire des Résidus de pesticides) consultable à l'adresse <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/index.php?pageid=103>

des usages professionnels et l'agriculture est de loin la plus grosse utilisatrice de produits pesticides dans le cadre de la protection des cultures avec la lutte chimique (emploi de produits phytosanitaires). En France, 90 % des tonnages utilisés de pesticides le sont dans l'agriculture, les autres secteurs professionnels se partagent les 10% restants (espaces verts, traitements des bois et désinsectisation, entre autres). Dans l'agriculture, ils sont employés pour éradiquer des ennemis des cultures ou du moins pour maintenir ces populations en dessous de seuils acceptables. La consommation de pesticides (en tonnages) n'a pas cessé d'augmenter après la deuxième guerre mondiale et elle s'est accrue de manière régulière et importante jusqu'à la fin des années 90. Depuis les années 2000, on assiste plutôt à un ralentissement et une stagnation des tonnages. La France est le « 3^e consommateur mondial de pesticides et le 1^{er} utilisateur en Europe en volume total (34% des consommations de l'Europe des 15). (...). La France qui utilise plus d'un tiers des produits phytosanitaires vendus en Europe, est le plus gros utilisateur de fongicides, d'herbicides et de produits divers » (Aubertot *et al.*, 2005b, chapitre 2 p. 7).

Les pesticides sont épandus dans les milieux et on retrouve des résidus dans l'alimentation. On détecte des résidus de produits de traitement des cultures dans tous les compartiments du milieu, les eaux superficielles et de surface, et dans les eaux côtières, l'air, les sols. Les pesticides transitent en particulier dans les sols pour se retrouver dans l'eau. La dégradation de la qualité des sols par la contamination de substances dont les pesticides font partie est une des principales menaces qui pèsent sur les terres. Des mesures de la qualité de l'air montrent la présence de pesticides directement liée à des épandages de produits phytosanitaires avec des pics saisonniers. En outre les réseaux de surveillance révèlent une contamination et une dispersion des pesticides *via* l'air. Les ressources en eau sont particulièrement surveillées pour des raisons de santé publique (adduction d'eau potable) : « En 2006, des pesticides ont été détectés au moins une fois dans 90 % des points de mesure du réseau de connaissance générale de la qualité des cours d'eau (1097 points) et dans 55 % des points dans le cas des eaux souterraines (1507 points⁴⁴ » (Gatignol et Etienne, 2010, p. 19). Le nombre de produits détectés augmente et on ne connaît pas encore la plupart des conséquences de ces mélanges. Les pesticides sont invisibles dans les milieux, les être vivants sont exposés *via* leur cadre de vie et l'alimentation, et cela sans le vouloir et souvent sans le savoir, les populations humaines y compris. Les pesticides s'accumulent dans les compartiments physiques du milieu et persistent parfois pendant de longues années, expliquant la présence de traces de produits aujourd'hui interdits dans des mesures. Ils se concentrent aussi le long des chaînes alimentaires (bioaccumulation). Ils ont des effets délétères affectant la diversité biologique : ils contribueraient à la diminution des populations d'abeilles domestiques et sauvages dans les zones cultivées intensives. Or la diversité biologique offre des garanties de bon fonctionnement des écosystèmes. Voir cette diversité diminuer, ce serait nous priver des services écosystémiques qu'elle rend : épuration de l'eau, de l'air, mécanismes naturels de régulation des populations y compris celles considérées comme des ennemis des cultures. On assiste donc à une contamination généralisée des différents compartiments du milieu dont on a du mal à évaluer les effets cumulés de certaines substances contenues dans les pesticides et à prévoir l'évolution leur effet à long terme (Aubertot *et al.*, 2005a).

⁴⁴ Rapport de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques (OPECST)

1.2. Pesticides et enjeux sociopolitiques : favoriser des systèmes de production plus soutenables et sécuriser les usages

Le maintien d'un bon niveau de production est un des objectifs des différentes politiques agricoles qui se sont succédées, garantissant un rôle stratégique dans les négociations internationales visant les organisations de marchés : la France est le premier producteur agricole européen (MAAF, 2012). Les politiques agricoles ont fait la promotion d'une agriculture intensive, dont la modernisation a reposé sur l'usage des pesticides : en 20 ans les rendements ont été multipliés en France par 3 depuis la fin des années 40 et une part de l'accroissement est imputable à l'usage des pesticides pour protéger les cultures. La force de l'agriculture ne réside pas qu'à l'international, le maintien d'une activité agricole performante, sur les plans environnementaux, agronomiques et socio économiques, contribue au dynamisme des territoires nationaux. Mais l'usage des pesticides n'est pas sans effet sur la qualité des milieux et celle des aliments, exposant les populations *via* leur cadre de vie et l'alimentation à des risques dont on connaît mal les effets sur le long terme : l'exposition aux pesticides est multifactorielle. La satisfaction des besoins alimentaires est une préoccupation des français en arrière plan. Ils se préoccupent davantage des répercussions des usages des pesticides de synthèse dans l'agriculture. Pourtant, la mise sur le marché des pesticides a fait depuis longtemps l'objet d'une réglementation spécifique, forme parallèle de ce que l'on observe pour la filière des médicaments. L'efficacité des produits et l'innocuité des pesticides sur la santé humaine et pour l'environnement (toxicologie et écotoxicologie) sont testées et cela conditionne leur homologation. Mais malgré ces mesures, des affaires et des preuves scientifiques parfois contradictoires et controversées révèlent des effets délétères sur la santé et sur la qualité des milieux. Les résidus de pesticides dans les aliments et leurs conséquences néfastes sur la santé des populations fragiles sont redoutés et certaines sont avérées par les scientifiques. Nombre de ces substances en plus de leur toxicité se révèlent être aussi des perturbateurs endocriniens. L'EFSA (Grillot *et al.*, 2012) et la DGCCRF (2012) alertent sur la qualité sanitaire des aliments. Il y a de fortes présomptions de lien entre certaines formes de cancers et l'exposition professionnelle (cancer de la prostate, lymphomes non Hodgkiniens, myélome multiple) (ANSES, 2013).

Les demandes d'actions en faveur de la limitation des emplois des pesticides dans l'agriculture n'émanent plus seulement de mouvements militants écologistes. La pression nationale, relayée par les médias et les incitations et/ou les prescriptions récurrentes de l'Europe visent la mise en place rapide de systèmes produisant des aliments de qualité limitant les atteintes des milieux. La sécurisation des usages est une réelle préoccupation. Les citoyens réclament aussi de cibler des dépenses publiques nationales et les allocations des fonds européens en faveur d'agricultures plus soutenables. La réduction de l'usage des pesticides dans l'agriculture est devenue une question politique dont s'est saisi le gouvernement français face à la montée des mécontentements et aux coûts générés par une agriculture trop consommatrice de pesticides. Le gouvernement a décidé la mise en place du plan ministériel Ecophyto 2018⁴⁵ en 2008. Un peu en avance sur la réglementation européenne, le plan Ecophyto traduit les exigences de la directive cadre sur l'usage durable des pesticides⁴⁶ (2009). Le plan Ecophyto 2018 recommande de réduire de 50% l'usage des

⁴⁵ Nous consacrons un paragraphe complet au plan Ecophyto dans la suite du chapitre.

⁴⁶ Cette directive impose une révision de la procédure d'homologation et d'évaluation afin de mieux tenir compte :

- de la dangerosité des molécules (retrait des substances cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction, perturbateurs endocriniens),

pesticides de synthèse dans un délai de 10 ans si possible, sous réserve de leur substituabilité et le retrait des molécules les plus dangereuses pour diminuer à la fois l'exposition des populations et la dépendance des systèmes de production aux pesticides de synthèse.

1.3. Pesticides et enjeux agronomiques : produire assez et mieux avec moins de pesticides

Aujourd'hui, la contribution de l'agronomie est attendue pour atteindre un niveau de production suffisant couvrant les besoins alimentaires d'une population mondiale qui s'accroît.

A l'horizon de 2050, 9 milliards d'hommes sont attendus. Au début du XX^{ème} siècle, les agricultures des pays du Nord se sont développées en retenant la voie de la modernisation technoscientifique : des innovations issues des laboratoires ont été privilégiées car synonymes de progrès. Les sciences agronomiques ont contribué à définir des systèmes intensifs agricoles pour lesquels le recours systématique aux pesticides de synthèse a été au cœur de la logique de productions. Les agricultures des pays du Sud n'ont pas été épargnées : les pesticides de synthèse ont fait partie du paquet technologique qui a caractérisé la révolution verte contribuant à améliorer le niveau de production agricole de ces zones. La dépendance des systèmes de production aux produits pesticides est remise en cause. Les sciences agronomiques sont aujourd'hui confrontées à la demande de conceptions de systèmes plus économes en pesticides, conciliant plusieurs types de performances : le niveau de production, la performance énergétique, la performance économique, la performance environnementale, la performance sociale. Griffon (2006) parle de *révolution doublement verte* pour souligner le changement de cap dans les façons de faire en agriculture. Pour protéger les cultures, le recours systématique aux pesticides est remis en cause ainsi que l'utilisation des plantes OGM pesticides. Il s'agit d'un changement de paradigme : produire autant voire plus, autrement et mieux. Les sciences agronomiques doivent aborder la question de la contribution de l'agriculture au développement durable. Il est nécessaire de maintenir un bon niveau de production pour assurer l'approvisionnement alimentaire et cela dans un contexte de changement climatique. La contribution de l'agriculture est aussi attendue sur le plan des énergies renouvelables en produisant des agrocarburants. Il s'agit donc à la fois de concilier la satisfaction des besoins alimentaires et la nécessité de participer à la transition énergétique nécessaire face à l'épuisement des énergies fossiles. Les nouveaux systèmes économes en pesticides doivent aussi être viables sur le plan économique et ce dans un contexte de marchés mondiaux marqués par des cours erratiques. La performance environnementale doit être améliorée pour limiter la dégradation de la qualité des ressources par des activités agricoles. Les pesticides polluent l'eau, l'air, les sols et diminuent la biodiversité. Enfin, les systèmes économes doivent être soutenables sur le plan social et professionnel pour que les changements à vivre puissent s'inscrire dans la durée.

Avec le plan Ecophyto, diminuer de 50% l'usage des pesticides ne va pas de soi. Cette perspective remet en cause des fondements des raisonnements de l'intensification à la fois sur le plan des échelles, des pas de temps, des références à considérer (Ricci *et al.*, 2011a). C'est une remise en cause du modèle de développement de l'agriculture qui met la complexité au cœur des raisonnements. Il n'y a pas de solution mise au point valide qui pourrait prétendre à

- des risques des effets en particulier les effets des cocktails de produits (sont testés les principes actifs et leurs adjuvants).

Les produits pour lesquels la substituabilité n'est pas encore possible sont davantage surveillés, les effets cumulés des cocktails de produits sont eux-aussi plus surveillés. Les travaux sur les Limites Maximales en Résidus [LMR] sont plus poussés pour bien tenir compte des habitudes alimentaires des pays. La promotion des alternatives aux pesticides est aussi une mesure de la directive cadre.

une certaine universalité. Des voies possibles existent et il est nécessaire de les capitaliser et d'autres sont à explorer (Butault *et al.*, 2010). Toutefois, les parties prenantes ne sont pas toujours d'accord sur les options à retenir. Le sujet est controversé. Le gouvernement invite à opérer une transition agro-écologique. L'agro-écologie est un terme polysémique. Nous en dressons les contours dans le chapitre 2. L'agro-écologie offre donc un cadre d'analyse de la complexité des systèmes technico-socio-écologiques et de leurs adaptations aux incertitudes. Dans ce contexte, même si les sciences agronomiques ont un rôle à jouer, elles n'ont plus le privilège de l'innovation, les agriculteurs sont eux-aussi des producteurs de savoirs valides. Ainsi, les méthodes de recherche sont à questionner et à renouveler. Les savoirs agronomiques ne sont pas suffisants pour opérer cette transition. En particulier la perception des risques et la prise en compte des valeurs des parties prenantes pèsent dans les choix. Quelles peuvent être les formes de contributions des sciences agronomiques à la mise au point de systèmes économes en pesticides ? Ce sont des défis lancés à l'agronomie.

1.4. Pesticides et enjeux socio-professionnels

Le plan Ecophyto 2018 enjoint la recherche, le développement et la profession à accompagner la transition. Toutefois, la confusion demeure car il n'y a pas de consensus sur la voie, sur la hauteur des objectifs et sur le délai au sein de la profession. Les changements à opérer dans les systèmes de production appellent à reconfigurer les pratiques socio professionnelles pour lesquelles le recours aux pesticides de synthèse était une référence pour protéger les cultures dans une grande majorité des systèmes. Il est question de construire de savoirs nouveaux dont les scientifiques n'ont pas l'exclusivité. Dans cette configuration de changement de paradigme, les solutions à mettre en place mobilisent des connaissances et des compétences nouvelles, s'appuient sur des comportements différents de ce qui était la norme professionnelle (les hauts rendements ont été associés à la représentation d'un recours aux pesticides et à des revenus élevés jusqu'à présent). Les professionnels sont déstabilisés car ils doivent s'appuyer sur des savoirs de plusieurs natures, dont certains ne sont pas stabilisés et parfois controversés. Une forme d'alternatives ne peut plus devenir la référence, l'approche est plus complexe. La formation et des dispositifs d'accompagnement des agriculteurs apparaissent des leviers du changement car les exploitants agricoles sont les agents au cœur du processus de la transition vers plus d'agro-écologie. Les solutions devront être co-construites localement et leur validité discutée dans ce contexte situé. La viabilité économique des solutions doit particulièrement être considérée pour que la transition soit soutenable. Il est difficile de concilier les enjeux pluriels qui sont porteurs de contradictions. La refonte des systèmes de production ou le remplacement de la lutte chimique par d'autres génèrent des coûts très variables selon les systèmes de production : ils représentent 10% des charges opérationnelles sur vigne et près de 50% sur grande culture (Aubertot *et al.*, 2005a).

Comme précisé en introduction, l'enjeu est d'amener les élèves/étudiants à se forger une opinion éclairée (Simonneaux, 2010) sur l'usage des pesticides, tant sur leurs intérêts que sur les risques et les incertitudes de la lutte chimique, pour qu'ils soient en mesure de participer aux débats sur des choix d'agricultures, véritables choix de société. Au cœur de cet accompagnement se posent des questions liées au renouvellement des concepts et des méthodes d'enseignement de la discipline scolaire « agronomie », mais aussi des questions d'éducation aux choix et aux risques pour amener chacun à être critique sur les modes production. Toutes ces considérations appellent ainsi de nouvelles formes d'enseignement apprentissage dans lesquelles les futurs agriculteurs doivent être confrontés à la nécessité de mobiliser des savoirs non stabilisés, amenés à faire des choix en situation d'incertitude et à prendre conscience que les valeurs et leurs perceptions des risques interfèrent dans ce qu'ils

vont retenir. L'agronomie a un rôle à jouer car c'est une discipline emblématique dans la formation initiale des agriculteurs au sein des lycées agricoles.

Ce rapide tour d'horizon du contexte révèle un recours aux pesticides construit dans la durée, très ancré dans des logiques professionnelles agricoles. Le plan Ecophyto 2018 pose des jalons, mais les incertitudes sur les voies possibles et sur la hauteur des objectifs pour réduire la dépendance aux pesticides de l'agriculture française n'en demeurent pas moins vives. Des enjeux pluriels parfois contradictoires sur les plans environnemental, sociopolitique, socioprofessionnel, sur des questions d'orientation de la recherche agronomique sont à concilier. La discipline scolaire « agronomie » apparaît incontournable pour former les futurs agriculteurs et pour les préparer aux changements. Mais elle n'est pas suffisante et appelle à une forme renouvelée dans ses approches. L'enseignement agricole cherche des appuis pour contribuer à former les futurs agriculteurs enclins à s'engager dans des formes d'agriculture économes en pesticides. Les problématiques de formation et d'éducation en lien avec la perspective de réduire l'usage des pesticides de synthèse dans l'agriculture sont au cœur de notre recherche.

Comment en est-on arrivé là ? Comment expliquer que la transition vers des formes d'agriculture plus économes en pesticides n'aille pas de soi face aux nombreux risques et incertitudes soulevés par les usages des pesticides pour protéger les cultures ? Conduire une approche socio-historique permettant de révéler les points structurants de la construction de la dépendance des agricultures françaises aux pesticides nous apparaît pertinente pour apporter des éléments de réponse.

2. L'approche socio-historique de la question de l'usage des pesticides dans l'agriculture

2.1. Pour une entrée en matière

Avec la pratique de l'agriculture, en mobilisant des ressources, de l'énergie et du temps, les Hommes ont montré le caractère impérieux de la réussite de la conduite des cultures pour en obtenir des récoltes afin de nourrir les hommes et les animaux domestiques, entre autres. Ces récoltes ont été elles-aussi convoitées par des cortèges d'êtres vivants considérés comme des ennemis des cultures. La maîtrise des bioagresseurs « *est une exigence critique de la production végétale* » (Ricci, Lamine et Bui, 2011, p. 19). Depuis la naissance de l'agriculture, les Hommes ont dû partager une partie de la production agricole (production primaire) avec les ennemis des cultures, les populations de bioagresseurs détournant en effet une partie des ressources du milieu à leur profit. Aussi, sans aucune mesure de protection des cultures, des pertes importantes de récolte et de denrées stockées sont à craindre : aujourd'hui, les pertes en blé pourraient atteindre 50% et aller au-delà de 80% pour le coton (Oerke, 2006). Comme les aléas climatiques, les ennemis des cultures sont à l'origine d'irrégularités des rendements.

Les bioagresseurs ou ennemis des cultures présentent une grande diversité (rongeurs, mollusques, oiseaux, insectes, champignons, bactéries, virus, « mauvaises herbes envahissantes », etc). La nécessité vitale dans le passé de gérer les populations des bioagresseurs quels que soient les systèmes et les époques avec des objectifs et des moyens différents nous amène à proposer dans cette partie des incursions dans l'histoire de l'agriculture et dans celle qui soutient cette entreprise l'agronomie. « *Le problème des relations entre l'histoire et l'agronomie est d'autant plus important que l'agriculture et sa conséquence essentielle, l'alimentation des hommes représente le domaine le plus ancien de notre histoire* » (Cointat, 2007, p. 173).

Notion de protection des cultures, d'ennemi des cultures, d'organismes nuisibles, de bioagresseur, de ravageur, de parasite, d'adventice et de mauvaise herbe, de cible

La protection des cultures recouvre un ensemble de techniques et de moyens utilisés pour la lutte contre les ennemis des plantes cultivées (Larousse agricole, 2002). Selon les époques, le terme désignant ce que recouvre les ennemis des cultures a évolué : « fléau » avant les découvertes scientifiques, « ennemi des cultures » au début du XX^{ème} siècle, « organisme nuisible » juste après la fin de la seconde guerre mondiale. Le règlement (CE) 1107/2009 définit les organismes nuisibles comme une « espèce, souche ou biotype appartenant au règne animal ou au règne végétal ou agent pathogène nuisible aux végétaux ou aux produits végétaux ». Aujourd'hui le terme « bioagresseur » est davantage utilisé dans le monde scientifique et le développement agricole.

Quel que soit le terme, ce sont des organismes susceptibles de produire des pertes de récolte directes ou indirectes et des pertes dans les denrées stockées sur le plan quantitatif et/ou qualitatif.

Selon les effets sur le peuplement cultivé, il est courant de distinguer deux grandes catégories de bioagresseurs, les adventices et les autres agresseurs (ravageurs et parasites). Un ravageur est un animal phytophage capable de provoquer des dégâts sur une plante cultivée (insecte, acarien, oiseau, gastéropodes, rongeurs,...). Le terme « déprédateur » est aussi employé pour désigner un ravageur, mais il n'est pas spécifique à la protection des cultures. En phytopathologie, un parasite désigne un agent pathogène à l'origine d'une maladie chez la plante comme les champignons, les bactéries, les virus, les mycoplasmes. Pour les botanistes, un parasite est une plante qui en parasite une autre pour en détourner une partie de la production primaire (ex Orobanche). Sur le plan botanique, une adventice « est une plante introduite accidentellement à l'insu de l'homme » (Deguine *et al.*, 2011, p. 18). Sur le plan malherbologique, le terme désigne ce qui est abusivement nommé *mauvaise herbe*. L'adventice est une plante indésirable à l'endroit où elle se trouve : « En agronomie, on appelle adventice toute plante poussant dans un champ cultivé, sans y avoir été intentionnellement mise par l'agriculteur » (extrait des *Mots de l'agronomie*)⁴⁷. Dans une parcelle cultivée, une adventice peut devenir gênante car elle exerce une concurrence pour l'espace, la lumière et les éléments nutritifs, elle peut aussi produire des substances toxiques pour les autres êtres vivants, entre autres.

L'ensemble de ces bioagresseurs représente les cibles potentielles contre lesquelles les différentes actions de la protection des cultures sont mises en œuvre. Ceci ne signifie pas que ces ennemis des cultures en soient les cibles exclusives. Dans le cadre de la protection des cultures, on distingue donc les gammes de produits, que ce soit des produits de synthèse ou non, en fonction de leur cible d'action. Le tableau n°1 récapitule la classification des produits.

Tableau n°1 : Classification des produits par type de cible

Type de produit	Cibles
Herbicides	Adventices appelées mauvaises herbes dans le langage courant
Fongicides	Champignons responsables de maladies
Insecticides	Insectes dits nuisibles (parasites ou ravageurs)
Nématicides	Nématodes (petits vers parasites)
Rodenticides ou rongicides	Rongeurs
Acaricides	Acariens
Molluscicides	Limaces et escargots

⁴⁷ « Mots de l'agronomie » consultable à l'adresse <http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Adventice>

La panoplie des spécialités commerciales en « phytopharmacie » comprend aussi les régulateurs de croissance, les produits d'éclaircissage chimique, les stimulateurs des défenses naturelles entre autres. Réglementairement, ils sont assimilés à des produits de protection des végétaux.

Pesticide, produit phytopharmaceutique, biocide, résidu, produit phytosanitaire, insecticide, fongicide, herbicide

« Pesticide » est un terme générique qui désigne l'ensemble des produits dont les propriétés toxiques permettent de lutter contre les organismes considérés comme nuisibles pour les activités humaines. Or, la définition précise du terme « pesticide » varie selon le cadre de son d'emploi et s'adosse à un ensemble de réglementations complexes. Le terme pesticide n'est pas exclusif des produits destinés à la protection des plantes et des denrées dans l'agriculture. Un pesticide peut certes avoir des usages agricoles (protection des cultures ou/et des denrées stockées) mais aussi non agricoles, il peut être utilisé dans le cadre d'une activité professionnelle (entretien des espaces publics, dératisation ou de désinsectisation des bâtiments) ou d'une activité amateur (jardin par exemple) ou dans l'hygiène domestique (anti-moustiques, traitement des animaux de compagnie, ...).

Sur le plan réglementaire européen, le terme pesticide peut désigner un produit phytopharmaceutique et/ou un produit antiparasitaire humain⁴⁸ et/ou un antiparasitaire vétérinaire⁴⁹ et/ou un produit biocide⁵⁰. Toutes ces catégories de pesticides dépendent de réglementations différentes pour leur mise sur le marché et leurs conditions d'usages. On distingue les pesticides utilisés principalement pour la protection des végétaux, que l'on appelle produits phytopharmaceutiques (règlement (CE) n°1107/2009⁵¹) ou plus communément produits phytosanitaires, des autres que l'on appelle biocides (définis notamment dans le règlement CE 528/2012). Les biocides, ne sont pas destinés à être utilisés sur les plantes. Nous ne nous intéressons qu'au cadre relatif aux produits phytopharmaceutiques. Nous l'aborderons avec plus de détails au paragraphe 2.3.6.

La figure n°1 présente l'intrication des réglementations liées au terme « pesticide ». Le premier niveau de cadrage émane de l'Europe sous la forme de directives (Dir.) ou de règlements (Reg.). La réglementation impose un suivi de l'application d'un pesticide, ce qui explique que l'on soit amené à rechercher et à doser des pesticides présents encore dans le milieu du fait de leur durée de persistance dans les compartiments du milieu même s'ils ont été retirés de la vente et sont interdits d'utilisation (petit cadre orange).

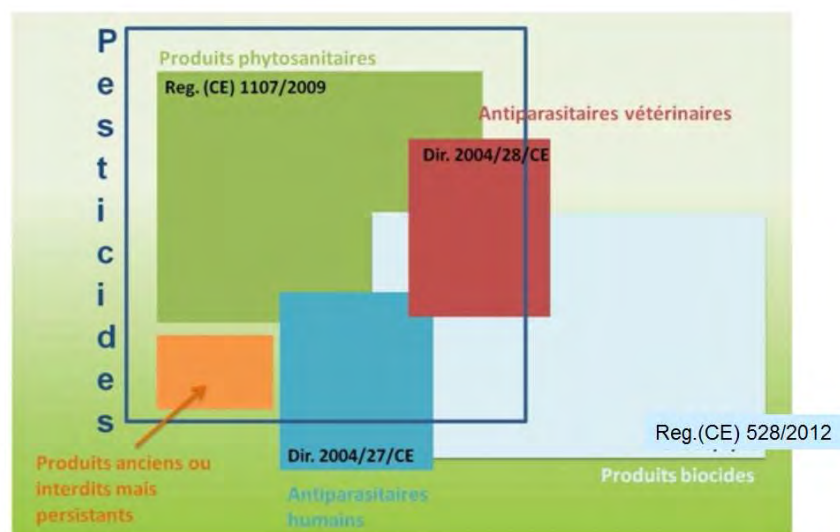
⁴⁸ Directive européenne 2004/27/CE du 31 mars 2004 pour les produits anti-parasitaires humains.

⁴⁹ Directive européenne 2004/28/CE du 31 mars 2004 pour les médicaments anti-parasitaires à usage vétérinaire.

⁵⁰ Règlement UE n° 528/2012 du 22/05/12 en vigueur en 2013 remplace la directive européenne 98/8/CE du 16 février 1998 pour les biocides.

⁵¹ Consultable sur <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/317515478716108477689326029782/Reg%28CE%291107-2009.pdf>

Figure n°1 : Les cadres réglementaires pour l'usage des pesticides



D'après ORP <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/index.php?pageid=103> consulté le 01 septembre 2013

Un ensemble de termes pour évoquer la notion de « pesticide » pour protéger les cultures des bioagresseurs

La terminologie des produits employés dans l'agriculture a évolué au fil du temps. Les termes suivants se sont succédés à partir du début du XX^{ème} siècle : produits antiparasitaires à usage agricole, produits de protection des plantes, produits agro sanitaires, produits agropharmaceutiques, produits phytopharmaceutiques et produits phytosanitaires (Regnault-Roger, 2014). Le tableau n°2 propose un aperçu de la complexité sémantique de termes liés à l'usage des pesticides dans l'agriculture, employés pour désigner la même chose dans des contextes différents. Aujourd'hui, une partie de la profession utilise une palette de termes comme « produit phytosanitaire », « produit phytopharmaceutique », « produit agropharmaceutique », « produit de phytoprotection », « phytosanitaire » voire même « phyto », déclinaison familière et coutumière ou enfin les termes renvoyant à la cible « herbicides, insecticides... ». Dans notre manuscrit, nous utilisons indifféremment les termes « produit phytosanitaire » et « pesticide » à propos duquel nous ne retenons que son acception restreinte de produit phytopharmaceutique.

Le grand public et une frange d'agriculteurs n'utilisant pas de pesticides de synthèse emploient davantage le terme « pesticide » car il renvoie à la notion de « tueur » qu'il suggère.

Tableau n°2 : Un ensemble de termes pour évoquer la notion de « pesticide » et de bioagresseurs

Termes	Contextes d'emploi
Produit phytosanitaire	Activités professionnelles agricoles courantes
Produit phytopharmaceutique	Législation européenne et française
Produit anti-parasitaire à usage agricole	Ancien cadre réglementaire français
Produit de protection des plantes	Industries phytosanitaires, secteur de l'approvisionnement et de la distribution
Pesticide	Grand public, médias, scientifiques, cadre réglementaire européen et français pour la protection de l'eau, des sols, pour la définition de la notion de « résidus pesticides »
Produit agropharmaceutique	Activités professionnelles agricoles courantes, développement agricole, il y a quelques années
Produit de phytoprotection	Activités professionnelles agricoles courantes, industries phytosanitaires
Phytosanitaire	Activités professionnelles agricoles courantes
« Phyto »	Activités professionnelles agricoles courantes, élèves/étudiants des lycées agricoles
Organisme nuisible	Cadre réglementaire européen
Bioagresseur	Recherche
Ennemi des cultures	Activités professionnelles agricoles courantes
Ravageur, mauvaise herbe/adventice, champignon, agent pathogène, virus...	Activités professionnelles agricoles courantes, scientifiques

Quel est l'intérêt de tracer quelques éléments d'histoire sur l'usage des pesticides et sur la protection des cultures ?

L'histoire de la protection des cultures ne peut pas être envisagée sans une mise en perspective plus large : les avancées dans la protection des cultures et en corollaire les paradigmes pour la gestion des bioagresseurs ne peuvent pas être décrits hors de leur contexte daté. Il nous apparaît essentiel ainsi de considérer des interactions entre agriculture, société et sciences/développement. Nous avons concentré notre travail sur les interactions entre bioagresseurs et plantes cultivées.

Nous avons conduit cette étude sur la base d'une revue bibliographique exploratoire sur l'usage des pesticides au fil du temps en nous appuyant sur des ouvrages de synthèse, sur des revues primaires en agronomie et en sciences humaines et sociales, sur des articles de vulgarisation et sur diverses thèses dont la partie « état de l'art » avait un lien avec les usages des pesticides. L'objet de la partie n'est pas de tracer une rétrospective historique complète de la gestion des bioagresseurs comme l'entendent les historiens. S'appuyant sur des dates et des événements qui nous ont semblé pertinents, cette trame historique couvre une vaste période de la naissance de l'agriculture au milieu des années 2000, marquant l'amorce d'une inflexion dans les volontés politiques pour limiter cette dépendance aux pesticides de synthèse. Le verrouillage de la voie pesticide sera discuté. Puis nous analyserons le plan Ecophyto 2018 et ses conséquences sur les façons de produire en agriculture.

Cette rétrospective permet de comprendre la suprématie de la lutte chimique sur les autres méthodes dans un contexte daté. Nous l'organisons en deux parties. Délibérément, nous insistons avant 1945 sur les éléments de cadrage réglementaire du début de XX^{ème} siècle pour bien identifier les fondements de ce qui a fait le succès de la modernisation de

l'agriculture, modernisation dont nous avons hérité et conservons des grands principes (première partie). Après 1945, nous traitons de manière approfondie les logiques, les arguments entre autres agronomiques et les stratégies qui ont fait des pesticides les clés de voute des systèmes intensifs (deuxième partie). Nous traçons ce qui a fondé la modernisation de l'agriculture dans les agricultures du Nord et en particulier dans l'agriculture française et ce qui a donné la vague de modernisation agricole appelée « révolution verte » dans des pays du Sud. Nous évoquons aussi une série de crises et de controverses qui ont jalonné cette évolution jusqu'à la volonté ministérielle d'engager l'agriculture française dans une transition avec le plan Ecophyto 2018 en 2008 et le projet agro-écologique pour l'agriculture française annoncé en décembre 2012.

Cette étude vise aussi à satisfaire plusieurs points d'un deuxième niveau d'analyse compréhensive :

- caractériser l'ancrage paradigmatique de l'usage des pesticides de synthèse dans la protection des cultures et son évolution au cours du temps jusqu'à l'émergence du plan Ecophyto 2018 et la demande récente d'engagement de l'agriculture dans la transition agro-écologique, en ce tout particulièrement pour le champ agronomique ;
- mettre en lumière des sujets de controverses sur l'usage des pesticides au cours du temps et leur dynamique ;
- mettre en exergue l'évolution des stratégies de gestion des adventices. La gestion de ces mauvaises herbes s'avère délicate et plus complexe avec la perspective de réduire l'emploi des pesticides de synthèse (Aubertot *et al.*, 2005b). Cette caractéristique nous intéresse particulièrement sur le plan des enseignements-apprentissages en jeu en agronomie car ce sont des raisonnements plus complexes informels (qui ne sont pas calqués sur une approche logico-déductive) qu'il conviendrait de favoriser et d'apprendre.

Dans la trame historique, nous faisons émerger des événements qui permettent de cerner les points d'inflexion des orientations prises pour le choix de stratégies de protection des cultures et l'usage des pesticides. Pendant des siècles, les moyens disponibles pour gérer les populations de bioagresseurs ont été peu nombreux, fondés sur une approche empirique d'essais-erreurs. Nous le montrons dans la première partie de l'approche socio historique « de la naissance de l'agriculture à 1945 ». Les moyens promus par l'agronomie n'ont pas été marqués par des échecs sévères face aux épidémies avant l'arrivée en masse des pesticides : la protection des cultures n'est qu'un souci de la pratique de l'agriculture ordinaire parmi d'autres. Et pourtant, les agronomes avaient à la fois abondé les savoirs en agronomie à partir d'approches analytiques mais aussi en se fondant sur une approche systémique des problèmes que pose la pratique de l'agriculture. Les vagues successives de modernisation de l'agriculture ont donné une place de plus en plus centrale à la chimie agricole et en particulier pour la protection des cultures. Cette dynamique ne s'est pas infléchi après la deuxième guerre mondiale. Nous proposons de le traiter dans une deuxième partie « de l'après 1945 à l'émergence du plan Ecophyto ». Dès les années 50, les sciences agronomiques ont cédé leur place dans la gestion des bioagresseurs à la filière industrielle pesticides (les firmes internationales et leurs services de recherche et de développement). La gestion de la protection des cultures s'est alors modernisée en se sectorisant (la gestion des insectes, des maladies et des adventices), laissant de côté l'agronomie systémique jusque dans les années 90. L'agronomie a pensé l'intensification des cultures en se fondant sur l'introduction de toujours plus d'innovations technoscientifiques et en s'adossant au paradigme de la chimie : le recours aux pesticides est implicite et systématique dans les stratégies de protection des cultures. Cette dynamique a conduit à une évolution parallèle des systèmes de culture et des proliférations de bioagresseurs. Les pesticides ont révélé tôt leurs limites dans des logiques de recours exclusif. En France, Lamine *et al.* (2010) ont montré un effet de verrouillage qui malgré des preuves des problèmes posés par les usages des pesticides empêche le système

sociotechnique (les agriculteurs, les filières, l'encadrement recherche-développement-formation, les politiques, les consommateurs) de réorienter les façons de faire en agriculture : le système résiste jusque dans les années 2000. Le Grenelle environnement, le plan Ecophyto 2018 et aujourd'hui le projet agro-écologique pour l'agriculture française forcent à considérer les voies alternatives aux pesticides pour gérer les populations de bioagresseurs. Dans ce panorama, nous montrons que les problèmes posés par la gestion des adventices ont été confinés dans une sphère d'initiés, agronomes et agriculteurs.

2.2. De la naissance de l'agriculture à 1945

2.2.1. De la naissance de l'agriculture au XVIIIème siècle

Durant cette période, la protection des cultures est un souci ordinaire parmi d'autres de la pratique de l'agriculture tant l'occurrence des bioagresseurs dans les systèmes cultivés est très liée à la pratique de l'agriculture et apparaît inévitable.

La pratique de l'agriculture favorise des cortèges de bioagresseurs

La pratique de l'agriculture a favorisé l'émergence de concurrents et/ou de déprédateurs des plantes cultivées : « *La protection des cultures plonge ses racines très loin dans le temps, sans doute aussi loin que l'agriculture elle-même* » (Bernard, 2008)⁵². Des travaux en archéobotanique au nord de la Syrie, zone où la pratique de l'agriculture précédant la domestication des céréales qui est apparue tôt (Néolithique – 10000 à –9000 BP) ont permis de distinguer des zones dédiées aux cultures et de celles réservées à la cueillette ou non exploitées à partir de l'étude de la nature et de l'abondance de graines présentant un intérêt agricole et de graines sans intérêt agricole supposé (Willcox, Fornite, et Herveux, 2008). Les espaces cultivés présentaient une abondance de graines d'espèces à intérêt agricole (alimentaire, textile, tinctoriale ou combustible) et en même temps une densité plus élevée de graines sans intérêt agricole que dans le milieu environnant. Ces dernières ont été considérées comme des adventices « *arable weeds* » (Willcox *et al.*, 2008 ; Willcox, 2012). Les traces de ces cortèges particuliers « espèces à intérêts agricoles et sans intérêt apparent » attestent que l'avènement de l'agriculture peut être associé à l'émergence de cortèges de bioagresseurs. Ce sont des « mauvaises herbes » que ces sites anciens révèlent : « *Arable weeds are probably the best indicator of predomestic cultivation when the crops were morphologically indistinguishable from their wild ancestors* » (Willcox, 2012, p. 163). « (...) *these taxa can also occur in low frequencies in wild cereal stands, they proliferate under cultivation* » (Willcox, 2008, p. 322)⁵³.

Ainsi, au fil des campagnes de cultures, les paysans et les agriculteurs ont aussi favorisé l'émergence d'un cortège de bioagresseurs. Fatalistes, les hommes ont toléré les pertes et la concurrence faute de moyens efficaces de s'en prémunir jusqu'au milieu du XIXème siècle. Les sociétés humaines ont payé un lourd tribut à cette concurrence. Les bioagresseurs peuvent affecter la qualité des récoltes et être à l'origine de problèmes de santé humaine sévères. L'histoire des Hommes est jalonnée de faits l'illustrant⁵⁴. Les adventices sont moins citées car

52 Bernard, J.L., (2008). Protection chimique des plantes cultivées et durabilité. Compte-rendu de l'Académie d'Agriculture Française, 94, n°1. Séance du 13 février 2008.

53 Willcox (2008) cite Sue Colledge (1998) qui vérifie ce lien entre zone cultivée et l'augmentation de l'abondance relative des espèces considérées comme des adventices dans les milieux attribués à la culture de ceux qui ne le sont pas. Il précise toutefois que van Zeist et Bakker-Heeres (1984) ne le vérifient pas.

54 Les effets de l'ergot du seigle, *Claviceps purpurea*, responsable du « mal ardent » sont connus depuis longtemps. Le Moyen-âge est une période particulièrement citée pour l'ergot du seigle. Ce ne sont pas les pertes de rendement qui sont redoutées (moins de 2.5% de pertes), mais les effets des constituants de ce champignon microscopique qui contamine les grains de seigle et ceux d'autres céréales. Seul, le maïs est épargné par cette maladie. En 1951 à Pont Saint-Esprit (Gard), une dizaine de morts et des centaines de malades seraient dues à la

elles ont occupé hommes, femmes et enfants aux champs dans les travaux de désherbages depuis la naissance de l'agriculture. Concurrents *de facto* implicites des cultures, la fertilité des milieux était en partie liée à la maîtrise du salissement des parcelles (Mazoyer et Roudart, 1997). Selon les époques et les zones géographiques, les ennemis des cultures ont réduit voire ont anéanti la production⁵⁵ provoquant des disettes et des famines. Face à l'ampleur des fléaux et devant l'inefficacité des moyens humains pour s'en prémunir, certaines catastrophes ont été imputées à des punitions divines⁵⁶.

La protection des cultures repose sur l'empirisme

La gestion des bioagresseurs s'appuie sur les expériences mobilisant une multitude de procédés artisanaux plus ou moins efficaces. Si au cours de l'histoire, un certain nombre de traces écrites⁵⁷ ont traité de la pratique de l'agriculture, la protection des cultures n'a pas été l'objet d'une abondante littérature. En effet, les préoccupations liées à l'amélioration des sols par la fertilisation ou par les amendements, aux opérations de travaux des sols et à la sélection des cultivars l'ont supplantée et finalement les ouvrages sont rarement dédiés à la seule protection des cultures. Même Duby (1974) dans la *France rurale* accorde peu de place à la protection des cultures dans la pratique de l'agriculture (Fourche, 2004). L'histoire de la protection des cultures apparaît paradoxalement lacunaire (Fourche, 2004). Les textes décrivant la vie des champs ne font pas toujours mention d'actions saisonnières pour se prémunir des pertes occasionnées par les ennemis des cultures. Pourtant la protection des cultures se révèle être une préoccupation quotidienne, engageant souvent la vie des communautés : une lutte permanente⁵⁸. Il semble que peu de choses ait évolué pour la grande majorité des paysans français avant le XVIII^{ème} siècle voire jusqu'au sortir de la deuxième guerre mondiale (Bernard, 2008 ; Fourche, 2004). Entre superstitions et croyances, des principes pour gérer les bioagresseurs ont traversé les âges. Ceci ne signifie pas que la protection des cultures n'ait pas connu des avancées et que les conceptions pour gérer les bioagresseurs n'aient pas évolué elles aussi : *« bien que connues des lettrés, ces recettes ne*

consommation de pain façonné avec une farine ergotée (Gorini, 2006). L'ergot du seigle fait partie des maladies cryptogamiques surveillées en France (Arvalis Institut du végétal) à cause des alcaloïdes qu'il contient. Ceux-ci, à l'origine d'une maladie, l'ergotisme, s'avèrent dangereux pour la santé humaine et animale entraînant une maladie. L'ergotisme provoque des nécroses des tissus pouvant alors se gangréner, des convulsions et des effets particuliers sur le système nerveux entraînant des hallucinations (ergotamine dont dérive la drogue LSD). Des spécialités pharmaceutiques contenant des dérivés de l'ergotine ont été retirées récemment du marché (Le Vidal, 2013) en raison d'un rapport bénéfice/risque défavorable. On note une recrudescence de l'ergot du seigle depuis les années 2000 (Jacquin, 2010). En 2012, 7.4% des échantillons de blé tendre contiennent le parasite contre 2% en 2011 (France AgriMer, 2011). Des graminées adventices, comme le vulpin, constituent des hôtes relais amplificateurs et des réservoirs et favoriseraient l'expansion de l'ergot. Cette maladie est observée aussi en système conventionnel qu'en système « bio ».

⁵⁵Les exemples de désordres causés par des bioagresseurs (famines, disettes, modifications du système agraire) sont nombreux. Les récits sur les criquets migrateurs dévastant tout sur leur passage ont marqué les civilisations judéo-chrétiennes, considérés comme des épreuves divines tant leur ampleur dépassait les moyens humains pour les prévenir et les contenir. Aujourd'hui encore, la région sahélienne connaît des vols de criquets migrateurs qui conjugués à la sécheresse sont des sources de famine. Plus récemment, au XIX^{ème} siècle, les pucerons du Phylloxéra, *Phylloxera vastatrix* et le mildiou de la pomme de terre *Phytophthora infestans* ont respectivement sinistré les filières vitivinicoles françaises et causé des famines en Irlande.

⁵⁶ Pour se prémunir de ces maux « venus du ciel », nombre de superstitions ont marqué profondément les mœurs des communautés rurales, le recours à la religion a donné lieu à de nombreux rituels comme les processions visant à protéger les récoltes, encore au début du XX^{ème} siècle pour la vigne et les moissons de blé.

⁵⁷ La lutte contre les bioagresseurs sont aussi objet de transmissions orales de génération en générations pour les sociétés agricoles n'utilisant pas l'écrit.

⁵⁸ La rhétorique de la protection des cultures est marquée par un registre guerrier : fléau, protéger, lutter, lutte, attaquer, attaque, stratégie, éradication, agresseurs, combattre, agresser, agression, pertes, dégâts, bioagresseurs. Les époques ont marqué les termes.

changent pas grand-chose dans le travail des paysans pour qui la bonne levée des semis et la conduite du désherbage restent des préoccupations majeures. » (Bernard, 2010, p. 2).

Au cours de cette longue période, en se fondant sur des approches empiriques, les hommes ont développé des trésors d'ingéniosité au prix de durs labeurs afin de limiter ou d'éradiquer ces populations de bioagresseurs tant la cohabitation était insupportable. La gestion des populations de bioagresseurs a mobilisé des procédés artisanaux qui ont fait l'objet d'ajustements locaux permanents : des produits et des techniques prophylactiques⁵⁹ et/ou curatives⁶⁰ dont l'efficacité était parfois aléatoire. Ces « savoir-faire » ont été transmis de générations en générations. Des substances toxiques employées parfois en grande quantité pour les bioagresseurs, souvent *a fortiori* nocives pour les Hommes, côtoyaient des substances peu toxiques. De nombreux empoisonnements et décès ont été relatés suite aux traitements sanitaires. Des papyrus égyptiens évoquent la lutte contre les criquets à partir de dérivés arsenicaux, toxiques aussi pour les humains. Des textes de l'antiquité grecque et romaine soulignent l'utilisation d'une palette de produits comme le soufre pour les maladies de la vigne (Homère -1000 av JC), de l'huile, des cendres et des produits biocides extraits des plantes pour gérer des déprédateurs. Des traités anciens d'agriculture relatent des techniques et des grands principes pour protéger les cultures d'agresseurs multiples et variés. Le texte babylonien « *Le livre du labourage de la terre, ses soins à apporter aux graines, aux plantes et aux récoltes à leur prophylaxie* » (Qûâtâmâ, III-IVème siècle) fait un état de l'art sur la pratique de l'agriculture, s'inspirant en partie de l'auteur carthaginois (Magon, IIIème siècle avant JC) et des auteurs latins (Columelle, Varron ; I er siècle avant JC). Le manuscrit est un dense ouvrage agronomique⁶¹. Il aborde la conduite de cultures et la protection de celles-ci : des remèdes pour arbres fruitiers ont une place privilégiée, il parle de « *l'extirpation des mauvaises herbes* », (...) de « *la culture et la prophylaxie de céréales* » (Albertini, 2013, p. 37).

Ce sont ainsi d'abord diverses mesures préventives et prophylactiques qui étaient déployées car peu de moyens curatifs étaient disponibles et efficaces. Parmi les mesures prophylactiques, la littérature cite les travaux de sol pour nettoyer les terres avant une culture et la préparation des semences pour le re semis. Au Moyen-âge, le temps de la jachère permettait de nettoyer les parcelles qui allaient ensuite être emblavées : vaine pâture sur des repousses, défonçage des terres à main d'hommes pour ameublir le profil et pour désherber la parcelle. La préparation des semences était une autre opération importante. L'évangile de Saint-Mathieu ne recommande t-elle pas de séparer l'ivraie du bon grain ? Ainsi, le nettoyage des semences exigeait des soins particuliers pour en garantir une quantité suffisante et saine de graines pour les semis⁶². La gestion des oiseaux granivores avec des pièges, des appâts empoisonnés et la destruction des nids ou la chasse étaient un ensemble de mesures curatives et préventives particulièrement suivies. Le désherbage manuel était monnaie courante. Le ramassage des larves et des adultes d'insectes et leur destruction permettaient de diminuer la pression de ces types de bioagresseurs. Dans tous les cas, ces opérations diverses mobilisaient du temps et l'abondante main-d'œuvre rurale.

⁵⁹ Les mesures prophylactiques visent à prévenir en amont les attaques.

⁶⁰ Les mesures curatives visent à détruire le bioagresseurs dans la parcelle ou dans les denrées stockées.

⁶¹ Traduit en arabe au Xème siècle devenant le livre de l'agriculture nabatéenne il sera le média de l'essor de l'agriculture arabo-andalouse au Moyen-âge.

⁶² En effet pour le blé ou les autres céréales, afin d'éliminer les premières impuretés (grains cassés, fragment d'épis ou d'enveloppes et surtout les semences d'adventices), les grains étaient passés dans un tarare. Le lot poursuivait son épuration par passages successifs dans des cribles ou des trieurs alvéolaires. Enfin, l'agrégage pouvait encore nécessiter un tri manuel (Bain *et al.*, 2010). Enfin, les semences pouvaient être traitées avec des poudres pour éliminer certains parasites.

Quelques signes d'avancées pour protéger les cultures

Des signes d'importantes avancées pour la protection des cultures coïncident souvent avec la nécessité de pallier des catastrophes à l'origine de famines ou de sévères pénuries. C'est ce qu'illustre Bernard (2008) en soulignant comment la conjonction d'aléas climatiques et « parasitaires » amènent à envisager de nouvelles techniques agricoles au XVII^{ème} et au début du XVIII^{ème} siècle. Les maladies posent problème et la protection contre les bioagresseurs apparaît nécessaire du semis à la denrée stockée. Les adventices sont gênantes en culture par la concurrence qu'elles génèrent avec le peuplement cultivé. Enfin, se profile une technique pour améliorer la gestion des adventices : renoncer au semis à la volée et adopter une technique de semis en ligne permettrait de réaliser des désherbages avec des outils adaptés ou faciliterait le désherbage manuel.

Encore au XVIII^{ème} siècle, pour une grande majorité de la population y compris les personnes instruites, les épidémies observées sur les végétaux auraient des origines célestes⁶³ ou seraient le fait d'une « mauvaise qualité de l'air » et parfois le résultat de phénomènes surnaturels soulignant le lien étroit entre survenue des épidémies et superstitions. Toutefois, le contexte intellectuel s'est révélé favorable à la science et à la pratique de l'agriculture⁶⁴. Les érudits adoptent une conception renouvelée du statut de l'agriculture. Elle devait pour cela sortir de son archaïsme apparent et s'inspirer des méthodes qui ont fait la force de « l'industrie » à l'époque. Ainsi, avec le mouvement des physiocrates, l'agriculture a été considérée comme une source d'accroissement des richesses. Les érudits, des aristocrates éclairés et des bourgeois propriétaires, parmi lesquels des chimistes et des « *praticiens engagés* » (Jas, 2005) entre autres ont construit une nouvelle discipline « l'agronomie ». Ils ont tenté d'aborder d'une forme de scientificité la pratique agricole ordinaire chacun avec leurs méthodes. D'ailleurs le terme *agronomie* puise ses racines étymologiques de l'association d'*agros* « les champs » et de *nomos* « les lois, les règles ». L'agriculture devient une entreprise digne d'intérêts pour les élites instruites et la protection des cultures en bénéficie. Les avancées ont été permises entre autres par des paysans particuliers, dynamiques, véritables agriculteurs expérimentateurs. En observant les phénomènes, en conduisant des expérimentations en conditions réelles, ils ont permis des avancées dans le domaine de la conduite des cultures. En mobilisant la démarche expérimentale, ils ont cherché à isoler les facteurs dont ils souhaitaient caractériser les effets pour les théoriser. En prenant appui sur des cas concrets, ils ont tenté de construire des conceptualisations des phénomènes et ils ont proposé des grands principes qu'ils ont cherché à vérifier ou à invalider par la mise en pratique. En répétant les mises en situation, ces agronomes-praticiens ont associé pratiques et théories. L'agronomie s'est imposée comme science de l'action pour l'agriculture. Déjà Olivier de Serres un siècle plus tôt, puis Duhamel de Monceau, Mathieu Dombasle, le comte de Gasparin ont marqué la fin du XVIII^{ème} et le XIX^{ème} siècle. Toutefois, les agronomes et des chimistes se sont surtout concentrés sur les problèmes posés par le renouvellement de la fertilité du sol pour accroître la production : diverses techniques de travaux de sol, des études expérimentales sur les effets de toutes sortes de fertilisants et d'amendements sur la croissance et la qualité des cultures (Boulaine, 1992 ; Robin, Aeschlimann et Feller, 2007 ;

⁶³ La théorie de Théophraste repose sur le lien entre la position des astres et le climat et la survenue de maladies chez les végétaux. Cette théorie a perduré jusqu'au XVIII^{ème} siècle et qui est encore utilisée par des agriculteurs en biodynamie.

⁶⁴ Voltaire raillait certains salons où l'on discourait de la pratique de l'agriculture « *vers l'an 1750, la nation, rassasiée de vers, de tragédies, de comédies, d'opéras, de romans, d'histoires romanesques... de disputes théologiques sur la grâce et sur les convulsions, se mit enfin à raisonner sur les blés* ».

Regnault-Roger, 2014). Paradoxalement, les travaux qui traitent de la protection des cultures sont plus rares.

Les prémisses d'une évolution dans la conception de la protection des cultures

Nous avons retenu trois exemples qui illustrent un changement dans la manière d'aborder les problèmes de gestion des bioagresseurs. Le cas de la rouille noire, celui de l'ergot du seigle et celui du dépérissement du safran ont marqué un changement dans les conceptions en protection des cultures. Chacune des illustrations apporte un nouvel éclairage.

- Le cas de la rouille noire

A partir d'observations rigoureuses, des paysans normands ont fait le lien entre la présence de l'épine-vinette et l'ampleur des épidémies de rouille noire⁶⁵. Sous la pression, en 1660, Mazarin a commandé la destruction systématique de l'arbrisseau dans les campagnes. La pression de la maladie a alors diminué. Cet épisode a permis de souligner l'importance des relations causales dans la survenue de la maladie, que celle-ci n'était pas le fait de phénomènes inexplicables, que les moyens de gestion pouvaient être envisagés à partir d'une stratégie de lutte préventive organisée à grande échelle.

- Le cas de l'ergot du seigle

En 1670, Thuillier, médecin, établit la relation causale entre l'ergot du seigle, la farine contaminée par ces ergots (farine ergotée) et les désordres sur la santé humaine qui caractérisent le « mal ardent ». Limiter les ergots dans les céréales préviendrait les problèmes de santé. La relation est établie entre protection des cultures et préservation de la qualité des récoltes

- Le cas du dépérissement du safran

Duhamel de Monceau (1700-1782), chimiste agronome, a démontré que la maladie du safran avait une origine parasitaire. Il a conduit des observations rigoureuses, réalisé des tests méthodiques pour le vérifier. L'agent responsable se situait dans le bulbe sous la forme de « corps rouge avec des filaments violets ». Les bulbes sains en contact avec des bulbes malades développaient la maladie. Extraire la partie malade sauvait le plant. La mise en évidence de l'agent responsable du dépérissement du safran et son mode de contamination et l'isolement de l'agent pathogène illustrent un raisonnement logico-déductif, relevant d'une démarche cartésienne, chère aux scientifiques de l'époque. L'ensemble de ces travaux sur les problèmes parasitaires des peuplements végétaux ont posé de solides jalons de ce qui sera la phytopathologie et l'épidémiologie (Pedro, 2007).

En s'appuyant sur des exemples similaires, progressivement les pertes que les bioagresseurs occasionnaient régulièrement n'ont plus été considérées comme des fatalités sans recours possible : les causes pouvaient être expliquées, les mécanismes explicités et, des moyens de contrôle et des mesures (efficaces) de lutte pouvaient être mis en place. La conception de la protection des cultures a lentement glissé de l'empirisme vers le rationalisme (Bernard, 2008). Regnault-Roger (2014) distingue trois époques pour la protection des cultures qu'elle caractérise par trois adjectifs : manuel, chimique et biotechnologique en considérant en arrière plan des révolutions agricoles qui toutes visaient à améliorer la productivité par des pratiques plus adaptées. Comme le concède l'auteure, cette approche, « certes réductrice », permet de mettre en exergue les « *outils qui ont ménagé des grandes transformations dans le développement de l'agriculture* » (Regnault-Roger, 2014, p. 7). Le passage d'une époque à une autre ne correspond pas à des ruptures dans les processus, mais apparaît comme une

⁶⁵ Les événements sont datés de ne laisse pas de notes ou de paragraphes inachevés, tu risques de les oublier

longue transition. Pour la partie qui nous venons de traiter, c'est-à-dire de la naissance de l'agriculture au XVIII^{ème} siècle, les interventions manuelles dominent. A partir du XVIII^{ème} siècle et ce jusqu'en 1990, le chimique ou plutôt la chimie agricole occupe une place centrale dans le développement de l'agriculture et dans la protection des cultures. Au-delà, il s'agira de l'avènement de la biotechnologie.

2.2.2. Du XVIII^{ème} siècle à 1945

A partir du XVIII^{ème} siècle, les progrès dans la protection des cultures ont été notables. Les fondements de la protection des cultures « moderne » ne se sont vraiment développés qu'à partir de 1945. Les avancées ont été stimulées par la congruence favorable de facteurs économiques, sociaux, scientifiques et politiques. Les agronomes ont aussi joué un rôle dans la prescription d'une forme de modernisation de l'agriculture. L'amélioration de la connaissance des causes des « fléaux » et les moyens de protection ont évolué de manière concomitante. Mais encore au XIX^{ème} siècle, tous les traitements ne reposaient pas toujours sur la connaissance de la cause.

Un contexte socio-économique particulier

En Europe, le contexte socio-économique a été marqué par l'essor des industries, par une politique de colonisation de territoires lointains, une accélération et un accroissement des échanges entre pays et/ou colonies, par un exode rural et un engouement pour la science. Paradoxalement, la production agricole n'a pas été traversée par cette dynamique et elle a stagné sur le vieux continent durant cette période.

Les activités industrielles se sont diversifiées et la productivité de nombreux secteurs s'est améliorée. Timidement d'abord, les industriels ont commencé à entrevoir un débouché prometteur dans l'agriculture⁶⁶ (Assouline, 1989). L'industrie chimique a joué un rôle particulièrement important dans le développement de l'agriculture, contribution que nous allons préciser plus loin. La machine à vapeur a révolutionné les moyens de transports et certains travaux des champs, permettant de pallier le manque de bras du à l'exode rural. Le chemin de fer s'est développé et les bateaux de transport des marchandises sont devenus plus puissants et plus rapides. Le commerce a connu un essor considérable : les voies de communication se sont densifiées et les échanges entre les continents se sont intensifiés. Des produits pondéreux ont pu être transportés comme les engrais et des matières premières pour la fabrication de pesticides entre autres. Avec les marchandises, des bioagresseurs ont aussi transité d'une région à une autre et d'un continent à un autre. L'agriculture du vieux continent encore peu productive est entrée progressivement en concurrence avec celles des colonies et des Amériques, la chute des prix de denrées agricoles a plongé le milieu agricole dans un certain marasme. En 1884, pour préserver le revenu des populations agricoles Méline, alors ministre de l'agriculture, décide de mesures préservatoires en taxant les importations pour favoriser les productions agricoles nationales (protectionnisme agricole). Les villes ont pris de l'importance et ce pour deux raisons. (i) Une part importante des communautés paysannes a fait le choix de quitter les conditions rudes et peu lucratives de la campagne pour s'installer en ville et travailler dans l'industrie. (ii) L'industrie offrait « une sécurité » que le travail de la terre ne pouvait plus garantir pour tous. Désormais, l'agriculture de subsistance, auparavant destinée seulement aux habitants vivant sur place devait pouvoir assurer les besoins de la population urbaine croissante. Dans les campagnes, l'amélioration de la production est alors devenue une nécessité pour la nation.

⁶⁶ En fait, l'agriculture n'est vraiment devenue un marché porteur qu'à partir des années 1950, les fonds du plan Marshall y contribuant grandement.

Les sciences et les techniques pour améliorer la pratique agricole ordinaire

Au cours du XIX^{ème} siècle, il a fallu à la fois trouver le moyen de pallier la pénurie de bras⁶⁷ et aussi de faire face à une série d'épidémies de maladies et de ravageurs « importés » qui ont grandement perturbé l'organisation des sociétés rurales. Bain, Bernard & Fougeroux (2010) rapportent un engouement collectif reposant sur les sciences et les techniques pour la mise au point de solutions. Il était impérieux de gérer les nombreux fléaux ayant entraîné des pertes considérables dans des productions à la base de l'alimentation et qui ont remis en cause des systèmes agraires (Boulaine, 1992 ; Regnault-Roger, 2014 ; Bernard, 2008 ; Mazoyer & Roudart, 1997) : la lutte contre le phylloxéra, le mildiou de la vigne, le doryphore de la pomme de terre⁶⁸ ont occupé les scientifiques, l'état et les paysans. De 1850 à 1945, la protection des cultures a connu des progrès considérables à la fois nationaux et internationaux (Bernard, 2008). Ces avancées ont été permises par une plus grande rationalisation de la pratique de l'agriculture fondée sur une meilleure connaissance des phénomènes en jeu, sur la mise au point de techniques avérées efficaces dans des contextes expérimentaux contrôlés, sur la mise en place d'un système spécifique de contrôle sanitaire des échanges, de protection des utilisateurs et des vendeurs de produits de protection des cultures.

L'activité scientifique autour de l'agriculture visant la connaissance des processus biologiques a été intense dans les facultés, dans l'Académie d'agriculture et au muséum d'histoire naturelle (Vayssière, 1960), dans les académies des sciences, dans les écoles d'ingénieurs agronomes et dans les laboratoires privés de certains grands groupes industriels.

La conception positiviste des sciences a amené à expliquer les phénomènes sur la base de démarches scientifiques rationnelles fondées sur « *l'objectivité, (...) la vérité par la reproductibilité* » (Jas, 2005, p. 50). Ainsi, comme au XVIII^{ème} siècle, le contexte favorable aux sciences pour le bien de l'humanité l'était *de facto* pour les sciences dédiées à l'agriculture : « *pour améliorer notre production et pour élever nos rendements (...) il faut que notre agriculture (...) améliore ses méthodes, perfectionne ses procédés, il faut qu'elle devienne scientifique* » (Méline, 1885, cité par Bain *et al.*, 2010, p. 71). L'agriculture a bénéficié d'avancées scientifiques et de progrès dans les techniques, impulsant progressivement de nouvelles façons de faire. En effet, les avancées scientifiques dans le domaine de la biologie, de la biochimie, de la microbiologie, de la pédologie et du machinisme agricole, de la chimie agricole et de l'agronomie se sont révélées être de puissants leviers pour améliorer les savoirs dans les domaines complexes que représente la

⁶⁷ Il est utile de rappeler que les deux guerres mondiales ont aggravé cette pénurie de main d'œuvre, les communautés paysannes ayant payé un lourd tribut durant les conflits.

⁶⁸La vigne avec le phylloxéra et le mildiou, les cultures de pomme de terre avec le mildiou et les invasions de doryphores ont été très sévèrement marquées. Les pucerons du phylloxéra ont provoqué dès 1863 un dépérissement rapide de la vigne dans le Sud de la France qui s'est étendu à toutes les régions de vignobles plus au nord (Bain, Bernard et Fougeroux, 2010). Aucun des cépages autochtones n'était tolérant et/ou résistant à ces insectes des racines de la vigne importés des Amériques. Seul, le greffage des cépages européens sur des porte-greffes américains résistants au puceron a permis un nouvel essor de l'activité viticole. Les tentatives d'implantation de ceps hybrides résistants n'ont pas abouti en raison de la qualité médiocre du raisin. Le mildiou de la vigne a été jugulé par la découverte fortuite de Millardet dans le Bordelais de ce qui sera la bouillie bordelaise : le mélange de sulfate de cuivre et de chaux hydraté était répandu sur les ceps de bordure de parcelles comme répulsifs pour dissuader les maraudeurs.

Le mildiou de la pomme de terre a profondément marqué l'Europe du XIX^{ème} siècle. Le parasite a sinistré l'Irlande provoquant entre 1845 et 1849 de lourdes pertes de récoltes de pommes de terre. Les tubercules à la base de l'alimentation, a entraîné une famine poussant nombre d'Irlandais à immigrer vers l'Amérique du Nord. Les infestations de doryphores ont été jugulées efficacement par le principe de la lutte obligatoire, ensemble de mesures ayant une dimension nationale, à partir d'un ensemble de moyens prophylactiques (désinfection des sols) et curatifs avec des traitements à base de roténone et de composés arsenicaux.

pratique de l'agriculture. Ces éléments ont favorisé les avancées dans les connaissances sur le cycle des bioagresseurs et les mécanismes mêmes de la déprédation, sur les moyens de lutte et de prévention pour protéger les cultures sans oublier tous ceux pour préserver les denrées stockées.

En biologie, les progrès portent sur la connaissance des mécanismes vitaux de fonctionnement des plantes, en particulier le rôle des hormones dans la croissance⁶⁹. En biochimie, des avancées importantes sont à noter en enzymologie permettant de comprendre certains mécanismes d'action des bioagresseurs et de défense des plantes. La microbiologie se développe avec la réfutation des théories de la génération spontanée des microbes par Pasteur en 1860⁷⁰ : les mises en culture expérimentales de pathogènes ont permis d'approfondir les connaissances sur le cycle des maladies. Les scientifiques naturalistes ont poursuivi les travaux d'identification et de caractérisation des espèces initiés par Buffon et Linné améliorant les savoirs sur la biologie de certains bioagresseurs. Ces travaux ont ouvert des perspectives de contrôle de bioagresseurs avec la lutte biologique, dès la fin du XIXème siècle (Bain *et al.*, 2010). Au début du XIXème siècle, la création de la société d'entomologie et la naissance de la discipline phytopathologie vont permettre d'améliorer respectivement les savoirs sur les insectes ennemis des cultures et sur les maladies. La malherbologie est une discipline un peu plus récente (Barralis, 1996). La protection des cultures est prise en main par des spécialistes qui vont construire des concepts dans leur champ disciplinaire. Les entomologistes ont posé des jalons dont les phytopathologistes se sont inspirés. C'est sans doute pour la malherbologie que la transposition est la plus délicate (nous le verrons dans le chapitre 2 avec les notions de seuils de nuisibilité). Contrairement aux deux autres champs, les résultats de la recherche scientifique sur les « mauvaises herbes » ont essentiellement diffusés *via* des revues agricoles « *en mettant toujours l'accent sur les moyens de lutte ou d'éradication* » (Derock, Douville, Dupuis, et Levrel, p. 6). Les agronomes vont travailler à côté de ces spécialistes. Les épidémies ne « *seront plus perçues comme un dérèglement végétatif lié au climat mais comme un sujet d'étude où il convient de rechercher des phénomènes, d'en préciser le mécanismes biologiques et d'expérimenter les remèdes envisageables* ». (Bain *et al.*, 2010, p. 68). Les travaux sur la sélection des plantes conduits entre autres par Villmorin sur la vigne, les blés tendres, des cultures fourragères et la betterave vont concourir à améliorer les savoirs pour mieux gérer les bioagresseurs. Les nouvelles variétés sont plus homogènes, plus productives et certaines possèdent des caractères de résistance ou de tolérance aux maladies ou aux ravageurs⁷¹.

Que dire de cette forme d'organisation de la recherche ? La construction des savoirs pour gérer différents bioagresseurs va se fonder sur une « *approche scientifique qui, pour se rapprocher au mieux de l'observation du modèle théorique, segmente les facteurs, isole les performances, réduit la variabilité (...)* » (Inra, 2012, p. 8). Progressivement, l'agronomie systémique va perdre son intérêt avec l'arrivée de la chimie et les promesses de progrès dont elle est porteuse.

⁶⁹ Ces travaux vont servir dans les années 20 de base pour les recherches sur les pesticides de type phytohormone.

⁷⁰ Déjà Prevost en 1807 avait démontré que la carie du blé était due à un agent exogène et non à l'état du blé.

⁷¹ Nous pouvons citer le cas du blé tendre et de la résistance à la rouille noire et le cas de cépage de vigne hybride résistante à la fois au mildiou et au phylloxéra (Bain *et al.*, 2010).

La contribution de la chimie à l'agriculture avant 1945

A partir du XIX^{ème} siècle, la contribution particulière de la chimie à l'agronomie est à souligner et ce, en considérant tout aussi bien la chimie en tant que discipline scientifique, les chimistes, les innovations issues de la chimie et enfin l'industrie chimique. Les orientations prises par la recherche en agronomie à des périodes-clés, sous tendues par une conception de la modernité et du progrès mettant au cœur du changement les innovations issues des technosciences produites dans les laboratoires, résultent en partie de cette influence notable de la chimie sur la construction épistémique en agronomie.

Cette implication des chimistes dans la chose agricole va progressivement ouvrir la voie à la chimie agricole dont les pesticides sont issus au même titre que les engrais. Les agronomes et les chimistes se rejoignent sur les mécanismes physiologiques de la nutrition des plantes (Liebig, De Saussure, Boussingault) : les végétaux se nourrissent de minéraux puisés dans la solution du sol et le carbone des tissus résulte de la transformation du CO₂ atmosphérique et non de la transformation de l'humus extrait des sols. Parallèlement, les sols ont été l'objet d'une caractérisation systématique et rationnelle : ils ont des potentiels que l'on a codifiés. Avec des apports adaptés, il est devenu possible de s'affranchir d'une partie des contraintes du milieu et par conséquent l'industrie des engrais et des amendements, secteurs d'activités des grands groupes chimiques, va pouvoir « servir » la cause agricole. La mécanisation des opérations culturales comme les travaux de sols, des semis, des épandages de fertilisants et d'amendements ont permis de pallier le manque de main d'œuvre. Le semis en ligne de certaines cultures (la littérature cite les céréales et la culture de betterave sucrière) fait entrevoir la possibilité de désherber entre les rangs puis en plein. Les gains de productivité *via* la fertilisation ont en effet indirectement fait émerger la nécessité de désherber⁷² pour contenir le salissement. Le premier herbicide sélectif des céréales à base de sulfate de cuivre a été testé par Bonnet (1896) sur la flore adventice de dicotylédones.

Cette période est ainsi marquée par une évolution de la conception des interactions entre milieu et plantes cultivées. Les engrais, en particulier les engrais chimiques, des pesticides pour certaines cultures et la sélection des plantes, les machines agricoles sont des moyens pour agir sur les facteurs limitants du milieu et ils offrent des leviers pour piloter la production agricole et l'améliorer. Cette perspective sous tend (i) de mettre au point des moyens robustes et avérés efficaces pour permettre des gains de production, (ii) de mettre en place des dispositifs qui garantissent le test de leur efficacité, (iii) de communiquer ces informations et enfin de (iv) de convaincre la plus grande majorité des paysans de mobiliser ces moyens afin d'engager une transformation de l'agriculture vers la modernité.

Le laboratoire, les stations d'expérimentation et la chimie agricole

A la fin du XIX^{ème} siècle, Grandeau, chimiste de formation, s'inspirant du modèle de développement agricole allemand et intéressé par l'agriculture et par l'agronomie, a prôné la nécessité du laboratoire et de la station d'expérimentation dans la production des savoirs indispensables selon lui, à l'agriculture. « *Au cours des années 1830, les chimistes commencent à prendre de l'importance dans le domaine de l'agronomie et s'emparent véritablement de ce dernier, en le refaçonnant, au cours des deux décennies suivantes. Ce faisant, ils placent le laboratoire au cœur du système de production des savoirs sur*

⁷² Comme nous l'avons mentionné plus haut, les adventices sont des concurrents étroitement liés à la mise en culture des espaces. Sur une parcelle cultivée dont le sol est émiété, fertilisé et dans le lequel il est ménagé des trouées de lumière dans l'inter rang, des adventices vont pouvoir se développer et concurrencer le peuplement cultivé. Deux interventions curatives sont possibles alors. Supprimer ces concurrentes *via* des désherbages mécaniques, la mécanisation de l'opération est possible avec l'arrivée des bineuses. Intervenir avec des produits chimiques s'avère possible à la fois grâce aux progrès de la chimie (nouvelles molécules efficaces) et à ceux du machinisme agricole mettant au point toutes sortes de « sulfateuses »...

l'agriculture et des transformations des pratiques agricoles. Ce changement important a lieu conjointement dans plusieurs pays occidentaux, dont la France. » (Jas, 2005, p. 46).

Les laboratoires agronomiques allemands dans lesquels les chimistes agricoles œuvraient et les stations qui prenaient le relais en expérimentant rationnellement ont fait progresser l'agriculture allemande. Cette organisation est fondée sur la base d'une forme d'industrialisation en donnant une large place à la chimie : « *les chimistes agricoles allemands, dans un même mouvement, mettent au point les outils d'une recherche agronomique performante et les moyens d'imposer la chimie agricole dans les pratiques agricoles.* » (Jas, 2005, p. 47). Nous pouvons dire qu'à partir de cette époque, le laboratoire est devenu un lieu de référence privilégié de conception des innovations pour l'agriculture, symbole de l'innovation scientifique, à l'instar du laboratoire de recherche et de développement des grands groupes industriels privés. Ces derniers étaient perçus dans la société comme des pourvoyeurs de modernité et de progrès (progrès permis dans la pharmacopée humaine et dans l'hygiène publique et domestique). Ces grands groupes ont soutenu une recherche très active dans leurs laboratoires et se sont ainsi imposés dans de nombreux domaines comme la médecine et la production de médicaments, la fabrication des plastiques, des solvants, la chimie du pétrole et enfin la fabrication des engrais et les pesticides, d'abord pour la santé humaine et pour l'agriculture ensuite.

La station d'expérimentation en agronomie s'est avérée être l'autre site de référence au sein duquel des expériences rigoureuses et reproductibles ont permis de tester des hypothèses agronomiques en contrôlant les facteurs. A partir de 1860, les premières stations agronomiques disposaient de laboratoires d'analyses chimiques chargées de vérifier la conformité des engrais destinés à l'agriculture. Ils étaient utiles à la répression des fraudes dans un marché caractérisé par de nombreux produits frauduleux.

Grandeau est chimiste et il a œuvré à la promotion de cette forme de progrès agricole en créant une station d'expérimentations dans l'Est de la France en 1868. Il en a démontré les intérêts et largement communiqué sur ses résultats par différents moyens, invitant à multiplier la création de ce type de stations régionales. Selon lui, elles étaient nécessaires pour mettre à disposition au plus près des utilisateurs des méthodes rationalisées pour améliorer la pratique de l'agriculture. Les stations d'expérimentation et le laboratoire ont eu pour mission de « *développer la « science agricole » et de convertir les agriculteurs* » (Jas, 2005, p. 49). Ses entités ont montré leur efficacité dans de nombreux domaines agricoles (semences, engrais, production animale, ...). Elles se sont progressivement imposées comme des structures à reproduire pour assurer l'essor de l'agriculture moderne. Grandeau a fondé son discours de promotion sur quatre arguments pour lesquels le lien avec la chimie est évident :

- il établit un « *lien absolu entre station agronomique et prospérité nationale* » (Jas, 2005, p. 49). Ainsi le recours à la science est nécessaire à la modernisation de l'agriculture : les stations d'expérimentation et les laboratoires agronomiques sont des lieux où l'on pratique des activités scientifiques rigoureuses ;

- « *Seules (les stations) elles conduisent à l'explication rationnelle des faits observés dans les champs au sens de « scientifiques de la pratique de l'agriculture ».* Elles ont acquis ainsi « *un statut d'autorité dans la formulation de ce qui doit permettre ce progrès de l'agriculture* » (Jas, *ibid.*). Le savoir scientifique construit selon le cadre des démarches mobilisé en chimie doit s'imposer comme le savoir de référence pour conduire à la modernisation de l'agriculture : « *le praticien qui ne peut se prévaloir de l'usage du laboratoire est, de fait, disqualifié de la production de savoirs valides pouvant conduire à une amélioration de l'agriculture* » (Jas, 2005, p. 50). Il faut appuyer la pratique de l'agriculture par la science et il faut faire de l'agronomie la science incontournable de l'agriculture.

- il communique l'idée d'une communauté duale d'agriculteurs. D'un côté, il y aurait des agriculteurs plutôt enclins à la modernité déjà engagés dans la mobilisation de techniques

« modernes ». Celles-ci sont représentées à la fin du XIX^{ème} siècle par l'usage des engrais chimiques, des variétés améliorées, des produits de protection des cultures et des denrées stockées et par la mécanisation des opérations culturales. De l'autre, tout le reste de la population d'agriculteurs serait selon Grandeau réfractaire au progrès et à la modernisation de l'agriculture. Il rejoint des agronomes et des politiques pour qui la tradition et les routines seraient les deux travers ayant montré leurs limites pour la pratique de l'agriculture et ayant fait stagner les rendements agricoles. En effet, des savoirs et des techniques existent mais les progrès sont lents ou n'arrivent pas à perfructifier dans ce milieu : « *Quand on présente aux agriculteurs un procédé nouveau, soit pour conjurer un des fléaux qui les désolent, on est frappé du sentiment de défiance qu'on rencontre chez eux (...)* » (Maxime Buisson, 1892, in Bain *et al.*, p. 114)

- il devient impératif de transformer les mentalités de la grande majorité des paysans en « agriculteurs modèles » à l'instar de ces agriculteurs modernes. Grandeau veut « *une science entreprenante dans le laboratoire comme dans la société* » (Jas, 2005, p. 51). C'est pour cela qu'à leur création, les stations agronomiques sont dotées de 5 missions que sont la recherche, l'expérimentation, la vulgarisation, l'enseignement et le conseil.

Durant la dernière décennie du XIX^{ème} siècle, convaincu par ces arguments, « l'état central » va décider de la création d'une vague de stations dédiées aux sciences de l'agriculture sur tout le territoire national. Elles seront subventionnées par l'état et sont sous la responsabilité du ministère de l'agriculture.

Une forme de modernisation de l'agriculture prônée par des agronomes

Par rapport aux moyens existants antérieurs, les produits phytosanitaires issus de la chimie sont apparus très efficaces et très peu de temps après leur application : les effets étaient rapidement visibles. Les produits phytosanitaires ont dévoilé leur incroyable efficacité sur des espèces à problème. Le cas de la gestion du mildiou de la vigne et celui du doryphore de la pomme de terre sont à ce propos intéressants. A partir de 1885, l'utilisation de la bouillie bordelaise contre le mildiou, stimula à la fois des études scientifiques sur la biologie du mildiou et sur la mise au point de toute une gamme de produits à base de cuivre, mais aussi des études sur des matériels pour améliorer l'application de la bouillie. Ainsi, phytopathologie, chimie, agronomie et machinisme agricole ont progressé ensemble. Pour gérer les doryphores, la palette de produits disponibles a révélé les perspectives offertes par la gamme des pesticides chimiques⁷³. La pharmacopée chimique pour la protection des cultures en viticulture, en horticulture et pour certaines grandes cultures s'est étoffée : de nombreux produits à base de cuivre, de soufre, d'acide sulfurique, de sulfure de carbone, de formol, de dérivés d'arsenic, d'acide cyanidrique, de nicotine, de roténone entre autres ont été produits. Les premiers pesticides sont pour leur grande majorité des poudres et des bouillies d'origine minérale. L'essor de l'industrie chimique a progressivement transformé la production de pesticides : elle est passée de l'artisanat à une forme industrielle rationnelle. Jusqu'en 1945, les pesticides organiques sont peu nombreux sur le marché. Mais, les bases d'une chimie organique des pesticides sont posées au début du XX^{ème} siècle et le contexte favorable après guerre va permettre à ce type de pesticides de se développer⁷⁴. Notons que les premières molécules découvertes à effet herbicide ou insecticide étaient souvent des sous-produits d'une recherche en chimie tournée vers d'autres débouchés, elles ont trouvé dans l'agriculture des

⁷³ Nous pouvons citer les arsénates et la roténone.

⁷⁴ Déjà en 1874, le DDT a été mis au point, la simazine en 1885, le lindane en 1912, le clopenthadiène en 1926, co-produit de la fabrication du caoutchouc va donner l'Aldrin, Dieldrin, Heptachlor, les travaux sur les phytohormones en 1926 vont donner le MCPA et le 2,4D par la suite.

« débouchés ». Certaines molécules ont été en effet découvertes soit au cours de la recherche de nouveaux produits à des fins domestiques, soit pour la mise au point d'armes chimiques de guerre (gaz neurotoxique, agent défoliant, ...).

Cette percée de l'industrie chimique dans la protection des plantes va s'intensifier grâce à la structuration en grands groupes puissants⁷⁵ dotés d'un système d'innovations puissant et dynamique. Jusqu'en 1945 voire jusqu'en 1950, la lutte chimique pour protéger les cultures ne s'est pas imposée partout en raison de son coût, des habitudes des paysans et mais aussi à cause d'une pharmacopée trop peu étoffée encore. Néanmoins, cette « nouvelle » stratégie de protection est porteuse de promesses (Bain *et al.*, 2010).

La nécessité d'un cadrage réglementaire

Dans un contexte où l'état (et la nation) demandait l'intensification immédiate de l'agriculture depuis le début du XX^e siècle, il était nécessaire de mettre à disposition des agriculteurs des moyens fiables considérés comme efficaces pour augmenter la production : des plants et des semences sains, des produits fertilisants et des pesticides efficaces. Au début du XX^e siècle, divers textes et initiatives ont vu le jour avant la naissance officielle du service chargé du contrôle de la conformité, de l'efficacité et d'une certaine innocuité des pesticides en 1943. Paradoxalement, les textes réglementaires traitant spécifiquement de la question des pesticides sont arrivés après ceux traitant des engrais et des végétaux... Déjà le législateur avait cherché à régler les risques liés aux échanges de produits végétaux pour garantir leur état sanitaire⁷⁶. En 1941, le service de la protection des végétaux, créé par un décret officiel, est un organisme qui va contribuer à structurer la lutte contre les bioagresseurs. En particulier, il est chargé de l'organisation de la lutte obligatoire contre certains bioagresseurs et de la diffusion de bulletins d'avertissements et de conseils pour conduire la lutte chimique. La sécurisation officielle du marché des produits phytosanitaires s'est opérée pas à pas. L'encadrement réglementaire de la commercialisation et des usages des pesticides est apparu une nécessité au fur et à mesure que les produits se sont multipliés sur le marché. Textes réglementaires, initiatives hors contexte officiel, mise en application ne respectant pas tout le contenu des décrets et/ou mesures vont caractériser le processus jusqu'à la fameuse loi-décret de 1943.

Aussi avant cette date, un ensemble de produits de formulation très diversifiée, parfois frauduleux⁷⁷ et agressifs pour les applicateurs, le matériel et le milieu biophysique étaient disponibles sur le marché. Les données sur la composition réelle des produits phytosanitaires, sur leurs conditions d'emploi et sur leurs précautions d'utilisation étaient incomplètes et insuffisantes pour leur grande majorité. Une première avancée dans l'encadrement pour la sécurisation des usages remonte à la loi 1903 qui régissait le commerce des produits cupriques pour la vigne : la composition des produits de traitement devait être rendue publique. La loi sur la répression des fraudes⁷⁸ promulguée en 1905, a ensuite règlementé la fabrication et la vente des substances phytosanitaires : « *Cette dernière punit les tromperies sur « la nature, les qualités substantielles, la composition, la teneur en principe utile de toutes marchandises*

⁷⁵ Nous pouvons citer en Suisse Chemische Industrie Basel (CIBA), en Allemagne en 1925 IG Farben Industries AG, en Angleterre (1926) Imperial Chemical Industries (ICI), aux Etats-Unis (1802) Ei du Pont de Nemours et Compagnie (Jas, 2005 ; Assouline, 1989 ; Regnault-Roger, 2014).

⁷⁶ La loi mai 1911 crée officiellement un service d'inspection phytopathologique en horticulture. Elle est suivie d'un décret en février 1915 qui élargit ses attributions à l'ensemble des productions agricoles. La loi de 1941 a encore étendu ses prérogatives par les missions de luttes collectives, d'information des agriculteurs. C'est la naissance du service de la protection des végétaux (SPV).

⁷⁷ Fourche (2005) rapporte les propos de Willaume en 1926 lors d'un Congrès national pour la lutte contre les ennemis des cultures inquiet de la prolifération de substances frauduleuses sur le marché des pesticides : « *le terme insecticide complètement dévoyé, est devenu, dans nos campagnes, synonyme de "Poudre de perlimpinpin" et qu'on hésite souvent à l'employer par crainte de se donner une allure de charlatan* » (p. 43).

⁷⁸ Loi sur la répression des fraudes dans la vente des marchandises et des falsifications des denrées alimentaires et des produits agricoles du 1er août 1905.

» (Fourche, 2005, p. 41-42). Le texte reprend les éléments d'une loi de 1845, jamais appliquée sur les substances vénéneuses. Toutefois cette loi n'a pas eu la portée escomptée et les acteurs du monde de la protection des cultures ont fait pression pour qu'en 1929, une nouvelle proposition sur la répression des fraudes dans le commerce des produits phytosanitaires vise à donner des garanties fiables en termes de composition et d'efficacité, rassurant ainsi les industriels et les utilisateurs.

Les pesticides avaient déjà montré et confirmé leur toxicité et leur dangerosité : «*Dès ses origines, cette pharmacopée présente une image de dangerosité qu'elle ne quittera guère par la suite* » (Bernard, 2010, p. 2). Une mesure tentant de réglementer les usages de certains produits considérés et avérés dangereux comme les dérivés à base d'arsenic se concrétise dans le décret du 14 septembre 1916 et la loi de juillet 1916. Avec cette loi, la France est le premier pays au monde à avoir réglementé aussi complètement les usages de produits phytosanitaires dans l'agriculture (Fourche, 2004 ; Jas, 2007 et 2008). Ce n'est qu'en 1934 avec la *commission des Toxiques*⁷⁹ que seront étudiés et précisés des effets possibles des pesticides sur l'Homme et les animaux utiles. Ces prérogatives particulières et singulières en font une structure particulière. Pour la première fois, officiellement une entité devait émettre des avis sur la dimension toxicologique des produits phytosanitaires. C'est surtout la santé des utilisateurs qui étaient concernée⁸⁰. Elle va jouer un rôle actif jusqu'en 1972. La loi de 1935 et le décret d'application de 1937 reprennent les éléments du texte de 1929 et de la loi de 1903 pour contrôler les pesticides destinés à l'ensemble des cultures. Toutefois paradoxalement, cette loi présente une lacune importante car elle ne cadre pas le contrôle de l'efficacité des produits contre les bioagresseurs cibles. Les parties prenantes ne sont pas parvenues à se mettre d'accord sur la procédure. Mais hors de tout contexte officiel, « *une technique d'essais biologiques sélectifs faits dans un cadre agricole* » (Fourche, 2005, p. 45) a fait l'objet d'une publication⁸¹ ouvrant la voie aux tests d'efficacité de la gamme de produits commercialisés comparée à un produit de référence.

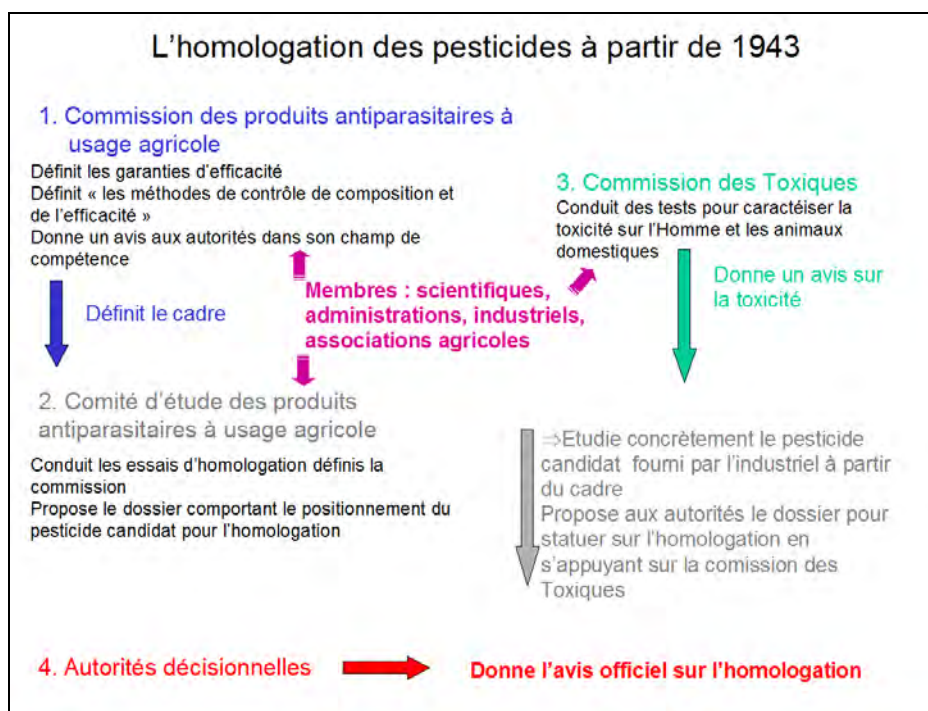
Enfin, en 1943, un décret-loi propose un dispositif d'homologation des produits phytosanitaires : le produit doit avoir satisfait un ensemble de conditions avant sa commercialisation pour obtenir une autorisation de mise sur le marché : il vise à protéger les « *agriculteurs des abus industriels en n'autorisant que les substances véritablement dotées d'une action efficace* » (Fourche, 2005, p. 48). En corollaire, la loi interdit la commercialisation des substances non homologuées (ces dispositions réglementaires évolueront peu jusqu'en 1972). Concrètement instruire le dossier pour une homologation relevait de trois structures : la commission des produits antiparasitaires à usage agricole, le comité d'étude des produits antiparasitaires à usage agricole et la commission des Toxiques. La commission des produits antiparasitaires à usage agricole définissait le cadre de la conduite des tests pour l'homologation. Ces tests visaient à caractériser l'efficacité des produits candidats présentés par les industriels. Le comité d'étude des produits antiparasitaires à usage agricole quant à lui conduisait concrètement les tests nécessaires pour l'homologation. Pour produire le rapport nécessaire aux autorités compétentes statuant sur l'homologation, ce comité s'appuyait sur les données toxicologiques issues des travaux de la commission des Toxiques. La figure n°2 reprend la procédure.

⁷⁹ Cette commission dont la véritable dénomination est « commission chargée d'étudier l'emploi des toxiques » a été mise en place sous l'impulsion de l'état en l'occurrence, le ministre de l'agriculture Henri Queuille.

⁸⁰ En effet, des médecins hygiénistes ont révélé dès la fin du XIX^{ème} siècle, des intoxications sévères et des maladies chroniques, parfois létales liées à l'usage des substances chimiques pour la protection des cultures (Jas, 2010).

⁸¹ Cette note est parue dans les annales des épiphyties et de phytogénétique.

Figure n°2 : L'homologation des pesticides avant 1943



Nous pouvons remarquer que les industriels représentant les industries chimiques, des scientifiques des champs agronomiques, des membres de l'administration et des représentants d'associations agricoles participaient à cette procédure qui devait garantir à la fois l'efficacité et la sécurisation pour les Hommes et les animaux domestiques : on peut d'ores et déjà imaginer le jeu des influences au fil du temps.

Cette rétrospective met en évidence un phénomène récurrent dans la mise en application de textes sur les restrictions d'usage de pesticides avérés dangereux mais jugés très efficaces. Le cas des produits à base d'arsenic est à ce titre emblématique⁸². Le cadrage des usages et de la commercialisation des produits à base d'arsenic a été émaillé de textes réglementaires qui n'ont jamais été appliqués ou qui l'ont été partiellement ou qui ont fait l'objet de mesures officielles dérogatoires. Les services de l'état ou des organisations officielles en ont prôné l'usage se mettant lors hors la loi. Les produits phytosanitaires ont été l'objet d'une procédure d'encadrement exprimant le souci de sécurisation des usages par les autorités, au même titre que les médicaments. Le processus a conduit à une forme de légitimation sécuritaire des usages dans un cercle d'initiés⁸³. D'une part, les autorités étaient assurées de l'accroissement de la production grâce à des outils modernes. De l'autre, les agriculteurs ont vu dans les pesticides des produits efficaces et sécurisés. Enfin, en bout de chaîne, les consommateurs ont été rassurés, sur sécurisés de la « qualité » des denrées et pouvaient avoir confiance dans cette délégation des contrôles.

⁸² On peut relever des similitudes avec l'histoire du DDT plus tard et avec le chlordécone plus récemment.

⁸³ Au cours de cette période, les pharmaciens ont longtemps tenté de prendre une part importante dans l'histoire des pesticides. Ils étaient les seuls détenteurs de substances toxiques et habilités à faire des préparations. Ils ont joué dans l'histoire des dérivés d'arsenic par exemple. Au début du XXème siècle, ils se sont impliqués dans la ligue contre les ennemis des cultures, revendiquant une contribution légitime « *les études pharmaceutiques recouvrent les domaines de la chimie et des sciences naturelles et débouchent sur l'habilitation à manipuler tous les produits toxiques* » (Fourche, 2005, p. 284). Ils ont aussi critiqué l'usage du terme *phytopharmacie* accusant les agronomes d'usurper le terme.

La naissance d'une forme diversifiée d'encadrement

Nous venons de voir comment les autorités guidées par le souci d'améliorer la productivité de l'agriculture, la protection des agriculteurs contre les fraudes et celui d'assainir le marché des produits antiparasitaires en privilégiant les entreprises capables de fournir des produits fiables ont défini un cadre régissant la mise à disposition des pesticides aux professionnels. Toutefois pour garantir la modernisation de l'agriculture et pour profiter des promesses de progrès dont sont porteurs les pesticides, il est apparu nécessaire de former aux nouvelles techniques fer de lance de l'intensification de l'agriculture, pour convaincre les paysans encore réticents.

Une fois encore, précisons que nous ne visons pas la monographie et nous avons choisi de ne retenir que quelques faits marquants.

Plusieurs voies ont permis la sensibilisation et l'instruction de la population rurale, majoritairement impliquée dans l'agriculture. Nous avons retenu les exemples de l'instruction à l'école primaire, les enseignements dans les fermes-écoles et la promotion d'une forme de gestion des bioagresseurs *via* des associations.

L'instruction et les enseignements

Dans les écoles normales des instituteurs formés ont porté à la fois une instruction nécessaire à la culture générale, mais aussi ont conduit des enseignements sur la vie des champs. L'enseignement des notions élémentaires d'agriculture est devenu obligatoire en 1882. Un corps particulier d'instituteurs va jouer un rôle important dans les écoles d'agriculture (Le Lorrain, 1994). La formation est aussi délivrée plus spécifiquement dans les fermes-écoles départementales créées dès le XIX^{ème}. Ce n'est pas spécifiquement la promotion des pesticides qui en est faite mais les grands principes de la modernisation. En 1848, un décret entérine le caractère officiel de ces écoles en même temps que la création de l'Ecole d'Agriculture de Versailles, destinée à former les futures élites de l'agriculture, puis en 1876 l'Institut National Agronomique et le corps des agronomes. Si dans les écoles d'agriculture, un enseignement pratiques sur les conduites des cultures y est délivré, dans les écoles supérieures, comme par exemple à l'INA, une chaire d'entomologie et une traitant de maladies cryptogamiques y sont créées assurant des enseignements dans ces disciplines. Futurs agriculteurs et élites sont donc « formés » aux grands principes qui fondent la modernisation de l'agriculture.

Les associations

Nous avons vu le rôle joué par les chimistes et l'industrie chimique dans la chimie agricole, par les agronomes et les stations et les laboratoires agronomiques dans la production savoirs robustes et/ou des innovations compatibles avec la forme d'agriculture souhaitée. Les agronomes sont devenus des interlocuteurs incontournables de l'état central : experts, évaluateur et scientifiques et praticiens. En 1926, avec d'autres scientifiques, ils impulsent la création de la « ligue contre les ennemis des cultures ». Elle vise à promouvoir l'intérêt de lutter contre les ennemis des cultures et pour cela « *à renseigner les usagers de façon aussi impartiale que possible sur les produits antiparasitaires et les appareils de traitements, à vulgariser les meilleurs méthodes de lutte contre les ennemis des cultures par des publications, des conférences, des congrès en même temps que par des démonstrations et des essais* » (Fourche, 2005, p. 267) et elle mettra à disposition des techniciens des informations robustes « *vulgarisant avec rapidité les progrès scientifiques et techniques.* » (*ibid.* p. 271). Cette ligue a joué un rôle important pour faire évoluer la législation incitant au contrôle généralisé de toutes les substances anti parasite et à la diffusion d'informations sur la protection des cultures. La ligue a contribué au premier guide pratique pour la défense sanitaire des végétaux, paru en 1937.

En 1884, les syndicats agricoles sont autorisés, ils ont été dès leur création très efficaces pour la promotion du progrès agricole souhaité par les agronomes à l'échelle des petites régions agricoles. Le Service d'inspection phytopathologique, devenant en 1941 le Service de protection des végétaux, service officiel des syndicats de défense des cultures, a contribué à améliorer les pratiques en donnant des informations sur la pression parasitaire et sur les moyens de la juguler *via* la publication d'avertissements agricoles. Ces actions vont ouvrir la voie à la généralisation de la lutte chimique.

Le cas de la gestion des adventices de la naissance de l'agriculture à 1945

Nous avons abordé la question de la gestion des bioagresseurs dans son ensemble de la naissance de l'agriculture à 1945. La gestion des adventices nous intéresse particulièrement et nous proposons de développer quelques traits saillants expliquant l'évolution dans les stratégies de gestion.

Les adventices ont émergé avec la pratique de l'agriculture. Elles ont été considérées comme des concurrents tenaces et quotidiens, des fléaux « discrets », mais terriblement efficaces au long court. Sur une parcelle cultivée dont le sol est émiétté, fertilisé et dans le lequel il est ménagé des trouées de lumière dans l'inter rang, des adventices vont pouvoir se développer et concurrencer le peuplement cultivé. Nous avons cité des travaux en archéobotanique qui attestent de l'émergence des adventices avec l'agriculture. Comme pour la gestion d'un ensemble de bioagresseurs, la lutte contre les adventices n'a pas connu d'avancées importantes avant 1945 pour une grande majorité des paysans. Faute de mieux, durant des siècles, la gestion des adventices a reposé sur les actions préventives de nettoyage des semences, de préparation des terres avant les semis sur la base de travaux de sols profonds à la main ou avec des outils attelés ou de « nettoyage » par le feu. L'itinérance des systèmes abattis brulis s'est fondée sur l'acquisition d'une fertilité gagnée par le feu (Mazoyer et Roudart, 1997), par le fer (outils de désherbage), par les désherbages manuels et sur l'abandon des parcelles défrichées au bout de 4 ans résultant de l'infestation d'adventices difficilement maitrisables. Jusqu'à la fin du XVIIIème siècle, le temps de la jachère dans les assolements biennaux ou triennaux, permettait de nettoyer les parcelles qui allaient ensuite être emblavées : vaine pâture sur des repousses, défonçage des terres à main d'hommes pour ameublir le profil et pour désherber la parcelle. La lutte contre les adventices a aussi reposé sur l'introduction de plantes sarclées dans la rotation pour lesquelles les écartements entre les plantes étaient plus larges que dans les cultures de céréales ont permis des passages répétés des désherbages en culture (sarclage, binage). Dans de nombreuses petites exploitations, les désherbages manuels conduits par tous les membres de la communauté (mais plus particulièrement, les femmes, les enfants et les personnes âgées) relevaient des actions curatives. Les agronomes avaient coutume de dire que les plantes sarclées étaient des cultures nettoyantes pour les cultures suivantes. Plus tard, la mise au point d'un outillage adapté et d'attelages ainsi que les semis en ligne des cultures ont permis de mécaniser les désherbages (désherbages mécaniques avec bineuses et houes). Dans l'imaginaire collectif comme l'affirme Menault et Rousseau (1902) « *les mauvaises herbes sont de la famille des mauvais agriculteurs* » (cité par Bain *et al.*, 2010, p. 12), l'état du salissement des terres augurait une mauvaise maitrise du travail des champs et était associé à la qualité du labeur fourni par le paysan. La technicité pouvait être évaluée par la présence plus ou moins abondante de « mauvaises herbes ». Cette conception a perduré longtemps et elle persiste encore chez certains agriculteurs pour qui l'infestation par les mauvaises herbes des cultures est signe d'une maitrise technique insuffisante du processus de production.

A partir de la fin du XIXème siècle, dans les agricultures du Nord développées sur les bases de la chimie agricole, les adventices sont devenues des produits indirects des innovations découlant de l'intensification et de l'artificialisation des systèmes de production : « *Gardez-*

vous donc d'avoir recours aux engrais chimiques sur une terre mal préparée. La mauvaise herbe prendra fatalement le dessus, et la récolte, souillée, sera un produit sans valeur, réduit à zéro ! » (Ville, 1884 cité par Bain *et al.*, 2010, p. 96). En effet dans ces contextes, le choix des rotations et la conduite des cultures ont sélectionné un cortège d'adventices et en ont favorisé le développement. En particulier, l'emploi des fertilisants minéraux en grande quantité les a avantagées. Le premier herbicide sélectif des céréales à base de sulfate de cuivre a été testé par Bonnet (1896) sur la flore adventice de dicotylédones, plus tard Rabaté en 1911 a montré l'intérêt des désherbages chimiques sélectifs du blé et de la betterave à base d'une solution d'acide sulfurique diluée⁸⁴. Intervenir avec des produits chimiques s'avère possible à la fois grâce aux progrès de la chimie (nouvelles molécules efficaces) et à ceux du machinisme agricole mettant au point toutes sortes de « sulfateuses »...

Dès 1945, parmi le cortège des bioagresseurs dont une grande majorité est connue, seule la lutte chimique contre les mauvaises herbes des céréales est préconisée... La palette des produits herbicides est peu étoffée : l'acide sulfurique, substance la plus utilisée pour le désherbage des céréales à cette époque en France et en Europe, le sulfate de fer, le sulfate de cuivre, le crud ammoniac, le chlorate de soude (Bernard, 2008). La lutte biologique⁸⁵ est très peu citée avant 1945 et ce sera aussi le cas ensuite.

Conclusion

Nous avons longuement développé cette partie car elle pose des bases de la modernisation de l'agriculture qui va donner la première révolution verte. Elles sont à l'origine de la conception d'une forme de modernisation de l'agriculture. Cette mise en perspective socio historique permet d'entrevoir des faits qui vont faire la force de la chimie agricole et avec elle, le cortège des pesticides de synthèse.

En 1945, l'agriculture française est sinistrée par les crises successives et les deux guerres. La pénurie alimentaire est générale et faire progresser la production agricole est une demande forte des populations rejointe par l'état et la profession agricole. L'amélioration des rendements est visée. Sur la base d'un discours commun des élites, de l'état et des systèmes d'encadrement, les engrais et les pesticides devaient pallier une partie des aléas susceptibles d'affecter la qualité et le volume produit. La chimie agricole était alors synonyme de progrès et d'avancées pour les projets de l'agriculture. Mais, les préoccupations liées aux engrais ont d'abord supplantées celles liées à la protection des cultures : « *les effets des engrais améliorent la fertilité des sols, et on en voit mieux les applications immédiates pour augmenter les rendements et... le formidable potentiel commercial* » (Regnault-Roger, 2014, p. 19). En 1945, par rapport aux Etats-Unis, la France apparaît toutefois « en retard » en matière de gestion des bioagresseurs et de mobilisation de la solution chimique. La méfiance à l'égard des nouveautés et le poids de la tradition pesaient, même si pour protéger les cultures, les paysans disposaient déjà d'une gamme de solutions mécaniques, génétiques⁸⁶, physiques, chimiques⁸⁷ et biologiques⁸⁸, associées à des mesures agronomiques. L'état a

⁸⁴ Ces épandages étaient très pénibles pour les applicateurs et très agressifs pour le matériel à cause du pouvoir corrodant de cet acide fort. Toutefois, des parcelles étaient encore désherbées en France de cette manière jusqu'en 1960 (Blain *et al.*, 2010).

⁸⁵ Il est toutefois fait mention d'essais concluants de lutte biologique dirigée contre une « adventice » conduits en Australie : en 1920 l'*Opuntia* a pu être maîtrisé avec l'introduction d'un prédateur lépidoptère, *Cactoblatis cactorum*.

⁸⁶ Les sélectionneurs ont créé des variétés plus résistantes aux bioagresseurs.

⁸⁷ Ce sont d'abord des fongicides minéraux qui se sont développés en Europe pour lutter contre des maladies de la vigne et en horticulture, contre des insectes une large gamme de produits minéraux et quelques pesticides de synthèse sont disponibles.

⁸⁸ En 1912, dans le sud de la France contre la cochenille des agrumes, *Icerya purchasi* importée d'Australie a été maîtrisée en introduisant un de ses ennemis naturels la coccinelle *Rodolia cardinalis*. On peut aussi citer

contribué à sécuriser le marché pour assurer le succès de la modernisation prônée par certaines sociétés savantes avec la mise en place d'un dispositif national de contrôle de la qualité sanitaire des produits qui transitent aux frontières et par un dispositif d'homologation des pesticides. En associant, les pesticides chimiques à une des conditions du bien-être de la nation, les sciences ont été perçues comme incontournables pour le développement de l'agriculture, les innovations des laboratoires et des champs contrôlés comme des références pour le progrès. Le raisonnement cartésien a dominé favorisant une approche analytique des problèmes pour mieux les comprendre et les résoudre ensuite. Une conception positiviste dominante dans les sciences et dans les sciences agronomiques s'est imposée (Perret, 2007). Le projet de modernisation de l'agriculture devait *de facto* être conduit dans une sphère d'initiés. Le secteur industriel puissant de la chimie des pesticides profitant des travaux sur les armes de guerre et de l'essor des secteurs de la chimie doté d'une recherche privée efficace va peser dans les outils disponibles pour intensifier l'agriculture : « *La Seconde Guerre mondiale a favorisé la structuration de l'industrie chimique internationale ; les progrès dans le domaine des pesticides sont allés de pair avec ceux réalisés dans la pharmacie, les plastiques, les fibres synthétique ou les procédés catalytiques.* » (Assouline, 1989, p. 43)

Dans la grande majorité des exploitations, de nombreuses actions étaient routinières et indispensables pour limiter la concurrence des adventices (arrachage manuel, sarclage, binage).

A la fin de la deuxième guerre mondiale, le monde agricole français est exsangue, l'agriculture est sinistrée par les batailles sur le sol français, par la pénurie des ressources nécessaires au fonctionnement des systèmes de production. Les rendements du blé par exemple sont inférieurs à ceux de 1938 (Assouline, 1989, *ibid.* ; Jussiau *et al.*, 1999). Outre ces grandes difficultés conjoncturelles, déjà des problèmes de gestion de bioagresseurs liés à l'usage de pesticides sont connus : des intoxications humaines générées par l'utilisation de produits ont été signalées, des chercheurs se sont inquiétés des effets des spectres d'action très larges des pesticides sur des animaux comme les oiseaux, des cas de pertes d'efficacité de produits ont été signalés avec par exemple l'inefficacité des insecticides sur le pou de San José (Deguine *et al.*, 2010) : « *l'existence de phénomènes de résistance a été mis en évidence en 1928* » (Aubertot *et al.*, 2005a, p. 41). Ainsi, « *chaque percée de l'innovation génère ses propres inconvénients* » (Bernard, 2008, p. 7). Et en 1940, Paul Marchal fait preuve d'une extraordinaire clairvoyance en croisant ce qu'il a pu observer : « *ce n'est que par la combinaison rationnelle des méthodes que, dans le domaine de la lutte contre les grands ennemis des cultures, on peut espérer le succès.* » (Bain *et al.*, 2010, p. 182). C'est une définition de la protection intégrée.

La lutte chimique va être évaluée favorablement en termes de bénéfices/risques par un ensemble d'acteurs du monde agricole. Cette voie retenue d'innovations technologiques va permettre la construction d'un système socio technique cohérent. Elle va générer un effet de verrouillage pour les moyens et/ou les techniques pouvant se substituer à la lutte chimique. Nous proposons de l'aborder dans la partie qui suit.

l'utilisation d'extraits de plantes à effet biocide comme les insecticides à base de pyrèthre connus depuis l'antiquité et ceux à base de nicotine découvert au XVIIème avec les essais de la Quintinye, et plus tard ceux à base la roténone.

2.3. De 1945 à nos jours : de l'avènement de l'agriculture industrielle à la question de la transition agroécologique

Dans cette partie, nous proposons une synthèse soulignant quelques éléments qui ont conduit à généraliser l'emploi des pesticides de synthèse et à les imposer comme clé de voute des systèmes agricoles intensifs français conventionnels. Avec l'avènement de l'agriculture industrielle d'après-guerre, un système socio technique verrouillant les alternatives aux pesticides de synthèse s'est structuré.

Dans un premier temps, nous prenons appui sur des points saillants du système agricole américain après la deuxième guerre mondiale. Succinctement présentés, ils nous permettent de préciser comment la France s'en est inspirée. Nous proposons ensuite une analyse diachronique des orientations prises pour les techniques agricoles et enfin nous présentons dans un troisième temps un éclairage plus spécifique pour la protection des cultures (nous y insérons des éclairages en lien avec la gestion des pesticides dans les systèmes cultivés).

2.3.1. L'après-guerre et le modèle retenu pour moderniser l'agriculture française

Des fondements de l'agriculture américaine comme source d'inspiration pour l'agriculture française

Des bases de la modernisation de l'agriculture fondées sur le progrès par la technique et les innovations technoscientifiques⁸⁹ ont été posées avant guerre. Il ne « reste » qu'à convaincre encore les paysans rétifs et à mettre en place des moyens concrets pour parvenir à rattraper le retard agricole en donnant des preuves tangibles des bienfaits de ce choix pour tous, agriculteurs et citoyens.

L'année 1945 s'est achevée avec la nécessité de relever la France et l'Europe des dégâts provoqués par la guerre. L'agriculture était en première ligne car il fallait nourrir la population : la France connaît une pénurie alimentaire⁹⁰ et assurer l'autosuffisance dans un grand nombre de secteurs comme les céréales, le lait et la viande entre autres était une nécessité. Les finances de la France ne lui permettaient pas d'importer sa nourriture, la solution passait par un accroissement de la production et une amélioration de la productivité. L'agriculture française devait sortir de son archaïsme et se moderniser pour se défaire de son « retard agricole » : des techniques traditionnelles et exploitations de petite taille peu productives. Duby et Wallon (1974) parlent du « *retard français* ». Pour mettre en œuvre la modernisation, les systèmes se sont structurés et développés en se fondant sur des concepts et/ou des méthodes empruntés à l'industrie capitaliste pour rationaliser tout le processus de production. Cette rationalisation industrielle a fondé la performance des systèmes agricoles américains ou d'Europe du nord⁹¹. Ces systèmes « performants » répondaient au moins à trois objectifs : (1) produire pour dépasser l'autosuffisance alimentaire, (2) participer aux bénéfices de l'excédent commercial du pays, (3) diminuer les coûts de production pour viser

⁸⁹ Rolland (1996) discute l'effet paradoxal induit par la deuxième guerre mondiale, moins meurtrière sur la population agricole que la première guerre mondiale. Certes, les bras ont manqué, mais ce sera du fait de l'enrôlement obligatoire en Allemagne d'hommes dans le cadre du service obligatoire de travail (STO). Pendant, l'occupation, les Allemands réclament plus de productions agricoles en France. En se fondant de ce qui a fait l'efficacité de l'agriculture allemande, des tickets de rationnement pour des engrais et/ou pour des pesticides sont distribués. Les paysans ont pu tester les effets de ces produits sur le niveau de production, bien que très insuffisamment nombreux. Ils ont été sensibilisés à ces formes de progrès : « *Effet paradoxal, la pénurie des moyens de production, chichement répartis, a fait connaître les engrais ou les pesticides à bien des paysans qui, jusque là, en écartaient l'emploi par économie.* » (Rolland, 1984, p. 16).

⁹⁰ Les tickets de rationnement ont été maintenus jusqu'en 1949 (De Gasquet, 2002)

⁹¹ Bien que l'agriculture allemande ait démontré sa performance dans le passé, elle sera rejetée : l'Allemagne fait partie du camp des vaincus.

la satisfaction d'une consommation de masse et l'approvisionnement d'un système industriel agroalimentaire puissant et bien structuré. Le modèle américain avait montré son efficacité. Aussi, des personnalités ont été missionnées aux Etats-Unis⁹² afin de ramener des éléments concrets pour conduire efficacement la modernisation de l'agriculture française (Vedel, 2006). Toutefois la France n'a pas retenu un « modèle » complètement calqué sur le système américain⁹³. Il a différé au moins sur deux points. (i) D'une part, c'était l'exploitation familiale, quelle qu'en soit la taille au départ, qui avait été le système retenu par la France pour porter la modernisation de l'agriculture. (ii) De l'autre, comme la France ne disposait pas d'un territoire aussi vaste pour étendre sa superficie agricole en vue d'accroître la production, le premier facteur d'intensification⁹⁴ choisi par la France (à l'instar des autres pays européens) a été le facteur terre. Il s'agissait de maximiser la quantité produite par unité de surface en employant les moyens adaptés : des techniques et l'institution d'un contexte socio politique qui en facilite l'expression et la mise en œuvre. Le cadre était donc posé avec des engrais et des amendements pour pallier l'hétérogénéité des sols et accroître la productivité des terres, des variétés améliorées par la recherche garantissant une régularité dans l'atteinte des hauts rendements, le recours à l'irrigation pour s'affranchir d'aléas climatiques, enfin une forte mécanisation des opérations pour réduire les coûts du travail. Mais le revers de ces systèmes engagés dans la voie retenue d'intensification a été de favoriser en même temps l'émergence de bioagresseurs ou d'en aggraver la pression. L'atteinte des objectifs est devenue progressivement conditionnée par la mise en œuvre d'un moyen de protection des cultures facile d'emploi, rapide, régulièrement efficace et rentable...

Le modèle des agricultures américaines

Le tableau n°3 présente en même temps des points saillants des systèmes agricoles américains performants spécialisés dans les grandes cultures et des éléments retenus pour moderniser l'agriculture française après guerre. En parcourant la bibliographie, quatre items nous sont apparus structurants pour introduire l'analyse. Nous les avons organisés et commentés dans une première colonne. Nous avons choisi :

1. le positionnement des systèmes par rapport aux innovations techniques renseigne les formes d'innovation considérées valides qui vont être mobilisées ou qui vont faire évoluer les systèmes ;
2. le rôle de l'état précise en quoi le contexte socio politique a joué un rôle dans la structuration de la voie retenue.
3. le modèle d'exploitation précise la structure opérationnelle retenue pour y instruire concrètement les déclinaisons du progrès ;
4. la logique technico-économique de la conduite de la structure met en évidence les fondements retenus pour décliner la modernisation.

⁹²En 1948, des « missions productivistes » constituées de responsables de la profession agricole, des fonctionnaires du ministère de l'Agriculture sont missionnées aux États-Unis, en Grande-Bretagne, dans les pays du nord de l'Europe pour s'inspirer des méthodes qui vont permettre de rattraper le retard français (Vedel, 2006).

⁹³Pour simplifier notre propos, nous avons passé sous silence la diversité des systèmes rencontrés aux Etats-Unis en grandes cultures après-guerre. D'une part, des très grandes exploitations productives et performantes sur le plan économique, étaient conduites comme des entreprises « industrialisées » capitalistes avec à leur tête un *farmer*, très bien formé, souvent citadin. Elles avaient des liens forts avec des grands groupes industriels de l'agrifourniture ou du secteur agroalimentaire. L'investissement productif y était important. De l'autre une série d'exploitations moins grandes (de la centaine d'hectares quelques dizaines de centaines d'hectares) de type familial. Les exploitants de ces structures étaient souvent en difficulté et leur survie était conditionnée par les diverses aides publiques de l'état fédéral et du sommet de la nation (Noël, 2003). La promotion des formes d'agriculture reposait sur un mélange de soutiens (prix garantis), de mesures de protection (mesures douanières discrétionnaires en fonction de la situation, quotas d'importation pour certaines denrées) et d'incitations au libre-échange (soutien à l'exportation *via* des subventions) (Noël, *ibid.*).

⁹⁴« La notion d'intensification n'a de sens que rapportée à un facteur de production » (Tirel, 1987).

Ces quatre thèmes servent d'appui pour préciser les orientations et les mesures entérinées par la France pour concrétiser la modernisation de son agriculture. Ce sont à la fois des mesures quasi immédiates au sortir de la guerre ou des mesures qui ont mis un peu plus de temps pour émerger. Nous présentons succinctement ces éléments dans une deuxième colonne. Nous évoquons des éléments en lien avec l'usage des pesticides dans une troisième colonne.

Tableau n°3 : Influence des systèmes agricoles performants sur la forme de modernisation de l'agriculture française

Le texte en bleu développe le (ou) les point(s) saillant(s) retenu(s).

Points saillants du système agricole américain pour la production végétale « grandes cultures »	Points retenus pour la modernisation de l'agriculture française après 1945 et exemples d'illustrations de la concrétisation des lignes retenues.	Lien avec l'usage des pesticides
<p>1. Positionnement par rapport aux innovations et au progrès</p> <p>- Les innovations technoscientifiques sont posées comme un des moyens pour améliorer la productivité.</p>	<p>- mobiliser des crédits du plan Marshall pour améliorer la productivité → conception du progrès corrélée aux innovations technoscientifiques</p> <p>- promouvoir une agriculture dynamique et innovante : → forte contribution d'un mouvement syndical, la JAC⁹⁵, favorable aux progrès techniques et au pouvoir du changement par la formation professionnelle des agriculteurs (« révolution silencieuse » dans les campagnes), repris ensuite par les CNJA et FNSEA⁹⁶</p> <p>- se doter d'un grand établissement public dédié à la recherche agronomique pour instrumentaliser la modernisation → création INRA en 1946.</p>	<p>- La recherche dans le laboratoire indissociable du champ, les champs de recherche se spécialisent (approche analytique). → amélioration de la sélection variétale (productivité, premier critère) → amélioration des savoirs sur le fonctionnement du champ cultivé (fonctionnement des sols, physiologie de la croissance et du développement du peuplement) → amélioration des savoirs sur la biologie des bioagresseurs → mise au point d'itinéraires techniques performants combinant les innovations dont les pesticides font partie</p>
<p>2. Rôle de l'état (et/ou des états fédéraux pour les USA)</p> <p>- soutien sous forme d'aides directes à la production et à l'exportation en masse pour la conquête des marchés mondiaux</p>	<p>- soutenir directement la production .. → organisation d'un marché européen ouvert pour écouler les produits (marché commun) : prix garantis et soutien à l'exportation</p>	

⁹⁵ JAC : Jeunesse Agricole Chrétienne

⁹⁶ CNJA : FNSEA :

Points saillants du système agricole américain pour la production végétale « grandes cultures »	Points retenus pour la modernisation de l'agriculture française après 1945 et exemples d'illustrations de la concrétisation des lignes retenues.	Lien avec l'usage des pesticides
<p>- promotion d'une forme d'agriculture performante</p>	<p>- définir des orientation stratégiques pour l'agriculture agricole → définition d'un cadre général pour l'intensification par les lois d'orientation agricoles de 1960 et 1962 ..→ crédit à taux bonifiés pour favoriser l'investissement de la modernisation → création du CNASEA⁹⁷ en 1966 pour instrumentaliser l'incitation au départ ou à la reconversion des exploitants qui le souhaitent - prendre appui sur des groupes sociaux d'agriculteurs pour les choix de développement de l'agriculture → principe de la cogestion (état/profession). - reconnaître officiellement les actions en faveur de la modernisation de l'agriculture</p>	<p>Des représentants professionnels sont favorables à une forme de modernisation de l'agriculture qui permet de hausser le revenu, et d'améliorer les conditions de travail. Les pesticides y contribuent. C'est donc l'agriculture utilisatrice de pesticides qui va s'imposer de fait.</p>
<p>- politique de formation des acteurs du monde agricole pour en faire des gestionnaires formés autonomes et capables de décider des orientations (le système de formation des agriculteurs américains était de bon niveau en particulier le recours à des conseillers (advisors) dépendants des universités.</p>	<p>- Mettre en place des mesures politiques en faveur de la formation → décret sur la vulgarisation agricole de 1959, prérogatives de l'enseignement agricole avec les lois d'orientation agricole de 1960 et 1962, → création du métier de conseiller agricole 1966 → appui sur les agriculteurs en pointe plutôt enclins à intégrer les innovations → soutien aux organisations d'utilité agricole</p>	<p>La modernisation passe par la formation des agriculteurs. La formation sur les techniques de production va accorder une place de choix à la lutte chimique par rapport aux autres méthodes. Dans les chambres d'agriculture et dans les centres de gestion, des références technico-économiques vont être construites pour caractériser les niveaux de performances des systèmes par petites régions agricoles. La gestion des bioagresseurs par la lutte chimique donne de très bons résultats. Elle s'impose comme la référence des systèmes intensifs performants à imiter. Elle relègue au second plan les autres techniques. Ces agriculteurs à la pointe sont favorables à l'intégration des « outils du progrès » dans leurs pratiques : les pesticides en font partie.</p>

⁹⁷ CNSEA : Centre National pour l'aménagement des Structures des Exploitations Agricoles, c'est un établissement public.

Points saillants du système agricole américain pour la production végétale « grandes cultures »	Points retenus pour la modernisation de l'agriculture française après 1945 et exemples d'illustrations de la concrétisation des lignes retenues.	Lien avec l'usage des pesticides
- double soutien (fédéral et national) à la recherche et aux structures de développement	- soutien à la recherche publique agronomique puis glissement progressif vers des soutiens à la recherche privée	L'état va accorder des financements à la recherche privée, en particulier les recherches portant les pesticides.
3. Le modèle d'exploitation : c'est une structure individuelle privée avec à sa tête un <i>farmer</i> Le <i>farmer</i> est souvent citadin avec un beau niveau de vie	- instaurer une politique de prix agricole permettant une hausse des revenus agricoles → soutien des prix sous forme de prix garantis (accroissement du rendement associé à une hausse du revenu)	Les pesticides contribuent à garantir la régularité des rendements et favorisent l'expression du potentiel de cultivars à haut rendement.
4. La logique de conduite technico-économique de la structure agricole Elle est fondée sur les principes de la rationalisation des tâches et des investissements à l'instar de l'industrie. Elle se caractérise par :	- conforter le principe de la nécessité de rationaliser les activités aussi bien pour le secteur agricole que pour la pratique de l'agriculture.	Les gains dans les coûts de production sont permis par le recours à la lutte chimique pour protéger les cultures.
- un <i>farmer</i> avec le statut de chef de l'entreprise, - un recours éventuel mais limité au salariat (permanent ou saisonnier)	- retenir un modèle de système d'exploitation cohérent pour la modernisation française : l'exploitation familiale avec un homme et sa famille (main d'œuvre familiale)	La lutte chimique est rapide à mettre en œuvre et fiable dans un contexte de main d'œuvre contrainte.
- une spécialisation de la production pour valoriser au mieux les capitaux et diminuer les charges de main d'œuvre ;	- soutenir la spécialisation des exploitations dans les territoires par grands bassins de productions → aides spécifiques	- Les systèmes de culture moins complexes sont aussi moins résilients et favorisent l'émergence de bioagresseurs sous la forme d'épidémies. La lutte chimique fait ses preuves dans leur contrôle. La panoplie des pesticides s'accroît considérablement après guerre pour approvisionner le marché agricole. Ils sont efficaces et économiquement rentables.

Points saillants du système agricole américain pour la production végétale « grandes cultures »	Points retenus pour la modernisation de l'agriculture française après 1945 et exemples d'illustrations de la concrétisation des lignes retenues.	Lien avec l'usage des pesticides
- production de masse de denrées destinée à la consommation de masse intérieure, à l'agro industrie et aux marchés mondiaux, sans rechercher un ancrage territorial	- accroître les volumes produits des denrées nécessaires au marché intérieur mais aussi pour l'exportation. → Structuration du territoire en grands bassins de productions avec, des aides spécifiques à certaines filières dans des régions pour en assurer le développement.	Les pesticides assurent la régularité du rendement et préviennent et/ou limitent les pertes : les pesticides deviennent peu à peu indispensables.
- activités agricoles sur de grandes surfaces d'exploitation et de grandes parcelles;	- favoriser l'accroissement de la superficie moyenne des exploitations → création de la SAFER ⁹⁸ en 1960 pour organiser un vaste mouvement de remembrement (réserve de terres et redistribution)	L'hétérogénéité des parcelles est complexe à intégrer dans un conseil pour protéger les cultures : le conseil n'est pas modulé. Il repose sur un objectif de sécurisation du rendement qui vise et est fondé sur des stratégies d'assurance pour prévenir les <u>dommages</u> : évolution vers des stratégies de traitement systématique préventifs.
- des parcelles améliorées par les actions de drainage ou d'équipements pour l'irrigation,	- favoriser en même temps que le remembrement les actions « d'améliorations foncières » → aides publiques pour les actions dans ce sens	Les conditions d'accroissement des rendements dans les milieux de plus en plus artificialisés vont augmenter en corollaire la pression des bioagresseurs.
- utilisation des intrants comme les engrais et les pesticides, irrigation, variétés élites et de produits manufacturés (machinisme agricole <i>i.e.</i>) performantes dans un contexte transformé par les améliorations	- promouvoir l'utilisation des intrants améliorant la production → soutien politique aux systèmes agricoles qui en font l'usage (politique agricole nationale et défense de ce type d'agriculture au sein de l'Europe) → efforts importants conjoints de la profession et des services de l'état pour promouvoir ces sources de	Les pesticides font partie des références de la modernisation palliant les aléas que représentent les attaques de bioagresseurs. La création variétale teste les variétés candidates dans des contextes où l'aléa bioagresseur est parfaitement maîtrisé par la protection chimique, très efficace et régulière. Des secteurs de la recherche agronomique, les instituts

⁹⁸ SAFER : Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural. Les Safer sont des établissements privés chargés, sous le contrôle de l'administration, de la « gestion d'un service public » administratif.

Points saillants du système agricole américain pour la production végétale « grandes cultures »	Points retenus pour la modernisation de l'agriculture française après 1945 et exemples d'illustrations de la concrétisation des lignes retenues.	Lien avec l'usage des pesticides
<p>foncières. double perspective : améliorer la productivité mais aussi s'affranchir des contraintes naturelles en modifiant le territoire par des aménagements (drainage, irrigation) et en adoptant des techniques adaptées...</p>	<p>progrès <i>via</i> la vulgarisation agricole et <i>via</i> le développement agricole et production de références technico-économiques permettant de positionner la performance des systèmes de production (soutien à la mise en place des instituts techniques testant la contribution des intrants sur le rendement par grand type de productions, développement des CIVAM⁹⁹, des CETA¹⁰⁰)</p> <p>→ développement de la forme coopérative mettant à disposition au bon prix les nouveautés</p> <p>→ effort collectif de communication par différents médias des formes du progrès technique (presse agricole technique, rendez-vous « bout de champs », mise à disposition gracieuse de brochures techniques [instituts techniques, firmes phytosanitaires])</p>	<p>techniques et les firmes phytosanitaires mettent en place des dispositifs d'expérimentations très efficaces pour démontrer l'efficacité de la protection. Pour les firmes, associé aux services d'expérimentation, un dispositif solide de technico-commerciaux délivrent aussi des conseils aux prescripteurs de pesticides.</p> <p>Les médias communiquent dans le même sens insistant sur l'avantage des bénéfices du recours aux pesticides</p>
<p>- production de masse de denrées destinée à la consommation de masse intérieure, à l'agro-industrie et aux marchés mondiaux, sans rechercher un ancrage territorial</p> <p>- fort lien avec l'amont et l'aval (intégration)</p>	<p>- favoriser le développement des filières agroalimentaires performante et intégrée pour transformer les produits en denrées alimentaires ou en aliments pour le bétail</p> <p>→ développement de l'industrie agroalimentaire assurant des débouchés des productions agricoles évaluées selon des critères de la qualité technologique, sanitaire (produit indifférencié)..</p> <p>→ développement du système coopératif et ses</p>	<p>Les pesticides assurent la régularité du rendement et préviennent et/ou limitent les pertes. Les hausses de rendement assurent des revenus importants et sécurisent toute la filière amont et aval. Le conseil technique va progressivement être délivré par des agents chargés de la vente des intrants. Les pesticides deviennent peu à peu indispensables pour les secteurs « appro », les agriculteurs et l'industrie agroalimentaire.</p>

⁹⁹Les CIVAM (Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural) sont des associations, loi 1901. A l'origine, les CIVAM sont des groupes informels d'échanges entre agriculteurs autour de thèmes comme les engrais, la culture du maïs. Ils mêlaient l'éducation populaire à l'information sur les techniques agricoles et se voulaient moins élitistes que les CETA (Bichaud, Lauriaut et Lépeule, 2004). consultable à <http://w2.civam31.org/wp-content/uploads/2010/02/Histoire-Civam.pdf>

¹⁰⁰ Le nombre des CETA (Centre d'Etudes Techniques Agricoles) a explosé lui-aussi après la guerre. Les CETA sont très liés à la JAC : là encore, il s'agit d'un groupe informel d'agriculteurs. Ils réfléchissent ensemble aux techniques à mettre en œuvre sur leur exploitation pour la moderniser (Muller et Gerbaux, 1984). Il ont su créer pour certains un lien étroit avec la recherche privée et/ou publique pour moderniser les fermes.

Points saillants du système agricole américain pour la production végétale « grandes cultures »	Points retenus pour la modernisation de l'agriculture française après 1945 et exemples d'illustrations de la concrétisation des lignes retenues.	Lien avec l'usage des pesticides
	établissements privés pour les « appros »	
<p>- stratégie d'investissements visant l'intensification de la production et leur rentabilité. Les équipements sont performants et puissants pour mécaniser des travaux agricoles et limiter les charges en personnel.</p>	<p>- moderniser par l'investissement productif pour accroître la productivité. → Plan d'Amélioration du Matériel (PAM) avec des crédits spécifiques et favorables pour achat de matériels agricoles modernes</p>	<p>L'emploi des pesticides est favorisé à la fois par (i) des conditions financières facilitant les achats et (ii) la mise à disposition d'innovations dans le machinisme avec des appareils d'épandage de pesticides de plus en plus performants.</p>

Nous avons posé des jalons qui permettent de saisir des éléments des dynamiques enclenchées après 1945 pour moderniser l'agriculture. Ces traits saillants nous amènent à quelques commentaires. A la fin de la deuxième guerre mondiale, la création de l'Inra se produit dans un contexte de reconstruction des domaines de la recherche en France au cours duquel, des questions d'ordre épistémologique devaient être tranchées. Les questions portaient sur la conception de la recherche agronomique et sur la séparation entre la recherche et l'expérimentation. En fait le cœur des débats traduit une difficulté à positionner le nouvel institut de recherche dédié à l'agriculture entre la recherche pure, abstraite, la recherche appliquée, répondant à des questions que se posent les acteurs de l'agriculture. C'est finalement la conception de la recherche appliquée et la nécessaire alliance entre les deux phases du travail scientifique qui fixent le contour de ses missions et orientent dans les premières années au moins les thèmes et les pratiques de recherche à l'INRA : « *la recherche pure, qui vise à l'augmentation de nos connaissances générales sans le souci des applications, est à la base de tout progrès. Mais elle incombe au CNRS. Le chercheur ainsi conçu n'est pas en mesure d'apporter directement une contribution utile à l'agriculture.* » (Crépin, premier directeur de l'Inra in Granney, 1996, p. 156)

Nous avons souligné le rôle de l'état dans l'évolution de l'agriculture française après-guerre. Le secteur agricole a en effet besoin d'exploitants performants et au fait des nouvelles techniques qui garantissent l'amélioration de la productivité et la rentabilité de l'agriculture. Il faut pour cela les aider à se doter de structures compétitives et favoriser le départ et la reconversion des actifs qui le souhaitent et/ou dont les structures ne sont pas assez rentables. Les Safer ont été un levier pour échanger les terres, les redistribuer et promouvoir les « améliorations » foncières cohérentes avec les objectifs d'agrandissement et d'homogénéisation des milieux (suppression de haies, agrandissement des parcelles, drainage, équipements d'irrigation). Le CNSEA quant à lui a permis d'instruire les dossiers des départs à la retraite et des reconversions professionnelles. La formation des agriculteurs est un point important de ce paysage après-guerre. L'état a cherché à organiser la formation agricole, initiale et continue. Au début des années 50, de multiples sources d'innovation, promesses de progrès sont arrivées en même temps : des machines, des variétés, des engrais, des produits de traitements des cultures. La vulgarisation agricole a été intense tant à l'initiative de l'administration que du monde professionnel agricole. Deux conceptions de l'accompagnement au changement se sont affrontées : celle d'une formation identique diffusée au plus grand nombre au sein d'entités officielles et celle d'une formation déclinée au sein de groupes constitués pour l'occasion réunis autour d'intérêts spécifiques, en général à l'initiative des professionnels (CETA, CIVAM et les actions types « villages pilotes », « zones témoin » (Rolland, 1984)). On note un nombre considérable d'intervenants¹⁰¹ dans les campagnes contribuant à la diffusion du progrès technique pour opérer la révolution silencieuse dans les campagnes (Debatisse, 1963). L'enseignement agricole technique a joué un rôle important dans cet accompagnement au changement dans le cadre de la formation initiale des agriculteurs. En effet, la loi d'orientation agricole de 1960 et la loi complémentaire de 1962, dites « lois Pisani », transforment les écoles régionales d'agriculture en lycées agricoles. Ces derniers ont promu un enseignement public « de masse » dans le but de mettre à niveau très vite sur le plan technique les futurs agriculteurs. La centralisation de la définition des programmes de formation nationaux est un moyen pour atteindre l'objectif, la

¹⁰¹ On peut rencontrer des ingénieurs de l'état dans les départements, des instituteurs, des agents de chambre d'agriculture, des techniciens d'entreprise de l'amont, des technico commerciaux, des techniciens et des ingénieurs des instituts techniques, des chercheurs, des syndicalistes.

conduite d'expérimentations et les démonstrations sur les techniques dans la ferme de l'école, conçues comme des vitrines du progrès en est un autre.

Le passage de la vulgarisation agricole au développement agricole piloté exclusivement cette fois par la profession a signifié une volonté forte de l'administration de promotion d'une forme d'agriculture « moderne » utilisatrice d'intrants, y compris de pesticides.

Pour se donner toutes les chances d'assurer la contribution des agriculteurs aux changements visés, l'Etat et les représentants de la profession ont fait en sorte que cette catégorie socioprofessionnelle hisse son niveau de vie¹⁰². Le soutien de la production par les prix et la protection des marchés en étaient des garanties. Cette sécurisation des débouchés a permis aux agriculteurs d'investir en limitant les risques. La modernisation de l'agriculture s'est aussi fondée sur une évolution de la conception du métier de paysan pour glisser vers celle de responsable d'exploitation agricole marquée en particulier par un autre rapport à la terre et à l'épargne. Les paysans géraient leur exploitation dans une logique d'autosuffisance et étaient davantage enclins à épargner qu'à s'engager dans des investissements ou des dépenses pour améliorer l'outil productif (acquisition de terres exceptée). Pour améliorer la production, les achats d'intrants dont la qualité est normalisée sont posés comme incontournables pour améliorer la production. Les pesticides en ont fait partie. De jeunes paysans, rassemblés dans un mouvement social, se sont saisis de ces promesses de progrès et ont formé la JAC. Ces jeunes engagés dans le monde agricole ont beaucoup contribué à la révolution silencieuse dans les campagnes. Ils se sont investis dans cette nouvelle forme d'agriculture, moderne et réellement contributrice du développement économique de la France. Ils ont alors investis le champ politique en adhérant au CNJA¹⁰³ puis à la FNSEA pour certains. En désaccord avec le syndicat FNSEA¹⁰⁴, trop conservateur selon eux, ils ont été l'origine du CNJA, prônant une forme de dynamisme et de renouvellement branche un peu dissidente de la FNSEA. Le gouvernement français s'est appuyé sur leur conception de la modernisation pour instruire les lois d'orientation agricole de 1960 et 1962. Dans le même temps, l'amont a été réactif. Les coopératives ont mis à disposition au bon prix les nouveautés et les établissements privés ont développé un service technique et le conseil *ad hoc*. De leur côté les firmes phytosanitaires ont développé un service commercial très efficace qui a délivré des conseils précis d'utilisation aux techniciens des coopératives privées ou publiques et à ceux des services de la vulgarisation. Les firmes ont aussi diffusé gracieusement des supports pédagogiques pour faciliter l'utilisation des pesticides de synthèse. Les instituts techniques sont allés plus loin dans l'adaptation du conseil. L'idée d'un produit, une filière, pour défendre des intérêts communs avec plus de poids s'est progressivement imposée. Ils ont testé de leur côté les nouveautés en matières de pesticides et ont construit des références technico économiques qu'ils ont communiquées (brochures, réunions bilan de fin de campagnes, grandes manifestations sur les stations d'expérimentation). Les centres de gestion, en s'appuyant sur leurs adhérents et les services technico économiques des chambres d'agriculture sur les agriculteurs de la petite région agricole suivie ont travaillé à la définition de marges brutes. Les systèmes les plus performants sur le plan économique révélaient une très bonne maîtrise sur le plan des techniques et utilisaient des pesticides. Les instituts de recherche ont aussi communiqué sur l'efficacité de la panoplie de pesticides : si les produits devenaient défaillants, ils étaient remplacés par de nouvelles molécules qui résolvaient les problèmes posés. La presse spécialisée agricole a abondamment évoqué la lutte chimique pour gérer la

¹⁰² En effet, en France, on observait une grande diversité de situations mais les revenus des agriculteurs étaient inférieurs aux revenus des citoyens.

¹⁰³ Le CNJA correspond d'abord au Cercle National des Jeunes Agriculteurs et il deviendra le Centre National des Jeunes Agriculteurs en 1954 en adhérant à la FNSEA.

¹⁰⁴ La FNSEA est la Fédération Nationale des syndicats d'exploitants agricoles.

protection des cultures dans les systèmes de culture. L'ensemble a concouru progressivement à faire une routine de l'emploi des pesticides.

La profession dans son ensemble, privée ou para publique, communique sur l'efficacité des intrants en se fondant sur des références technico économiques.

Nous avons posé des jalons qui permettent de saisir des éléments des dynamiques enclenchées après 1945 pour moderniser l'agriculture. La partie développée ensuite change de focale et porte sur la logique de conduite des systèmes de culture de type grande culture. En effet, les stratégies d'usage des pesticides sont très liées à l'évolution des systèmes de culture (Meynard, 2012a). A partir des travaux en agronomie et en sciences humaines et sociales (Lamine *et al.*, 2008, 2010b ; Bernard, 2010), cinq périodes dans l'intensification des systèmes de culture ont été identifiées et l'usage des pesticides dans les stratégies de gestion des bioagresseurs mis en perspective de 1945 à la fin des années 1970, les années 1980, les années 90 à la moitié des années 2005 et enfin de 2005 à nos jours. Nous discutons aussi pour chacune des périodes des points saillants traçant la stratégie des firmes phytosanitaires.

2.3.2. De la fin de la guerre à la fin des années 1970

Cette période correspond à la phase de pleine expression de la modernisation touchant également le monde agricole. Durant les « Trente glorieuses », les progrès ont été spectaculaires dans l'agriculture. Elle est marquée par un accroissement considérable des rendements. Cette hausse est imputable à la fois aux performances des nouvelles variétés, à une meilleure connaissance scientifique du fonctionnement des peuplements cultivés (nutrition azotée et fractionnement avec Coïc dès la fin des années 40 entre autres) et à une meilleure connaissance et maîtrise des facteurs limitants du rendement (aléas climatiques, les effets de la concurrence des bioagresseurs).

La généralisation de l'usage des pesticides va bénéficier de plusieurs facteurs congruents.

(i) Le contexte économique est favorable aux échanges (organisation des marchés agricoles porteuse), la maximisation du rendement a été synonyme d'accroissement des marges, mais aussi des revenus (prix garantis élevés par rapport aux coûts de production). Les pesticides ont contribué à atteindre l'objectif d'accroissement de la production par une hausse des rendements¹⁰⁵ et la France est devenue exportatrice pour certains produits agricoles comme le blé. Les produits de traitements des cultures sont apparus des intrants accessibles et rentables sur le plan économique.

(ii) Les prix étaient garantis, les agriculteurs solvables investissaient (et étaient incités à le faire). L'agriculture est devenue un formidable marché pour les firmes agrochimiques de produits de protection des plantes : « *L'agriculture est alors un marché facile et extrêmement profitable, garanti par le soutien des Etats et de leur politique agricole, composé de segments "produit-culture* » (Assouline, 1989, p. 42).

(iii) Nous le rappelons, ces entreprises disposaient d'un système de recherche et développement dans un registre large de la chimie. La chimie agricole en bénéficie. Ces firmes ont été capables de mettre régulièrement à disposition des produits qui apportaient des solutions aux problèmes du moment. Par exemple, de 1945 à 1969, 256 produits nouveaux ont été mis au point en 10 ans, de 1970 à 1979, 172 nouveaux pesticides arrivent sur le marché (Assouline, 1989). De 1950 à 1969, 5 fois plus de produits ont été lancés que durant la décennie précédente (*ibid.*). Le tableau n°4 quantifie le nombre de nouveautés sur le marché des pesticides agricoles. Jusqu'à la fin des années 60, ce sont par ordre d'importance de nombreux herbicides et insecticides puis des fongicides qui ont été mis à disposition des agriculteurs. Les nouveautés ont réglé des problèmes posés par les produits antérieurs du marché. Les phénomènes de résistances aux insectes et aux herbicides générés par les

¹⁰⁵ Entre 1940 et 1970, le rendement moyen du blé passe d'environ 20 à 40 quintaux par hectare.

premiers produits de synthèse ont été résolus. Les organochlorés montrés du doigt ont été remplacés par les organophosphorés. Toutefois sur cette période, ce sont encore des pesticides à large spectre d'activité. Le premier fongicide systémique (Benomyl de Du Pont) et le premier insecticide à base de pyréthrianoïde de synthèse (NRDC et Oxford University en 1967) ont été lancés. Parmi les pesticides, de 1950 à 1969, les herbicides sont de plus en plus employés en France et dans le monde : on compte 110 nouveaux herbicides sur 256 produits commercialisés à l'échelle mondiale.

Tableau n°4 : Evolution des lancements de nouveaux produits de 1930 à 1979 (Assouline, 1989)

Nouveaux produits	1930-39	1940-49	1950-59	1960-69	1970-79
Herbicides	3	13	35	110	70
Fongicides	16	14	20	50	42
Insecticides	1	30	85	96	60
Total	20	57	140	256	172
Moyenne annuelle	4,35		19,8		17,2

(1) Il s'agit de nouveaux produits et pas forcément de succès commerciaux.
Source : Achilladelis, 1987.

Le conseil est orienté

Durant cette période, les conflits d'intérêts dans la délivrance du conseil pouvaient être relevés sans que cela n'ait soulevé de contestations tant la dynamique du progrès semblait rassembler. Les firmes phytosanitaires ont diffusé des informations sur l'efficacité de leurs produits fondées sur des expérimentations conduites avec répétition dans des stations expérimentales et sur le traitement statistique des résultats obtenus. Cette configuration est apparue un gage de scientificité : les résultats étaient par conséquent valides et robustes, incontestables sur le fond.... D'autre part, ces mêmes firmes ont déployé un réseau de technico-commerciaux efficaces dont les cibles étaient les chercheurs, les agents de développement ou les techniciens des coopératives. Elles n'ont pas cherché à atteindre les agriculteurs : « *Les premiers interlocuteurs des firmes ne sont pas les agriculteurs : ce sont les distributeurs de l'"appro", qui reçoivent les conseils, sont l'objet de l'attention des équipes commerciales des entreprises agrochimiques et qui négocient les prix* » (ibid., p .42). Les technico-commerciaux ont vendu un produit en l'associant à un conseil très attaché aux intérêts de la firme. Enfin, ces firmes ont largement communiqué dans la presse agricole et ont produit toute une série de documents pédagogiques destinés à de nombreux publics potentiels dont les enseignants des techniques agricoles. Les prescriptions « pesticides » sont entrées dans l'école par la presse technique et par les documents « publicitaires ».

Une tendance lourde s'est profilée : les techniques d'artificialisation des milieux agricoles généralisée ont créé des déséquilibres, mais les technosciences ont su montrer leur capacité à les résoudre. Par exemple, l'arrivée dans les années 70 des régulateurs de croissance pour limiter la verse des céréales trop fertilisées, associée à la mise sur l marché d'une palette de fongicides et d'insecticides systémiques plus efficaces que des produits de contact et plus souples d'utilisation ont constitué des innovations majeures et cohérentes pour intensifier les conduites des cultures.

Ainsi les progrès dans la pharmacopée ont été importants avec le développement de la chimie de synthèse. Dans les années 70, le maïs n'était plus vraiment considéré comme une plante sarclée (Blain *et al.*, 2010). En effet, le désherbage chimique pouvait prendre le relais des binages et des sarclages. En grandes cultures, les herbicides ont été abondamment utilisés. En général pour maîtriser les adventices, des désherbages de rattrapage¹⁰⁶ ont été préconisés par le conseil et effectivement réalisées par les agriculteurs. Mais cette période est déjà marquée par une inflexion dans le lancement de nouvelles familles de pesticides. Les nouveaux produits ont davantage été le résultat d'association en raison des coûts de la recherche et d'un durcissement des contraintes des états pour l'homologation. Pour la France, le dispositif d'homologation datant de 1943 a été revu en 1972 et les principales avancées ont porté sur la prise en compte de préoccupations vis-à-vis de l'environnement et des effets toxicologiques. Le cadre a aussi été revu pour permettre l'homologation de certaines formulations chimiques (destinés à lutter contre les viroses) : *«L'esprit de la loi de 1943 visait essentiellement à protéger l'agriculteur. Et la modification qui vous est proposée aujourd'hui conserve, faut-il le dire, cette préoccupation. Mais une autre préoccupation retient en outre l'attention du législateur, celle de lutter contre la pollution, et notamment contre l'apparition de résidus chimiques dans les aliments et les eaux, ou contre les atteintes qui pourraient être portées à l'environnement par la destruction de la faune et de la flore »* (Bernard Pons¹⁰⁷ (1972) cité par Fourche, *opus cit.*, p. 42).

L'artificialisation progressive du milieu a été posée par certains chercheurs en agronomie et le développement, soutenue par l'Etat, comme la condition d'expression des potentiels des nouvelles variétés. On a assisté à une spécialisation progressive des agriculteurs devenant compétents dans la gestion d'un petit nombre d'itinéraires techniques dans des contextes de cultures marqués par une faible diversité. La résilience des systèmes a progressivement reposé sur l'usage des intrants chimiques dont les pesticides de synthèse ont fait partie.

Pour gérer les bioagresseurs, une gamme de conseils diffusés par grands types de production et émanant du service officiel de la protection des végétaux a été mise à disposition des professionnels. Ces derniers ont progressivement réclamé un conseil de plus en plus affiné avec la diffusion de préconisations (substances actives, produits, conditions d'emploi et calendriers). Ce fut un moyen de prescrire des pesticides pour gérer les bioagresseurs des cultures *via* un organisme considéré impartial. A partir de 1961, l'index phytosanitaire va servir de référence (il est rédigé par l'ex Ligue nationale de lutte contre les ennemis des cultures et l'Association de coordination des techniques agricoles (A.C.T.A.)). Le nombre de pages de cet index n'a fait que croître d'année en année¹⁰⁸ (Fourche, 2004), révélant la montée en puissance de la lutte chimique installant ainsi les pesticides de synthèse dans le paysage de la protection des cultures.

Ce panorama jalonne rapidement « les Trente glorieuses ». *« Le type de progrès agricole pour lequel l'État s'engage alors, est celui proposé par une agriculture intensive, capitaliste, reposant sur la science, et dans laquelle le paysan, déqualifié, présenté comme incapable par nature, doit se soumettre aux choix et aux pratiques déterminés par l'agronome et sa science »* (Jas, 2005, p. 55). Le paysan est devenu un chef d'entreprise familiale, un

¹⁰⁶ Dans le cadre de la maîtrise des adventices, un désherbage de rattrapage est un désherbage qui vient en complément d'une première action mécanique ou chimique et qui n'a pas permis de contenir de manière satisfaisante les « mauvaises herbes ».

¹⁰⁷ Extrait de Allocation de Bernard Pons, in « Contrôle des produits antiparasitaires », dans *Journal officiel de la République française, Débats parlementaires (Sénat)*, séance du 2 novembre 1972, pp. 1911-1918

¹⁰⁸ En 1991, on a compté 519 pages contre 128 pour la première publication de ce type de recensement (Fourche, 2004).

responsable d'exploitation agricole qui se devait d'être au fait des techniques agricoles modernes.

Mais des effets non intentionnels du recours aux pesticides pour protéger les cultures ont soulevé des questions et ont fait émerger pour certains déjà la nécessité d'envisager des voies alternatives... Rachel Carson, scientifique biologiste, a publié « Silent spring » aux Etats-Unis en 1962. Elle a choisi un format touchant le grand public pour l'informer. *Silent spring* sera traduit en plusieurs langues, L'ouvrage a eu l'effet d'un pavé dans la mare de l'intensification. L'auteur y a dénoncé les effets désastreux des agricultures américaines intensives et fortement utilisatrices de pesticides, en particulier sur les oiseaux. Elle a révélé en particulier les effets délétères du DDT¹⁰⁹, considéré comme la solution à tous les problèmes posés par les insectes. Employé à grande échelle, l'insecticide de la famille chimique des organochlorés est fortement persistant dans les milieux. Il s'est accumulé le long des chaînes alimentaires (bioaccumulation) entraînant empoisonnements et perturbations des cycles biologiques de la faune aviaire (en particulier des prédateurs en bout de chaîne comme les faucons pèlerins). L'ouvrage a eu un succès médiatique retentissant et controversé qui sert encore aujourd'hui de point d'appui pour inscrire l'origine des mouvements de contestations sur les pesticides de synthèse. Il a soulevé en particulier la question des conséquences de leurs usages sur les êtres vivants non directement considérés utiles par l'agriculture. Il a contribué à revoir la réglementation en matière de pesticides aux USA et a amené ailleurs à reconsidérer ce moyen de gestion des bioagresseurs. En France, de nombreuses observations ont fait état des effets toxiques sur les insectes butineurs des applications de DDT et ce dès 1946 (Fourche, 2004). Le DDT autorisé en France durant la deuxième guerre mondiale a été interdit en 1976 pour les usages agricoles.

Le début des années soixante dix est aussi marqué par des débats liés à des perceptions différentes du développement des sociétés humaines. En 1972, un groupe de hauts responsables a publié « The limits of growth ». Le rapport a proposé une analyse prospective sombre de la voie de développement choisie. En effet, au rythme observé, elle provoquerait une chute brutale de la population au XXIème siècle à cause de la pollution, de la raréfaction des ressources énergétiques et de l'appauvrissement des sols cultivables. Ces hauts responsables ont osé parler de « croissance zéro » en pleine période d'expansion économique pour de nombreux secteurs : la croissance économique n'est pas apparue une garantie pour préserver les milieux de vie et asseoir un développement garanti du bien-être des nations.

En France, constatant des problèmes émergents de pollutions, d'utilisation excessive et non raisonnée des énergies fossiles et des ressources non renouvelables (minerais engrais, altération des sols), Jacques Poly¹¹⁰ en 1978, a plaidé pour une agriculture économe et autonome : il était déjà nécessaire de réorienter l'agriculture vers un développement durable et la clairvoyance de ses propos allait jusqu'à considérer que « *la société, dans son ensemble, est de plus en plus vigilante vis-à-vis des problèmes de pollutions ou de nuisances que peuvent susciter, ici et là, des processus de spécialisation et de concentration de la production, ou l'usage de techniques parfois agressives* » (Poly, 1978, p. 3). Dès la fin des années 50 en Californie, des entomologistes ont proposé le concept de lutte intégrée : les pesticides ne doivent être utilisés que comme solution de dernier recours après que l'on ait épuisé un ensemble d'autres méthodes préventives et curatives. Plus tard vers la fin des années 60, en

¹⁰⁹ « On a cru alors avoir mis la main sur l'insecticide universel, idéal » attribué à un enseignant de l'INA cité par Fourche *opus cit.*, p. 265.

¹¹⁰ En 1978, Jacques Poly est directeur général de l'Inra. Il considère que l'agriculture est devenue trop consommatrice en produits intermédiaires et en ressources et qu'elle gagnerait à être plus autonome et plus économe.

particulier dans le cadre de travaux conduits par la FAO¹¹¹, la lutte intégrée est proposée comme une voie alternative pour protéger les cultures remettant en cause la suprématie de la lutte chimique (Ferron, 1999). Enfin, «*pour la première fois, en 1970 il était même fait état de la priorité à donner, dans les actions de développement, à la compréhension du rôle des facteurs intrinsèques et extrinsèques responsables des fluctuations des niveaux de populations de ravageurs* (Rabb et Guthrie, 1970) » (Ferron, 1999, p. 392).

Enfin, au cours de cette période, malgré des signaux tangibles des risques et des incertitudes liés à l'emploi des pesticides de synthèse, la perception de la balance bénéfices/risques a été nettement en faveur d'une agriculture consommatrice de pesticides pour accroître sa productivité, même si deux « clans » semblent déjà se dessiner.

2.3.3. Des années 80 aux années 2000 : le processus d'intensification et la montée des contestations

Dans un premier point, nous discutons le paradigme caractérisant l'intensification de l'agriculture. Nous traitons de la logique d'intensification à l'échelle du système de culture dans un deuxième. Nous mettons ensuite en perspective les éléments du contexte qui ont contribué à questionner le système sans en infléchir la tendance.

Toujours dans la lignée de la politique globale d'intensification de l'agriculture fondée sur la maximisation des rendements, la lutte chimique s'est renforcée à la fois pour sa facilité d'emploi évoquée dans la partie précédente, son efficacité et la rentabilité encore favorables. Toutefois, les fondements de ce système poussé à ses limites vont progressivement être disqualifiés. Mais le système socio technique s'est construit une cohérence au fil du temps, renforçant les intérêts des acteurs et il va paradoxalement résister aux critiques dans un grand nombre de systèmes de production pour déboucher sur un verrouillage de la trajectoire : les solutions alternatives aux pesticides de synthèse, même fondées sur des preuves robustes attestant de leur pertinence, ne parviennent pas à s'imposer et sont écartées pour devenir inaccessibles (Vanloqueren et Baret, 2009 ; Lamine *et al.*, 2011).

Le paradigme de la modernisation agricole et le paradigme du productivisme

Les caractéristiques de la logique de conduite de ces systèmes de culture ont été posées dans les années 80. La revue bibliographique fait apparaître plusieurs acceptions paradigmatiques pour traiter de cette intensification suivant l'angle d'analyse retenu. Se développent le paradigme de la modernisation agricole, celui du productivisme et le paradigme technologique.

Selon Kuhn (1962), un paradigme est un ensemble de contenus scientifiques, des normes de recherche admises par la communauté scientifique, pour problématiser les « faits » pertinents pour instruire une question dans un domaine de recherche.

Le paradigme de la modernisation agricole traite d'une perspective large de modernisation de l'agriculture pour laquelle l'industrialisation est au cœur du processus. Il a été en particulier caractérisé par un large mouvement social favorable à cette forme de modernisation du secteur agricole. Nous l'avons évoqué en détail dans la partie précédente.

Le paradigme productiviste désigne une forme d'organisation de la vie économique dans laquelle la production est donnée comme objectif premier et repose sur une utilisation massive de ressources (renouvelables et non renouvelables) et d'intrants. Dans cette perspective, les systèmes productivistes cherchent à diminuer des coûts de production qui résultent de l'augmentation de la productivité du travail en intégrant des innovations technoscientifiques

¹¹¹ Il n'est pas étonnant que ce soit la FAO engagée dans les actions de développement en faveur des pays du sud qui ait soulevé le problème de gestion des pesticides en raison des fortes consommations de ces produits pour les cultures tropicales comme le riz et le coton.

(mécanisation, chimisation) *via* une spécialisation et une intensification en produisant un grand volume (maximisation du rendement) de denrées standard. Pour être pérenne, le système sous tend des débouchés suffisants pour les produits, une grande maîtrise des techniques agricoles (Lowe, Murdoch, Marsden, Munton et Flynn, 1993 ; Allaire et Boyer , 1995). Lorsque l'on évoque les systèmes productivistes, c'est une dérive de l'intensification que l'on souhaite mettre en avant : les externalités négatives (pollutions, uniformisation des paysages, détérioration de la qualité sanitaire des aliments par des résidus de pesticides par exemple) déséquilibrent défavorablement la balance bénéfices/risques du processus de l'intensification.

La notion de paradigme technologique (Dosi, 1982 ; Gaffard, 1990) a été introduite pour discuter des processus de changements technologiques. Le paradigme technologique représente alors un modèle de solutions à des problèmes technico-économiques sélectionnés. La conception d'innovations technologiques est considérée comme une activité de résolution d'un problème posé. Le paradigme technologique définit le cadre d'émergence de ces innovations et celui de leur développement. Dans la filiation de ces travaux, le paradigme chimique ou des pesticides a été proposé pour caractériser la forte dépendance des systèmes viticoles aux intrants chimiques dont les pesticides font partie (Saint-Gès, 2006 ; Ugaglia, Del'Homme et Filippi, 2011).

La logique agronomique des systèmes intensifs agricoles

Durant les années 80, le mouvement d'intensification a reposé sur deux objectifs :

- (i) la maîtrise des différents facteurs limitants comme la nutrition azotée, et la concurrence avec les bioagresseurs ;
- et (ii) la maximisation de l'interception de l'énergie lumineuse par différents moyens.

En s'appuyant sur l'exemple du blé conduit de manière intensive dans le bassin parisien, Meynard et Girardin (1991) ont décrit quatre points structurant la logique de conduite des systèmes de culture productivistes :

- « *une grande cohérence entre les techniques appliquées* »,
- « *une forte dépendance vis-à-vis des produits phytosanitaires* »,
- « *des stratégies de réduction de risques fondées sur un suremploi des intrants* »,
- « *le rendement et la marge brute sont les seuls critères utilisés pour l'évaluation des systèmes de culture* » (*ibid.*)

- La cohérence entre les techniques appliquées

Elle vise à obtenir des hauts rendements et une régularité des récoltes. Cette perspective a renforcé la spécialisation des exploitations par grands types de produits dans des bassins de production. Cette spécialisation s'est caractérisée par des assolements avec une faible diversité spécifique et variétale pour satisfaire les débouchés d'un marché porteur pour un petit nombre de cultures. La cohérence entre les techniques choisies a eu pour objectif d'obtenir le rendement maximum permis par le contexte pédoclimatique. La recherche en agronomie et le développement ont avancé sur la connaissance des facteurs qui interviennent dans le processus de production de biomasse et sur les façons de l'influencer. Pour l'azote¹¹², les mécanismes de nutrition azotée explorés par Coïc (1949) ont débouché sur la méthode des bilans et le principe de fractionnement de l'azote ajusté au cours du cycle cultural. Ces travaux apparaissent les plus emblématiques de cette période. Des études sur la mise en place des composantes du rendement ont permis de caractériser et de tester ensuite les facteurs qui les influencent. En particulier, de nombreux travaux émanant de la recherche/développement

¹¹² L'azote est le premier facteur limitant de la production dans des conditions d'alimentation hydrique non limitante.

publique et/ou privée ont porté sur l'évaluation économique des dégâts des maladies et des insectes et sur la définition des seuils de nuisibilité pour les adventices (Bain *et al.*, 2010). Le développement agricole a largement communiqué pour diffuser des exemples d'itinéraires techniques intensifs qui ont fait leurs preuves dans différents contextes pédoclimatiques et sur lesquels, les agriculteurs pouvaient compter. On peut citer par exemple le forum blé en 1979 organisé par l'Institut Technique des Céréales des Fourrages (ITCF¹¹³) et les opérations « Blé conseils » dans les années 80 visant la diffusion à un public agricole le plus large possible, les techniques efficaces d'intensification sur le plan technico-économique (Bain *et al.*, 2010). Le « club des 100 quintaux en blé », rassemblant des producteurs de blé très intensifs au nord de la Loire, a été le moyen d'inciter cette maximisation du rendement, conçue comme une forme d'excellence.

Les rotations se sont simplifiées (moins d'espèces) et se sont raccourcies (diminution du délai de retour d'une culture) pour prendre la forme de monoculture comme dans le cas du maïs.

Le rendement par unité de surface a été conçu comme la combinaison d'une variété à haut potentiel dans un contexte artificialisé pour s'affranchir d'une partie des facteurs et pour laquelle le cycle cultural devait être le plus long possible. Les sélectionneurs ont mis à disposition des variétés performantes, élites qui répondaient strictement aux conditions d'homogénéité et de distinction pour passer le cap des tests de l'inscription et qui ont bien valorisé les intrants dans ces contextes très anthropisés.

Enfin, il a fallu améliorer l'interception lumineuse en assurant (i) une densité optimale de plantes par unité de surface associée à (ii) un feuillage fonctionnel (vert) le plus longtemps possible. Pour obtenir une interception lumineuse optimale, il est nécessaire de jouer sur le nombre de pieds par mètre carré et d'accroître la densité autant que les conditions et le fonctionnement photosynthétique le permettent. Cet objectif est aussi atteint en allongeant le cycle cultural, en jouant sur la précocité avec l'introduction de variétés tardives, et/ou en réalisant des semis précoces. Le maintien d'un feuillage fonctionnel et vert suppose de très bonnes alimentations hydrique et azotée, une protection sanitaire efficace de tout le cycle pour éviter altération ou déprédation du feuillage et du système racinaire (ce dernier assure l'approvisionnement hydrominéral) et un peuplement avec des tiges rendues artificiellement plus solides avec des raccourcisseurs (pour éviter la verse physiologique¹¹⁴). A ces ensembles de mesures vient s'ajouter la nécessité d'éliminer les plantes concurrentes. En effet, les adventices exercent une concurrence à la fois pour la lumière et pour les ressources hydrominérales. Tous les éléments cités ont été retenus et combinés dans les itinéraires techniques culturaux¹¹⁵.

- Une forte dépendance vis-à-vis des produits phytosanitaires

Mais cette conduite de l'itinéraire technique s'est avérée favorable à l'accroissement de la pression parasitaire et aux épidémies à développement explosif. Les conditions de culture ont en effet rendu le peuplement plus sensible¹¹⁶ :

¹¹³ Aujourd'hui Arvalis Institut du Végétal

¹¹⁴ La verse physiologique dépend de plusieurs facteurs une sensibilité génétique, des facteurs de culture favorable (excès d'azote) et un contexte climatique (vent fort). Elle se caractérise par un défaut de rigidité de la tige, la plante peut alors se coucher au sol dans un contexte défavorable augmentant le risque d'altération des grains comme la germination sur pied, retardant le chantier de récolte, entre autres.

¹¹⁵ Itinéraire technique cultural correspond à la « suite logique et ordonnée d'opérations culturales appliquées à une espèce végétale donnée » (Sebillotte, 1978). L'itinéraire technique cultural est donc l'ensemble des opérations culturales réalisées sur une culture depuis l'implantation jusqu'à la récolte.

¹¹⁶ La création variétale s'est certes focalisée sur l'amélioration du niveau de rendement. Mais la résistance aux maladies ne s'est pas pour autant dégradée par rapport aux variétés anciennes (Meynard *et al.*, 1991). Ce sont les conditions de culture qui ont fait croître la pression parasitaire entre autres. Toutefois, il est important de noter

- l'homogénéité du génotype engendre une réponse uniforme à une agression ;
- les plantes sont plus appétantes pour les insectes car ce sont des végétaux très bien alimentés, riches en azote (fertilisation non limitante) ;
- le peuplement crée un microclimat favorable aux maladies fongiques (la densité élevée ralentit les échanges dans le couvert entre l'atmosphère et le peuplement cultivé, favorisant l'augmentation de l'humidité dans le feuillage et sur le feuillage) et il accroît les risques de verse physiologique (*i.e.* céréales) ;
- l'installation précoce des céréales en automne accroît les risques de concurrence des espèces d'adventices à levée automnale ;
- l'allongement du cycle cultural augmente la durée d'exposition potentielle du peuplement aux bioagresseurs. Les infestations précoces de pucerons vecteurs de viroses deviennent plus fréquentes.

Pour pallier des facteurs limitants de la production liés à la pression des bioagresseurs, la trajectoire technologique de l'intensification a donc généré une forte dépendance aux produits phytosanitaires.

- Des stratégies de réduction des risques reposant un suremploi des intrants.

Pour que l'azote ne soit pas le principal facteur limitant de l'accroissement du rendement dans un marché porteur, les pratiques de surfertilisation se sont développées et généralisées chez les agriculteurs les plus intensifs (Cerf et Meynard, 1988). Cette pratique a rejoint les résultats des recherches en économie sur l'aversion aux risques des agriculteurs dans leur grande majorité et ceux en lien avec la théorie de la décision (Petit, 1981). Les intrants ont sécurisé d'une certaine façon les profits. Dans le même temps, les pratiques de gestion des bioagresseurs caractéristiques de l'agriculture française avant la guerre, jugées responsables du « retard français » ont été progressivement disqualifiées au profit d'une série de « kits technologiques/techniques » conçus dans les laboratoires, testés dans les champs d'expérimentation : un conseil de produit ou d'une gamme de produits et un conseil de positionnement. Les pesticides ont été employés de manière systématique et préventive pour anticiper les risques. Les nouveautés systémiques se sont très vite développées : les stratégies d'assurance ont pris le pas sur les stratégies de rattrapage¹¹⁷ (Lamine *et al.*, 2008 ; Lamine *et al.*, 2010b) : « A la fin des années 80, les techniciens de pointe s'interrogent sur l'opportunité du quatrième fongicide, du troisième régulateur de croissance, du troisième insecticide... » (Meynard et Girardin, 1991¹¹⁸). Par exemple pour la gestion des adventices des stratégies de désherbage de prélevée (ou de post-levée précoce) systématique se sont imposées. Enfin, globalement, la consommation de pesticides a augmenté avec l'accroissement de la surface des cultures intensives très dépendantes des pesticides comme le blé, le colza et le maïs.

Les stratégies de gestion de la fertilisation, de l'irrigation, de gestion des bioagresseurs, comme les stratégies de rotation, ont progressivement échappé à l'agriculteur qui a délégué à des acteurs externes à son système d'exploitation ce qui contribuait à sa résilience contre les adventices, contre les maladies. Le conseil ficelé a été transmis de manière très descendante « top down », plutôt poste d'intrants par poste d'intrants. L'éventail de connaissances et de

qu'à partir de 1959, l'inscription des variétés très sensibles aux maladies « à haut potentiel de rendement » n'a plus été discriminante (Lamine *et al.*, 2011).

¹¹⁷ En grandes cultures, les agriculteurs avaient tendance à gérer les problèmes posés par les bioagresseurs, une fois leur présence avérée et les effets des bioagresseurs visibles. Si le premier traitement n'était pas assez efficace, le recours à une autre application de produits phytosanitaire représentait ce que l'on nomme un traitement de rattrapage. Or, pour pallier les risques éventuels, les traitements ont été réalisés avant la manifestations des effets des attaques des bioagresseurs (dommages ou dégâts) en traitement préventif et ce quelle que soit la situation, c'est-à-dire de manière systématique. On parle dans ce cas de figure de traitement d'assurance.

¹¹⁸ Article en ligne consultable à partir de <http://www7.inra.fr/dpenv/meynac15.htm> consulté en décembre 2013.

compétences nécessaires pour la conduite des cultures s'est restreint : était compétent celui qui savait s'entourer de professionnels qui détenaient les « clés » et qui précisait comment utiliser ses clés de la réussite. Cette phase d'intensification a donc favorisé une séparation entre les actions engagées pour accroître le potentiel de production et les actions visant à préserver ce potentiel : les mécanismes de régulation des bioagresseurs étaient externes au système...

- Le rendement et la marge brute ont été les seuls critères de référence utilisés pour l'évaluation des systèmes de culture.

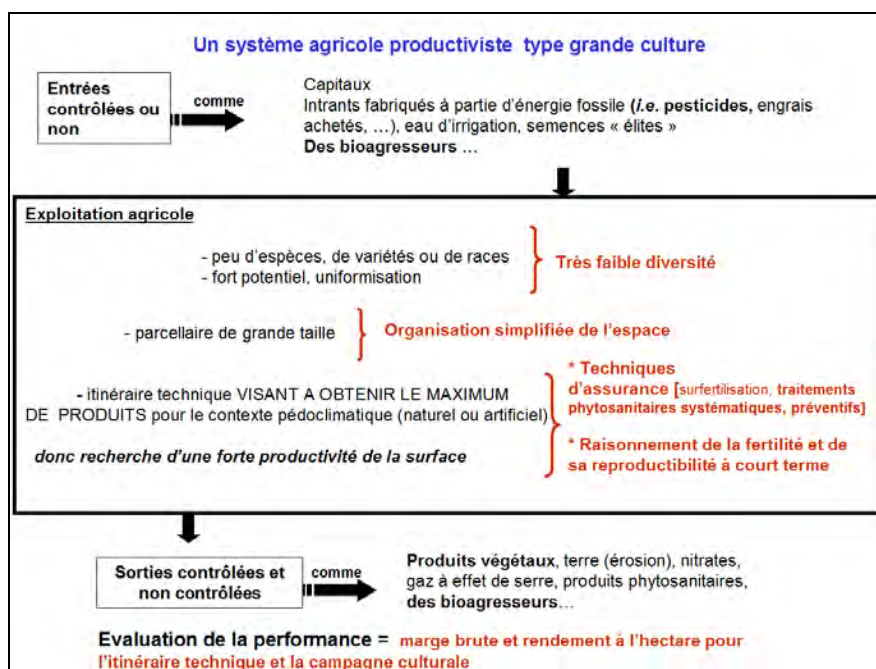
La mesure du rendement et le calcul de la marge brute, à titre quasi-exclusif, ont été retenus pour déterminer la performance¹¹⁹. Cette forme d'évaluation a favorisé des stratégies à court terme axées sur le choix d'un petit nombre de cultures destinées à un marché favorable et qui les a écoulé. Par voie de conséquence, la conception de l'itinéraire technique cultural a reposé sur la mobilisation d'intrants faciles à utiliser, dont on avait une connaissance fine de la stratégie d'application et dont on pouvait obtenir des courbes de réponses de leurs effets sur les rendements. L'évaluation s'est focalisée sur la culture et restreinte à la détermination de sa marge brute. La performance des systèmes a été évaluée à la parcelle ou à celle de l'exploitation et à l'échelle de la campagne culturale et qui de plus poste par poste. L'amélioration de la rentabilité des consommations intermédiaires comme les fertilisants et les produits phytosanitaires ont guidé l'action.

Ne prenant appui que sur le rendement et le calcul de la marge brute à la parcelle, les stratégies de conduite des itinéraires culturaux ont mis de côté une analyse complète de la dynamique des sous-systèmes du système de production. La performance n'a pas été traitée à l'échelle du système de culture et de la rotation. Les effets non intentionnels des conduites ne sont pas rentrés en ligne de compte pour définir la performance.

¹¹⁹ Le concept de performance a un caractère polysémique (Zahm, Ugaglia et Del'homme, 2013). En fait, pour traiter la performance des systèmes agricoles, nous nous appuyons sur le concept de performance globale qui sera reprise à la fin des années 90 pour aborder la performance globale d'une exploitation agricole dans le cadre d'une agriculture durable. La définition de la performance d'un système agricole repose sur des critères qui eux-mêmes seront définis par des indicateurs qui permettront de réaliser des mesures qualitatives ou quantitatives. La performance d'un système caractérise son aptitude à atteindre les objectifs : « Pour Lorino (2003), « est performance dans l'entreprise tout ce qui, et seulement ce qui, contribue à atteindre les objectifs stratégiques » » (Zahm et al., 2013, p. 2). Dans les années 80, la performance l'exploitation agricole se restreint à la mesure des résultats.

La figure n°3 récapitule la logique de ces systèmes intensifs qui ont poussé l'intensification pour s'inscrire dans le productivisme.

Figure n°3 : La logique des systèmes productivistes dans les années 80 en productions végétales (plutôt grandes cultures).



Ajustements stratégiques des firmes phytosanitaires

Durant les années 80 et 90, la stratégie des firmes s'est réorientée en particulier à cause du passage dans le domaine public des brevets d'un ensemble de molécules pesticides. Pour conserver des parts de marché sans s'engager dans des démarches coûteuses et longues de recherche et de développement de nouvelles molécules pesticides, le marché a été renouvelé par la mise au point de mélanges de produits prêts à l'emploi. C'est un moyen d'élargissement de la gamme à moindre coût. Les entreprises agroindustrielles se sont entendues sur l'échange de molécules à cette fin. La gamme s'est aussi étoffée grâce à la mise au point de nouvelles formulations des produits phytosanitaires pour améliorer la souplesse d'utilisation des pesticides : des formulations liquides ou à base de microgranulés ont remplacé progressivement les poudres délicates à manipuler. Enfin, des recherches sur les « plantes-pesticides » génétiquement modifiées ont été entamées : des firmes se sont associées aux groupes impliqués dans les biotechnologies afin de rechercher de nouvelles voies d'accroissement de la résistance des plantes en particulier aux herbicides...

L'intensification et externalités négatives

Les nouvelles molécules pesticides ont révélé aussi leurs limites : au début des années 80, la première souche de piétin-verse résistante à deux familles de fongicides systémiques¹²⁰ de

¹²⁰ Il s'agit de résistance aux benzimidazoles (bénomyl, carbendazime, thiabendazole) et aux thiophanates (thiophanate-méthyl). On parle de nouvelle génération de fongicides car ce sont les premiers fongicides systémiques par la voie du xylème (apoplastique) polyvalents développés en agriculture. Mis sur le marché dès la fin des années 60, ils élargissent la gamme qui ne reposait que sur des fongicides de contact. Leur emploi a débuté sur céréales dans les années 70 et s'est généralisé dans les années 80. Ces fongicides empêchent la formation des microtubules des cytosquelettes. Ces microtubules jouent un rôle essentiel dans les fonctions

nouvelle génération a été observée chez le blé (Leroux et Cavelier, 1983 ; Leroux et Gredt, 1988 ; Lamine, 2011).

Mais les signaux dénonçant le modèle se multiplient :

- des exemples de résistances aux bioagresseurs se multiplient partout dans le monde ;
- le rapport Hénin dénonce en 1982 la dégradation générale de la qualité de l'eau.

2.3.4. Synthèse : un effet de verrouillage en cinq points

Nous retiendrons cinq traits saillants de cette dynamique à l'origine d'un système sociotechnique cohérent verrouillé, écartant l'émergence des voies alternatives au modèle intensif (Vanloqueren et Barret, 2009, Lamine *et al.*, 2010b ; 2011 ; Bonneuil et Hochereau, 2008). Ces résultats de recherche s'appuient sur les théories des transitions technologiques (Geels et Schot, 2007) que nous développons dans le chapitre 2. Ces théories se fondent sur une approche systémique pour éclairer les processus en jeu dans le choix d'une voie technologique au fil du temps. Chaque système est caractérisé par une tension entre des technologies, des politiques, un contexte économique et des valeurs de la société, qui peu à peu instaurent un équilibre dynamique qui va orienter son développement. L'approche socio-historique permet de mettre en lumière le « chemin » retenu. Aussi pour comprendre le processus, à l'inverse de la théorie du « changement technique », ces théories reposent sur la recherche de causes multidimensionnelles (Lamine *et al.*, 2011). Comme cela a été supposé, le marché ou les innovations ne suffiraient pas à expliquer la voie choisie ou les changements de trajectoire lorsqu'ils surviennent. Ces théories permettent alors de reconstruire une trajectoire sociotechnique avec des acteurs impliqués. La trajectoire peut conduire à des mécanismes de verrouillage *lock in* et générer ainsi une forme de cristallisation sur un modèle. Les intérêts de chacun des acteurs de la trajectoire sont renforcés par le choix des autres. Ce verrouillage se caractérise alors par « *un vaste ensemble d'acteurs à tous les niveaux de la filière et dans les institutions concernées, trajectoire qui se « verrouille » au fil du temps, empêchant certains retours en arrière du fait de l'articulation étroite des différents éléments qui la composent, et cela malgré les impasses qui peuvent la caractériser, et marginalisant les voies alternatives* » (Lamine *et al.*, 2010b, p. 124).

La période après la deuxième guerre mondiale a été marquée par une organisation cohérente de l'amont pour l'approvisionnement en intrants et/ou pour la diffusion de conseils et de l'aval pour la commercialisation. La construction de références technico-économiques par les agents du développement a promu des façons de produire caractérisées par une forte inscription de la production dans les filières « produits » déconnectées de leur dimension territoriale.

Les cinq traits saillants reposent sur :

- (i) l'idée d'un modèle de développement unique soutenue par :
 - un ancrage positiviste de la science,
 - une conception des innovations technoscientifiques associées au progrès,
 - le déploiement de techniques et un discours sur ces techniques visant l'uniformisation du contexte dans le but de répondre aux exigences de la production.
 Dans ce modèle, l'agriculteur n'est considéré que comme un maillon dans une chaîne d'acteurs dont le pilotage s'est éloigné de la production.
- (ii) l'« exploitation minière » de l'eau, des sols, de la biodiversité considérés comme des matières premières et la mobilisation de certains types d'intrants (engrais de synthèse, pesticides, irrigation, variétés élites, ...). Ces derniers ont permis

d'artificialiser les milieux pour réduire la complexité dans le but de prévenir des risques et les aléas.

- (iii) la limitation de la complexité des systèmes. Les savoirs et les apprentissages considérés comme centraux sont issus des « laboratoires ou des champs contrôlés ». Ce sont ceux qui relèvent de la conduite technique des processus de production à l'échelle de la parcelle artificialisée, et principalement ceux pertinents pour répondre aux exigences des standards de la filière professionnelle. Il convient donc de suivre les recommandations des techniciens en minimisant les risques technico-économiques dans un contexte réglementaire. Il s'agit de bien gérer les transferts technoscientifiques. Devenant la clé de voûte des systèmes de production intensifs, les intrants *pesticides* ont largement contribué à l'augmentation de la production et de la productivité de la terre et ont permis l'atteinte d'une forme de rationalisation de la production : l'usage des pesticides de synthèse s'est inscrit dans la durée. Les savoirs locaux ont été en quelque sorte disqualifiés. La « *protection des cultures a été, au cours des trente dernières années majoritairement basée sur l'utilisation de pesticides, innovations dont la quasi exclusivité revient à la recherche privée, via les firmes phyto-pharmaceutiques* » (Aubertot *et al.*, 2005a, p. 62).
- (iv) des modes de soutien dans les pays du Nord qui ont favorisé les agricultures « industrialisées » et qui ont survalorisé la fonction de production en n'intégrant que timidement d'abord la modulation des aides en fonction des externalités négatives.
- (v) la gouvernance resserrée à la frange de la profession agricole partageant la vision d'une forme d'agriculture industrialisée ouverte à l'exportation. Cette configuration a brouillé l'agriculture avec la société, générant des incompréhensions réciproques.

2.3.5. Les années 90 et 2000, les logiques de production ne sont pas ébranlées malgré les critiques

Des effet du sommet de Rio et de la Pac 1992

Ces années voient se développer une forme de résistance d'une grande partie du monde agricole aux critiques adressées aux systèmes intensifs (Lamine, Ricci, Meynard, Barzman, Bui, et Messéan, 2008). Ces derniers ont révélé leurs limites à l'aune des crises sanitaires successives qui ont secoué la profession agricole et soulevé des vagues de contestations (pollution des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires, déprise agricole, vache folle ESB, crise des OGM, fonds européens de la politique agricole de plus en plus captés par les coûts occasionnés par la nécessité de stockage des surproduction [blé, beurre, lait, ...]). La société civile, des scientifiques, des associations de protection de l'environnement, des politiques ont dénoncé les impacts des pratiques agricoles responsables de dégradations du milieu et à l'origine d'une dérive des dépenses de l'Europe (Boinon, Gomez et Roux, 2008) « (...) *Brice Lalonde, considère publiquement les agriculteurs comme des pollueurs qui doivent payer pour réparer les dégâts causés par leur pratique de l'agriculture intensive. Cette attaque ministérielle contre un modèle de développement qui orientait la politique agricole depuis plus de 30 ans, fut vivement ressenti par les agriculteurs et leurs organisations professionnelles (...)* » (Boinon *et al.*, 2008, p. 8).

L'année 1992 a marqué les esprits avec la nouvelle politique agricole commune et les conclusions de la conférence de Rio. La réforme de la politique agricole a tenté de résorber les excédents chroniques de production par le gel d'une partie des surfaces en production¹²¹ et a amorcé le découplage des aides à la production. La conférence de Rio a fait émerger la notion de développement durable soulignant la nécessité de concilier à la fois les aspects sociaux,

¹²¹ Il s'agit de la Surface en Céréales et Oléo-Protéagineux : S.C.O.P.

économiques et environnementaux dans toute entreprise humaine. Une vague de travaux vont tenter de rechercher des voies alternatives au modèle dominant contesté. Par exemple, en avance sur le Sommet de Rio, et ce dès la fin des années 80, des recherches en agronomie ont été entreprises sur des alternatives à la course de l'intensification technologique. Elles ont débouché sur l'obtention de variétés multi résistantes de blé (blé rustique) et sur la mise au point d'itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants (Meynard, 1985; Meynard et Girardin, 1993). Ces derniers travaux se sont révélés encourageants pour concevoir des alternatives aux systèmes intensifs conventionnels. En effet, sur la base de comparaisons d'itinéraires techniques, les uns conduits de manière intensive et les autres économes en intrants¹²², les chercheurs ont montré que la baisse de rendement observée pour les seconds ne se traduisait pas par une baisse de la marge... Ces études à l'initiative de l'Inra ont été reconduites dans les années 90 dans plusieurs régions dans le cadre de réseaux d'essais pluri partenaires (instituts de recherche et chambre d'agriculture). Nous pouvons aussi citer d'autres initiatives:

- l'expérimentation avec les plans de développement durable (PDD) a tenté de décliner concrètement des nouvelles formes d'agriculture dans le développement durable¹²³.
- les opérations Ferti-mieux, toujours dans le cadre d'actions volontaires visaient elles l'amélioration de la qualité de l'eau en revisitant les pratiques agricoles sur un secteur avec l'appui de la profession, des agences de l'eau et d'aides publiques ciblées du développement agricole.
- un peu plus tard des actions locales de type *Phyto-mieux* à l'échelle de bassin de production et des départements ont permis à la profession et aux services déconcentrés de l'état de communiquer sur une meilleure utilisation des pesticides de synthèse.
- le réseau « Forum de l'Agriculture Raisonnée Respectueuse de l'Environnement » (FARRE) mis en place en 1993 à l'initiative de la FNSEA, des chambres de l'agriculture et de firmes de l'agro-industrie. Le réseau FARRE est d'abord un lieu de réflexion pour conduire des actions de communication sur les pratiques agricoles qui relèvent de l'agriculture raisonnée. C'est en quelque sorte tenter de renouer le dialogue entre la société et une frange des agriculteurs, c'est faire connaître au public comment se conduit cette forme d'agriculture au quotidien. En toile de fond de ce réseau, des agriculteurs ont adhéré à la charte, qui n'a rien d'officiel, et s'engagent à mettre en œuvre les grands principes de l'agriculture raisonnée et à ouvrir leurs fermes pour le faire savoir.

Le Corpen¹²⁴ s'est intéressé à partir de 1992 aux pratiques phytosanitaires en agriculture et a publié un ensemble de brochures de synthèse sur le thème (pollution de l'eau, bandes enherbées, dispositifs réglementaires...).

¹²² Il s'agit en fait d'une réduction équilibrée de différents intrants : réduire simultanément la fertilisation azotée, la densité du peuplement entraînaient une diminution de la pression de maladie générant ainsi une économie en fongicide. Plus tard à la fin des années 90, dans le cadre de la mise au point d'itinéraires de blé destinés à la production d'éthanol Loyce (1998) a mis au point des itinéraires économes combinant des « *contraintes environnementales fortes, les itinéraires techniques sélectionnés associent : (1) variétés multirésistantes aux maladies, (2) doses d'engrais réduites, (3) densité de semis plus faible, (4) suppression des traitements fongicides et (5) suppression des régulateurs de croissance* ».

¹²³ Il s'agissait d'une expérimentation conduite de 1993 à 1997, à laquelle des agriculteurs pouvaient adhérer sur la base du volontariat. L'objectif était de préciser des démarches, des formes d'accompagnement technique et les évolutions en termes de leviers réglementaires pour améliorer les performances des systèmes agricoles français sur les trois piliers de la durabilité.

¹²⁴ Le Corpen (*Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement*) a été créé en 1984 sur décision ministérielle. Son domaine d'action couvre la production d'informations et d'avis aux agriculteurs sur les pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Il a aussi construit des outils méthodologiques pour aider concrètement la mise en œuvre d'action de préservation des milieux. En outre, il sert d'appui aux administrations et à l'enseignement agricole (brochures pédagogiques traitant de points techniques et/ou réglementaires). Il s'est d'abord intéressé à la pollution de l'eau par les nitrates et les phosphates d'origine

Ces résultats, signes d'une remise en question de la stratégie de modernisation de l'agriculture engagée depuis les lois d'orientation agricole de 1960 et 1962, n'ont cependant pas eu beaucoup d'échos dans la profession agricole (Lamine *et al.*, 2008), au contraire. Une grande majorité d'agriculteurs intensifs a développé une stratégie d'adaptation pour pallier la baisse de la rentabilité des productions et pour éviter la baisse de revenus liées à la perspective de réduire leurs surfaces de production. On a observé un accroissement de la productivité par unité de surface. L'intensification s'est accrue en opérant un calcul au plus juste des besoins en consommations intermédiaires (recours aux outils d'aide à la décision) : produire autant avec une sole réduite. Cette stratégie a dévoyé les objectifs premiers de la réforme de la Pac. On a en fait assisté à un renforcement de l'ancrage technoscientifique pour résoudre les problèmes de conduite des productions. Par exemple, des stratégies de modulation des doses d'application ont été développées pour réduire la quantité de substances actives par unité de surface, associées à une mise à disposition de machines agricoles performantes équipées pour les applications de précision. Les agriculteurs ont aussi cherché à améliorer l'efficacité de leurs traitements phytosanitaires tout en réduisant les coûts en associant des spécialités commerciales. De son côté, le développement s'est attaché à proposer des conseils sur ces mélanges conformes à la réglementation. La consommation en pesticides s'est donc accrue d'une part pour contrôler le salissement des parcelles en gel annuel (dites en jachère) et d'autre part, pour limiter les pertes de rendement (lutte chimique).

A partir de la loi d'orientation agricole de 1999, un nouveau contrat social ?

Mais progressivement les pressions sociétales et réglementaires vont infléchir la trajectoire de l'intensification. La loi d'orientation agricole de 1999 a remis en cause la cristallisation du modèle de développement de l'agriculture fondée sur la survalorisation de la fonction de production. Vedel (2006) résume bien la stratégie des agriculteurs durant cette période : « *il ne s'agit plus seulement d'accroître la productivité, mais de raisonner compétitivité et maîtrise des coûts, gestion de l'environnement, complémentarité des activités au sein des territoires, différenciation des produits et offre de nouveaux services, transparence des manières de produire au regard du consommateur et du citoyen.* » (Vedel, 2006, p. 38).

Elle a introduit la multifonctionnalité de l'agriculture et le CTE¹²⁵. Ce dernier a permis de soutenir financièrement par des aides publiques un projet agricole affichant et conciliant des dimensions socio-économiques et la protection de l'environnement. Cette nouvelle orientation du soutien aux agricultures a généré des démarches duales. D'un côté, des systèmes financés se sont tournés vers l'agriculture biologique, représentant déjà une remise en cause de la dépendance. De l'autre, des financements ont servi la cause d'un usage toujours plus fin et plus précis des pesticides (pulvérisateurs équipés pour une agriculture de précision et GPS) : il s'agit de la réduction des usages *via* l'amélioration de l'efficacité. Certains systèmes ont mis en place des techniques alternatives : la substitution a été acceptée si elle était financée. Les CAD¹²⁶ (Contrat d'Agriculture Durable) ont remplacé les CTE. La politique agricole de 2005 amenant un découplage plus poussé des aides et les DPU¹²⁷, invitent une nouvelle fois à revoir les façons de produire. Le discours politique invite ostensiblement à promouvoir une

agricole et seulement en 1992, il a élargi son champ d'action à la prévention des effets des pollutions par les produits phytosanitaires.

¹²⁵ CTE : Contrats Territoriaux d'Exploitation

¹²⁶ Les CAD prennent la suite des CTE, mais ils sont moins ambitieux avec un volet financier moins élevé et ils ne permettent de financer qu'un seul volet agroenvironnemental traduisant une volonté gouvernementale de cibler les aides sur des problématiques environnementales prioritaires.

¹²⁷ Droit à Paiement Unique

agriculture moins dépendante des pesticides, les soutiens à l'agriculture biologique et des MAET¹²⁸ visant la réduction des produits phytosanitaires en sont des signes.

Progressivement, le modèle dominant conventionnel a fondé sa stratégie de protection des cultures sur les démarches de la lutte raisonnée. Le référentiel de l'agriculture raisonnée¹²⁹ a émergé en avril 2002. L'approche technique est au cœur de ce référentiel, la protection phytosanitaire n'y échappe pas : si nécessaire, le traitement phytosanitaire est pertinent avec la juste dose au bon moment avec un produit conforme à la réglementation en vigueur (efficacité et risques mesurés), mais ce ne sont pas les fondements des systèmes qui sont révisés. Les démarches de la lutte raisonnée ont mobilisé de plus en plus d'outils d'aide à la décision et des conseils fins d'application des produits : « *Raisonnement ses pratiques de protection des cultures, en utilisant les méthodes culturales et biologiques disponibles, en choisissant les variétés les plus adaptées, en ne faisant usage des produits phytosanitaires que lorsque cela est nécessaire et justifié et en fractionnant, de manière adaptée, les traitements, de façon à minimiser les quantités de produits phytosanitaires utilisées* » (référentiel agriculture raisonnée). Là encore, pour conduire la protection des cultures des apprentissages-clés sont très liés à la perspective d'utiliser *in fine* des pesticides de synthèse :

- reconnaître des bioagresseurs en culture par une observation rigoureuse,
- évaluer la nuisibilité à partir de seuils préétablis pour faire une évaluation du risque,
- rassembler des informations sur les conditions fines d'application des pesticides pour garantir efficacité et sélectivité,
- s'appuyer ensuite sur des références technico-économiques et réglementaires pour finalement agir...

En fait, le référentiel s'apparente davantage à une liste de « bonnes pratiques phytosanitaires » préconisées, codifiées à suivre quel que soit le contexte. L'éco conditionnalité des aides de la Pac 2005 sous tend elle-aussi un code des bonnes pratiques phytosanitaires qui reprend les fondements de l'agriculture raisonnée.

Des effets d'une remise en cause de la procédure d'autorisation des produits phytosanitaires

Si au cours des années 90, les produits phytosanitaires n'étaient pas encore visés par des mesures spécifiques comme l'ont été les nitrates, une nouvelle procédure de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques destinés à la protection des végétaux et des produits végétaux, (91/414/C.E.E. 19 août 1991) a fait évoluer le secteur. Les substances actives sont inscrites sur une liste positive européenne¹³⁰. L'évaluation des substances actives et l'autorisation des préparations commerciales se sont durcies conduisant au retrait des substances actives les plus toxiques (en termes de santé publique, de protection de l'environnement, de préservation de la faune en particulier des abeilles). Les *substances actives préoccupantes* ont du être substituées si des alternatives moins nocives existaient. Ce durcissement et les coûts liés à la constitution du dossier d'homologation ou une ré-

¹²⁸ Les Mesures Agri-Environnementales Territorialisées (MAET) sont des mesures spécifiques d'aides déclinées dans chaque région en fonction de problèmes de protection de l'environnement repérés, moyennant le respect d'un cahier des charges. En particulier dans le cadre de la protection de l'eau, des mesures visent la réduction de l'usage des pesticides dans les systèmes de culture.

¹²⁹ Le décret n° 2002-631 du 25 avril 2002 propose un référentiel technique, c'est-à-dire une liste de techniques, de *modus operandi*, à réaliser. L'approche reste technocentrée alors que ce sont les aspects techniques de l'agriculture intensive qui de plus en plus sont disqualifiés.

¹³⁰ En fait, les substances actives sont autorisées au niveau européen et elles sont référencées sur une liste, dite liste positive. Les pays membres autorisent la mise sur le marché des produits contenant ces substances actives selon des règlements qui leur sont propres.

homologation¹³¹ ont accéléré la diminution du nombre des substances actives inscrites : les plus dangereuses n'ont plus été autorisées et ont été retirées. Ainsi, depuis 1991, le nombre de produits autorisés en Europe a fortement baissé, soit parce que certaines substances actives ne répondaient pas aux nouvelles normes d'homologation, ou soit parce que les industriels n'ont pas forcément souhaité engager des procédures longues et coûteuses pour ré-homologuer des produits dont les brevets arrivaient à terme (passant dans le domaine public). Un ensemble de « nouveaux produits » correspondent à des mélanges ou à de nouvelles formulations. Les substances actives autorisées en Europe sont ainsi passées de 800 en 1990 à 489 en 2004. En 2012, 416 substances actives sont autorisées en Europe dont 309 pour la France (Aubertot *et al.*, 2005a ; INSERM, 2013). Le potentiel d'innovation de l'agrochimie à moyen terme apparaît faible. « *Pour les fongicides, la sortie de quelques nouvelles molécules, dont plusieurs anti-oïdium, est prévue, mais aucune nouvelle famille à large spectre d'action n'est annoncée à moyen terme. Concernant les herbicides, aucun nouveau mode d'action n'a été identifié depuis plusieurs années ; quelques nouveaux produits appartenant à des familles déjà connues sont annoncés* » (Inra & Cemagref, 2005, p. 23). Cet état des lieux laisse présager un risque de pression de sélection de souches de bioagresseurs résistantes avec un emploi de pesticides issus d'une panoplie toujours plus réduite.

En guise de synthèse pour cette partie

L'intensification de l'agriculture française pour les grandes cultures a été conduite selon la voie « *capital-intensive* » (*employant beaucoup d'intrants et de capital fixe par ha*) » (Bonny, 2010, p. 2). L'emploi des pesticides a été un des facteurs structurants de cette intensification associé à l'amélioration de la productivité de la terre (augmentation des surfaces moyennes des exploitations) et l'amélioration du facteur travail (mécanisation des opérations).

Pour dépasser l'approche économique classique qui traite de l'intensification, Bonny (2010) rappelle que d'autres facteurs combinés par unité de surface entrent aussi en ligne de compte comme les savoirs, l'information, les services écosystémiques entre autres.

Comment expliquer que le modèle intensif fondé sur un pilotage de la protection des cultures par la lutte chimique ne cède pas face aux critiques, aux preuves des effets délétères y compris pour les agriculteurs, aux preuves de réussite des voies alternatives aux pesticides ?

Rappelons que le rendement et la marge économique ont été deux indicateurs qui ont servi à valider la logique de l'intensification. Or, ils révèlent des signes de faiblesses des systèmes intensifs conventionnels : d'un côté les rendements stagnent et les marges économiques se réduisent pour les grandes cultures entre autres et la volatilité des prix ne permet plus de compter sur des cours couvrants les coûts de production dans un contexte de réduction des soutiens directs à la production.

Pour ce qui concerne les connaissances, nous avons vu que les savoirs traditionnels et les savoirs locaux ont été disqualifiés au profit des savoirs scientifiques et techniques (Jas, 2005). La prévalence de ces derniers s'explique à la fois par la conception du progrès dont ils étaient considérés des moteurs et parce qu'ils ont été incorporés dans des biens et des services (conseils, outils d'aide à la décision,...). Les agriculteurs ont étoffé leurs connaissances sur les besoins des plantes, sur la reconnaissance de bioagresseurs, sur la conduite des traitements phytosanitaires au cours de la campagne de culture. Leurs connaissances sont devenues de plus en plus fines sur la conduite de la lutte chimique, mettant de côté les savoirs sur les

¹³¹ Le déclin des capacités innovatrices des grandes firmes agrochimiques a débuté dès la fin des années 70. Il fallait déjà 40 à 70 millions de dollars à la fin des années 80 pour conduire le processus de la recherche au dépôt de la substance active (Assouline, 1989).

techniques alternatives aux pesticides et la dynamique des écosystèmes. Cette dérive a été renforcée par le type d'informations¹³² disponibles et accessibles :

- d'un côté, les informations sur la conduite de la lutte chimique des données sur les produits phytosanitaires comme leur mode d'action pour des groupes de cibles et par culture ont été largement diffusées par les firmes et des techniciens de l'agrofourmiture ;
- de l'autre, les informations sur les services écosystémiques, en particulier ceux permettant de contribuer à la gestion des bioagresseurs ont été très pauvres pour les grandes cultures (action des auxiliaires, processus d'interactions, ...). Les informations sur les systèmes alternatifs sont restées confinées dans des réseaux spécifiques (*i.e.* les systèmes conduits en bio). L'information sur les systèmes économes en intrants a elle-aussi eu du mal à percoler dans le milieu professionnel.

Or nous le développerons dans le chapitre 2, dans la conduite des processus de production végétal, une partie des intrants est substituable, les pesticides font partie de ceux-là (Inra & Cemagref, 2005). Ainsi avec l'information disponible et facilement accessible au cours de la période étudiée, il était difficile de valoriser les interactions dans les agroécosystèmes pour réduire l'usage des pesticides sur la base des informations accessibles.

Le modèle a résisté malgré le trouble semé par les pesticides dans l'opinion publique. Au milieu des années 2000, des études donnent des éléments convergents sur les risques de cette dépendance (Aubertot *et al.*, 2005 ; IFEN, 2006 ; Inra, 2008 ; Gatignol et Etienne, 2010) : la pollution de l'eau, la mortalité des abeilles, les troubles pathologiques chez les agriculteurs, les résidus dans les aliments pointent les pesticides. Les services écosystémiques rendus par l'agriculture en lien avec son activité de production se dégradent (Aznar, Jeanneaux et Déprés, 2009). De plus en plus de résistances de bioagresseurs sont observées. Pour les céréales un certain nombre d'adventices ont développé des résistances à au moins trois familles d'antigraminée. (Aubertot *et al.*, 2005a). Depuis 2008, les mesures incitatives ou coercitives comme le plan Ecophyto, les mesures réglementaires du « paquet pesticides » en 2009 ont du mal à infléchir la tendance, l'usage des pesticides ne montre pas de net repli. La consommation augmente même au niveau national.

2.3.6. Pesticides et aspects réglementaires aujourd'hui

La mise en perspective socio historique a révélé différents projets de sécurisation des usages des pesticides. La France s'est démarquée en imposant très tôt un système de réglementations contrôlant l'homologation, les usages et la vente des produits de traitement des cultures. Nous présentons dans cette section des traits saillants marquant une évolution dans la prise en compte réglementaire des risques et dangers potentiels des produits phytosanitaires.

2.3.6.1. La réglementation des pesticides : une multitude de cadres

Un pesticide est en particulier défini par ses usages. En France, 90 % du tonnage des pesticides utilisés le sont dans l'agriculture (Aubertot *et al.*, 2005a ; INSERM, 2013). Considérés comme des substances dangereuses, les conditions de mise sur le marché, la distribution et la commercialisation, les utilisations relèvent de cadres règlementaires stricts définis à l'échelle européenne et/ou nationale.

« Pesticides can have severe undesirable effects if they are not strictly regulated. No pesticide can be used in the EU unless it is scientifically proven that it: doesn't harm people's health; Has no unacceptable effects on the environment; Is effective against pests. EU rules on plant

¹³² L'information désigne des données sur « (...) l'environnement ou l'état des cultures et des élevages à un instant donné (e.g. teneur du sol en reliquat azoté, probabilité de développement de certaines maladies, agrométéorologie, applications de la télédétection, etc.). Il s'agit de connaissances permettant un suivi des productions au fil du temps et des interventions et traitements plus finement ajustés » (Bonny, 2010, p. 2).

protection products establish a «dual » system». Extrait de http://ec.europa.eu/food/plant/plant_protection_products/index_en.htm

2.3.6.2. Les évolutions du cadrage réglementaire pour les produits phytopharmaceutiques

Un ensemble complexe de textes législatifs européens précise la mise sur le marché, la commercialisation, les usages et l'évaluation des résidus des produits phytosanitaires dans les denrées alimentaires. Certains textes ne relèvent pas du niveau européen. Pour les résidus dans les denrées, la réglementation en vigueur s'appuie sur le règlement (CE) 396/2005¹³³. Le cadre réglementaire précisant l'autorisation, la mise sur le marché, la commercialisation, les usages a changé en 2009. Il entérine le rôle de l'EFSA¹³⁴ dans les évaluations au niveau européen et reprend toutefois des éléments de la réglementation précédente. Il apporte aussi des nouveautés tentant de pallier les lacunes du cadre précédent. D'autres cadrages (européens et nationaux) tentent de régler des questions en suspens sur l'évaluation des risques et les préparations peu préoccupantes.

Evolution de la procédure d'autorisation de mise sur le marché (A.M.M.)

- *Evolution de la forme de la prescription : un règlement remplace la directive*

Le règlement (CE) n°1107/2009 du 21 octobre 2009 abroge les directives 79/117/CE et 91/414/CEE du 15 juillet 1991. Il ne présente pas de caractère rétroactif, seules les nouvelles substances et les nouveaux produits sont concernés. La prescription sous la forme d'un règlement présente deux avantages. D'une part, le règlement est directement applicable par l'ensemble des Etats membres sans exiger de transposition dans le droit du pays, contrairement à des directives européennes. D'autre part, la forme règlement permet une plus grande réactivité pour faire évoluer la prescription. Entré en vigueur le 14 juin 2011, au même titre que la directive 91/414/CEE, il définit, sans la modifier, la notion de « pesticide agricole » appelé produit phytopharmaceutique, précise les conditions de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et l'évaluation de leurs usages¹³⁵ : un produit phytosanitaire est vendu sous la forme d'une spécialité commerciale. Le produit phytosanitaire est composé d'une ou de plusieurs substances actives¹³⁶ (principe qui agit) associées à d'autres composés que l'on appelle formulants (co formulants + phytoprotecteurs, synergistes¹³⁷) et d'éventuelles impuretés - cf. figure n° 4).

¹³³ Règlement (CE) 396/2005 consultable

¹³⁴ EFSA (European Food Safety Authority) est l'Autorité européenne de sécurité des aliments.

¹³⁵ Extrait règlement (CE) 1107/2009 article premier (1) : « (...)établit les règles régissant l'autorisation des produits phytopharmaceutiques présentés sous leur forme commerciale ainsi que la mise sur le marché, l'utilisation et le contrôle de ceux-ci à l'intérieur de la Communauté. »

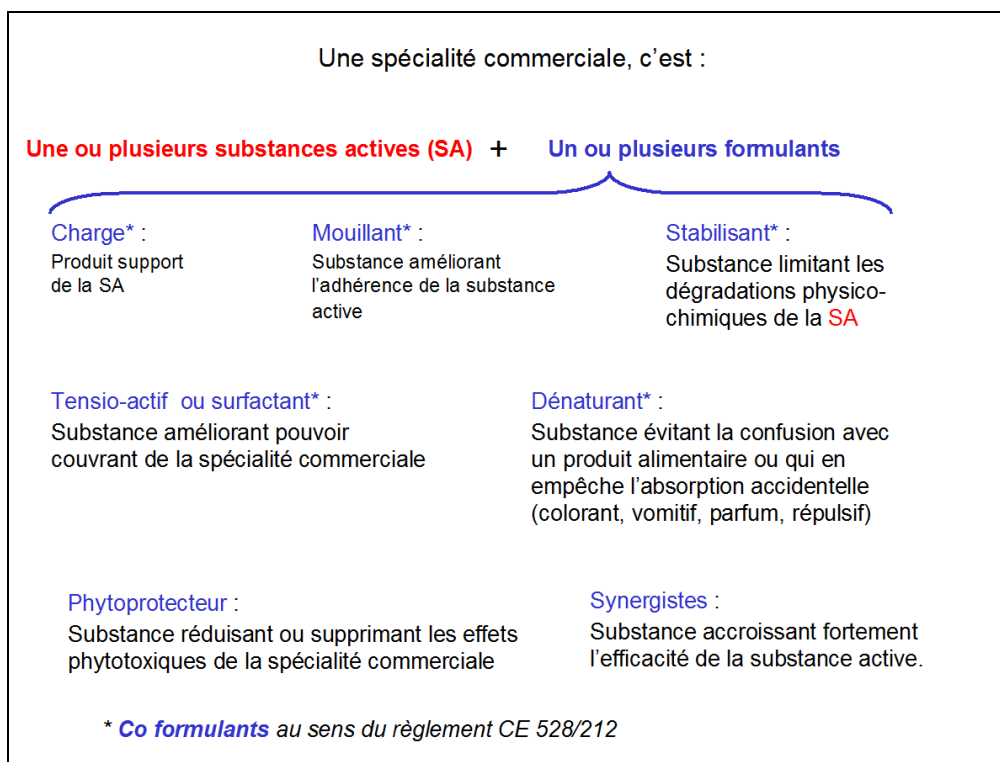
¹³⁶ La substance active constitue le principe actif du produit pesticide : c'est celui qui agit sur la cible. « **Substances actives** : substances ou micro-organismes, y compris les virus, exerçant une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles ou sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux » (Observatoire des Résidus de Pesticides : ORP).

¹³⁷ Co formulant = « substances ou préparations qui sont utilisées ou destinées à être utilisées dans un produit phytopharmaceutique ou un adjuvant, mais qui ne sont ni des substances actives ni des phytoprotecteurs ou synergistes ». Source règlement (CE) 1107/2009. C'est produit entrant dans la composition d'un produit phytosanitaire associé à la substance active.

Phytoprotecteur = « substances ou préparations qui sont ajoutées à un produit phytopharmaceutique pour annihiler ou réduire les effets phytotoxiques du produit phytopharmaceutique sur certaines plantes, dénommées ». Source règlement (CE) 1107/2009

Synergiste = « substances ou préparations qui, bien que n'ayant pas ou guère d'activité au sens du paragraphe 1, peuvent renforcer l'activité de la ou des substances actives présentes dans un produit phytopharmaceutique ». Source règlement (CE) 1107/2009

Figure n°4 : La composition d'une spécialité commerciale



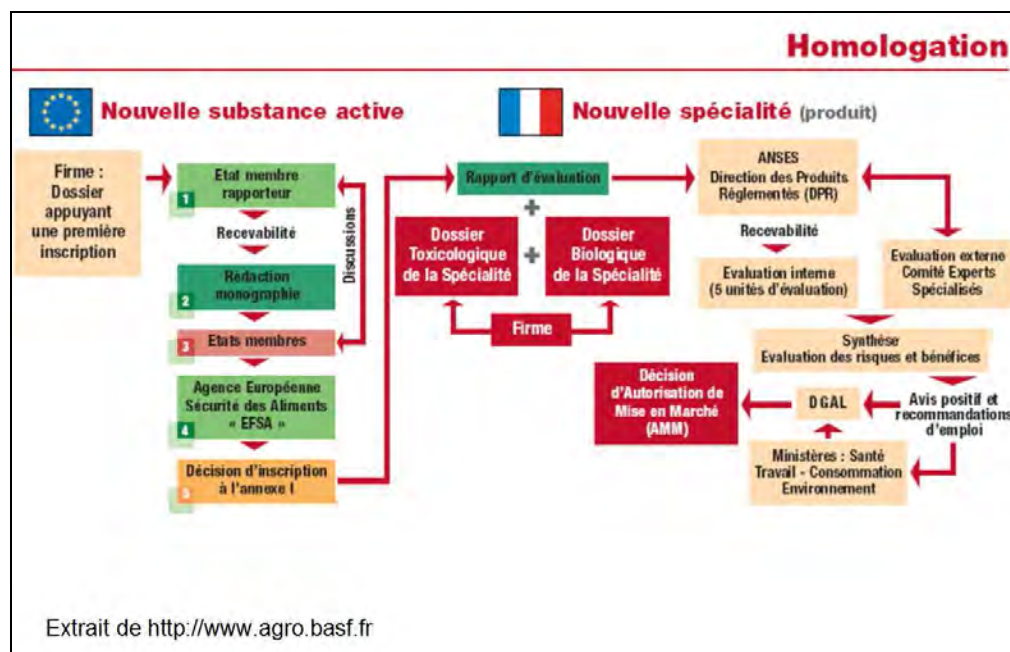
Les substances actives sont toujours homologuées au niveau européen et inscrites sur une liste positive¹³⁸ (règlement (CE) 540/2011) et des règles d'évaluation communes ont été définies. Les spécialités commerciales font l'objet d'autorisation de mise sur le marché et d'évaluation (A.M.M.¹³⁹) spécifiques dans chaque pays suivant la réglementation nationale propre¹⁴⁰ (cf. figure n°5).

¹³⁸ On désigne par liste positive la liste communautaire « positive » des substances actives autorisées (Annexe I, IA, IB de la directive 98/8/CE) (ORP).

¹³⁹ L'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) est l'agence nationale française chargée de la sécurité sanitaire. Elle évalue des biocides et des produits phytosanitaires. Le ministère de l'Agriculture décide des A.M.M. (Autorisation de Mise sur le Marché), des modifications voire du retrait des produits phytosanitaires. Le ministère en charge de l'environnement s'occupe des biocides.

¹⁴⁰ En France, il y a eu une mise en conformité du Code rural et de la pêche maritime : Ordonnance publiée le 15 juillet 2011 et Décret publié le 9 mai 2012. Source ministère de l'agriculture.

Figure n°5 : La double évaluation des produits phytosanitaires



- *Deux zones géographiques pour affiner l'évaluation*

Par rapport à la réglementation précédente, deux zones géographiques ont été définies afin de tenir compte de spécificités du contexte pour évaluer les spécialités commerciales : Nord, Centre et Sud Europe. La France dépend de la zone Sud, avec la Bulgarie, la Grèce, l'Espagne, l'Italie, Chypre, Malte et le Portugal.

- *Renforcement des procédures d'évaluation des substances actives et des spécialités commerciales pour tenir compte des risques de toxicités*

L'autorisation couvre une durée maximale de dix ans et à chaque spécialité commerciale correspond un numéro d'A.M.M. A tout moment, une révision peut avoir lieu dès que des effets indésirables ont été démontrés sur la santé conduisant à un retrait des produits et/ou sur l'environnement entraînant des restrictions d'emploi (cas du glyphosate) et/ou un retrait. Produits phytosanitaires et résidus¹⁴¹ de produits phytosanitaires sont objets de surveillance.

Le texte du règlement use des formules de précaution montrant l'incomplétude des connaissances et laisse ouverte la perspective transformer le cadre en fonction des avancées. Par exemple, on retrouve la formule « (...) s'il est prévisible, eu égard à l'état actuel des connaissances scientifiques et techniques » qui laisse supposer que les données, les conséquences sur ces produits épanchés dans le milieu ne sont pas tous connus en amont. C'est un sujet de cristallisation entre les partisans des produits phytosanitaires de synthèse et les opposants.

Par rapport aux directives précédentes, le règlement (CE) n°1107/2009 définit des procédures plus strictes pour l'évaluation scientifique des substances actives et l'autorisation des préparations commerciales «*strict criteria for approval of substances, to ensure a high level*

¹⁴¹ «Résidus» : « (...) une ou plusieurs substances présentes dans ou sur des végétaux ou produits végétaux, des produits comestibles d'origine animale, l'eau potable ou ailleurs dans l'environnement, et constituant le reliquat de l'emploi d'un produit phytopharmaceutique, y compris leurs métabolites et produits issus de la dégradation ou de la réaction » (Extrait règlement 1107/2009, p. 7).

*of protection for human and animal health and the environment*¹⁴² ». (i) Des substances actives particulièrement dangereuses sont exclues, (ii) le cadre envisage la nécessité de substitution des substances préoccupantes, (iii) les tests pour l'A.M.M. sont élargis aux synergistes, aux phytoprotecteurs, aux co formulant et aux adjuvants¹⁴³ en plus des tests sur la substance active.

(i) Au niveau européen, les substances actives les plus toxiques pour la santé publique et l'environnement, y compris pour la faune telle que les abeilles sont exclues : « *carcinogens, mutagens, endocrine disruptors, substances toxic for reproduction or which are very persistent will not be approved, unless exposure to humans is negligible*¹⁴⁴ ». « *Une substance active ne doit pas être classée cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction, de catégorie 1A ou 1B. Elle ne doit pas non plus être considérée comme ayant des effets perturbateurs endocriniens. A noter que ces catégories 1A et 1B font référence aux classements du règlement (CE) n° 1272/2008, dit règlement CLP, et correspondent à peu près aux anciennes catégories 1 et 2 de la directive 67/548/CEE . Enfin, la substance active ne doit pas être identifiée comme un polluant organique persistant (POP), ni comme étant de type persistant, bioaccumulable et toxique (PBT), ni comme étant très persistant et très bioaccumulable (vPvB)*¹⁴⁵ ». Une liste de substances a été établie au niveau européen¹⁴⁶. (ii) Les substances actives préoccupantes¹⁴⁷ font l'objet d'une évaluation comparative qui conduit à la substitution par des alternatives moins nocives lorsqu'elles existent. (iii) Le produit phytosanitaire peut contenir une ou plusieurs substances actives auxquelles sont éventuellement associés dans la formulation des phytoprotecteurs, des synergistes, des adjuvants et des coformulants. Ces produits font eux aussi l'objet d'une évaluation, ce qui n'était pas le cas dans le cadre réglementaire précédent. « *L'association* » pose problème : « *Outre des substances actives, les produits phytopharmaceutiques peuvent contenir des phytoprotecteurs ou des synergistes pour lesquels il y a lieu de prévoir des règles similaires* ». (Inserm, 2013). L'Esco Inserm (2013) souligne la difficulté à prédire les effets des mélanges. En effet, ils ont une toxicité propre et les produits associés à la substance active peuvent interférer avec elle. Sur la santé humaine par exemple, les effets sont variables tant sur les plans toxicocinétique, pharmacologique, que sur les effets potentiels comme la synergie, l'additivité, la potentialisation ou l'antagonisme. Récemment, la mise au point de test pour évaluer la génotoxicité des mélanges de résidus de pesticides a permis de mettre en évidence des effets synergisants chez l'Homme (Graillot, Takakura, Le Hegarat, Fessard, Audebert et Cravedi, 2012).

¹⁴² Extrait de

[shttp://ec.europa.eu/food/plant/plant_protection_products/eu_policy/docs/factsheet_pesticides_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/plant/plant_protection_products/eu_policy/docs/factsheet_pesticides_en.pdf)

¹⁴³ Extrait règlement (CE) article premier (2) : « *Le présent règlement établit à la fois les règles applicables à l'approbation des substances actives, des phytoprotecteurs et des synergistes que les produits phytopharmaceutiques contiennent, ou dont ils sont composés, et les règles applicables aux adjuvants et aux coformulants* ».

¹⁴⁴ Information consultable sur le site Europa à l'adresse

¹⁴⁵ Information consultable sur le site de l'UIPP (Union des Industries Phytosanitaires) à l'adresse

¹⁴⁶ Liste en ligne mise à jour à l'adresse

http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/database_act_subs_en.htm

¹⁴⁷ La terminologie vient du règlement REACH. Une substance préoccupante dans le cadre des pesticides correspond à : « toute substance intrinsèquement capable de provoquer un effet néfaste pour l'homme, les animaux ou l'environnement et contenue ou produite dans un produit phytopharmaceutique à une concentration suffisante pour risquer de provoquer un tel effet » et « sans se limiter à celles-ci, les substances satisfaisant aux critères fixés pour être classées dangereuses conformément au règlement (CE) no1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges (1) et contenues dans le produit phytopharmaceutique à une concentration justifiant que le produit soit considéré comme dangereux au sens de l'article 3 de la directive 1999/45/CE ». Source règlement (CE) 1107/2009

Principe de substitution pour les substances présentant un « risque »

Les produits phytopharmaceutiques qui contiennent des substances pour lesquelles le risque est élevé pour la santé humaine ou l'environnement font l'objet d'un suivi particulier. Ils sont réexaminés régulièrement dans la perspective de les remplacer par des produits moins dangereux.

Des incertitudes difficilement réductibles pour la mesure des résidus¹⁴⁸

Les produits phytosanitaires sont appliqués sur les parcelles et par conséquent ils se retrouvent présents dans le milieu. Une fois épanchés, ils peuvent être complètement dégradés et disparaître du milieu. Pour certains, ils vont s'accumuler en l'état ou être en partie dégradés et transformés en de nouvelles substances (métabolites¹⁴⁹). Dans les deux derniers cas de figure, ces substances vont s'accumuler et on les peut retrouver et les doser dans le sol, l'air, l'eau ou dans les récoltes. C'est ce que l'on nomme « un résidu pesticide ». Ces composés dispersés dans les compartiments du milieu sont à l'origine de problème de pollution, de santé humaine et animale et dégradent la qualité des aliments. L'exposition des populations résulte de multiples sources combinées qu'il faudrait être en mesure de quantifier. A ce premier niveau de difficultés s'ajoute celui représenté par les effets du produit de dégradation pour lesquels les risques des effets sont plus sérieux que ceux de certains produits phytosanitaires eux-mêmes¹⁵⁰. Le règlement souligne la nécessité d'un niveau d'exigence élevée pour limiter les risques d'exposition. Même si actuellement les procédés analytiques de détermination des résidus, appelés « multirésidus » parviennent à rechercher un ensemble de molécules et à doser de 10 à 100 composés différents en routine dans différents compartiments (ORP¹⁵¹), il n'est pas possible d'identifier et de quantifier l'ensemble des pesticides du marché à partir d'une seule et même méthode. La détection des résidus est inhérente à la sensibilité des appareillages (seuil de détection). Mais aussi plus trivialement, ils sont détectés si effectivement, ils sont recherchés. En effet, des molécules issues de la dégradation des pesticides ne sont pas toujours connues malgré les tests effectués pour l'homologation. Enfin, « ce n'est pas toujours la dose qui fait le poison ». Des doses très faibles de résidus, comme dans le cas des perturbateurs endocriniens ont des effets délétères dès l'exposition, et ce quelle que soit la dose. On cherche à caractériser les effets des cocktails de résidus dosés. L'Anses¹⁵² souligne la nécessité de contribuer à améliorer les méthodes d'évaluation pour mieux apprécier le risque alimentaire lorsque les méthodes le permettront. Depuis 2007, le développement de ces méthodes a progressé, mais tous les produits ne sont pas recherchés systématiquement en raison des coûts et de données qui ne sont pas facilement accessibles. Ainsi le groupe d'experts ayant contribué à l'expertise collective « Expertise collective pesticides: effets sur la santé » « recommande la création d'une base de données constituée

¹⁴⁸ Résidu : «résidus», une ou plusieurs substances présentes dans ou sur des végétaux ou produits végétaux, des produits comestibles d'origine animale, l'eau potable ou ailleurs dans l'environnement, et constituant le reliquat de l'emploi d'un produit phytopharmaceutique, y compris leurs métabolites et produits issus de la dégradation ou de la réaction ». Extrait règlement 1107/2009, p.7

¹⁴⁹ Métabolite : « tout métabolite ou produit de dégradation d'une substance active, d'un phytoprotecteur ou d'un synergiste, qui est formé soit dans un organisme, soit dans l'environnement » Extrait règlement 1107/2009

¹⁵⁰ L'AMPA [acide aminométhylphosphonique] est un produit issu de la dégradation de la substance active glyphosate. Il est moins toxique que le glyphosate, mais et son dérivé est plus stable dans l'eau. L'AMPA peut donc s'accumuler et être à l'origine de problèmes de toxicité associés à d'autres molécules pesticides (effet cocktail). A ce jour, les études toxicologiques ne semblent pas inquiétantes (Inéris, 2011). Voir Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : *Glyphosate* et principaux composés / AMPA, 14

p.

¹⁵¹ ORP : Observatoire des Résidus de Pesticides

¹⁵² Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

par exemple a partir du dossier d'homologation, comportant les compositions intégrales des produits commerciaux (substances actives et adjuvants). Ces informations devront être rendues accessibles aux équipes de recherche comme aux médecins du travail selon des procédures appropriées » (Inserm, 2013).

Harmonisation des Limites Maximales de Résidus (LMR) au niveau européen

L'évolution réglementaire¹⁵³ (règlement (CE) n°149/2008) a conduit à une harmonisation de la détermination des LMR au niveau européen et prévoit le remplacement de « *toutes les LMR nationales par des LMR européennes harmonisées pour toutes les denrées alimentaires*¹⁵⁴ ». Ces LMR sont importantes car elles préservent le consommateur final et « (...) *représentent des seuils toxicologiques critiques* », même si elles ne représentent pas des limites toxicologiques. L'EFSA précise que le dépassement de la LMR révèle davantage une mauvaise utilisation (non conformité avec les bonnes pratiques agricoles¹⁵⁵) qu'un risque pour les consommateurs. Auparavant, chaque État membre appliquait ses propres LMR pour les substances actives qui n'étaient pas encore couvertes par la réglementation de l'UE. La réglementation propose d'affiner les LMR pour tenir compte des groupes vulnérables (enfants et femmes enceintes par exemple). Cette nouvelle mesure vise à sécuriser le marché des denrées communautaires car « *considérées comme sûres pour la population dans un État membre, certaines limites maximales de résidus ne le sont pas nécessairement pour la population d'autres pays en raison des différentes habitudes alimentaires en Europe*¹⁵⁶ ». C'est une avancée car les expositions alimentaires (aliments et boissons) sont le premier facteur d'exposition aux pesticides hors dans le cadre d'une activité professionnelle (Afsset, 2010). Mais là aussi, des associations non gouvernementales (MDRGF¹⁵⁷, GreenPeace, PAN Europe¹⁵⁸, GLOBAL 2000¹⁵⁹) ont dénoncé une harmonisation pas toujours réalisée à la faveur des LMR des plus basses observées pour un couple « denrée-substance active ».

Les préparations naturelles peu préoccupantes à usage phytopharmaceutique : PNPP

En 2006, de nombreux débats ont animé la scène médiatique suite à l'interdiction de l'utilisation du purin d'ortie. Les usages et la commercialisation de cette préparation à base d'orties macérées devaient se conformer à la réglementation régissant l'ensemble des produits phytosanitaires en raison de son effet phytosanitaire. Cette mise en demeure de l'administration sous tendait le montage d'un dossier pour une AMM pour quiconque commercialiserait du purin d'orties et exposerait toute personne en faisant la publicité ou en préconisant les usages à des poursuites pénales si le produit n'avait pas d'AMM (tout ce qui n'est pas autorisé est interdit). Ces perspectives ont soulevé une vague de protestations à la fois au regard des services rendus en agriculture biologique, à la démesure de la procédure à engager face à la faible dangerosité du produit comparée à des pesticides de synthèse. Ainsi, re examinant la situation, l'administration française a introduit la terminologie de « *préparations naturelles peu préoccupantes à usage phytopharmaceutique* ». Ces PNPP

¹⁵³ Le règlement n°149/2008 a modifié le règlement (CE) n° 396/2005 du Parlement européen et du Conseil pour y ajouter les annexes II, III et IV fixant les limites maximales applicables aux résidus des produits figurant à son annexe I.

¹⁵⁴ Information consultable sur le site europa <http://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/pesticides.htm>

¹⁵⁵ Bonnes pratiques agricoles : pratiques agricoles caractérisées par la quantité maximale de résidus observés. Cette notion est utilisée pour établir la LMR d'une substance active.

¹⁵⁶ Des associations non gouvernementales dénoncent le risque de dérive par la définition de LMR pour certaines denrées plus élevées que celles en vigueur avant le changement de réglementation.

¹⁵⁷ MDRGF : Mouvement pour le Droit et le Respect des Générations Futures, ONG française

¹⁵⁸ PAN Europe : Pesticide Action Network, ONG européenne

¹⁵⁹ GLOBAL 2000 : ONG autrichienne

dépendent du décret du 9 mai 2012¹⁶⁰ qui les définit comme « *tout produit qui est composé exclusivement d'une ou plusieurs substances de base, au sens de l'article 23 du règlement (CE) n° 1107/2009 ou d'une ou plusieurs substances actives à faible risque au sens de l'article 22 du même texte (...)* ». La notion se rattache donc au règlement (CE) 1107/2009 par les termes *substance de base* et *substance active* à faible risque. Les PNPP ne sont pas exemptes de l'obligation d'autorisation sauf si ce sont des substances de base. La seule PNPP autorisée en France est le purin d'ortie.

Ainsi la procédure d'autorisation est allégée et le délai pour obtenir l'AMM est fortement réduit.

Pour conclure

La grande diversité des produits phytosanitaires explique la difficulté à prévoir comment ils évolueront une fois épandus et les effets toxiques de leurs résidus sur le long terme. C'est une nécessité. Ainsi, l'ensemble des évolutions du cadre réglementaire au niveau européen ou au niveau national ont traduit une démarche globale de sécurisation et invite par quelques points à réduire la dépendance aux pesticides (envisager des substitutions de pesticides lorsque c'est possible). La prévision et l'estimation des risques d'exposition aux pesticides sont cependant limitées par les connaissances scientifiques actuelles et les méthodes d'investigation. Cependant, ces évaluations demeurent indispensables. Le règlement européen est entré en vigueur en même temps qu'un ensemble de mesures appelées « paquet pesticides ». Nous abordons ce « paquet pesticides » un peu plus loin dans le manuscrit. Il a pour objectif l'engagement des états membres dans une utilisation durable des pesticides.

Les herbicides nous intéressent particulièrement. En France, on compte 106 substances actives autorisées à effet herbicide sur 309 (Inserm, 2013), ce qui représente plus d'un tiers des homologations. Nous avons vu qu'ils étaient impliqués dans la contamination et la pollution des divers compartiments du milieu.

3. Le plan Ecophyto 2018

3.1. Quelques éclairages sur le contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018

En présentant dans cette partie le plan Ecophyto 2018, nous souhaitons mettre en lumière des enjeux qu'il sous-tend pour l'agriculture. Le plan émerge en 2008 quand, à la fois sur les plans national et européen, un ensemble de mesures réglementaires et de recommandations scientifiques souligne la nécessité de réduire les risques liés aux pesticides et proposent des voies pour y parvenir. Cette perspective ne peut se concevoir sans impliquer les agriculteurs en activité et les futurs professionnels en formation. Ceci nous amène à développer plus tard dans le manuscrit les questions soulevées aussi bien en termes de savoirs, d'apprentissages et de conditions pour que les futurs agriculteurs formés dans les lycées agricoles soient outillés pour conduire des systèmes moins dépendants des pesticides.

Nous présentons quelques éclairages sur le contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018 afin de souligner à la fois son caractère novateur pour la France, mais aussi de le tempérer en montrant comment il s'inscrit dans un processus plus global de définition de la contribution de l'agriculture au développement durable poussée par une demande sociétale récurrente. Sans viser l'exhaustivité, neuf contributions sont analysées :

- le rapport du Comité de la prévention et de la précaution (CPP) « Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires » (2002),

¹⁶⁰Décret n° 2012-755 du 9 mai 2012 relatif à la mise en conformité des dispositions nationales avec le droit de l'Union européenne en ce qui concerne la mise sur le marché et l'utilisation des produits phytopharmaceutiques consultable sur [Décret n°2012-755 du 9 mai 2012](#)

- la communication « Vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides » (COM(2002)349 (2007),
 - le plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides PIRRP (2002-2006),
 - l'expertise scientifique de l'Inra « pesticides, agriculture et environnement » (2005),
 - le Grenelle Environnement (2007),
 - l'ouvrage de Nicolino et Veillerette « *pesticides un scandale français* » (2007),
 - le rapport « Belpomme » (2007),
 - l'expertise collective scientifique Ecophyto R& D (INRA & Cemagref, 2009),
 - le projet de directive cadre européenne pour une utilisation durable des pesticides adoptée en 21 octobre 2009 (2009/128/CE),
- Nous présentons et analysons ensuite le projet Ecophyto 2018.

3.2. Panorama non exhaustif du contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018

Nous avons retenu neuf contributions comme point d'appui pour mettre en perspective le contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018. Le tableau n°5 rassemble des éléments de présentations sommaires de ces neuf contributions (référencement par le nom, la date, les auteurs et/ou contributeurs, la nature).

Tableau n°5 : Neuf contributions pour mettre en perspective du contexte d'émergence du plan Ecophyto

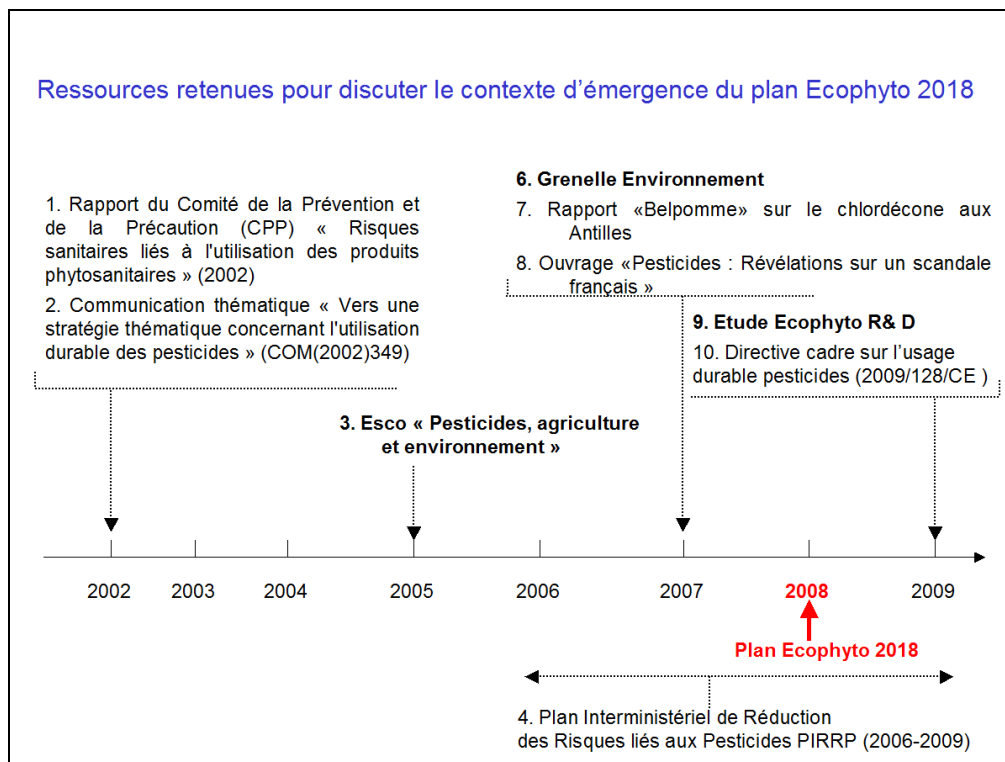
	Nom de la contribution retenue (en gras les contributions objets d'un traitement plus approfondi)	Date	Commanditeur	Auteurs et/ou contributeurs	Nature (étude scientifique, document réglementaire, ouvrage grand public,...
1	Rapport sur les « Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires »	2002		Comité de la prévention et de la précaution (CPP) [personnalités scientifiques reconnues dans le domaine de l'environnement et de la santé]	Rapport avec des recommandations pour actions politiques (préconisation)
2	Communication « Vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides » (COM(2002)349 ¹⁶¹)	2002		Experts européens	Communication commission européenne (préconisation)
3	Expertise collective scientifique « Pesticides, agriculture et environnement »	2005		Collectif pluridisciplinaire d'experts scientifiques de l'Inra et du Cemagref	Expertise scientifique
4	Plan Interministériel de Réduction des Risques liés aux Pesticides (PIRRP)	2002- 2006			Plan d'action
5	Grenelle Environnement	2007		Contribution plurielle de la société civile organisée	Ensemble de réflexions et de propositions pour définir des engagements dans le développement durable

¹⁶¹ Consultable sur http://europa.eu/legislation_summaries/other/128178_en.htm

6	« Pesticides : révélations sur un scandale français »	2007		Nicolino et Veillerette	Ouvrage grand public
7	Rapport Belpomme	2007		Professeur Belpomme	Rapport scientifique
8	Etude collective scientifique Ecophyto R& D	2009		Collectif pluridisciplinaire d'experts scientifiques de l'Inra et du Cemagref	Etude scientifique
9	Projet de directive cadre européenne pour une utilisation durable des pesticides a été adoptée en 21 octobre 2009 (2009/128/CE)	2009		Experts de la commission européenne	Directive cadre européenne (réglementation)

Nous avons choisi des contributions variées, hétérogènes dans la forme, dans les contenus et dans les échelles considérées. Expertises scientifiques, études, rapports, directive côtoient un ouvrage grand public. Propos scientifiques, réglementaires, administratifs, militants mettent en exergue la même nécessité de réduire les usages des pesticides tout en proposant des focus différents sur la problématique. Ces contributions nous apparaissent pertinentes pour mettre en évidence la complexité du sujet. Nous avons organisé la présentation en respectant la chronologie des évènements (figure n°6). Nous présentons sommairement 6 des 9 ressources. Nous en avons davantage exploré 3 (en gras) car elles représentent des contributions décisives dans ce qui a été décidé ensuite. Il s'agit de l'expertise collective *Pesticides, agriculture et environnement*, le *Grenelle Environnement* et l'étude scientifique collective *Ecophyto R & D*. Pour chacun de ces trois documents, nous précisons : le(s) commanditaire(s) de la contribution, les contributeurs, le ou les objectifs, les principaux résultats ou les traits saillants et une critique en termes d'enjeux (pour la société, pour l'agriculture, l'agronomie).

Figure n°6 : Ensemble des ressources retenues pour discuter le contexte d'émergence du plan Ecophyto 2018



- Le rapport du Comité de la prévention et de la précaution (CPP) « Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires » (2002)¹⁶²

Sur le plan national dans son rapport « Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires » remis en 2002 au ministère chargé de l'environnement, le Comité de la prévention et de la précaution (CPP) a considéré la présomption de risques des pesticides pour la santé humaine suffisamment sérieuse pour justifier l'application du principe de précaution car « *la question des effets sanitaires des pesticides est complexe et les incertitudes sont actuellement considérables* » (p. 7). Le travail d'expertise « *s'est focalisé sur la protection de la santé humaine* » potentiellement « *menacée par l'emploi des pesticides en agriculture* » (p. 8). Les recommandations ont porté sur la connaissance des risques avec l'amélioration des dispositifs de surveillance des milieux et des chaînes alimentaires. Il a été aussi fait mention d'efforts à réaliser dans les mesures « (...) *pour développer des méthodes nouvelles, de sensibilité et de validité plus grande* » (p. 12) à la fois sur les substances actives « *seules que leurs mélanges et les divers co-formulants qui les accompagnent* » (p. 10). Le rapport a préconisé dans ce cadre la caractérisation de relations « dose-réponse » plus rigoureuse. Des opposants aux pesticides avaient souligné la difficulté de rendre compte de la contamination des milieux et des aliments et ce en raison d'une part des limites de la métrologie et d'autre part de l'impossibilité de prévoir les effets de la plupart des mélanges des molécules pesticides bien que des effets cocktail aient été démontrés pour des associations de

¹⁶² Consultable à l'adresse :

[http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-](http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/024000113/0000.pdf)

[publics/024000113/0000.pdf](http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/024000113/0000.pdf)

produits¹⁶³. Le rapport a proposé ainsi de développer la biosurveillance des milieux à l'aide de bio marqueurs d'effet ou d'exposition. Pour mieux cerner les effets sanitaires des pesticides, le rapport a préconisé d'encourager et d'entreprendre davantage d'études épidémiologiques, toxicologiques et biologiques.

Des recommandations ont souligné la nécessité d'améliorer la gestion des risques. Le rapport a en particulier discuté la neutralité des experts actuels pour les évaluations : « *les acteurs actuels sont essentiellement regroupés autour de la direction générale de l'alimentation du Ministère chargé de l'agriculture et de la structure scientifique mixte INRA/DGAI. Il apparaît que cette disposition ne possède pas les caractéristiques permettant de garantir une indépendance que l'on peut attendre par rapport aux acteurs de l'agriculture* » (p. 18). Le rapport invite donc à « *faire évaluer les risques par une expertise pluraliste et indépendante, renforcée et coordonnée* » (p. 11). Il a souligné la nécessité « *de développer et diffuser des stratégies limitant l'usage et les quantités des pesticides* » (p. 11) et d'« *informer le consommateur et le rendre partie prenante du processus de gestion des risques* » (p. 11).

Les risques pour la santé humaine ont été à nouveau mis en exergue dans le rapport du 12 février 2004 de la commission d'orientation du Plan national santé-environnement¹⁶⁴. Ceci a conduit à la mise en place d'un plan interministériel de réduction des risques liés au pesticides (PIRRP) de 2006 à 2009 que nous abordons dans la suite du texte.

- *Comment analysons-nous la contribution de ce rapport avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Ce rapport est intéressant à trois titres. (i) Il insiste sur les incertitudes des conséquences liées aux usages des pesticides dans l'agriculture pour la santé humaine et pour la qualité de l'environnement. Le rapport invite à la fois à mieux évaluer les effets des pesticides et à en réduire les usages. Ce dernier point a des répercussions directes sur les pratiques des agriculteurs et soulève des questions en lien avec la formation des agriculteurs. (ii) Le rapport discute la neutralité des experts potentiellement au cœur de conflits d'intérêts, dérive régulièrement dénoncée par des associations écologistes. (iii) Enfin, le rapport engage les pouvoirs publics à améliorer la transparence des informations sur les pesticides, ce qui permettrait aux citoyens d'être réellement parties prenantes pour débattre des choix de société. Cela sous-tend que le citoyen soit en mesure de se faire opinion sur des sujets controversés : c'est aussi une question d'éducation à la citoyenneté et l'école a un rôle à jouer.

- La communication « Vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides »¹⁶⁵ du 1er juillet 2002 [COM(2002) 349 final]

La communication (COM(2002)349) (2002) a énoncé les mesures qui pourraient être adoptées au titre des stratégies d'utilisation durable des pesticides : la « *commission pose les bases d'une stratégie thématique qui vise à réduire les impacts des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement, et, plus généralement, à parvenir à une utilisation plus durable des pesticides et à une réduction globale sensible des risques et des usages, tout en assurant la protection nécessaire des cultures*¹⁶⁶ ». Elle souligne les « *risques et coûts liés à l'utilisation des pesticides dans l'agriculture* » et précise que « *les pesticides sont des produits chimiques*

¹⁶³ Ces recommandations ont été intégrées dans le règlement (CE) 1107/2009 qui demande de tenir compte des effets potentiels des co-formulants et des adjuvants.

¹⁶⁴ Consultable à l'adresse : http://www.sante-sports.gouv.fr/IMG/pdf/tableau_juillet2006.pdf

¹⁶⁵ Consultable à l'adresse :

http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/chemical_products/121288_fr.htm

¹⁶⁶ Extrait du site Europa à l'adresse <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52002DC0349&from=FR>

nécessitant une attention particulière, dans la mesure où les propriétés inhérentes à la plupart d'entre eux les rendent dangereux pour la santé et l'environnement ». La communication a souligné à la fois la nécessité de satisfaire différents niveaux de réglementations mais aussi la difficulté de le faire. Elle a posé des prémisses du « paquet pesticides ». Pour parvenir à une utilisation durable des pesticides, la communication a exploré plusieurs pistes : (i) une articulation avec les mesures existantes ou (ii) un renforcement de celles-ci ou (iii) de nouvelles mesures dans le but de prévenir les risques sur la santé et l'environnement, de mieux encadrer l'utilisation, la vente et l'évaluation. Elle a proposé la mise en place « *de plans nationaux de réduction des dangers, des risques et de la dépendance à l'égard de la lutte chimique* » et de remplacer les substances « *les plus dangereuses (...) par des alternatives (y compris non chimiques) plus sûres* ». La directive a mis en exergue la nécessité d'« *encourager la conversion à une agriculture utilisant des quantités limitées ou nulles de pesticides, notamment en sensibilisant davantage les utilisateurs, en promouvant l'application des codes de bonnes pratiques (...) en développant davantage les codes de bonnes pratiques agricoles intégrant les principes de lutte intégrée (...)* ».

- *Comment analysons-nous la contribution de ce rapport avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Ainsi, dès 2002, la communication a discuté les moyens de la généralisation d'une forme de gestion de la protection des cultures qui s'adosserait à la lutte intégrée. Déjà semble apparaître le fait que le changement ne pourra pas reposer sur les bases exclusives des mesures réglementaires mais qu'il apparaît nécessaire d'engager un mouvement plus vaste pour changer les façons de faire en agriculture... Ce sont les principes des moyens alternatifs qu'il faut discuter et travailler avec les futurs acteurs de l'agriculture en inscrivant les démarches dans une perspective de développement durable.

- Le plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides PIRRP (2006-2009)¹⁶⁷

Le plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides (PIRRP) (2002-2006) visait « *à réduire leur utilisation et les risques qu'ils engendrent sur le plan sanitaire pour les utilisateurs de produits et les consommateurs de denrées, ainsi que leurs effets potentiels sur les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol) et la biodiversité. Un des objectifs de ce plan est de réduire de 50% d'ici l'achèvement du plan, les quantités de substances actives vendues les plus dangereuses* ¹⁶⁸ ». Ce PIRRP s'est inscrit dans un programme d'action plus large, le Plan National Santé-Environnement (2004-2008) qui prévoyait de concevoir des actions pour améliorer la santé des Français en réduisant les conséquences de l'exposition à certaines pollutions de leur environnement. Le PIRRP a proposé en cinq axes d'actions¹⁶⁹ :

-1. **Agir sur les produits en améliorant leurs conditions de mise sur le marché.** Pour cela, le plan a prévu :

- d'instruire une demande de la commission européenne : faire apparaître la demande du principe de substitution d'un pesticide dangereux par un autre qui l'est moins et assurer dans la réglementation communautaire qui était alors en cours de révision

¹⁶⁷ Un résumé du plan est consultable sur : <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/index.php?pageid=328> et le plan complet est disponible sur http://www.observatoire-pesticides.fr/upload/bibliotheque/000169991394585926033319190570/pirrp_2006.pdf

¹⁶⁸ Information disponible sur : http://www.observatoire-pesticides.fr/upload/bibliotheque/000169991394585926033319190570/pirrp_2006.pdf

¹⁶⁹ Nous proposons ici des traits saillants du contenu du plan.

assorti d'un suivi resserré sur les substances cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction,

- d'améliorer la gestion des risques au niveau de la distribution et de l'utilisation,
- de renforcer les contrôles lors de la distribution et de l'utilisation des produits à partir d'un nombre plus élevé de contrôles par les services agréés officiels à tous les échelon de l'utilisation (renforcer les contrôles chez les agriculteurs dans le cadre de la conditionnalité des aides Pac, les contrôles dans le cadre des inspections du travail et améliorer le suivi des accidents du travail déclarés à la MSA en lien avec les usages des phytosanitaires).

- 2. Agir sur les pratiques et minimiser le recours aux pesticides. A cet effet, le plan stipule :

- de faire la promotion des pratiques et les systèmes économes en pesticides, en particulier les systèmes intégrés en production végétale et les systèmes en agrobiologiques,
- d'engager des actions pour limiter les pollutions ponctuelles et diffuses,
- de soutenir des actions fondée dur des démarches partenariales recherche/développement agricole pour améliorer les connaissances sur les pratiques alternatives (dédier des fonds du règlement de développement rural et des agences de l'eau).

De faire la promotion de l'agriculture raisonnée car elle prévoit une « *utilisation raisonnée des produits phytosanitaires et à la limitation de leur transfert dans le milieu* »

- 3. Développer la formation des professionnels et renforcer l'information et la protection des utilisateur. Le plan propose :

- de réaliser une professionnalisation des utilisateurs de pesticides (formation et certification),
- de renforcer les information sur les effets sur la santé et l'environnement des risques des usages des produits phytosanitaires pour mieux les prévenir et cela dès la formation initiale,
- d'améliorer la protection des utilisateurs de produits et mieux les informer (étiquetage des produits phytosanitaires, renforcer les normes pour les équipements de protection).

- 4. Améliorer la connaissance et la transparence en matière d'impact sanitaire et environnemental. Le plan propose :

- d'améliorer les connaissances des impacts sur le milieu des résidus de pesticides et celles des impacts sur la santé humaine des usages des pesticides, en particulier chez les salariés agricoles (une mention spécifique est faite pour le suivi des effets du chlordécone aux Antilles)

- 5. Evaluer les progrès accompli. Le plan souligne la nécessité de co construire des indicateurs de suivi des progrès :

- pour définir le risque environnemental liés à l'utilisation des pesticides,
- pour suivre les évolutions en terme de fréquence de traitement,
- pour établir une cartographie de la pression et de l'impact potentiel des produits sanitaires sur les ressources en eau.

- *Comment analysons-nous la contribution de ce plan avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Le plan souligne la nécessité de réduire les usages pour limiter les risques d'exposition des populations en évoquant des pratiques alternatives, des formes d'agriculture comme les systèmes intégrés, en agriculture biologique et en agriculture raisonnée, sans les hiérarchiser : l'aspect santé est largement évoqué à côté des effets négatifs des pesticides sur l'environnement. Les effets non intentionnels de l'usage répété des pesticides sont lourds de

conséquences pour les milieux, mais posent aussi des problèmes de santé publique, les contestations des consommateurs sont vives. L'agronomie n'est pas explicitement citée dans ce plan. Sa contribution est sous-entendue dans la conduite des actions de recherche, de développement et de promotion d'alternatives aux pesticides et dans l'amélioration de la compréhension des phénomènes de contamination des milieux. Même si l'agronomie s'est intéressée tardivement aux problèmes environnementaux dont une part est imputable à la conduite des systèmes de production, les travaux se sont axés sur l'amélioration des connaissances des mécanismes de transferts dans les différents compartiments (eau, sol, air). La composante biologique a été la plus tardivement explorée et les recherches ont été développées en microbiologie des sols. La santé des utilisateurs « *constitue des thématiques que l'agronomie a peu investies* » (Doré et al¹⁷⁰, 2011, p. 15). Or, un certain nombre d'études¹⁷¹ a montré que les risques liés à l'usage des pesticides sont suffisamment sérieux pour justifier l'application du principe de précaution. Les agriculteurs et les salariés agricoles sont en première ligne lorsque les stratégies de protection des cultures reposent sur la lutte chimique. Il semblerait que ces risques aient été négligés ou mis en invisibilité (Jas, 2010) dans le monde professionnel agricole.

Cet aspect du PIRRP a attiré notre attention. Il propose en particulier « de réduire de 50 % les ventes globales des substances les plus dangereuses d'ici la fin de l'année 2009¹⁷² ». La préservation de la santé des agriculteurs, leur responsabilité de la préservation de celle des consommateurs interroge la dimension sociale du développement durable. Ce plan nous intéresse par l'entrée « risques sur la santé ». C'est un aspect que nous souhaitons explorer avec des élèves/étudiants en formation initiale se destinant à des métiers en lien avec la production.

- L'expertise collective scientifique de l'Inra « pesticides agriculture et environnement » (Inra & Cemagref, 2005)

Pour simplifier dans la suite de notre développement, nous utiliserons l'intitulé « *Esco Pesticides* ».

Les commanditaires :

le ministère de l'agriculture et de la pêche et le ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durable

Les contributeurs :

Une équipe pluridisciplinaire* de chercheurs de l'Inra, du Cemagref entre autres a produit l'étude. (***agronomie, protection des cultures, sciences du sol, hydrologie, bioclimatologie, écotoxicologie, économie, sociologie¹⁷³ ...**)

Objectifs :

L'investigation scientifique devait apporter des réponses aux questions suivantes : « *Que sait-on de l'utilisation des pesticides en France ? Comment mieux utiliser les produits et aménager l'espace pour limiter les contaminations ? Comment modifier les pratiques et faire évoluer les systèmes de production afin de les rendre moins dépendants des pesticides ?* »

¹⁷⁰ Doré T., Le Corre-Gabens N., et Meynard J.M., (2011)

¹⁷¹ Ces risques sur la santé ont été évoqués dans le rapport du CCP « Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires » (2002) et dans le rapport du 12 février 2004 de la commission d'orientation du Plan national santé-environnement. Source : http://www.sante-sports.gouv.fr/IMG/pdf/tableau_juillet2006.pdf

¹⁷² Avis notifié au JO « Avis relatif à la liste des substances dangereuses du plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides » du 10/12/06 consultable à l'adresse http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/291595376905753003909888385940/avis_substances_dangereuses_plan_reduction_pesticides_101206.pdf

¹⁷³ Nous reprenons les mentions des disciplines telles que données dans le rapport de l'expertise.

(Inra & Cemagref, 2005 p. 3). Elle devait donner des éclairages visant l'« *appui à la décision publique* », en l'occurrence, un appui à la définition concrète du plan Ecophyto 2018.

Traits saillants et résultats

Elle a dressé un état de l'art des savoirs sur les conditions d'utilisation des pesticides en France, sur les conséquences de l'utilisation des pesticides de synthèse, sur les moyens et les freins à la réduction de leurs usages pour réduire les impacts environnementaux. L'expertise rappelle que la lutte chimique est le moyen de contrôle des bioagresseurs le plus utilisé. Elle affirme que les pesticides de synthèse contaminent les milieux et dégradent les écosystèmes. Selon les auteurs, les risques sont encore mal évalués et le niveau d'utilisation des pesticides est cohérent avec la rationalité économique (bonne efficacité technique en général, rentabilité relative bonne par rapport aux alternatives à la lutte chimique). L'expertise a étudié trois niveaux d'objectifs :

« - Niveau "T" (comme transfert) : limiter les transferts de pesticides ;

- Niveau "R" (comme raisonnement) : réduire la consommation de pesticides par un raisonnement accru de leur utilisation ;

- Niveau "S" (comme systèmes) : réduire la consommation de pesticides par des systèmes de culture diminuant les risques phytosanitaires » (Aubertot *et al.*, 2005a, p. 32).

Elle souligne des marges de progrès de type incrémental pour améliorer les utilisations et limiter les impacts négatifs des pesticides. Toutefois, l'atteinte du niveau d'objectifs qui réduit « (...) la consommation de pesticides en proposant des systèmes de culture moins, voire non dépendants de leur utilisation (S)¹⁷⁴ exige une remise en cause profonde des façons de faire en agriculture à plusieurs échelles. Un des moyens pour cela est de s'engager collectivement dans l'« *integrated Crop Management* », agriculture intégrée (Aubertot *et al.*, *ibid.*, 2005a). L'expertise souligne un ensemble de difficultés pour mener à bien concrètement ces objectifs, en particulier la nécessité de renouveler le raisonnement pour la gestion des bioagresseurs des cultures : « *Cela signifie qu'après être passé de la lutte contre les bioagresseurs à la protection des plantes, il nous faut maintenant nous engager vers la définition et la mise en œuvre de stratégies de gestion intégrée des systèmes de cultures préservant leur état sanitaire* » (Lucas et Gril, 2005, p. 48). Cette perspective sous-tend un changement paradigmatique dans la gestion des bioagresseurs qui reposerait sur un raisonnement fondé d'une part sur « *la notion de perte de récolte*¹⁷⁵ comme fondement de la protection » (Aubertot *et al.*, 2005b, chapitre 4 p. 102) pour prendre une décision et non sur la notion restreinte de perte rendement, et d'autre part conduit à l'échelle du système de culture et non pas seulement à celle de l'itinéraire technique¹⁷⁶. L'*Esco Pesticides* insiste sur la

¹⁷⁴ Dans l'expertise collective « Pesticides, Agriculture et Environnement » (INRA et Cemagref, 2005), le niveau d'objectifs S (S : *réduire la consommation de pesticides en proposant des systèmes de culture moins, voire non dépendants de leur utilisation*) correspondrait au niveau R (R : Reconception) du cadre conceptuel ESR proposé Hill et MacRae (1995). Ce niveau R du cadre ESR correspond à un objectif de réduction de -50% des usages. Quant-au niveau R de l'étude (R : réduire la consommation de pesticides par un raisonnement accru de leur utilisation), il semble représenter le niveau S (S = Substitution du cadre ESR), même si la mention n'est pas explicite. Nous donnons des précisions sur le cadre ESR au chapitre 4.

¹⁷⁵ Une perte de récolte fait « (...) référence aux pertes directes et indirectes en quantité comme en qualité, occasionnées par les bio-agresseurs des cultures (...) les pertes de récoltes causées par les bio-agresseurs inluent, mais ne se limitent pas à, des pertes de rendement » (Aubertot *et al.*, 2005b, chapitre 4 p. 99).

¹⁷⁶ Ces éléments sont développés dans le chapitre 2 du manuscrit traitant des concepts en agronomie pour aborder la gestion des bioagresseurs. Très rapidement ici pour que le lecteur comprenne, la décision d'intervenir dans une culture pour la protéger vise à limiter les effets des attaques des bioagresseurs. Les interventions peuvent être déclenchées par la crainte de pertes du rendement (quantité produite par hectare en grandes cultures). Nous avons vu combien cette notion conditionnait la logique des systèmes de production intensifs utilisateurs de pesticides. Mais parfois, toute perte de rendement ne va pas se traduire systématiquement par une

nuisibilité des adventices qui représentent la première source de réduction de rendement en grandes cultures et la difficulté et la complexité de leur contrôle. : « (...) *Un ensemble d'outils, non nécessairement chimiques, existent cependant pour leur contrôle.* » (Aubertot et al., 2005a, p. 62). Ces moyens de contrôle ont une durabilité plus forte que la lutte chimique : « *les succès, tout aussi réels, bien plus anciens, et de ce fait autrement durables, des pratiques culturales et de l'amélioration génétique pour contrôler les bio-agresseurs des plantes cultivées* » opus cit., p. 102). L'*Esco Pesticides* met en garde contre la croyance avec la notion de « *méthodes alternatives* » en « *l'existence d'une solution unique et exclusive pour la protection des plantes, d'autre part, parce qu'elle suggère que ces solutions se déploieraient de manière simple* » p. 103. Le raisonnement pour gérer les bio-agresseurs non plus à l'échelle de la parcelle, intervenir en se basant sur une estimation des pertes économiques, combiner les méthodes alternatives dont on a parfois du mal à estimer les effets à court terme (effet sur la rotation) s'avère plus complexe que les éléments à considérer pour programmer un traitement phytosanitaire car « *il suppose une combinaison de méthodes (..) qui requiert une transformation des pratiques importante et difficile* » (p. 103). Or une grande majorité d'agriculteurs ne sont pas prêts : « *Les agriculteurs sont demandeurs de "techniques alternatives" à l'emploi des pesticides, qui soient aussi faciles à utiliser, efficaces et bon marché que les traitements phytosanitaires, plus durables techniquement, et qui ne remettent pas en cause leurs objectifs de rendement élevé. Or il n'existe aucune technique répondant à ce cahier des charges* » (Aubertot et al., 2005a, p. 60).

Enfin, l'*Esco Pesticides* discute l'expérience danoise débutée en 1986. Une série de plans d'action successifs ont été mis en place pour supprimer les pesticides les plus dangereux pour la santé et pour « *limiter l'usage de la panoplie des pesticides* ». Des dispositifs de travail en réseau de fermes impliquées dans des expérimentations-démonstrations ont facilité l'engagement des agriculteurs danois dans la diminution des usages des pesticides. En 1997, l'évaluation des programmes a montré pour les céréales une réduction de 40% des usages en 10 ans « *sans impact économique majeur pour les exploitants agricoles* ». (Aubertot et al., 2005a, p. 46). Envisager un objectif de réduction de presque 50% des pesticides de synthèse a pu être atteint.

- *Comment analysons-nous la contribution de cette expertise avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Cette expertise scientifique met en exergue la réduction de l'usage des pesticides en termes d'enjeux de société. La demande sociétale récurrente exigeant des mesures pour limiter les usages des pesticides dans l'agriculture en raison des risques pour le milieu et la santé trouve un écho scientifique, tout en soulignant les difficultés pour le faire. La lutte chimique s'est imposée pour répondre aux « *exigences de la distribution et des consommateurs, de produits "zéro-défaut* » p.59. Il est nécessaire d'appréhender la dynamique de changement en impliquant la société toute entière, seule la profession agricole ne pourra pas relever le défi. Ainsi, chaque citoyen doit être en mesure de débattre des choix de société et s'engager ensuite en acteur responsable : « *Or il peut être intéressant d'associer d'autres secteurs que le secteur agricole ou celui de la production des pesticides, et de soutenir des initiatives plus globales* » p. 55.

L'usage et la réduction des pesticides de synthèse sont des thèmes controversés plus ou moins vifs selon les parties prenantes. Les élèves/étudiants des lycées agricoles se destinant au métier de la production ou au conseil sont imprégnés des débats qui agitent la société. Ces jeunes devront mettre en place une agriculture moins dépendante des pesticides. Les aider à

perte économique, on parle de perte économique. Ainsi dans certains cas de figure des pertes de rendement peuvent être tolérées sans que la dimension économique en soit affectée.

argumenter leurs choix et à débattre de choix de société est un réel enjeu d'éducation citoyenne et au développement durable.

L'expertise révèle aussi des enjeux pour l'agronomie. La discipline est interpellée sur des méthodes qu'elle mobilise et des concepts ou notions qui lui sont propres. L'Esco Pesticides souligne le « rôle primordial des connaissances agronomiques dans la mise en œuvre des pratiques plus économes en pesticides » (Aubertot *et al.*, 2005a, p. 55). Pour gérer des systèmes économes en pesticides, les changements d'échelle sont à considérer, les concepts de *système de culture*, de *perte économique*¹⁷⁷, et les combinaisons de *méthodes alternatives* apparaissent centraux et indispensables pour construire les raisonnements complexes qui s'appuient sur les principes de l'« *integrated Crop Management* ». Les performances agronomiques et économiques, respectivement comme le niveau de rendement et les marges brutes à l'hectare sont insuffisantes à considérer pour concevoir, piloter et mettre en œuvre un système économe en pesticides. La mobilisation d'outils d'analyse et d'évaluation multicritère est impérative car ce sont parfois des objectifs contradictoires qu'il faut concilier sans se soustraire de l'inscription dans le développement durable.

Les conclusions de l'Esco (Aubertot *et al.*, 2005a) ont mis en exergue à la fois des marges de progrès pour certains systèmes existants et des perspectives intéressantes de limitation de dépendance aux pesticides dans la conception de nouveaux systèmes. Elle suppose aussi de nouveaux savoirs et de nouvelles compétences chez les agriculteurs : « *le rôle primordial des connaissances agronomiques dans la mise en œuvre des pratiques plus économes en pesticides justifie l'investissement de l'Etat dans les instruments visant à la formation, initiale et continue, des agriculteurs (aménagement de l'enseignement agricole, financement de formations spécifiques, (...)* » p.55. Ce sont ainsi les perspectives en termes de formation en agronomie qui, en particulier, nous interpellent dans cette expertise.

- *L'évènement Grenelle Environnement*¹⁷⁸

Les commanditaires :

Sous l'impulsion du Président de la République N. Sarkozy orchestré JL. Borloo, D. Bussereau et N. Kosciusko-Morizet

Les contributeurs :

Le processus Grenelle Environnement s'est déroulé en plusieurs étapes (préparation, la consultation publique, le Grenelle et le post-Grenelle) : la figure n°7 présente le processus Grenelle Environnement. Le Grenelle Environnement a impliqué des contributeurs différents pour chacune d'elles. En tout 150 000 contributions ont été recensées.

Les contributeurs durant l'étape préparatoire du Grenelle (phase d'élaboration des propositions d'actions) ont été des représentants à parts égales issus de cinq collèges. Les cinq collèges ont été constitués par des représentants de l'état, des collectivités territoriales, des entreprises et des employeurs, des syndicats et des salariés et des représentants des ONG.

Les contributeurs lors de phase de consultations publiques ont été des citoyens à titre individuel lors de réunions publiques et/ou de forums dédiés, des acteurs du conseil économique et social, des politiques du parlement.

¹⁷⁷ L'Esco pesticides précise « *Or on constate un amalgame entre dégâts sur les cultures (symptômes), dommages sur les récoltes (mesurables par des diminutions quantitatives et/ou qualitatives des produits récoltés) et pertes économiques pour le producteur, alors que l'enchaînement dégât dommage-perte n'est ni linéaire, ni automatique* » p.19.

¹⁷⁸ A l'origine de l'évènement, il s'agit bien de l'assertion « Grenelle Environnement ». Au fil du temps, c'est la terminologie « Grenelle de l'environnement » qui prendra le pas. Alors pourquoi « Grenelle Environnement » et non Grenelle de l'Environnement ? Réponse simple, c'est Ecologie sans Frontière qui est propriétaire de la marque « Grenelle de l'Environnement ».

Les contributeurs des journées Grenelle ont été issus des collèges représentatifs auxquels se sont joints des représentants des associations de consommateurs et d'usagers, des experts scientifiques et socio économiques.

Le travail engagé pour le Grenelle environnement s'est poursuivi par des propositions de déclinaisons opérationnelles des engagements au sein des comités opérationnels thématiques réunissant entre autres des experts du domaine.

Contributeurs post Grenelle : soit plus de 15 000 contributions.

Objectifs :

Nous en avons identifiés plusieurs :

- Définir la trame d'une « feuille de route en faveur de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables » (Adème) pour conduire des actions politiques en faveur de la résolution des problèmes environnementaux ;
- Faire émerger sur le principe d'une concertation de grande ampleur auprès de la société, les grandes orientations d'un nouveau modèle de société « partagé » inscrit dans le développement durable ;
- Associer la société à la définition des mesures en faveur de l'écologie et du développement durable pour les six thèmes suivants :
 - thème 1 : Lutter contre les changements climatiques et maîtriser la demande d'énergie,
 - thème 2 : « Préserver la biodiversité et les ressources naturelles »,
 - thème 3 : « Instaurer un environnement respectueux de la santé »,
 - thème 4 : « Adopter des modes de production et de consommation durables : agriculture, agro-alimentaire, pêche, distribution, forêt, usages durables des territoire »,
 - thème 5 : « Construire une démocratie écologique : Institutions et gouvernance »,
 - thème 6 : « Promouvoir des modes de développement écologiques favorables à l'emploi et à la compétitivité »
 - deux thèmes supplémentaires objets de réflexions intergroupes ont émergé lors des travaux : le thème 7 « déchets » et le thème 8 « OGM ». Les participants ont estimé nécessaire de traiter des enjeux spécifiques, le thème « déchets » rassemble les thèmes 2 et 6 et le thème « OGM » rassemble les thèmes 2, 3 et 4.

Traits saillants

L'organisation particulière du Grenelle en fait un évènement marquant (cf. figure n°7). Le Grenelle a été préparé en amont, il s'est tenu et les engagements ont donné lieu à de nouveaux groupes de travail pour avancer sur la traduction concrète des mesures. Le Grenelle s'est largement appuyé sur la consultation des publics, mais il n'a pas la forme d'un référendum et s'apparente davantage à une consultation de la société civile organisée¹⁷⁹ (Boy, 2010 ; Gazeau, Grimfeld, Jouzel, Le Grand, Liebard, Notat et Pelletier, 2010) avec tout de même près de 150 000 contributions de juillet à octobre 2007 (Gazeau *et al.*, 2010.). Il n'était pas question de produire des textes de loi, mais de proposer des mesures que le dispositif parlementaire viendrait asseoir. Dans le cadre d'une négociation élargie, ce processus de concertation de la société civile de grande ampleur a permis simultanément de débattre et de traiter de six thématiques, signifiant ainsi que les questions de développement durable ne pouvaient souffrir d'un éclatement en problématiques à résoudre séparément : ce sont les interactions et les enjeux parfois contradictoires qui font la complexité du réel. Le Grenelle

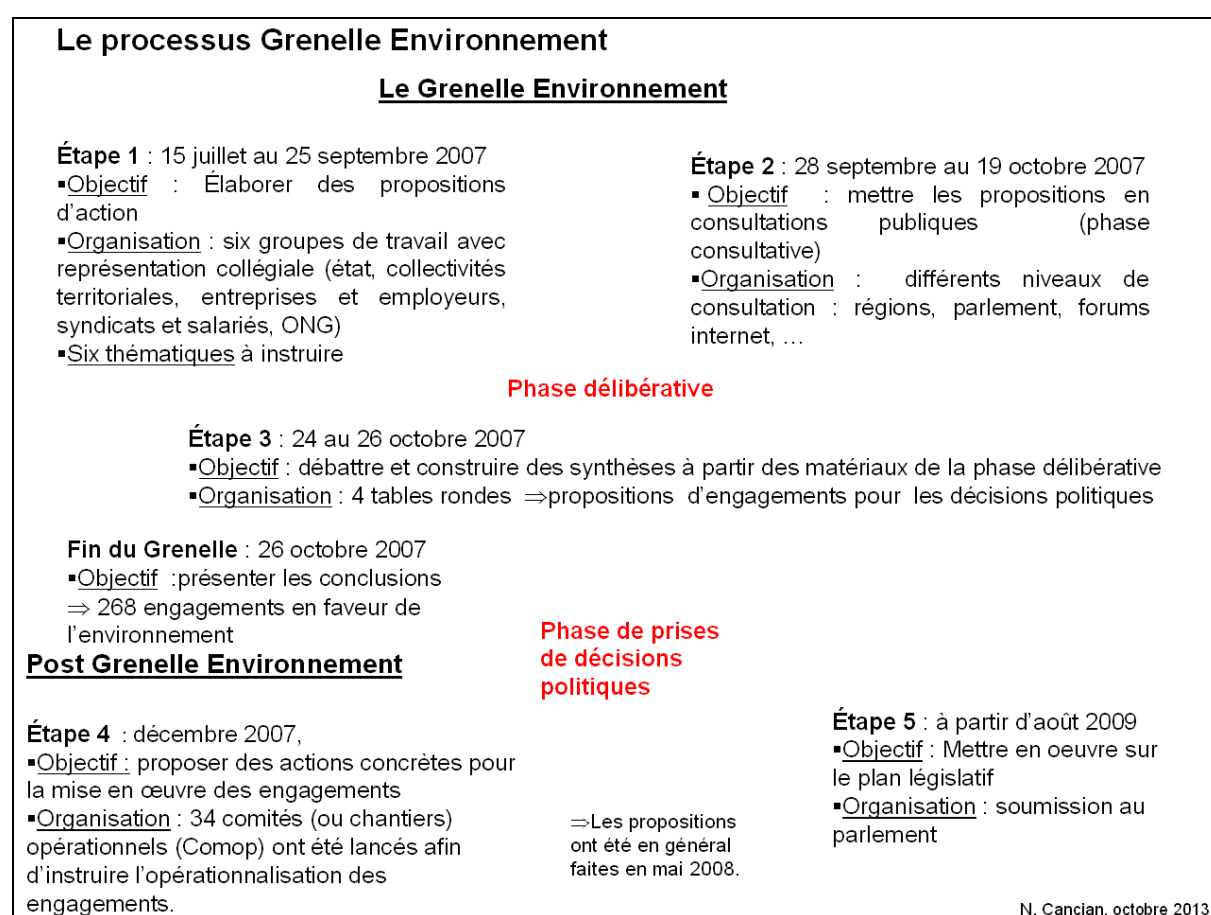
¹⁷⁹ On désigne par société civile organisée des associations, des syndicats et des représentants du patronat, en fait l'ensemble un ensemble de partenaires sociaux qui, de fait, ne relèvent pas de l'état (Boy, 2010).

Environnement a débouché sur 268 engagements¹⁸⁰ en faveur de l'environnement, engagements assortis d'objectifs concrets à atteindre sur la biodiversité, la lutte contre les changements climatiques, la gestion des déchets, et certains sont plus particulièrement en lien avec les modes de production¹⁸¹. Le Grenelle invite à adopter des modes de production et de consommation durables, à repenser les façons de faire en agriculture. Et c'est là encore une nouveauté. Il a fait émerger un consensus ou plutôt un « diagnostic partagé¹⁸² » sur la nécessité d'une politique ambitieuse de réduction de l'usage des produits phytosanitaires de synthèse dans l'agriculture. A ce titre, l'engagement 129 propose deux grandes mesures :

- le Plan « Ecophyto 2018 » qui prévoit d'ici à 2018 la réduction de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques de moitié, « si possible »,
- et le retrait progressif de 53 substances actives très dangereuses.

Dans la phase post Grenelle, des conclusions des travaux conduits par le comité (ou chantier) opérationnel (COMOP) « Ecophyto 2018 » dans le chantier n°15 « agriculture écologique et intensive¹⁸³ » ont été reprises dans le plan Ecophyto 2018.

Figure n°7 : Les étapes de processus Grenelle Environnement



¹⁸⁰ Les engagements numérotés (hors déchet) sont consultables à l'adresse : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/238engagements_numerotes_hors_dechets.pdf

¹⁸¹ Pour plus d'information, consultez le rapport général sur le Grenelle <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/074000693/index.shtml>

¹⁸² Brudigou (2011) parle de « *diagnostic partagé* » sans doute en raison de l'objectif premier assigné à ce cadre de travail : les contributeurs devaient déboucher sur la proposition de mesures d'actions politiques pour résoudre les problèmes de développement durable.

¹⁸³ Téléchargeable à l'adresse : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/084000538/>

- *Comment analysons-nous la contribution de cet événement-processus avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Le Grenelle environnement est porteur d'enjeux de société en termes de forme de participation des citoyens et de projet d'agriculture économe en pesticides.

Dans un contexte social marqué par les promesses d'engagements politiques en vue de l'élection présidentielle, le Grenelle Environnement fait écho à une demande sociétale forte que le candidat Nicolas Hulot à l'élection présidentielle de 2007 a su capter et matérialiser par le biais de son pacte écologie. La symbolique du terme « Grenelle » associé aux accords du Grenelle de mai 1968¹⁸⁴ laisse entrevoir la perspective d'un temps fort marqué par une consultation publique sur un ensemble de sujets majeurs environnementaux considérés comme des défis à relever. C'est un appel appuyé à traiter de l'écologie dans sa dimension politique. Le Grenelle Environnement a offert l'opportunité de débattre dans la sphère publique afin de proposer des actions concrètes pour écologiser le développement de notre société. Appelés à participer au titre de citoyen, de chercheur, de décideur politique, des groupes ont fait émerger un nombre de propositions qui ont abondé la politique française de développement durable. Innovation, originalité du déroulement, audace des résolutions qui en ont découlé, avancée dans l'écologie politique d'un côté, déception, renoncement aux ambitions les plus novatrices relèvent de la rhétorique sur le Grenelle Environnement (Boy, Brugidou, Halpern et Lascoumes, 2012). Le Grenelle interpelle car il « (...) *se prête aisément à des lectures antagonistes allant de la valorisation d'une innovation dans la concertation politique jusqu'à la dénonciation d'une politique d'affichage (...)* » (*ibid.*). Pour certains c'est un *acte politique* (Boy, 2010), un *tournant participatif* (Blondiaux, 2007), marquant un changement dans les façons de faire pour impliquer la société toute entière et faire participer les parties prenantes (Gazeau *et al.*, 2010). Cet enthousiasme est tempéré par des critiques qui réfutent la forme de *démocratie du public* ou de *démocratie participative* au Grenelle en ne lui concédant que le statut de *concertation institutionnelle* (Lascoumes, 2011). Le public a été associé au processus de manière marginale. Toutefois, le Grenelle a innové dans le sens où il « *a fait travailler ensemble des acteurs qui habituellement ne se parlaient pas ou peu, tels que les organisations professionnelles agricoles et les associations environnementales* » (Grisez, 2011, p. 12), mais aussi parce que « *le Grenelle de l'Environnement se veut une expérience de démocratie délibérative, c'est-à-dire une tentative d'ouvrir la discussion sur des enjeux politiques à d'autres acteurs que le personnel politique stricto sensu* » (Boy, 2010, p. 320). Le slogan de lancement du Grenelle « *Grenelle Environnement – Entrons dans le monde d'après* » souligne que « *la mutation de notre mode de développement exige, pour y parvenir, d'associer l'ensemble des acteurs de la société à la définition des actions à entreprendre, un processus de concertation d'une ampleur inédite*¹⁸⁵ » (Gazeau *et al.*, 2010, p. 5). Dans un sens pour les questions liées à la pratique de l'agriculture, le Grenelle a contribué à renouer une forme de dialogue entre l'agriculture et la société en particulier sur le thème des pesticides. La question des usage des pesticides en agriculture et de leurs impacts a été discutée sur la « place publique ». Les façons de produire de certaines formes d'agriculture dite intensive ont été critiquées au regard de leur dépendance aux produits phytosanitaires de synthèse. Les discussions ont conduit à un *diagnostic partagé* (Boy, 2010), que les plus optimistes qualifierait de consensus, de la nécessité d'une politique ambitieuse de réduction de l'usage des pesticides pour faire de l'agriculture un secteur exemplaire en ce domaine. Si l'évènement a suscité de nombreux espoirs, la portée effective de sa traduction législative a déçu.

¹⁸⁴ Dans un climat d'agitations de fortes revendications sociales, ces accords ont entériné des décisions politiques fortes en élargissant le périmètre des acteurs impliqués dans la gouvernance pour des sujets majeurs.

¹⁸⁵ Gazeau, B., Grimfeld, A., Jouzel, J., Le Grand, J.F., Liebard, A., Notat, N., Pelletier, P. 2010. Rapport d'évaluation du Grenelle de l'Environnement. Cabinet ERNST ET YOUNG Paris, 2010 - 211 p consultable sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapport-independant-d-evaluation.html>

Aujourd'hui, les évaluations de ce processus laissent certaines parties prenantes très sceptiques (Lascoumes, 2011) regrettant l'essoufflement des ambitions aux prises avec des impératifs économiques et des exigences corporatistes.

Le Grenelle Environnement a souligné la contribution nécessaire de l'agronomie pour engager l'agriculture à réduire les risques liés aux usages des pesticides.

Du Grenelle Environnement est né le plan Ecophyto 2018. La table ronde 3 a proposé de « *Changer de stratégie vis-à-vis des produits phytosanitaires* » avec un retrait des substances les plus préoccupantes et la fixation d'un objectif de réduction de moitié des usages des pesticides en accélérant la diffusion des méthodes alternatives et sous réserve de leur mise au point¹⁸⁶. Le Grenelle a interrogé la durabilité de l'utilisation des pesticides de synthèse. Réduire de 50% l'usage des pesticides amène à reconsidérer les façons de faire dans l'agriculture et serait la condition pour un projet d'agriculture « *productive, qui défend sa compétitivité par la qualité environnementale de ses modes de production* » (Grisez, 2011, p. 11). Le chantier 15 conduit par Paillotin « agriculture écologique et productive /Ecophyto» et « agriculture écologique et productive /Performance énergétique » chargé de proposer un projet concret pour le plan Ecophyto 2018 a posé une condition : il s'agit de concilier un niveau de production agricole élevé avec les performances environnementales et sociales : produire mieux, en respectant les équilibres écologiques, les ressources et les demandes des consommateurs (produits sains). La France ne renoncera pas à la croissance, mais elle viserait un autre modèle de développement pour son agriculture. C'est réaffirmer l'inscription des pratiques agricoles non pas dans l'agriculture durable mais bien en termes de contributions au développement durable. C'est cette conception de la contribution de l'agronomie qui nous intéresse dans notre recherche, davantage impliquée dans la compréhension des dimensions sociales en jeu dans les processus de changements. L'agronomie ne pourra pas tout et « *il n'y aura pas de miracle* » Tuot, 2007, p. 5 « *il n'y a pas non plus de voie unique d'amélioration* » p. 7. L'agronomie est appelée à revenir au cœur des pratiques agricoles pour appuyer la co-conception des systèmes économes. La solution universelle n'existe pas et chacun ne pourra pas voir toutes ses exigences satisfaites, mais le changement doit être une avancée pour tous. C'est aussi la perspective d'inviter la discipline à s'inscrire dans un réseau pour produire des références et les diffuser qui nous interpelle en tant que chercheur : les configurations de production et de circulation des savoirs sont à reconsidérées et à inventer. Il nous apparaît nécessaire d'impliquer les futurs acteurs de la profession à en prendre conscience pour y participer au cours la formation.

- *Le rapport « Belpomme » sur le chlordécone¹⁸⁷ : nouvelle configuration de la controverse*

Le rapport est commandité dans un contexte de controverses cristallisées sur l'usage d'un insecticide largement utilisé dans les Antilles françaises pour la culture de la banane. En fait, deux produits phytosanitaires ont particulièrement alerté des députés de la Martinique et de la Guadeloupe : la substance active insecticide « chlordécone » et la substance active herbicide « paraquat » reconnus dangereux au niveau international (OMS). En 2005, la mission d'information parlementaire a eu pour mission de faire état de la situation des usages du chlordécone et autres pesticides dans l'agriculture martiniquaise et guadeloupéenne. Le professeur Belpomme¹⁸⁸ est auditionné devant l'Assemblée Nationale dans ce cadre. Le

¹⁸⁶ Le PIRRP (2006) prévoyait lui un retrait du marché de moitié des produits phytosanitaires les toxiques.

¹⁸⁷ Téléchargeable à partir de <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/868752586725186063029104619469/rapport-Belpomme-Antilles.pdf>

¹⁸⁸ Dominique Belpomme est professeur de cancérologie à l'université Paris-Descartes (Paris V), à la tête du service d'oncologie de l'Hôpital Européen Georges Pompidou. Il fait partie de plusieurs sociétés académiques en lien avec la lutte contre le cancer et milite pour l'ARTAC (l'Association pour la Recherche Thérapeutique Anti-Cancéreuse) dont il est le président depuis 1984.

Rapport d'information n°2430 en 2005 qui a clôturé la mission a révélé une situation très préoccupante avec une contamination généralisée des sols, des eaux et une population très exposée aux risques pesticides. L'association *Pour Une Martinique Autrement* a alors mandaté le Professeur Belpomme et l'Association pour la Recherche Thérapeutique Anti-Cancéreuse (ARTAC) pour une mission d'« *expertise scientifique sur les dégâts sanitaires liés à l'utilisation des pesticides* » (Belpomme, Bourguignon, Irigaray, Picot, Reiss et Séralini, 2007, p. 6). Le travail a donné lieu au « *Rapport d'expertise et d'audit externe concernant la pollution par les pesticides en Martinique. Conséquences agrobiologiques, alimentaires et sanitaires et proposition d'un plan de sauvegarde en cinq points* » communiqué le 23 juin 2007. « *Les auteurs définissent en ces termes le statut de leur rapport « l'audit conduit par l'ARTAC est donc en réalité le résultat d'un travail d'expertise collective »* *ibid.*, p. 8).

Médiatisé lors de sa communication, le rapport a suscité de vives inquiétudes légitimant les doutes soulevés par l'opinion publique sur les effets des pesticides agricoles. La coïncidence avec l'agenda Grenelle Environnement lui a donné une résonance particulière dans le panorama des controverses sur les conséquences des pratiques agricoles : le rapport a mis en lumière et au premier plan, une crise sanitaire liée à UN produit phytosanitaire, le chlordécone dans UN contexte spécifique, les Antilles françaises. Mais l'audition de M. Belpomme en septembre de 2007 par un ensemble d'experts scientifiques a révélé des inexactitudes dans la démarche scientifique et a mis à mal l'expertise.

- *Comment analysons-nous la contribution de ce rapport avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Cette affaire nous intéresse à plusieurs titres. Cette affaire sur le chlordécone a souligné la difficulté à appréhender la complexité des controverses dans une situation de crise tant il y a de considérations enchevêtrées et a mis en lumière le poids des conflits d'intérêts qui ont mis en invisibilité des risques. Le chlordécone est classé parmi les substances cancérigènes chez l'homme depuis 1979 (Joly, 2010), il a été interdit de l'utiliser depuis le 03/07/1990 (Joly, *ibid.*), mais les professionnels ont réclamé des dérogations dès 1992. Le chlordécone est inscrit en 2005 sur la liste des polluants organiques qui ne doivent pas être produits, importés et exportés (Joly, *ibid.*). Elle révèle combien il est difficile de se faire une opinion sur une controverse pour participer aux débats. Elle questionne la validité de l'expertise et le statut des preuves. A la fois, des éléments du rapport Belpomme sont valides sur le plan scientifique car ils se sont appuyés sur des travaux scientifiques reconnus datant des années 1990 sans y faire mention explicite. D'un autre côté, des faits mentionnés ne sont pas vérifiés... Le rapport a brouillé le message et a généré davantage de confusions : l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a parlé du rapport Belpomme comme d'« *une affaire dans l'affaire* »¹⁸⁹.

- « *Pesticides : Révélations sur un scandale français* » (Nicolino et Veillerette, 2007)

Fabrice Nicolino et François Veillerette sont respectivement un ancien journaliste du *Canard enchaîné* et un militant écologiste de longue date. Ils dressent un véritable réquisitoire dirigé contre une industrie des pesticides qui s'est imposée après 1945. Lors de sa sortie, l'ouvrage destiné au grand public est largement médiatisé. L'enquête journalistique livre une rétrospective sur l'usage des pesticides en croisant des informations de plusieurs natures. Les auteurs dévoilent comment les pesticides sont présents dans tous les compartiments du milieu et pourquoi ils s'invitent dans « nos assiettes ». Ils dénoncent les conflits d'intérêts qui ont

¹⁸⁹ Le lecteur peut se référer à la critique qui en a été faite <http://www.senat.fr/rap/r08-487/r08-48714.html>

étouffé des affaires comme celle du chlordécone aux Antilles. La responsabilité des pouvoirs publics est mise en cause.

- *Comment analysons-nous la contribution de cet ouvrage grand public avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Les auteurs ont cherché à tracer les contours de la complexité de l'usage des pesticides dans l'agriculture en explorant le domaine professionnel agricole, celui des firmes agropharmaceutiques, celui de la recherche, la sphère politique et celle des ONG entre autres. Leur travail révèle la complexité du thème avec des problématiques spécifiques mais aussi la récurrence des sujets mis en invisibilité comme les effets sur la santé des professionnels de l'agriculture (agriculteurs et salariés). Ils insistent sur le confinement des problèmes aux sphères professionnelles et scientifiques et dénoncent un complot pour maintenir l'utilisation des pesticides dans l'agriculture. Ils soulignent l'urgence pour les citoyens et les pouvoirs publics à prendre les choses en main pour remédier à ce scandale français.

L'étude scientifique Ecophyto R&D (INRA & Cemagref, 2009)

R pour recherche et D pour développement

Les commanditaires :

L'étude a été commandée par les ministères en charge de l'environnement et de l'agriculture en 2007.

Les contributeurs :

Une équipe pluridisciplinaire de chercheurs de l'Inra et du Cemagref entre autres¹⁹⁰ ont contribué à l'étude.

Objectifs :

Elle fait suite à l'Esco « Pesticides, agriculture et environnement ». Elle devait « *éclairer la décision publique sur les étapes à franchir dans la réduction de l'usage des produits phytosanitaires* » à la suite du processus Grenelle Environnement et en accord avec le PIRRP (2006-2009). Il s'agissait de préciser l'opérationnalisation de l'engagement 129 du Grenelle¹⁹¹, structurante du plan Ecophyto en 2008. L'étude poursuivait deux objectifs : (i) d'une part produire différents *scenarii* plus ou moins économes en pesticides par grandes productions et les évaluer sur les plans économique, environnemental et social (acceptabilité) *a priori* et (ii) d'autre part concevoir un système d'acquisition de connaissances et de compétences pour accélérer la diffusion des alternatives aux pesticides. L'étude n'a pas abordé les aspects relatifs à la santé humaine.

¹⁹⁰ L'équipe pluridisciplinaire s'est organisée en groupes thématiques afin de balayer un ensemble de questions soulevées par la perspective de réduire l'usage des pesticides selon les recommandations du plan Ecophyto. *Plus de 30 organismes, parmi lesquels l'Inra, des établissements d'enseignement supérieur, des organismes de développement agricole, les services techniques des ministères* ont travaillé ensemble.

¹⁹¹ Pour mémoire, l'engagement 129 du grenelle propose : « *se fixer un objectif de réduction de moitié des usages des pesticides en accélérant la diffusion des méthodes alternatives et sous réserve de leur mise au point* ».

Traits saillants et résultats¹⁹²

(i) Les *scenarii* de systèmes économes ont été conçus en définissant un « gradient de niveaux de rupture¹⁹³ allant d'une situation dite actuelle à une situation « culture biologique » », (Aubertot *et al.*, 2005a¹⁹⁴). Dans cette situation, la notion de niveau de rupture a été définie selon une entrée agronomique et désigne un gradient de recours à l'utilisation des pesticides qui se distinguent par les principes (fondements pour raisonner) d'utilisation des pesticides. Quatre grands systèmes de production ont été analysés : les grandes cultures, la vigne, l'arboriculture fruitière et les cultures légumières. L'évaluation du niveau de dépendance aux pesticides de synthèse a été conduite en mobilisant le cadre « Efficience, Substitution, Reconception » (ESR) qui sera exposée plus loin dans la thèse (Hill et MacRae, 1995). L'évaluation des *scenarii* pour les différents niveaux de rupture montre que l'objectif de réduction de 50% en grandes cultures n'est possible qu'en mettant en œuvre *a minima* les principes de l'agriculture intégrée et/ou d'adopter une conduite type agriculture biologique et ce à l'échelle du système de culture et dans une perspective pluriannuelle. Cela correspond à des systèmes qui reposent sur des logiques de gestion des bioagresseurs très différentes de la moyenne des exploitations, caractérisées par un niveau de rupture élevé, c'est-à-dire ayant un recours très limité aux pesticides, fondés sur des raisonnements qui dépassent la campagne de culture. Par exemple pour la gestion des adventices, « en grandes cultures (...), seuls des systèmes modifiant les rotations culturales (2c) permettent de réellement s'engager dans des réductions d'utilisation d'herbicides, alors que les niveaux de rupture à effet annuel (à l'échelle de l'itinéraire technique) sont généralement suffisants pour permettre une limitation de l'utilisation d'insecticides et de fongicides » (Aubertot *et al.*, 2005a, p. 12). Les propositions qui ont émané de cette étude n'avaient pas pour objectif d'être des préconisations prescriptives, directement applicables sans adaptation.

- Comment analysons-nous la contribution de cette étude avant l'émergence du plan *Ecophyto 2018* ?

Des conclusions confortent celles de l'expertise Inra & Cemagref de 2005 « Pesticides, agriculture et environnement ». En premier lieu, la réduction de moitié de l'usage des pesticides ne peut s'envisager qu'en changeant de paradigme pour la gestion des populations de bioagresseurs et exige de remettre en cause la conception de la modernisation agricole construite après 1962 (le progrès repose d'abord sur des innovations technoscientifiques). En fait, il s'agit davantage de créer un « agrosystème » favorable à la bonne santé des peuplements cultivés. Les conduites de peuplements fondées sur le concept d'agriculture intégrée le permettent et il faut pour cela conduire les raisonnements au moins à l'échelle du système de culture. La complexité de la gestion des adventices est à nouveau souligner. Les systèmes à niveau de rupture élevé qui atteignent l'objectif s'appuient sur des savoirs et des

¹⁹² Les résultats des travaux ont été présentés sous deux formes : neuf tomes produits par des groupes d'experts et un rapport de synthèse de 90 pages. Nous nous sommes à la fois appuyée sur les différents tomes et sur la synthèse pour notre analyse.

¹⁹³ Nous aborderons plus loin dans la thèse le détail des niveaux de rupture. Les auteurs expliquent en ces termes le choix d'une méthodologie reposant sur la définition de niveaux de rupture : « La proposition de raisonner en termes de niveaux de rupture tient à la spécificité des pesticides (Carpentier *et al.* 2005). Ceux-ci ne constituent pas un facteur de production (tel que l'azote) qui agit directement sur le niveau de production, mais interviennent sur ce niveau indirectement en évitant des pertes de production, par ailleurs aléatoires. Les possibilités de réduire l'emploi de pesticides nécessitent ainsi des changements de pratiques globales, d'où cette notion de niveaux de rupture » Butault *et al.*, 2011, p.9).

¹⁹⁴ consultable sur <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Ecophyto-R-D>

démarches complexes qui font encore défaut à la plupart des agriculteurs. Enfin, l'atteinte des fameux « -50 % des usages » ne peut pas être obtenue sans « *agir sur l'ensemble du système sociotechnique, au-delà des incitations adressées aux seuls agriculteurs* » (Butault et al., 2010, p. 7¹⁹⁵).

L'agronomie est structurante pour envisager de nouvelles façons de raisonner la gestion des populations de bioagresseurs, mais elle n'est pas suffisante. Les freins et les conditions des *scenarii* exigent de considérer des échelles emboîtées : « la parcelle, le système de culture, l'exploitation, le système socio-technique ». Le concept de système de culture, concept propre à l'agronomie apparaît central. Le projet de réduction de la dépendance ne pourra pas être conduit sans confrontation des enjeux de chacune des échelles, les enjeux de l'exploitant agricole y compris. Dans un système multi-enjeux, les contradictions et les convergences des parties prenantes débattues permettront à l'ensemble des acteurs de se situer.

Les *scenarii* fondés sur la mise en œuvre de l'agriculture intégrée supposent des innovations de rupture : le changement ne pourra pas s'opérer par un processus incrémental d'assimilation d'innovations technoscientifiques, mais va davantage reposer sur une transition avec des innovations de rupture (Meynard, 2008 ; Ricci, Lamine et Messéan, 2011 ; Hubert, 2010).

L'insuffisance du corpus de références à l'échelle du système de culture, qui de plus est pluriannuelles, pour des systèmes innovants économes en pesticides ne permet pas d'évaluer les démarches et les performances dans une perspective de durabilité (évaluation multicritère). Les dispositifs pour conduire ces évaluations doivent favoriser le travail en réseau pluri partenaires incluant « la recherche, le développement, les agriculteurs ». C'est en effet un moyen robuste d'assurer la synergie dans la construction des savoirs, facilitant l'identification du périmètre de compétences de chacun pour améliorer l'efficacité du réseau. Par exemple, de vraies exploitations agricoles¹⁹⁶, « fermes « pilotes » ou de démonstration » doivent y être intégrées : « *le schéma linéaire « Découverte en station - Démonstration en exploitations-Diffusion », qui est approprié pour certaines innovations techniques ponctuelles évaluables en quelques mois, est apparu moins approprié pour des systèmes de culture dont l'évaluation demande des années, compte tenu de la durée de la rotation* » (Inra & Cemagref, 2009, p. 28). Intégrer des fermes d'agriculteurs réparties sur le territoire national permet de suivre le processus de changement dans sa globalité et par conséquent de préciser comment les objectifs se concilient à différentes échelles spatio-temporelles, de voir quels ont été les ajustements dans le contexte et les effets de ceux-ci. C'est le moyen de suivre la durabilité du système dans un contexte changeant. C'est aussi s'assurer la participation des acteurs-clés chargés de la déclinaison opérationnelle avec la garantie d'une mise à l'épreuve des outils d'évaluation à partager. Ce dispositif rappelle l'importance du contexte pour discuter la validité d'une référence, afin d'éviter le travers d'une généralisation gommant les particularités.

Le changement que nous tendent les mesures phares du futur plan Ecophyto ne pourra pas s'opérer sans un vaste mouvement socio technique et économique. L'étude souligne la

195 Consultable sur <http://inra.dam.front.pad.brainsonic.com/ressources/afile/224976-51d3e-resource-ecophyto-r-d-8-pages.html>

¹⁹⁶ Le document utilise le terme « ferme » pour traiter du volet démonstration « exploitation agricole ». Est-ce encore une trace du passé de l'agriculture où « ferme » était associé à ferme-école, ferme d'expérimentation, ferme pédagogique ? Le terme « exploitation agricole » est utilisée dans les sciences de la gestion et fait l'objet d'une définition officielle produite par l'Insee (*Dans le recensement agricole, l'exploitation agricole est définie comme une unité de production remplissant les trois critères suivants : produire des produits agricoles, avoir une gestion courante indépendante, atteindre un certain seuil en superficie, en production ou en nombre d'animaux. ce seuil a été défini de la façon suivante : une superficie agricole utilisée au moins égale à un hectare, ou une superficie en cultures spécialisées au moins égale à 20 ares, ou une activité suffisante de production agricole, estimée en cheptel, surface cultivée ou volume de production*).

nécessité de faire évoluer et de manière coordonnée les filières de la production des semences adaptées aux nouveaux systèmes aux débouchés rentables.

L'étude sous tend des enjeux pour l'agronomie et des extraits d'éléments conclusifs soulèvent des pistes pour notre recherche. L'agronomie demeure indispensable pour appréhender les changements qu'exige la réduction de la dépendance aux pesticides. Mais seule, elle ne pourra pas soutenir les changements de paradigmes, l'implication des Sciences humaines et sociales en sont une des conditions indispensables.

Le réseau d'expérimentation et de démonstration proposé par l'étude Ecophyto R & D va permettre d'évaluer les performances de ces systèmes en rupture et offre l'occasion de produire des références de proximité des performances et/ou des limites de nouvelles pratiques : aucune des parties prenantes n'a la solution *a priori*. La mise en réseau des compétences et des connaissances augure un changement de méthode dans la construction et la circulation des savoirs. Cette perspective invite à discuter dans la formation des jeunes la construction de la tangibilité de la preuve¹⁹⁷ (Chateauraynaud, 2004), sa dimension multiréférentielle (Ardoino, 1994) dans un contexte situé. Les figures n°8 et n°9 reprennent des éléments proposés pour le projet de réseau expérimentation démonstration (Inra & Cemagref, 2009). Nous proposons une synthèse des points qui nous sont apparus structurants (objectifs communs, conceptions communes, entrées communes pour les critères d'évaluation, les niveaux de rupture différents). Nous avons ensuite identifié des mots-clés (en rouge dans les figures) qui ont une résonance en termes d'éducation et/ou d'enseignement/apprentissage dans les filières de l'enseignement agricole technique (natures des savoirs, approche systémique, cadre ESR...).

¹⁹⁷ Chateauraynaud discute le statut des preuves : comment un fait « *tangible* » devient-il comme élément de preuve ? Les preuves sont entre autres convoquées dans des débats générés par des controverses pour convaincre, asseoir des arguments. Tant que la preuve n'apparaît pas tangible, des incertitudes demeurent et la recherche d'autres preuves se poursuit. Dès que la preuve apparaît tangible aux parties prenantes la controverse se clôture. Chateauraynaud (2004) définit une preuve tangible, une preuve qui résiste « *aux variations perceptuelles, instrumentales et argumentatives auxquelles la soumettent des acteurs dotés de représentations et d'intérêts divergents* » p. 168.

Figure n°8 : Réseau expérimentation et démonstration proposé par l'étude R&D Ecophyto (1/2)

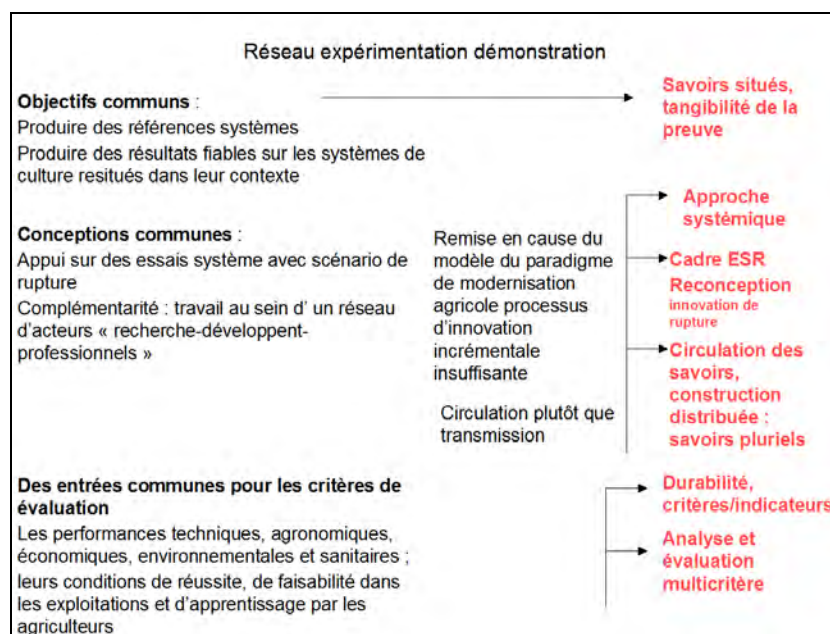
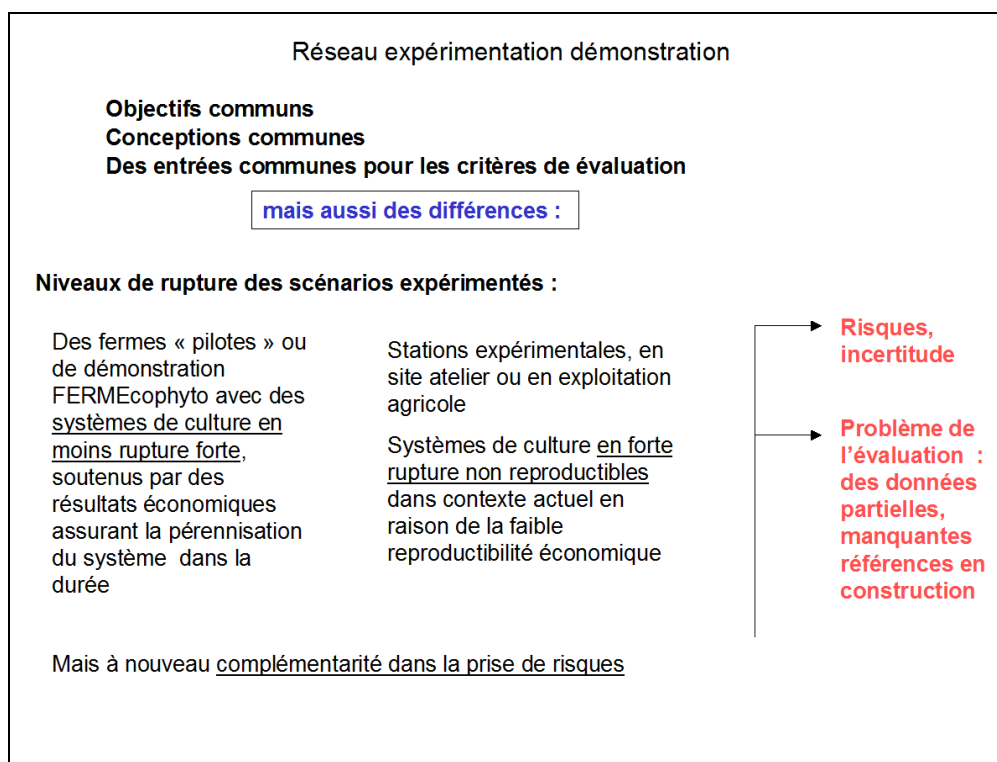


Figure n°9 : Réseau expérimentation et démonstration proposé par l'étude R&D Ecophyto (2/2)



Enfin, l'étude présente et analyse l'expérience danoise, pionnière en terme de réduction de pesticides dans l'agriculture à grande échelle. Elle révèle que l'option choisie pour réduire la dépendance repose d'abord sur l'amélioration de l'efficacité de la lutte chimique (Ecophyto

R&D, 2009) et sur une conversion à l'agriculture biologique. Aujourd'hui, la France semble vouloir au contraire engager son agriculture dans une transition agroécologique. Cette perspective suppose des approches renouvelées pour les acteurs de terrain mais aussi en termes d'enseignements/apprentissages destinés aux futurs agriculteurs dans les lycées agricoles.

- Le projet de directive cadre européenne pour une utilisation durable des pesticides

En cours d'instruction lorsque le plan Ecophyto a été communiqué, le projet de directive¹⁹⁸ devait fixer un nouveau cadre pour une utilisation des pesticides en accord avec le développement durable. Des plans d'action nationaux devaient ensuite traduire concrètement cette directive. Là encore se fondant sur la communication « *Vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides* », la directive a proposé de généraliser les principes de la lutte intégrée contre les bioagresseurs en agriculture et ce dès le 01/01/14. C'est une directive structurante du « paquet pesticides » évoquée en amont. Cette directive est issue d'un travail conduit sur une dizaine d'années et traduit le resserrement réglementaire lourd pour améliorer et sécuriser l'usage des pesticides.

- *Comment analysons-nous la contribution de cette future directive avant l'émergence du plan Ecophyto 2018 ?*

Le contenu de la future directive nous intéresse car il amorce une inflexion dans la conception des usages des pesticides au niveau de la politique européenne. Elle inscrit la nécessité d'utiliser durablement les pesticides de synthèse dans l'agriculture, c'est-à-dire d'y avoir seulement recours en conciliant les exigences du développement durable. Elle rejette la perspective d'une utilisation massive des pesticides pour protéger les cultures. La généralisation de l'agriculture intégrée pose des questions en termes d'accompagnement et de formation et ce dès la formation initiale des futurs agriculteurs. Elle définit un ensemble de « bonnes pratiques de la protection intégrée ». Il n'y a pas de voie unique et la conduite des raisonnements pour inscrire les systèmes de production singuliers dans le développement durable apparaît comme un des leviers pour réduire l'usage des pesticides.

Les quelques années qui ont précédé l'émergence du plan Ecophyto (2008) sont marquées par un intérêt affiché pour la question des pesticides dans l'agriculture et les effets de leur utilisation sur nos milieux et nos conditions de vie. De nombreux « fronts » bougent au sein de la société civile (la participation au Grenelle), des pouvoirs publics (le plan interministériel de réduction des produits phytosanitaires PIRPP), des décideurs de l'Europe (la communication thématiques, le projet de réglementation des pesticides), des scientifiques (étude scientifique ESCo Pesticides et étude Ecophyto R & D), des militants (le « scandale français »). La perspective de réduire de 50 % les usages des pesticides de synthèse dans un délai de 10 ans dans l'agriculture française a été annoncée à l'issue du Grenelle Environnement, soulevant un certain nombre de questionnements, de débats et d'incertitudes sur les voies pour y parvenir. Une fois l'annonce faite, la mise en œuvre s'est avérée complexe, mêlant des aspects scientifiques, économiques, environnementaux, sociaux, éthiques, difficiles à concilier et pire divergents parfois. Le gouvernement a enjoint la profession et la recherche à trouver des solutions concrètes pour y parvenir : le changement est important et il faut co construire des moyens pour accompagner les acteurs professionnels vers cette nouvelle forme d'agriculture. Que recouvre le plan Ecophyto 2018 en 2008 ? Que peut-on en dire aujourd'hui ?

¹⁹⁸ La directive a été adoptée en 21 octobre 2009 (2009/128/CE).

3.3. Les traits saillants du plan Ecophyto 2018

En 2008, le plan Ecophyto 2018 émerge lors d'une période de remise en cause générale du niveau des usages des pesticides de synthèse dans les agricultures européennes. Les produits phytosanitaires sont des substances dangereuses à la fois pour la santé humaine et pour les compartiments du milieu et ils sont systématiquement employés dans les systèmes de production intensifs conventionnels. Nous avons évoqué la dépendance aux pesticides de synthèse de ces systèmes pour protéger les cultures : la gestion des bioagresseurs se fonde d'abord sur leur utilisation, reléguant les autres moyens au second plan. Ces systèmes intensifs sont en outre les plus répandus et même si les niveaux d'emploi sont variables, les quantités épandues cumulées s'avèrent considérables. Les activités agricoles exercent des pressions très importantes à la fois sur le milieu biophysique, sur la santé des utilisateurs et des consommateurs (contamination des compartiments eaux, sol, atmosphère ; induction suspectée de pathologies ; résidus de pesticides dans les denrées alimentaires et dans les eaux de boisson). La mise en place de systèmes de sécurisation des usages successifs a révélé des failles et n'a pas été suffisante pour préserver des risques dont les produits phytosanitaires sont porteurs. Les voies proposées pour limiter l'exposition des populations et la dégradation des milieux s'inscrivent dans une stratégie globale de baisse de l'usage des pesticides et de sécurisation de leurs emplois dans l'agriculture à concilier avec le maintien d'un niveau de productivité élevé.

Avec un peu d'avance sur l'agenda européen¹⁹⁹, la mise en place du plan Ecophyto 2018 a été annoncée à l'issue du Grenelle Environnement en France fin 2007. Il se fonde sur l'engagement 129 du Grenelle. Le document dont est extrait l'encart, présenté ci-dessous, reprend le récapitulatif des tables rondes du Grenelle du 23/11/07 en y insérant le numéro des engagements (base document du 27/11/07 modifié le 04 janvier et les 10 et 25 janvier 2008, page 18).

- **Engagement n°129 Phytosanitaires** : retrait, à raison de leur substituabilité, des produits les plus préoccupants : 30 d'ici fin 2008, 10 d'ici fin 2010, et réduction de moitié d'ici fin 2012 des produits pour lesquels il n'existe pas de substitution ; objectif de réduction de moitié des usages des pesticides en accélérant la diffusion des méthodes alternatives et sous réserve de leur mise au point. Lancer dès 2008 un état des lieux de la santé des salariés agricoles et des agriculteurs et un programme de surveillance épidémiologique ; interdiction de l'épandage aérien sauf dérogations

Nous présentons les étapes successives qui ont permis de construire le plan Ecophyto 2018 en indiquant la contribution du comité opérationnel d'experts « Ecophyto 2018 » après le Grenelle Environnement, puis nous précisons l'insertion du plan Ecophyto 2018 dans une vague de projets d'agriculture. Nous décrivons ensuite les grandes lignes du plan Ecophyto 2018. Enfin, nous présentons la place du plan ministériel dans le nouveau projet d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt et dressons un bilan après quelques années.

¹⁹⁹ En effet, l'article 4 de la directive 2009/128/CE du 21 octobre 2009 impose aux États membres de l'Union européenne de mettre en place un plan d'action national (PAN) pour sécuriser et limiter les usages des pesticides en ces termes : « *fixer des objectifs quantitatifs, des cibles, des mesures, des calendriers et des indicateurs en vue de réduire les risques et les effets de l'utilisation des pesticides sur la santé humaine et l'environnement et à encourager le développement et l'introduction de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures ou de techniques de substitution* ».

Les travaux structurants du comité opérationnel (comop) d'experts « Ecophyto 2018 »

La définition du contenu concret du plan a été confiée au Ministre de l'Agriculture qui en a annoncé les grandes orientations en novembre 2007. Pour les traduire en propositions d'action, un comité opérationnel (comop) d'experts²⁰⁰ « Ecophyto 2018 » piloté par G. Paillotin²⁰¹ a été chargé, de janvier à mai 2008, d'en préciser une déclinaison opérationnelle. Le comop a concentré ses travaux sur « *l'objectif de réduction de moitié des usages des pesticides en accélérant la diffusion des méthodes alternatives et sous-réserve de leur mise au point* ». Le comité s'est appuyé sur les travaux conduits lors Grenelle Environnement par le groupe 3 « Instaurer un environnement respectueux de la santé » et par le groupe 4 « Adopter des modes de production et de consommation durables », sur les propositions de la table ronde 3 « Préserver la biodiversité et les ressources naturelles, pratiques agricoles, OGM - Agriculture écologique et productive et valorisation durable de la ressource forestière ». Ce comité a instruit les grandes lignes du plan visant la réduction de l'usage des pesticides. Elles fonderont le plan Ecophyto 2018 en intégrant les exigences affirmées du maintien d'un niveau de production agricole élevé et des exigences pour produire en respectant les équilibres écologiques, les ressources et les demandes des consommateurs (c'est-à-dire produire mieux). Le comop a proposé une déclinaison du plan en 7 axes :

- Axe 1 : Évaluer les progrès en matière de diminution de l'usage des pesticides
 - Axe 2 : Généraliser les systèmes agricoles économes en pesticides en mobilisant l'ensemble des partenaires de la recherche, du développement et du transfert
 - Axe 3 : Innover dans la conception et la mise au point des itinéraires techniques et des systèmes de cultures économes en pesticides
 - Axe 4 : Former à la réduction et à la sécurisation de l'utilisation des pesticides
 - Axe 5 : Renforcer les réseaux de surveillance sur les bio-agresseurs et sur les effets non intentionnels de l'utilisation des pesticides
 - Axe 6 : Prendre en compte les spécificités des DOM
 - Axe 7 : Réduire et sécuriser l'usage des produits phytopharmaceutiques en zone non agricole
- Les

Le Ministre de l'agriculture Michel Barnier a présenté le 22 mai 2008 les conclusions du comop : « *Le comité recommande la mise en place d'actions qui ont pour objectifs stratégiques la généralisation dans l'immédiat des meilleures pratiques agricoles économes en pesticides, la levée des obstacles à l'innovation et à la construction de nouveaux systèmes de production moins dépendants des pesticides et viables. Il souligne également la nécessité de s'appuyer sur le renforcement des réseaux de surveillance des bioagresseurs et des effets de l'utilisation des pesticides. Il préconise une ambition très forte en matière de formation des utilisateurs et de sécurisation des métiers de la distribution des pesticides, conditions nécessaires pour faire adhérer le plus largement possible à ces démarches. Un indicateur de suivi des résultats du plan est préconisé*²⁰² ».

²⁰⁰ L'analyse de l'origine des parties prenantes dans ce comité d'experts révèle un jeu d'acteurs essentiellement agricoles. Or la question de l'élargissement de la gouvernance est essentielle dans le traitement des questions en lien avec le développement durable. Étaient en particulier absents des travaux, des acteurs de la santé, des acteurs des filières agroalimentaires, de la grande et de la moyenne distribution, des travaux agricoles ; des associations de consommateurs et des représentants des Agences de l'eau (Tierca consultants, 2014)

²⁰¹ Guy Paillotin est secrétaire perpétuel de l'Académie d'Agriculture.

²⁰² Extrait de <http://agriculture.gouv.fr/historique-travaux-des-experts>

Le plan Ecophyto intégré dans un projet stratégique de développement de l'agriculture

Le plan ministériel Ecophyto 2018 est présenté le 10 septembre 2008 en Conseil des ministres, il est piloté par le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. En premier lieu, il a pour objectif de sécuriser les usages des pesticides. Le plan propose ainsi d'étudier comment limiter l'impact des pesticides qui resteront indispensables pour protéger les cultures. Mais la nécessité de mettre en cohérence les projets pour le développement de l'agriculture a conduit à intégrer le plan Ecophyto 2018 dans un projet stratégique de développement d'agriculture. En 2009, le président de la république N. Sarkozy confie au ministre de l'agriculture l'ambitieux projet de définitions des objectifs et des voies fondant un nouveau modèle agricole français à l'horizon de 2020, avec l'impératif de concilier la « double nécessité de produire plus et de produire mieux »²⁰³. Le plan « Objectif Terres 2020 » est alors présenté comme un « nouveau modèle agricole français ». C'est un projet à visée stratégique pour inscrire l'agriculture dans le développement durable. *Objectif Terres 2020* s'est fondé à la fois sur des réflexions issues du Grenelle Environnement, des assises de la forêt et de celles de l'agriculture. La promotion de « démarches innovantes, écologiquement durables et productives » est au cœur de la proposition. Le projet est présenté le 19 février 2009 par le Ministre de l'Agriculture, Michel Barnier, prônant un modèle de développement de l'agriculture d'aujourd'hui pour demain. Il est décliné en cinq défis et cinq voies et comprend 60 mesures.

Les cinq défis sont de :

1. Mieux utiliser une eau qui se raréfie
2. Contribuer à la restauration du bon état écologique des eaux (réduction de l'usage de pesticides et systèmes bio et économes en intrants)
3. Contribuer à la richesse de la biodiversité et des paysages
4. Protéger les sols agricoles
5. Mieux maîtriser l'énergie et lutter contre le réchauffement climatique

Et les cinq voies pour y parvenir sont :

- voie 1. : Réduire l'usage et l'impact des produits phytosanitaires
- voie 2. : Engager chaque entreprise agricole dans le développement durable
- voie 3. : Développer les potentialités de l'agriculture biologique
- voie 4. : Remettre l'agronomie au centre de l'agriculture
- voie 5. : Repenser des pratiques adaptées aux territoires

Le plan Ecophyto 2018 contribue à relever le défi 2 et s'inscrit dans la voie 1.

Le plan Ecophyto 2018 décrypté

L'architecture du plan a un peu évolué entre son annonce en 2008 et sa forme actuelle. Lors de sa communication en 2008, le plan comptait 8 axes, l'axe 9 a été ajouté en 2011. Ce dernier concerne la sécurité des utilisateurs. Chacun des axes est défini par des objectifs déclinés à leur tour en actions pour les atteindre. En 2008, le plan comptait 105 actions. Aujourd'hui entre la fusion entre certaines actions et l'ajout d'autres (9 ont été ajoutées en octobre 2011, 67 ont été fusionnées à d'autres) le plan compte 114 actions réparties sur les 9 axes. En bleu figure, des exemples d'actions. Nous proposons une rapide présentation du pilotage à l'échelon national et régional, et nous abordons ensuite les points suivants qui interpellent dans le cadre de notre recherche : les indicateurs de suivi de pression et de pratiques, le réseau de fermes action 16,

²⁰³ Extrait de <http://agriculture.gouv.fr/objectif-terres-2020-pour-un,906>

Axe 1 : Évaluer les progrès en matière de diminution de l'usage des produits phytopharmaceutiques → Des indicateurs de suivi NODU (NOMBRE de Doses Unités), QSA vendues (Quantité de Substances Actives), IFT (Indicateur de Fréquence de Traitement)

•Axe 2 : Recenser et généraliser les systèmes agricoles et les moyens connus permettant de réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques en mobilisant l'ensemble des partenaires de la recherche, du développement et du transfert → Réseau DEPHY avec le réseau de fermes (action 14, réseau de fermes des lycées et action 16) et le réseau d'expérimentation (EXPE), dispositif d'outils d'aide à la décision (DECI)

•Axe 3 : Innover dans la conception et la mise au point des itinéraires techniques et des systèmes de cultures économes en produits phytopharmaceutiques → Appels à projets de recherche contribuant à la réduction des produits phytosanitaires (ex Appel à Projet de Recherche Pesticides)

•Axe 4 : Former à la réduction et à la sécurisation de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques → Certification avec le Certiphyto, évolution des contenus de formation de l'enseignement agricole

•Axe 5 : Renforcer les réseaux de surveillance sur les bio-agresseurs et sur les effets non intentionnels de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques → Création d'un réseau de Surveillance biologique du territoire et émission de Bulletins de Santé du Végétal (BSV)

•Axe 6 : Prendre en compte les spécificités des DOM → Des actions spécifiques dans les contextes particulier des DOM

•Axe 7 : Réduire et sécuriser l'usage des produits phytopharmaceutiques en zone non agricole → Des actions pour limiter les usages des pesticides dans les espaces publics et les jardins en directions des professionnels et des non professionnels, conduire des actions de communication et de formation pour encourager la gestion différenciée

•Axe 8 : Organiser le suivi national du plan et sa déclinaison territoriale, et communiquer sur la réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques → Création d'un Comité national d'orientation et de suivi (CNOS) et d'un Comité Régional d'Orientation et de Suivi (CROS)

•Axe 9 : Renforcer la sécurité des utilisateurs (rajouté en octobre 2011 après le lancement du plan) → Promotion des règles d'hygiène et de sécurité lors des interventions, actions visant l'amélioration des performances de protection des équipements individuels et des équipements d'épandage entre autres

- *La déclinaison opérationnelle du pilotage du plan*

Le plan Ecophyto est un projet ambitieux. Les pouvoirs publics ont montré leur implication par une traduction législative et réglementaire de certains engagements en lien avec les enjeux du plan Ecophyto dans les lois Grenelle I²⁰⁴ et Grenelle II²⁰⁵ en 2009, et avec l'entrée du plan dans le code rural et de la pêche maritime²⁰⁶.

²⁰⁴ La loi dite Grenelle I publiée au JO le 05 août 2009 a fixé des objectifs en termes de pourcentage de surfaces agricoles dédiées à l'agriculture biologique (6% en 2012 et 20% en 2020). Cette perspective implique bien de réduire l'usage des pesticides de synthèse. La loi précise même dans l'article 31 que « De manière générale, l'objectif est de réduire de moitié les usages des produits phytopharmaceutiques et des biocides en dix ans en accélérant la diffusion de méthodes alternatives, sous réserve de leur mise au point, et en facilitant les procédures d'autorisation de mise sur le marché des préparations naturelles peu préoccupantes ».

²⁰⁵ La loi dite Grenelle II publiée au JO le 13 juillet 2010 a « traduit en obligations, interdictions ou permissions les principes de la loi dite Grenelle I ». En particulier, la loi a imposé des mesures pour rendre l'agriculture durable comme l'agrément des distributeurs de produits phytopharmaceutiques, la certification des applicateurs

Le suivi de la mise en œuvre du plan Ecophyto est assuré par le Comité national d'orientation et de suivi (CNOS) qui définit des orientations stratégiques et assure la maîtrise d'ouvrage. Le CNOS rassemble l'ensemble des parties prenantes administratives, professionnelles et non professionnelles. Il est présidé par le ministre en charge de l'agriculture. Le directeur général de l'alimentation est chargé du pilotage de la mise en œuvre opérationnelle du plan. Bien qu'assorti de moyens financiers importants (*i.e.* une partie de la redevance pour pollutions diffuses payée par les agriculteurs lors de l'achat de produits phytosanitaires, gérée par l'Onema²⁰⁷), le plan repose d'abord sur des recommandations et des incitations à réduire l'usage des pesticides dans l'agriculture. Il y a paradoxalement peu de mesures ayant un caractère obligatoire, d'où l'importance de promouvoir l'engagement sur la base d'une participation volontaire et affirmée des parties prenantes comme les agriculteurs. La transition vers des systèmes économes en pesticides avec un objectif de réduction de 50% des usages est complexe et ne peut pas s'envisager sans de profondes transformations et sans une adaptation au contexte. Aussi, dans chaque région, le plan Ecophyto est décliné en axes prioritaires au sein d'un Comité Régional d'Orientation et de Suivi (CROS) du plan Ecophyto 2018, sous la présidence du préfet de région. Chaque département s'est engagé en fonction de problématiques spécifiques dans les axes proposés. Plusieurs partenaires sont mobilisés avec une coordination et une animation qui relève des DRAAF et un suivi opérationnel souvent assuré par des chambres d'agriculture et des instituts techniques.

- *L'ambition de généraliser des systèmes économes en pesticides*

Le cœur du plan repose sur les principes d'une contribution à la sécurisation des usages des pesticides et sur une généralisation des systèmes de production économes en pesticides pour limiter les risques d'exposition des populations. A cet effet, le plan Ecophyto a imposé le retrait progressif du marché des molécules les plus préoccupantes²⁰⁸ dans des délais courts : 30 substances utilisées dans 1 500 produits ont été retirées fin 2008, 17 ont été retirées en 2009 à la vente et en 2010 à l'utilisation, 9 entre 2010 et 2011. Le plan a recommandé de réduire de 50 % les usages des pesticides de synthèse dans un délai de 10 ans à compter de 2008, si possible et d'envisager des alternatives aux pesticides. Pour généraliser la mise en place de systèmes économes viables, le plan met en avant le principe d'exemplarité. C'est-à-dire prendre appui sur des exemples concrets, situés.

Plusieurs voies ont été retenues :

- renforcer les réseaux d'épidémiosurveillance afin de mieux adapter les interventions phytosanitaires à la situation réelle. Les réseaux d'épidémiosurveillance ont pris le relais de la surveillance réalisée par les services officiels de la protection des végétaux. Les moyens dédiés au nouveau dispositif de veille des cultures mutualisé et informatisé ont été mis en place en 2009 afin de relever, en temps réel, la présence de maladies, de ravageurs et la

de produits phytosanitaires, a interdit l'épandage aérien des produits (sauf dérogation), a défini des mesures pour encadrer leur publicité, a renforcé les mesures de protection des ressources en eau, entre autres.

²⁰⁶ L'article Article L253-6 précise : « *Un plan d'action national fixe les objectifs quantitatifs, les cibles, les mesures et calendriers en vue de réduire les risques et les effets de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine et l'environnement, et les mesures encourageant l'élaboration et l'introduction de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures et les méthodes ou techniques de substitution en vue de réduire la dépendance à l'égard de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques. Il comprend des indicateurs de suivi des objectifs fixés* ».

²⁰⁷ L'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques) est un établissement public administratif placé sous la tutelle du ministre chargé de l'environnement. L'Onema a été créé par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 et le décret d'application du 25 mars 2007. Il a pour mission de favoriser une gestion globale et durable de la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques, il contribue à l'atteinte des objectifs fixés par la directive cadre européenne sur l'eau du 23 octobre 2000. Paru sur le site Onema – Office national de l'eau et des milieux aquatiques www.onema.fr

²⁰⁸ Nous avons déjà défini ce que les termes « substances préoccupantes » recouvraient.

pression des adventices. D'une manière générale, le dispositif d'épidémiologie doit permettre aux agriculteurs et aux applicateurs professionnels de mieux s'adapter au contexte épidémiologique, de mieux cibler les traitements phytosanitaires et de suivre leurs impacts. Ce dernier point a fait l'objet d'une évaluation, soulignant la difficulté à conduire une veille pour les mauvaises herbes.

- capitaliser des expériences d'agriculteurs qui ont conçu et mis en œuvre des systèmes moins dépendants des produits phytosanitaires pour prendre en appui leur démarche, les discuter et les évaluer ;

- conduire des expérimentations et des démonstrations grandeur nature avec l'implication des acteurs locaux (agriculteurs compris) *via* un réseau de groupes Fermes²⁰⁹ » pilotes appelé réseau FERME et un réseau d'essais d'expérimentation (réseau EXPE) dans des fermes expérimentales, réparties sur tout le territoire afin de couvrir la diversité des contextes français. L'expertise collective « Pesticides, agriculture et environnement » (Inra & Cemagref, 2005) a mis en évidence l'importance des réseaux d'expérimentations-démonstrations pour impliquer les acteurs dans l'économie de pesticides pour protéger les cultures. L'étude Ecophyto R & D (Inra & Cemagref, 2019) quant-à elle a étudié les modalités de mise en œuvre de ce réseau de fermes pour appuyer et accompagner la transition vers des systèmes économes en pesticides²¹⁰. Pour les pesticides, il n'y a pas de réseau équivalent en France. Le réseau DEPHY²¹¹ matérialise la déclinaison des différents aspects de l'action n°14²¹² du plan Ecophyto. Il doit permettre de mettre en œuvre et de montrer des expériences intéressantes et concrètes en terme de réduction des pesticides sur l'ensemble du territoire, de les évaluer, mais aussi de tester scénarios économes et de concevoir un outillage méthodologique pour aider les agriculteurs dans la transition imposée par le plan Ecophyto. Le plan Ecophyto *via* l'action 14 prévoit d'engager 3000 exploitations dans DEPHY²¹³ (réseau FERME). Il s'agit d'un réseau de groupes d'exploitations *volontaires* représentant différents systèmes de production et/ou systèmes de culture suivis par un ingénieur en région et un ingénieur territorial. Les agriculteurs n'ont pas de compensations financières pour les changements qu'ils opèrent : ils doivent avec l'appui du groupe mettre en œuvre des projets de réduction des produits phytosanitaires. Un bilan doit être fait après 3 ans d'engagement.

Ces réseaux de fermes et d'expérimentations ont vocation à produire des références qui sont objet d'évaluations multicritères à l'échelle du système de production et du système de culture

²⁰⁹ Les groupes *Fermes* sont des groupes constitués d'environ 10 exploitations agricoles. On compte environ 200 groupes de Fermes en 2013.

²¹⁰ Le plan Ecophyto en septembre 2008 souligne l'importance de l'échange et de la démonstration dans le changement : « L'échange et la démonstration autour des nouvelles méthodes « économes en pesticides » » (Plan Ecophyto 2018, 2008, p. 7).

sont essentiels pour faciliter leur généralisation.

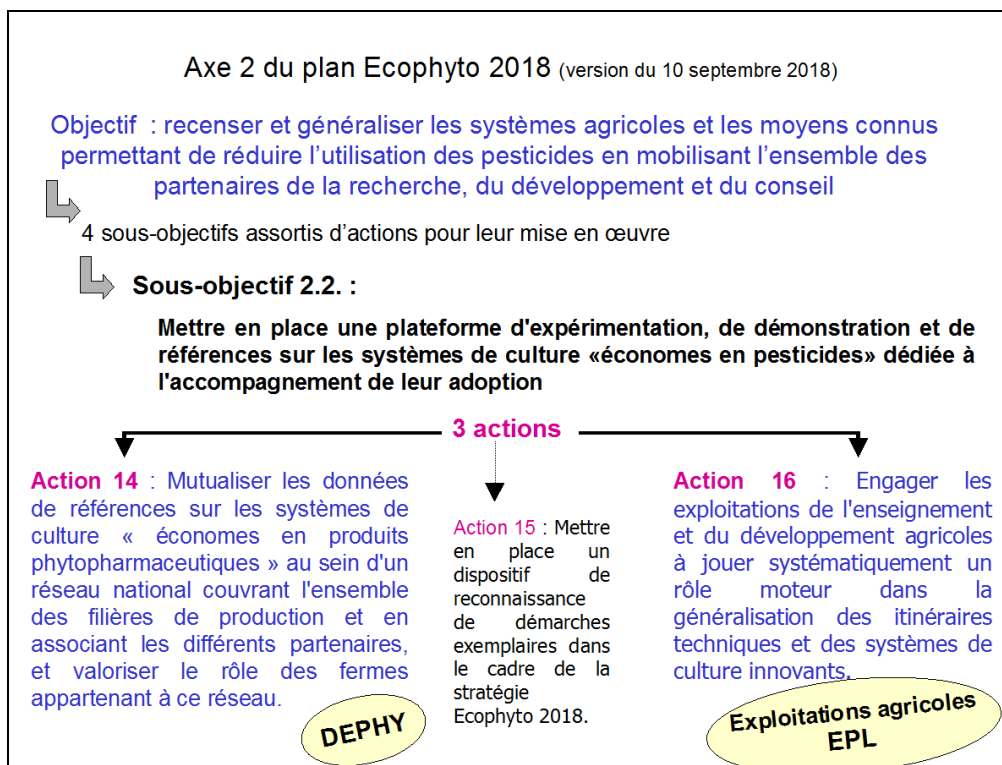
²¹¹ DEPHY : réseau de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en PHYtosanitaires. Le réseau a d'abord été nommé « réseau de fermes de démonstration Ecophyto ». L'acronyme DEPHY permet de mieux distinguer les différents volets de l'action 14.

²¹² Action 14 : « 2.2 Mettre en place une plateforme d'expérimentation, de démonstration et de références sur les systèmes de culture « économes en pesticides » dédiée à l'accompagnement de leur adoption (...) action 14 (14) Mutualiser les données de références sur les systèmes de culture « économes en produits phytopharmaceutiques » au sein d'un réseau national couvrant l'ensemble des filières de production et en associant les différents partenaires, et valoriser le rôle des fermes appartenant à ce réseau. » (Plan Ecophyto, 2008, p6)

²¹³ DEPHY recouvre plusieurs volets : un réseau de fermes de démonstrations impliquant des agriculteurs volontaires « réseauFerme », le réseau d'expérimentations « réseauEXPE » mobilisant le développement agricole privé et public ainsi que la recherche dans la conduite d'expérimentations en lien avec les préconisations de réduction du plan Ecophyto, le système AGROSYST présenté sous le nom de BASE dans l'étude Ecophyto R&D qui mobilise la recherche pour traiter les données produites dans les réseaux FERME et EXPE, le volet DECI qui vise à capitaliser des règles de décision existantes pour l'utilisation des produits phytosanitaires.

en lien avec le contexte. Ces réseaux permettent à la fois de produire des savoirs et des supports d'apprentissage pour les acteurs engagés sur les alternatives au tout pesticide et servent également d'appui à la profession agricole pour faciliter l'engagement des agriculteurs dans la démarche. Les exploitations des lycées agricoles sont encouragées à émarger au réseau DEPHY au titre de l'axe 2. Aujourd'hui, on compte environ 1900 fermes. Le plan Ecophyto propose une déclinaison spécifique de l'axe 2 avec l'action 16 pour l'enseignement agricole afin d'engager le ministère en charge de l'agriculture dans la promotion de l'exemplarité demandée à l'échelle nationale. L'objectif de l'action 16 est d'« *engager les exploitations de l'enseignement et du développement agricoles à jouer systématiquement un rôle moteur dans la généralisation des itinéraires techniques et des systèmes de culture innovants* » (cf. figure n°10 : Les actions 14 et 16 dans l'axe 2 du plan Ecophyto 2018). Les EPL sont dotés pour leur grande majorité d'exploitations agricoles qui représentent un support d'enseignements-apprentissages intégrateur dans la formation pour les filières « production ». Dans le cadre de l'action 16, il s'agit d'y conduire des actions de démonstrations visant l'économie de produits sanitaires et la mise en œuvre de techniques alternatives tout en impliquant les élèves/étudiants. La promotion de l'innovation agronomique est un objectif affiché.

Figure n°10 : Les actions 14 et 16 dans l'axe 2 du plan Ecophyto 2018



Pourquoi parle-t-on de démonstration ?

On réalise des essais à l'échelle d'un système : le système de production et/ou plus couramment le système de culture en productions végétales. Il est impossible d'isoler un facteur pour en analyser spécifiquement les effets sur les résultats du système. En contexte réel, la répétition de la situation n'est pas possible. C'est tout le système dans lequel interagissent les facteurs qui sera analysé et évalué : le fonctionnement dans son ensemble donne un résultat dans un contexte donné... Dans un autre contexte, des facteurs ne seront pas identiques au cas étudié et des variations plus ou moins importantes dans les résultats pourront être relevées.

- créer des systèmes innovants et mettre au point une méthode d'évaluation nécessairement multicritères pour évaluer les performances sur différents plans agronomiques, économiques, sociaux et environnementaux. Le plan souligne l'évolution nécessaire des pratiques vers une production intégrée au moins, incluant notamment l'utilisation de variétés plus tolérantes aux maladies et aux ravageurs, les associations variétales, le recours à des solutions alternatives aux traitements chimiques. Une nouvelle fois est posée la nécessité de favoriser les synergies « recherche/développement/agriculteurs » pour la co construction de systèmes innovants. C'est suggérer le caractère distribué des savoirs en jeu, leur pluralité et c'est aussi inviter à une forme renouvelée de construction des savoirs en n'opposant pas les savoirs académiques aux savoirs sociaux et reconnaître la validité des expertises plurielles.

Dans la perspective de renforcer la sécurisation des usages, le plan prévoit de :

- certifier l'usage, la distribution et le conseil. Il s'agit à partir de différents moyens d'améliorer les usages de la panoplie restante des pesticides de plus en plus restreinte. La mise en place de la certification des entreprises de distribution, du conseil et des prestataires de service des produits phytosanitaires est obligatoire depuis le 01/10/13 pour les professionnels de la distribution, du conseil et les prestataires de service. Ces certifications attestent d'une formation au conseil adapté à la réduction de l'emploi des pesticides en particulier par la

promotion des méthodes alternatives si elles existent... La certification individuelle des personnes en contact avec les produits est aussi une mesure du plan. Elle est obligatoire depuis le 01/10/14 pour les agriculteurs, les salariés, les agents des collectivités territoriales. Par cet ensemble de mesures, le plan Ecophyto impose la formation et la responsabilisation de l'ensemble des acteurs de la chaîne.

Enfin les départements ultramarins sont caractérisés par des contextes de production spécifiques très différents de ceux rencontrés en métropole. Le plan Ecophyto prévoit ainsi pour sécuriser et réduire l'emploi des pesticides de tenir compte de la spécificité des Dom. L'affaire du chlordécone dans les Antilles a révélé des dysfonctionnements qu'il convient de ne pas renouveler.

Même si l'agriculture est la plus grosse utilisatrice de produits phytosanitaires, le plan Ecophyto prévoit aussi d'étendre les objectifs de sécurisation des usages et la réduction des emplois aux usages non agricoles car ce sont des situations où les populations sont exposées aux risques.

- *Des indicateurs pour suivre les progrès*

Le plan ministériel a recommandé la mobilisation d'indicateurs à différentes échelles nationale/filière/locale et sur tout le territoire pour suivre et évaluer annuellement les progrès en matière de réduction de produits phytosanitaires. A ce titre, deux indicateurs globaux ont été retenus pour rendre compte des évolutions à l'échelle nationale (NODU et QSA), un indicateur à l'échelle des exploitations agricoles et des systèmes de culture (IFT). Des bilans et notes de suivi du plan indicateur de suivi des résultats du plan vont permettre de situer les progrès.

Le NODU

Le NODU (NOmbre de Doses Unités) est l'indicateur de référence de suivi du plan Ecophyto au niveau national et interannuelle. Il rend compte de l'intensité du recours aux produits phytopharmaceutiques et il permet de suivre les progrès en matière de réduction de l'utilisation des pesticides, tout en s'affranchissant des possibles substitutions de produits par des produits plus efficaces à plus faibles doses. Le NODU est un indicateur «toutes cultures», calculé annuellement à partir des données de ventes transmises par les distributeurs dans le cadre de la déclaration au titre de la redevance pour pollutions diffuses.

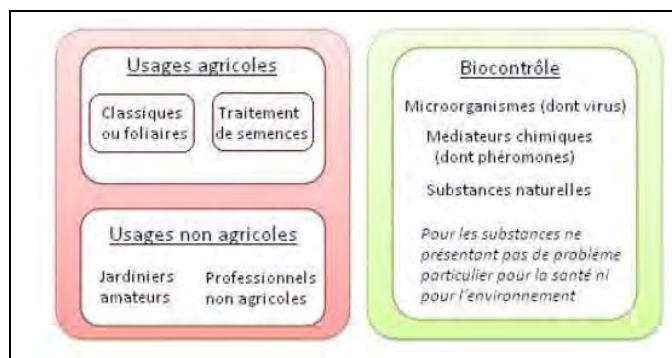
Il repose sur un calcul assez complexe²¹⁴ à partir de la somme des quantités vendues de chaque substance active, pondérées par leur dose unité. La dose unité est une convention de calcul qui détermine une unité commune pour agréger des substances actives très différentes. Elle n'a pas valeur de référence agronomique. La dose unité de chaque substance active est calculée à partir des doses homologuées. Pour une substance active, on détermine tous les couples «culture/substance active». On retient la dose homologuée la plus élevée de la substance active sur l'ensemble des usages et la superficie cultivée en France pour chacune des cultures sur laquelle elle est autorisée. Puis on réalise la moyenne des doses unités pondérée par la part des cultures dans la SAU nationale. Cette dose unité est calculée en fonction des données culturelles 2008, excepté bien sûr pour les substances actives mises sur le marché ultérieurement. Inchangée, elle sert de base pour la suite du suivi NODU. Mais les ventes pour les DOM TOM n'étant pas disponibles en 2008, le NODU de référence est donc métropolitain.

Ainsi, rapporté à la surface agricole utile (SAU), le NODU permet de déterminer le nombre moyen de traitements par hectare, c'est un indicateur de pression.

²¹⁴ Pour plus de détails se reporter à la note explicative du 20/12/12 publiée sur le site du ministère en charge de l'agriculture http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Methode_Le_NODU_cle0c4d14.pdf

Pour évaluer l'évolution des usages des pesticides sur le territoire national et pour tous les usages, plusieurs NODU sont aussi déterminés²¹⁵ : un NODU pour les usages agricoles foliaires (hors traitements de semences et appâts, phéromones, les préparations à base de microorganismes, des produits de la liste « biocontrôle vert »), un NODU pour les usages non agricoles, jardiniers amateurs et professionnels, un NODU pour les traitements de semences et un NODU pour le biocontrôle (cf. figure n°11). Chacun des NODU fait l'objet d'une notice explicative.

Figure n°11 : La segmentation pour déterminer les différents NODU selon les usages



Extrait de http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Methodologie_Le_NODU_cle0c4d14.pdf

Le NODU peut aussi être segmenté :

- par fonction d'utilisation (herbicides, fongicides, insecticides et acaricides, autres produits)
- selon le risque que ces groupes de produits présentent pour l'environnement ou pour la santé humaine [classement toxicologique (T, T+...), profil environnemental (classé N ou non), non problématique].

Cette dernière segmentation permet de voir si les changements dans les usages des pesticides « ne s'accompagne pas d'une dégradation de leurs profils toxicologiques ou de leurs potentiels de contamination des milieux (sols, eaux,..) ».

Il est possible de calculer un NODU à l'échelle de la région, mais l'interprétation doit être éclairée par d'autres indicateurs.

Les QSA

Le NODU est complété par l'indicateur «Quantité de Substances Actives » (QSA) vendue en France (utilisées ou vendues sur un territoire donné). L'indicateur QSA sert à mesurer l'évolution de l'utilisation des produits phytosanitaires. Comme le NODU, c'est un indicateur de pression. Il sert aussi d'indicateur pour évaluer le développement durable au niveau national (Ayong le Kama, 2004). Le calcul s'appuie sur le bilan des ventes transmis par les distributeurs à l'occasion de la déclaration au titre de la redevance pour pollutions diffuses. Les ventes y sont exprimées en quantités de produits.

La base de données nationale de la protection des végétaux permet d'avoir accès aux données concernant la composition des produits (Substances Actives). Ces quantités de produits sont converties en quantités de substances actives, QSA (kg).

²¹⁵ Pour plus de détails se reporter à la note explicative du publiée sur le site du ministère en charge de l'agriculture <http://agriculture.gouv.fr/Notes-methodologiques-Le-NODU>

Les IFT

En complément du suivi global national, une évaluation de l'évolution des pratiques sur le terrain est nécessaire à différentes échelles comme la parcelle, le système de culture, l'exploitation, des groupes d'exploitations et/ou le territoire. L'Indicateur de Fréquence de Traitements²¹⁶ donne des indications sur les pratiques phytosanitaires réellement mises en œuvre par les agriculteurs. Il permet ainsi un suivi territorialisé qui permet à la fois de faire une évaluation mais aussi d'opérer des comparaisons. La notion d'IFT mise au point au Danemark a permis d'évaluer la « pression phytosanitaire » exercée sur chaque parcelle, rendant compte de la dépendance des agriculteurs danois vis à vis de ces produits. En France en se fondant sur les résultats danois, le calcul de l'IFT a été mis au point par l'Inra et le ministère en charge de l'agriculture (Champeaux, 2006). L'IFT est l'équivalent du nombre de doses homologuées pleines appliquées à l'hectare sur une culture au cours d'une campagne : c'est un indicateur de suivi de pression au niveau local basé sur les pratiques agricoles par type de culture. Si la dose n'est pas appliquée sur toute la surface de la culture et/ou si la dose employée est plus faible que la dose homologuée (réduction de dose) alors les quantités de spécialités commerciales utilisées par l'agriculteur sont pondérées par le % de surface traitée et le % de la dose homologuée. Si pour un même couple « culture/produit phytosanitaire », il existe plusieurs doses homologuées correspondant à des bioagresseurs différents, on retient la dose homologuée minimale.

Cet indicateur peut être calculé par grandes catégories de produits²¹⁷ appliqués sur la culture et en interculture : IFT fongicides, IFT insecticides, IFT herbicides, IFT « biocontrôle », IFT « traitements de semences et de plants » ou IFT « autres » [régulateur de croissance et anti-limaces]. C'est un outil voulu pédagogique²¹⁸ car les calculs s'appuient sur les spécialités commerciales. Les données sont très facilement accessibles par l'agriculteur qui souhaite réaliser lui-même les calculs pour se positionner. D'abord exclus, récemment les traitements de semences ont été intégrés dans le calcul de l'IFT et les produits de bio contrôle sont distingués des pesticides de synthèse, mais les produits de traitement des produits récoltés ne sont toujours pas inclus dans le calcul de l'IFT. L'IFT apparaît déjà incontournable sur le terrain. Par ailleurs l'IFT est un indicateur utilisé pour la définition des politiques publiques relatives aux pesticides en France avec par exemple les Mesures AgroEnvironnementales Territorialisées (MAET) visant la réduction de la pression phytosanitaire exercée sur l'environnement.

²¹⁶ En parcourant la littérature, nous avons constaté que le terme indicateur est utilisé sur le site du ministère en charge de l'agriculture dans les notes officielles et par l'INRA et le terme indice est quant-à lui utilisé par des chambres d'agriculture.

²¹⁷ Récemment la prise en compte des produits de biocontrôle permet de faire état de leurs recours relatifs par rapports aux pesticides de synthèse. Les produits de biocontrôle « visent à la protection des plantes par le recours aux mécanismes et interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel ». On trouve des macro-organismes auxiliaires, des micro-organismes, des médiateurs chimiques et substances naturelles. Liste consultable sur http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/liste-produits_NODU_vert_biocontrôle_121001_cle8412a9.pdf

²¹⁸ Chaque exploitant agricole peut se saisir du calcul. Un outil de calcul et un guide d'utilisation sont à leur disposition sur le site Internet du MAAP ainsi que des références de l'IFT régional à l'adresse suivante <http://agriculture.gouv.fr/Calculez-vos-indicateurs,1620>

Des IFT de référence régional (IFT_{réf})

Ils permettent d'évaluer et/ou positionner le recours aux produits phytosanitaires d'un cas d'étude et d'identifier les marges de progrès possibles. Des IFT_{réf} toutes cultures confondues par région et des IFT de référence/culture²¹⁹ par région ont pu être déterminés sur la base des données issues des enquêtes sur les pratiques culturales réalisées 2006 (SSP, service de la statistique agricole officiel). Ils reflètent les pratiques courantes dans la région : IFT_{région} correspond au 70ème percentile de la distribution des IFT/culture de la région (donc 70% des surfaces ont un IFT inférieur ou égal à l'IFT_{réf}). Les IFT de référence/culture par région correspondent aux IFT calculés toutes cultures confondues du système de culture considéré. Ces IFT référence régional sont un indicateur utilisé pour suivre les « progrès » dans le réseau DEPHY et ils aussi valables dans le cadre du suivi des progrès dans le cadre des MAET visant la réduction de la pression phytosanitaire exercée sur l'environnement.

Evaluation de la mise en œuvre du plan

L'évaluation du plan comporte plusieurs volets :

- « un bilan quantitatif (physique et financier) et qualitatif de la mise en œuvre du plan par action ;
- l'identification des facteurs explicatifs des réalisations et des résultats mesurés, et les liens de causalité entre l'action évaluée et les effets observés ».

Le calendrier suivant a été retenu :

- « 2011 : lancement en septembre de l'évaluation thématique des réseaux de surveillance des bio-agresseurs, dont le rapport a été rendu mi-2012
- Fin 2012 : lancement de l'évaluation thématique du réseau de fermes DEPHY Ecophyto de démonstration et d'acquisition de références
- Fin 2013 : lancement de l'évaluation à mi parcours du plan. » p 59 in Rapport annuel 2012 du plan Ecophyto 2018, tome 1 (9 octobre 2012) paru à l'occasion du Comité national d'orientation et de suivi du plan.

Synthèse et mise en perspective

Le NODU et les IFT servent de référence pour suivre et évaluer les progrès en matière de réduction de la dépendance aux pesticides appuyés par les résultats obtenus dans le réseau de fermes DEPHY. L'indicateur QSA n' a été retenu car il ne permet pas de mettre en évidence « ce qui tient aux résultats de l'innovation pour remplacer des produits à fort grammage par des produits à faible grammage de ce qui tient de l'évolution de l'intensité des usages », Paillotin, 2008, p13). Les indicateurs IFT présentent des intérêts par rapport au NODU et à la QSA :

- l'unité employée (nombre de doses homologuées par ha) permet d'agrèger des substances actives très différentes (i.e. possédant des doses efficaces d'application très différentes) ;
- ils prennent en compte les quantités réellement appliquées au cours d'une campagne et permettent donc de tenir compte des traitements à dose réduite ou localisés comme des évolutions des produits commerciaux « premix » (mélanges de substances actives par le fabricant).

NODU et IFT ne renseignent sur les changements d'usage des pesticides en terme de pression mais il n'est pas possible avec les données sur lesquelles les calculs reposent de faire état de l'évolution des impacts. Ils ne tiennent compte ni de certaines caractéristiques spécifiques des

²¹⁹ Les IFT référence/ culture régionaux ne sont seulement disponibles que pour certaines cultures : les grandes cultures et la vigne. Les enquêtes officielles nationales de recensement des pratiques agricoles sont lourdes et coûteuses et ne sont ainsi réalisées que tous les 5 ans. De nouvelles enquêtes ont eu lieu et vont permettre d'actualiser ces IFT mais aussi d'intégrer des fruits et des légumes.

produits phytosanitaires (comme le comportement dans l'environnement, la solubilité, la volatilité, la toxicité pour les organismes non ciblés, l'écotoxicité pour le milieu...), ni de la vulnérabilité propre à chaque milieu (liée à la pédologie ou à l'hydrogéologie). Ils ne constituent donc pas des descripteurs exhaustifs du risque potentiel pour l'environnement et la santé. Cette batterie d'indicateurs a vocation à être progressivement complétée par des indicateurs d'impact, des indicateurs de risque et des indicateurs économiques. Aujourd'hui des travaux sont en cours étudiant la faisabilité du calcul de l'IFT non plus sur les spécialités commerciales mais sur les substances actives (meilleure prise en compte des produits pré mélangés).

Le plan recouvre peu de mesures prescriptives et il sous tend par la forme du pilotage retenu une prise en compte nécessaire des singularités des situations locales : « *construit sur un référentiel de pratiques comme lignes directrices, le plan national est adaptable par les Services Régionaux, en fonction des caractéristiques et pratiques agricoles régionales, des acteurs locaux et du contexte pédo-climatique* » (Zahm, 2011, p. 7). Le recours à d'indicateurs spécifiques comme le NODU et l'IFT, mobilisés pour le pilotage du plan Écophyto révèle à la fois une nouvelle forme de relation entre *l'État et ses services déconcentrés régionaux* -« il s'agit désormais d'arrêter des lignes directrices et il appartient à chacun de les traduire en objectifs opérationnels en fonction de sa situation locale ».) et une nouvelle forme de gouvernance²²⁰ : « *il ne s'impose plus directement aux acteurs du monde agricole au travers de la réglementation* » (*ibid.*, p. 7). Ces indicateurs de pression renseignent sur la dépendance aux pesticides des systèmes français, mais leur condition de mise en œuvre s'apparenterait davantage à un « *instrument vecteur d'un processus de transformation de l'action publique agro-environnementale* processus de transformation de l'action publique agro-environnementale ». *ibid.*, p. 10). L'état initie donc la transformation par les acteurs de la situation eux-mêmes. Cette visée transformatrice a une résonance particulière dans le cadre des sciences de l'éducation : il s'agit de donner aux élèves/étudiants les moyens de s'impliquer, de se saisir des enjeux de leur participation dans les sujets de débats qui les engagent en tant que citoyens et futurs professionnels.

3.4. Les premiers bilans

Nous discutons les débats soulevés par le « si possible », puis nous précisons des éléments de bilan des trois campagnes communiqués par le CNOS après la mise en place du plan (2008-2011). Cette première phase de bilan est complétée par des éléments relevés lors des campagnes 2012 et 2013 communiqués sur le site du ministère en charge de l'agriculture²²¹. Enfin nous proposons une analyse des traits saillants des évaluations *in itinere*²²² de l'axe 5 et de l'axe 2 (action 14). Nous abordons le bilan de l'axe 2 par des éléments extraits du rapport triennal de l'action 16 (2009-2012) relatant l'expérience dans l'enseignement agricole²²³.

²²⁰ La gouvernance correspond à un processus d'actions coordonnées d'acteurs (groupes sociaux et/ou institutions) pour atteindre des objectifs définis et discutés en commun (Le Galès, 2006).

²²¹ Ces documents complets sont consultables à l'adresse : <http://agriculture.gouv.fr/Bilan-du-plan-Ecophyto-le-rapport>.

²²² Ces évaluations *in itinere* ont pour objectif de dresser un premier bilan approfondi avant l'étape du mi-parcours.

²²³ Le bilan est consultable sur le site chlorofil à l'adresse : http://www.chlorofil.fr/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/user_upload/systeme/adt/Appel_Projets/Ecophyto/Bilan_technique_3_ans_ONEMA_2013_v9.pdf&t=1415698456&hash=b614d28eac24392d63092d7ba2a8a6d3c2acbd5a

Les débats soulevés par le « si possible »

La réduction de 50% des usages est un objectif ambitieux, mais interprété différemment. Il apparaît inatteignable, pour les partisans de la solution du tout « pesticides de synthèse ». Pour d'autres engagés dans une forme d'agriculture raisonnée, cet objectif est impossible car la façon de concevoir la gestion des bioagresseurs ne remet pas en cause la dépendance aux pesticides des systèmes de production. Enfin, c'est un objectif difficile à atteindre pour les partisans d'une agriculture plus douce, mais possible à condition de revoir les fondements des systèmes actuels à l'échelle de l'exploitation agricole et à des échelles plus englobantes (système alimentaires, filières et systèmes de commercialisation). Si la dépendance est actée, des moyens sont à construire dans la perspective de la réduire voire la dépasser pour les partisans de l'agriculture biologique et de la transition agroécologique.

L'objectif de réduire de 50% l'utilisation des pesticides est un objectif ambitieux. Il correspond à la généralisation de la production intégrée à l'ensemble de l'agriculture française et à l'extension des surfaces conduites en agriculture biologique (Butault *et al.*, 2010). L'engagement dans la voie de l'agriculture intégrée amène à :

- jouer sur la rusticité des génotypes et la combinaison de cultivars (mélanges variétaux),
- jouer sur l'agencement des espaces productifs et productifs ;
- introduire de nouvelles pratiques comme le recours plus important aux cultures associées, le désherbage mécanique sur le rang, l'emploi de stimulateurs des défenses naturelles (SDN).

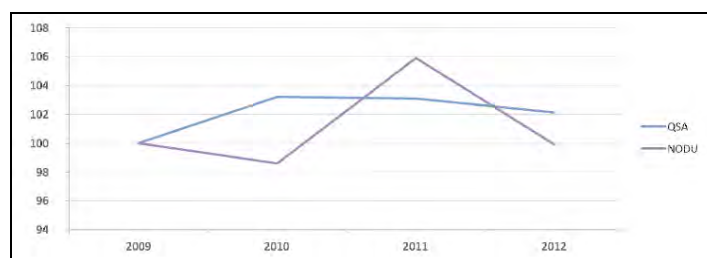
Cette nouvelle configuration impliquerait :- Des changements de pratiques importantes ne se limitant pas à une lutte contre les bio agresseurs mais permettant une régulation de ces agressions ; - Des changements aussi dans les filières pour mieux valoriser certains produits (grandes cultures et horticulture) ou mieux adapter la qualité des produits à des exigences de baisse de rendement (viticulture)

Ces perspectives engendreraient aussi des pertes de production variables et non négligeables selon les filières en production intégrée avec par exemple une baisse 19% de production pour les fruits, des réductions de rendement de 10% en moyenne sur céréales à paille, 15 et 20% en moyenne respectivement sur colza et pomme de terre. Ces baisses de rendement s'accompagneraient d'une nette dégradation de la marge brute pour les pommes de terre et d'une augmentation de la marge pour certaines céréales à paille. L'analyse d'indicateurs complémentaires (consommation énergétique, temps de travail...) vient nuancer ce constat ou au contraire le consolider selon les situations (Butault *et al.*, 2010). *Quelques éléments de bilan pour la période 2008-2012 et des résultats encourageants pour 2013*

Nous prenons appui les bilans du Comité national d'orientation et les notes de suivi annuelles du plan Écophyto pour la période 2008-2011. En terme de bilan, il est nécessaire de rappeler que des indicateurs de suivi du plan repose sur des données qui peuvent abonder 3 ans de suite : des évaluations reposent alors sur des moyennes glissantes interannuelles (pas de 3 ans). Le notes soulignent la probable sous estimation de la déclaration des ventes par les distributeurs alimentant la « base nationales de données des ventes des distributeurs » (BNV-D) en 2008, rendant parfois plus délicates la lecture des résultats annuels ou tendanciels : les chiffres communiqués en 2008 ne correspondent qu' à 76 % de la valeur communiquée par l'UIPP la même année. En quatre ans, 200 000 agriculteurs ont suivi une formation et obtenu leur diplôme Certiphyto. Un réseau de fermes pilotes de démonstration est en place sur tout le territoire. Ce réseau comptait 1 200 exploitations début 2011 et 1900 fermes engagées en 2012 dont 45 exploitations d'enseignement agricole inscrites dans la démarche Ecophyto. Plus de 8 000 bulletins de santé du végétal ont été publiés sur l'ensemble des régions et près de 3400 pour 2012. Le recours aux pesticides en général est resté quasi stable sur la période 2008-2011 et sur la période 2010-2012. Entre 2008 et 2012, les quantités de substances actives vendues ont diminué de 3,2%. Le NODU usages agricoles (hors traitement de

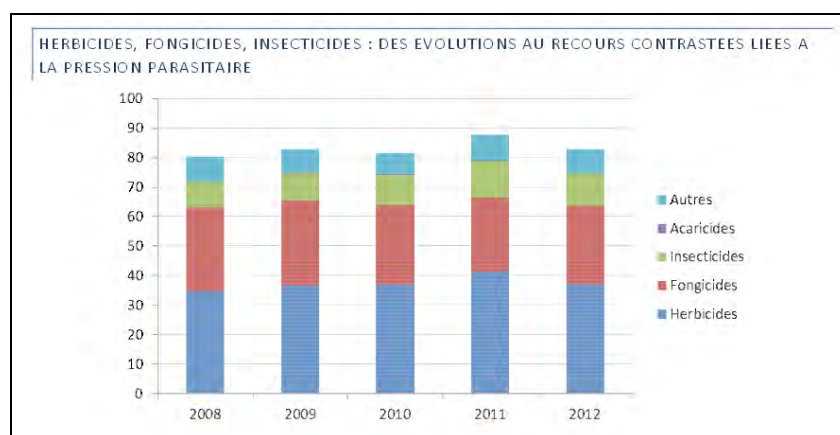
semences et produits de biocontrôle verts), est voisin de 3 en 2011 (figure n°12) et a connu une hausse de 2,7% entre 2009-2010 et 2010-2011. Il a diminué en 2012. Les herbicides représentent la part la plus importante du NODU. On note des variations inter annuelles en fonction de l'année climatiques avec l'année 2011 marquée par un plus fort recours aux pesticides.

Figure n°12 : Evolution comparée du NODU et des QSA en zones agricoles en base 100 (hors traitements de semences et produits de la liste « biocontrôle vert ») – Calcul MAAF, données BNV-D (date d'extraction : 30 juin 2013)



Le recours aux herbicides en particulier au glyphosate (*i.e.* + 14,9% entre 2010 et 2011) n'a pas cessé d'augmenter entre 2008 et 2011. Pour la première fois en 4 ans, la campagne 2011-2012 voit une inflexion dans la tendance pour les herbicides (figure n°13). Le recours aux fongicides est très lié aux conditions climatiques (pression parasitaire plus ou moins forte occasionnant des maladies du feuillage) l'utilisation d'herbicides et d'insecticides (figure n°13).

Figure n°13 : Nombre de doses unités en millions d'hectares en zone agricole, hors traitements de semences et produits de la liste « biocontrôle vert »- Calcul MAAF, données BNV-D (date d'extraction : 30 juin 2013)



Les résultats sont encourageants pour le recours aux techniques de biocontrôle dont le plan a souhaité une généralisation. 22% du nombre de produits commercialisés pour cet usage est dorénavant et déjà constaté pour la période : « preuve que les changements de pratiques sont en marche », estime ainsi le ministère (S.Ay., Agri-Infos).

En zones non agricoles et pour les usages professionnels, les QSA ont diminué (-28%), le NODU semble légèrement régresser (*i.e.* entre 2008 et 2012, l'IFT calculé par la SNCF est passé de 1,13 à 0,68). Le rapport invite à considérer cette tendance avec prudence²²⁴. Les

²²⁴ Le rapport souligne les biais qui persistent dans la segmentation des substances actives entre les usages professionnels agricoles et non agricoles et entre les usages amateurs et professionnels en zone non agricole.

herbicides ont été les produits phytosanitaires les plus utilisés et leur recours n'a pas cessé d'augmenter depuis 2008 en part relative. Toutefois, cette tendance est à tempérer par la mise en place d'actions pour limiter leurs recours avec la gestion différenciée des espaces.

Globalement, l'intégration des usages non agricoles dans l'évaluation de la pression pesticides permet de mieux évaluer les changements à l'échelle nationale et ce au-delà de l'agriculture. Enfin, les évolutions en terme de segmentation toxicologiques et écotoxicologiques des substances actives sont intéressantes. Globalement pour les substances problématiques pour la santé humaine, les résultats sont contrastés. Le recours aux pesticides les plus problématiques pour la santé et pour l'environnement a diminué de 63% entre 2008 et 2012 (substances cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR 1A et CMR 1B)). Le NODU des substances classées CMR 2 a diminué de 37% entre 2008 et 2012.

Si les calculs ne tiennent pas compte des produits dont le retrait obligatoire avait été acté lors du Grenelle, le NODU est resté stable pour les CRM1 et 2, mais au contraire du fait d'un report des usages sur d'autres produits, la part du NODU CMR3 et du NODU des T et T+ (toxique) s'accroît. Le recours aux substances écotoxiques est stable depuis 2008 et représente 59% substances utilisées. Pour la première année en 2012, un NODU traitement de semences a été calculé.

Le ministère a demandé de concentrer les efforts du plan en 2012 sur :

- le suivi des effets non intentionnels des pesticides afin de rendre compte de l'évolution des résistances et de la biodiversité entre autres. 500 parcelles ont été retenues pour un suivi pluriannuel ;

- la diffusion des références sur les systèmes et les pratiques économes en pesticides. Les efforts conjoints de la recherche, du développement et de l'enseignement ont permis le développement d'outils facilitant le recours à la protection intégrée et à la mise en œuvre de systèmes de production alternatifs. Le projet de portail EcophytoPIC doit permettre de mettre à disposition des professionnels au sein d'une plate-forme des ressources-références pour la protection intégrée des cultures (5 plate-formes dédiées « grandes cultures », « arboriculture », « cultures légumières », « viticulture », « horticulture plantes à parfum et aromatiques ». Le guide « STEPHY » issu des travaux du système de culture innovants a été largement mis à disposition du développement et de l'enseignement agricole. C'est un guide de co conception de systèmes économes en pesticides en polyculture et viticulture réalisé par un groupe d'experts. 40 systèmes parmi les 183 que comptent le réseau DEPHY ont été identifiés comme points d'appui et 50 de plus en cours d'expertise pour être mutualisés en 2013. Des projets de recherche sur « pesticides et santé » et « pesticides et environnement » ont reçu des financements.

Sur le terrain, 75% des fermes pilotes du réseau DEPHY présentent un IFT inférieur à la référence régionale. Par ailleurs, 30% des systèmes de culture en grandes cultures ou polyculture-élevage présentent déjà un IFT inférieur de moitié à la référence. L'enseignement agricole s'est largement impliqué avec près de 42 établissements impliqués qui révèlent à la fois des pratiques efficaces sur l'économie des produits phytosanitaires (des IFT en moyenne sur blé inférieurs à la courbe des IFT moyens de leur zone agricole et une valorisation pédagogique avancée dans les filières BTS).

En 2012, l'évaluation *in itinere* du plan porte sur les résultats du réseau d'épidémiosurveillance. De nouveaux indicateurs de risque et d'impact sur l'eau, l'air, le sol, la biodiversité, l'alimentation et la santé des utilisateurs sont en cours d'expérimentation²²⁵.

²²⁵ Différents compartiments ont été identifiés eau, air, sol, biodiversité, alimentation et santé des utilisateurs et pour chacun des indicateurs spécifiques de risques (risques prévus) et d'impacts (risques observés). Par exemple pour l'eau, il s'agit de l'indice d'évolution de la présence des phytosanitaires et de leurs résidus dans les cours d'eau, pour l'alimentation, c'est l'AJE (apport journalier estimé), indicateur d'exposition alimentaire chronique. L'AJE est calculé pour la population générale métropolitaine en croisant des données de consommation

Pour la première année en 2013, des résultats nettement encourageants ont été relevés puisque l'indicateur d'utilisation des produits phytosanitaires (NODU) enregistre une diminution de 5,7% entre 2011 et 2012 - et jusqu'à moins 11% pour les insecticides et herbicides. Le ministre a salué par ailleurs le déploiement de plus d'une centaine d'initiatives Ecophyto concrètes dont l'ensemble des agriculteurs peuvent aujourd'hui bénéficier : 3 400 bulletins de santé végétale en 2013, 300 000 professionnels détenteurs du Certiphyto, les cinq plateformes spécifiques par filière pour la promotion de la lutte intégrée en ligne sur EcophytoPIC font l'objets d'environ 5000 visites/mois, plus de 200 journées portes ouvertes dans les 1900 fermes du réseau DEPHY,... Il apparaît d'après les enquêtes, un recours croissant aux alternatives aux pesticides dans les pratiques agricoles (lutte intégrée, bio-contrôle, enherbement, désherbage mécanique, filets anti-insectes,...). 90 systèmes de culture économes et performants (SCEP) en un an par le réseau des fermes DEPHY ont vu le jour. Les implications des lycées agricoles qui ont mis en œuvre des projets novateurs et particulièrement performants sont remarquées et soulignées par le Ministre en charge de l'agriculture montrant ainsi le creuset d'innovations qu'ils représentent et qui sont de formidables leviers pour traiter la question de la réduction de l'usage des pesticides concrètement sur le plan didactique.

Quelques éléments sur les résultats de l'évaluation in itinere de l'axe 5 « épidémiosurveillance » et axe 2 « réseau de fermes DEPHY »

Ces évaluations²²⁶ ne permettent pas de faire une analyse poussée des premiers résultats obtenus, mais elles révèlent la progression vers les objectifs du plan Ecophyto et donnent des points d'appui pour discuter « *la cohérence interne entre les moyens et les objectifs, la cohérence externe avec l'ensemble d'Ecophyto et avec le contexte, et le rapport entre les moyens engagés et les résultats observés ou efficients* » (Tercia consultants, 2014, p. Vii).

- *Un premier bilan mitigé pour le nouveau réseau d'épidémiosurveillance (axe 5 du plan)*

L'organisation de la surveillance biologique sur le territoire (SBT) a permis d'assurer une transition opérationnelle avec le système antérieur qui était sous la responsabilité des services de la protection des végétaux dans lequel les agriculteurs jouaient un rôle important dans les collectes de données. La nouvelle forme de surveillance du territoire repose aujourd'hui sur d'autres acteurs professionnels. Les bulletins de santé du végétal (BSV) permettent de rendre compte de l'état de santé des cultures. Ils représentent une base d'information sur les risques sanitaires qui est indépendante du conseil pour la lutte chimique. La notoriété des BSV a été rapidement acquise car « (...) 80 % des agriculteurs connaissent le BSV, 72 % s'appuient dessus pour une décision ; 99 % des conseillers consultent le BSV, 61 % le citent dans leurs bulletins techniques (...) » (Blanchet, 2012, p. 12).

Une des faiblesses de ce réseau d'épidémiosurveillance est de ne pas avoir assez consacré d'efforts à la prévention des risques que représentent les adventices (les herbicides représentent 40% de produits phytosanitaires utilisés en France) amenant ce constat : « *Une*

alimentaire de l'étude Inca2 (2006-2007) et des résultats des plans de surveillance des résidus de pesticides dans les aliments, eau de boisson comprise. L'AJE global prend en compte toutes les substances présentes dans les aliments consommés. L'exposition via l'alimentation (AJE global) s'expliquent par la présence de résidus de produits phytosanitaires autorisés pour les traitements post-récolte des céréales et pommes de terre. Cependant, pour ces substances, les niveaux d'exposition estimés (valeur par substance) ne dépassent pas la DJA.

²²⁶ Ces évaluations ont été confiées à des bureaux d'étude indépendants par les pilotes du plan par souci d'indépendance du contenu des livrables.

priorisation d'Ecophyto insuffisante sur les mauvaises herbes et les méthodes alternatives » *ibid.*, p 10). En effet, les BSV semblent avoir oublié le problème de gestion des adventices : « *les principaux phytos utilisés (plus de 40 % du NODU) et sources de l'essentiel de la pollution de l'eau : les herbicides et les mauvaises herbes, totalement absents de la SBT* » *ibid.*, p .10. Cette faiblesse est d'autant plus préjudiciable que la prévention pour la mise en œuvre de techniques alternatives dans le cas des adventices est très importante pour contrôler les populations : « *les méthodes alternatives aux phytos qui nécessitent souvent un suivi et une information plus préventive que les traitements phytos habituels* » *ibid.*, p. 10. Ainsi sur le terrain ces informations lacunaires pour la gestion des adventices pourraient renforcer le maintien de stratégies qui reposent sur les acquis stabilisés d'une gestion préventive et curative par et avec des herbicides.

- *Un premier bilan réalisé en 2013 pour l'axe 2 « réseau de ferme DEPHY »*

Il est utile de rappeler que l'action 14 est un dispositif préconisé à la fois par l'Esco pesticides (Aubertot *et al.*, 2005a et 2005b) et par l'étude Ecophyto R et D (Inra & Cemagref, 2009) mais il n'est pas directement lié à la mise en place de la directive européenne n° 2009/128/CE du 21/10/09 qui pose les bases d'une utilisation durable des pesticides. DEPHY comportant plusieurs volets (FERME, EXPE, AGROSYST, DECI), l'évaluation n'a été conduite que sur les seuls réseaux opérationnels FERME et EXPE au début de l'année 2013.

FERME et EXPE constitue deux vastes réseaux de fermes pour le premier et de parcelles d'expérimentation pour le second visant à représenter la diversité des situations de production en France. Ils ont l'ambition de montrer chemin faisant les points d'appui pour réduire la dépendance des pesticides dans l'agriculture. L'évaluation de l'axe 2 *in itinere* intervient 3 ans après le début officiel de la mise en place du réseau DEPHY. La précocité de ce livrable a amené le comité de pilotage de l'évaluation à être prudent dans l'interprétation des conclusions invitant à s'attacher dans l'évaluation « *sur le processus engagé par la mise en œuvre de l'action 14, sur les dynamiques d'engagement des acteurs et des actions autant, si ce n'est plus, que sur les résultats* » (Dreyfus, 2014, p. 4). Conduite par un cabinet de consultants indépendants (Tierca Consultants), l'évaluation a donné lieu à trois documents d'évaluation *in itinere* du réseau DEPHY²²⁷ : le rapport d'évaluation, la synthèse du rapport d'évaluation, la synthèse CGAAER²²⁸ (Dreyfus, 2014). L'évaluation souligne (i) *l'importance de cette action, emblématique du plan Ecophyto*. Elle révèle (ii) *une dynamique fragile avec de premiers résultats encourageants montrant une progression vers des objectifs et résultats plus nuancés sur d'autres aspects*. (iii) *Mais l'évaluation montre aussi « la nécessité d'une évolution importante dans la façon dont DEPHY est mis en œuvre »*. Cinq recommandations ont été formulées pour gagner en efficacité.

(i) L'action 14 est une action emblématique du plan Ecophyto.

Plusieurs éléments expliquent l'importance de cette action :

- le nombre de partenaires impliqués est considérable avec 1900 agriculteurs en 2013 et près de 200 ingénieurs pour le suivi en région
- une allocation de 59% de l'enveloppe de l'Onema pour le réseau DEPHY mobilise l'attention des politiques, de l'administration et du monde professionnel
- mais c'est aussi au titre de la nature de l'engagement des agriculteurs. Ces derniers engagent leur outil de production et prennent en charge la démonstration de la mise en œuvre des alternatives aux pesticides et doivent réussir pour pérenniser de leur activité économique.

²²⁷ Tous ces documents sont consultables en ligne à l'adresse : <http://agriculture.gouv.fr/Evaluation-in-itinere-du-reseau> consulté le 02 novembre 2014

²²⁸ CGAAER : Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux

(ii) Mais la dynamique enclenchée émaillée de résultats encourageants reste fragile

L'évaluation des trois années des projets doit au moins parvenir à terme pertinent pour en tirer des éléments concrets. Par exemple, il faut attendre qu'une nouvelle rotation ait été complètement mise en œuvre pour traiter ses résultats. Il apparaît nécessaire d'asseoir l'action dans le temps en raison des délais de réponse nécessaires des solutions alternatives mises en œuvre sur le terrain. Dans le réseau ferme, les agriculteurs soulignent l'efficacité de la forme d'accompagnement déployée : les configurations et le cadre du travail (appui individuel associé à un appui en groupe restreint assuré par un ingénieur dédié pour l'animation et le suivi) permettent d'aborder des thématiques variées voire émergentes à différentes échelles en lien avec les projets de chacun (c'est la perspective de construire et apprendre chemin faisant qui est mise en avant). Ainsi, pour les objectifs visant l'accélération des échanges de connaissances à partir des groupes et ceux traitant de l'accompagnement des agriculteurs expérimentateurs, la dynamique interne aux groupes « fermes » et les interactions entre les membres des groupes et les ingénieurs en charge de l'accompagnement expliquent ces bons résultats : les parties prenantes en ont tiré bénéfice, et le système a été à son tour irrigué. Mais les trois années laissées pour engager des collectifs dans le test de scénarios se sont traduites par des dynamiques variables amenant à proposer une poursuite du travail soit dans la forme actuelle pour ceux qui sont parvenus à construire un collectif efficace, soit sous une forme autonome pour les autres.

L'accompagnement n'a pas retenu le référentiel des « bonnes pratiques pour la protection intégrée » proposé dans la directive européenne (2009/128/CE du 21/10/2009). Le choix de l'entrée système de culture²²⁹ pour conduire l'accompagnement, pour collecter, organiser et analyser les données vise à satisfaire l'objectif d'une mutualisation des données : le principe d'une mise en forme harmonisée des données favoriserait l'atteinte de l'objectif. Selon les experts de l'étude Ecophyto R&D (Inra & Cemagref, 2009), l'échelle « *système de culture est adapté* » et fondamentale pour envisager des niveaux de rupture dans les usages des pesticides comme souhaités dans le plan Ecophyto. Dans les groupes ferme, le concept de système de culture a été mobilisé dans le travail d'analyse des pratiques, mais il n'est pas apparu approprié pour une majorité des agriculteurs qui ne le maîtrisent pas, même si les céréaliers se sont montrés plus à l'aise : « *L'appropriation du concept de système de culture n'est effective que parmi les céréaliers* » (Dreyfus, 2014 p. 8). Le concept de « leviers » est à la fois proposé pour satisfaire des exigences pour le fonctionnement du système de recueil de données (AGROSYST) et pour que les agriculteurs s'en emparent. Or là encore cet outillage conceptuel n'est pas familier pour les agriculteurs.

Les premières analyses des IFT par grands secteurs de production révèlent une variabilité interannuelle de cet indicateur et une hétérogénéité dans la progression des IFT dans la filière « grandes cultures » entre autre. Les moyens mis en œuvre pour limiter le recours aux pesticides reposent soit sur une bonne pratique soit sur une combinaison. La rotation est le moyen le plus cité. Le désherbage mécanique, la protection intégrée ou la gestion de l'enherbement sont en deuxième position. Les variétés sont nettement moins citées.

Certains leviers du changement évoqués par les agriculteurs ne rentrent pas dans la typologie retenue *a priori* par le réseau DEPHY (cf. figure n°14).

²²⁹ C'est l'option portée par le Réseau Mixte Technologique systèmes de culture innovants (RMT SdCI) qui a piloté et mis en œuvre la phase de test du réseau DEPHY. Ce réseau initié en 2007 est impliqué dans « *la mise au point de systèmes de culture innovants répondant aux enjeux du développement durable, dans les exploitations avec cultures assolées ou en polyculture-élevage. Il a pour objectifs de : 1- mettre en place un réseau de compétences, 2- proposer des démarches opérationnelles pour la conception et l'évaluation des systèmes innovants, 3- organiser un réseau d'expérimentations multilocal et pluriannuel pour tester les plus prometteurs* » page d'accueil du site du RMT <http://www.systemesdecultureinnovants.org/moodle/course/view.php?id=2> consulté le 15 janvier 2012

Figure n°14 : Les leviers techniques et non techniques mobilisés par l'angle d'entrée du système de culture dans DEPHY (Tierca Consultants, 2013, p. 18)

Leviers de l'approche « systèmes de culture » de DEPHY	Leviers techniques	Leviers non techniques
Leviers inclus	<ul style="list-style-type: none"> . Les leviers de réduction de l'usage des phytosanitaires (1) . Recherche de la performance technique . Adaptation de la stratégie à la demande du marché 	<ul style="list-style-type: none"> . Développement d'une stratégie individuelle de l'exploitant agricole . Evaluation multicritère des performances
Leviers actuellement exclus	<ul style="list-style-type: none"> . Optimisation du temps de travail et du matériel . Gestion des risques . Stratégie de l'amont et de l'aval : aspects techniques 	<ul style="list-style-type: none"> . Stratégie de l'amont et de l'aval : aspects économiques

En effet la typologie (en vert) est très liée à l'échelle du système de culture. Les agriculteurs pour réduire l'usage de produits phytosanitaires ont mobilisé une large gamme de voies possibles aussi bien sur le plan tactique (comme l'ajustement d'un traitement) que sur le plan stratégique où il est question par exemple de discuter la cohérence du système d'exploitation dans le changement et/ou son intégration dans les filières. L'élargissement des critères pour analyser le changement de pratiques (en orange) est donc à considérer aussi bien en des termes techniques et non techniques, à l'échelle du système de culture, de l'itinéraire technique cultural, mais aussi à l'échelle du système d'exploitation et des filières. Pour les agriculteurs, la dimension « stratégique des filières de l'amont et de l'aval » sont à considérer. C'est le signe que ces agriculteurs engagés dans une dynamique de transition ne se placent plus seulement en situation de satisfaction des attentes de l'amont et de l'aval, maintenus dans un état de dépendance, mais ils se positionnent aussi pro activement avec la perspective d'être de véritables vecteurs du changement. La prise en compte d'un besoin de sécurisation des actions de démonstrations conduites par les agriculteurs exprimés en termes de prise en charge des risques est un levier du changement actuellement exclu, levier qui attire particulièrement notre attention : « *La demande porte à la fois sur des outils d'accompagnement et des références prenant en compte ce risque, et sur un possible mécanisme financier pour accompagner la prise de risque* » (Tierca Consultants, 2014, p Xii). Les risques perçus font partie intégrante des processus de prise de décision, qui de plus est engage la pérennité de leur outil de travail.

L'évaluation met en lumière l'importance de la notion d'IFT qu'il est souhaitable de maintenir car il est bien accepté par la profession. Il sert de référence pour les échanges entre agriculteurs pairs (un même groupe ou des groupes ferme différents) et il permet de discuter des résultats produits par la recherche et le développement agricole. Toutefois, les agriculteurs n'ont pas souhaité s'investir dans la conduite d'évaluations multicritères aussi exhaustives, jugées trop lourdes, que ce qui avait été mis en place dans la phase de test du réseau²³⁰. Les

²³⁰ Le réseau s'est mis en place progressivement. En particulier, le volet FERME a d'abord été l'objet d'une phase-test qui a démarré dans la foulée de la publication de l'étude Ecophyto R&D, de fin 2009 à 2012. Il s'agissait de construire et de tester et de valider tant la démarche d'accompagnement des agriculteurs par des ingénieurs que les outils d'aide à la conception et à l'évaluation des systèmes de cultures économes. La chambre régionale de Bourgogne a coordonné l'accompagnement et le RMT SdCI y a largement participé. A partir de 2010 et avant la fin de la phase-test, de nouvelles vagues de conventions annuelles avec des agriculteurs ont été signées : « *en 2009, un premier réseau de 180 exploitations agricoles a vu le jour. En 2011, le réseau s'est étendu et comprenait 1 200 fermes. Aujourd'hui et depuis 2012, le projet concerne 1 900 exploitations* » Extrait du site <http://agriculture.gouv.fr/Quoi-de-neuf-dans-les-fermes-DEPHY> 2014 consulté le 18 novembre 14

groupes souhaitent évoluer vers une simplification de critères de l'évaluation pour se recentrer sur la marge brute et l'IFT et de mobiliser des éléments en terme de performance globale en complément.

(iii) Le pilotage du déploiement global de l'action 14 doit être revu

Le pilotage de l'action 14 à l'échelon national pose des problèmes aussi bien en termes de définition des orientations et d'animation. L'action 14 est une des actions du plan Ecophyto. Elle est pilotée au niveau national alors que le plan Ecophyto l'est au niveau régional : cette configuration souligne la nécessité d'une réelle politique de mise en cohérence aux deux échelles et pour tous les projets du plan. Il y a un décalage entre les attentes des pilotes du plan qui souhaitent des *résultats visibles à court terme* et les attentes des acteurs nationaux de DEPHY pour qui l'évolution des systèmes de culture est un enjeu sur le moyen et le long terme. Le nombre important d'instances brouille les messages et peu de décisions sont effectivement prises : « *Les fonctions respectives de l'Etat, pilote de l'axe 2 et de DEPHY, et du comité de pilotage DEPHY sont insuffisamment définies. Le comité de pilotage DEPHY occupe l'espace de la gestion opérationnelle sans laisser aux services de l'Etat celui du pilotage stratégique, et le chef de projet de la CAN (cellule d'animation nationale) assumait mi-2013 principalement une simple fonction de mise en œuvre* » Tercia Consultants, 2013, p. Viii).

Ces différents échelons génèrent un manque de fluidité entre les différents volets de DEPHY : le réseau Ferme et le réseau EXPE ont bien fonctionné, le volet Agrosyst est en cours et Deci n'a pas été mis en œuvre.

Le pilotage de l'action 14 est apparu défaillant à la fois dans la définition d'orientations et dans sa fonction d'animation. Le manque de clarté dans la définition des orientations nationales de DEPHY :

- a favorisé l'engagement dans la seule action qui est apparue clairement définie en raison du cadrage nécessaire subordonnant les financements. Il s'agit de l'action qui vise l'acquisition des données,

- a généré des doutes quant-au devenir des groupes, en particulier en terme d'implication des ingénieurs, une fois leur convention de 3 ans d'engagement échue.

- a laissé en suspens la question de la définition de ce que recouvrait « la mise en réseau », une des ambitions de l'action 14 et avec elle celles du partage des données au-delà du groupe ferme et de leur diffusion tant sous la forme que sur le fond.: « *une mutualisation « physique » des données via un système d'information national, et une mise en réseau des participants à DEPHY au service de l'ambition de réduction de l'usage des pesticides. L'équilibre souhaitable entre ces dimensions n'a à ce jour pas été clarifié.* » (Tierca Consultants, 2014, p. 12). Ceci s'est traduit par :

- * la non reconnaissance de l'objectif de partage des données à échelon national pour 1/3 des participants (Tierca Consultants, 2013b) (seule la dimension ferme avait du sens pour des groupes).

- *un retard dans la mutualisation des données issues des exploitations et un retard dans le projet de communication à la France entière des cas d'exploitations ou de systèmes de culture qui sont parvenus à mettre en œuvre des systèmes économes en pesticides tout en conciliant les performances environnementales, économiques et sociales.

Cinq recommandations pour faire progresser le système dans l'atteinte des objectifs :

« 1. *Groupes et réseau DEPHY : une dynamique dont le développement est à poursuivre.*

2. *Une mobilisation des données des exploitations articulée avec les stratégies des partenaires nationaux.*

3. *Des acquis de DEPHY sur les systèmes économes en produits phytosanitaires à diffuser largement dès à présent.*

4. *Des rôles de l'échelle nationale et de l'échelle régionale clarifiés, pour une gestion stratégique de DEPHY.*

5. *Un système de suivi dédié à DEPHY, incluant l'indicateur IFT sans s'y limiter* » (Tierca Consultants, 2013, p. XVI)

La dynamique enclenchée doit être encouragée en respectant les synergies construites, mais elle doit être assortie d'une formalisation de l'engagement de chacun par seulement celle des ingénieurs et d'une prise en compte des risques économiques pour les agriculteurs. L'entrée restreinte aux pratiques de réduction des produits phytosanitaires doit être dépassée pour inscrire les exploitations dans une démarche globale de réduction des intrants.

La deuxième recommandation soulève une question de fond en lien avec les problématiques du statut et de la valorisation des données collectées en grand nombre, dans le sens où elles peuvent générer de la valeur (Big data). Quelle serait alors le retour fait aux agriculteurs émetteurs de ces données ?

Le rapport souligne la nécessité de donner à voir les références produites sur les systèmes économes en pesticides pour outiller les acteurs du terrain qu'ils soient agriculteur, agents de développement ou de la société civile, ceci sous une forme allégée : « en limitant le recours au concept de système de culture, et par la définition de messages clés concernant l'exploitation dans son ensemble ». Les établissements de formation agricole sont aussi envisagés comme « *un canal horizontal de diffusion à mobiliser* » (Dreyfus, 2014, p. 23). Il est nécessaire de diffuser « des acquis agronomiques de DEPHY » (Dreyfus, 2014, p. 13).

L'amélioration de la coordination du plan soit se construire sur la base d'une clarification des contributions et des articulations aux échelons nationaux et régionaux entre le plan Ecophyto et DEPHY. Il est en particulier souligné la nécessité de généraliser l'ouverture des groupes pilotage aux parties prenantes non agricoles exclues encore dans certaines régions comme les acteurs économiques, les représentants des consommateurs, les représentants des collectivités territoriales entre autres.

Les avancées dans DEPHY devront être évaluées à partir de la définition d'un ensemble restreint d'indicateurs incluant l'IFT.

3.5. Une nouvelle mise en perspective du plan Ecophyto dans le projet agroécologique (2014)

Le projet agro écologique pour la France présenté en 2012 et La loi d'Avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt en 2014 proposent d'engager l'agriculture française dans la transition agro écologique à l'horizon 2025. Comment le Ministre en charge de l'agriculture trace t-il les contours de ce que peut recouvrir cette transition agroécologique ? Nous reviendrons plus en détail sur ce que sous tend la notion d'agroécologie, nous nous intéressons ici aux intentions, aux objectifs de cette transition et aux moyens suggérés. Quatre thèmes sont au cœur du projet de transition : « produire autrement », « développer autrement » « rechercher autrement » et « enseigner à produire autrement » (2014). Ce projet vise à favoriser et encourager l'émergence de modes de production performants à la fois sur les plans économique, environnemental et social. Cette perspective sous tend une approche renouvelée de la complexité à des échelles locales et plus globales à articuler, sans imposer un modèle unique de développement, « *de normes ou de recettes* » : l'exploitation agricole dans toutes ses dimensions, les dynamiques des filières et des territoires doivent être considérées globalement et de manière articulée. Ce sont à la fois les façons de produire mais aussi de penser, d'accompagner les agriculteurs et de former et par conséquent de concevoir les enseignements-apprentissages dans la formation initiale des futurs agriculteurs qu'il convient de renouveler. Le projet de transition agro écologique a pris la forme d'un plan d'action fondé sur une gouvernance élargie intégrant à la fois des parties prenantes traditionnelles sur les

questions traitant de l'agriculture comme des agents du ministère en charge de l'agriculture, syndicats agricoles, organismes de recherche, réseaux de développement agricoles, mais aussi ouverte aux organisations non gouvernementales(ONG) de protection de l'environnement, aux réseaux d'entreprises agroalimentaires, entre autres. Le plan est présenté comme « ambitieux » sur le site officiel du ministère de l'agriculture : « *1 objectif : faire de l'agro-écologie une force pour la France, 1 approche globale avec 3 axes : connaître et capitaliser, diffuser et former, inciter, 6 premiers programmes d'actions, 1 agenda* ²³¹ ». Six programmes d'action structurent le plan d'action global agro écologique pour la France. Réduire l'usage des pesticides de synthèse dans l'agriculture y contribue. Les premières expériences révélées dans DEPHY montrent la pluralité des voies et des moyens, mais elles révèlent qu'il est possible de réduire la dépendance des systèmes aux produits phytosanitaires en conciliant la triple performance (économique, environnemental, social). Le plan Ecophyto est toujours d'actualité, il est même présenté par le ministre en charge de l'agriculture comme « *au cœur du projet agro-écologique que Stéphane LE FOLL porte pour la France pour qu'elle devienne leader dans ce domaine* ²³² ». Il fait partie des six premiers programmes d'action. Le plan y est présenté comme « renforcé et rénové » structuré en 5 volets. Il vise toujours à généraliser dans l'immédiat les meilleures pratiques agricoles économes en pesticides et à construire de nouveaux systèmes de production viables permettant d'aller plus loin dans la réduction. Pour cela, il s'agit de « *favoriser une mobilisation et une responsabilisation accrue des acteurs de l'amont et de l'aval* » pour définir des objectifs plus précis, par filière et par territoire (axe1). Cet aspect amène à mettre en cohérence des différents enjeux et différentes stratégies pour traiter la question. Pour atteindre les objectifs et en définir les voies et les moyens à la fois de manière globale, il convient de s'appuyer sur les différents systèmes emboîtés et de manière contextualisée en tenant compte des appuis et des contraintes du contexte (volet 1). Les parties prenantes des filières dans les territoires sont acteurs et définiront ensemble les marges de progrès construiront le contexte pour y parvenir. C'est une des raisons qui explique que Ecophyto 2018 ait perdu son « 2018 » : l'échéance n'est plus une date butoir pour l'attente du résultat chiffré (réduire de 50% l'usage des pesticides des synthèses). Le nouveau plan Ecophyto préconise de renforcer le recours aux alternatives (lutte biologique, bio-contrôle) pour cela il propose de « *soutenir le développement et l'adoption de la lutte biologique et du biocontrôle (soutien aux PME productrices, initiation à ces techniques, ...)* » pour l'axe 2. Jusqu'à présent, comme nous l'avons précisé, le plan Ecophyto n'a pas de mesures prescriptive obligatoire concernant la mise en œuvre concrète d'alternatives aux pesticides, il y a obligation de certification (Certiphyto pour les agriculteurs), du contrôle des appareils de traitement. Le volet 3 « *Étudier la mise en place d'une fiscalité incitative afin de faire évoluer la redevance sur les produits phytosanitaires et de l'affecter aux démarches vertueuses* » vise à développer des mécanismes assortis de soutiens financiers pour les systèmes s'engageant dans la réduction et des formes de pénalisations financières incitant à limiter le recours effectif aux produits phytosanitaires. Le Danemark avait instrumenté une politique pour contraindre plus rapidement à limiter la dépendance aux pesticides : le principe d'une taxation croissante des produits phytosanitaires se traduisant par une hausse du prix d'achat pour les agriculteurs (*i.e.* 3% en 1986, en 1996 de 13% pour les herbicides et les fongicides, 27% pour les insecticides et en 1999 respectivement 33% et 54% (Aubertot *et al.*, 2005a). Le conseil en agricole est un appui essentiel sur le terrain pour accompagner et favoriser les dynamiques en faveur de la transition agro écologique comme le souligne l'évaluation *in itinere* de l'axe 2. Un des freins à l'émergence d'alternatives réside dans le fait que les intérêts commerciaux dévoyaient le conseil agronomique en privilégiant des préconisations très liées au recours aux pesticides (Inra &

²³¹ <http://agriculture.gouv.fr/Projet-agro-ecologique-pour-la> consulté le 08 octobre 2014

²³² <http://agriculture.gouv.fr/Ecophyto-resultats-2013> consulté le 29 juillet 2014

Cemagref, 2005). L'accompagnement est considéré comme un vecteur d'innovations à la fois technique, sociales et organisationnelles. Le conseil agricole participe à cet accompagnement. Le volet 4 propose de « Mieux appréhender les ressorts du conseil agricole et ses évolutions, vers une plus grande professionnalisation et une indépendance du conseil ». En effet, dans le contexte de transition agro écologique, le conseiller ne peut plus circonscrire le cadre de son action auprès d'un agriculteur ou un groupe à la seule mise à disposition de son expertise, il devient un des animateur de la co construction des scénarios avec les parties prenantes : cela « (...) conduit à être plus facilitateur que conseiller, plus créateur d'interface entre chercheur et agriculteur que conseiller, plus catalyseur d'interactions que pédagogue » (Mischler, Hocdé, Triomphe et Omon, 2008, p 84). Ainsi les questions que pose la résolution des problèmes s'inscrivent dans un contexte de renouvellement de la production des savoirs, des pratiques socio professionnelles..

Enfin, la sécurité des utilisateurs et des consommateurs en bout de chaîne, la protection de l'environnement biophysique reste une priorité d'action avec le volet « *Renforcer le contrôle par la Brigade nationale Enquête vétérinaire et phytosanitaires sur les pratiques Produits phytosanitaires* ».

En conclusion, le projet agroécologique et le plan Ecophyto soulignent la nécessité de cerner les obstacles à lever aussi bien en terme d'innovation qu'en termes de mise en œuvre de systèmes économes. La formation des utilisateurs des pesticides est un levier pour les changements recommandés : les agriculteurs sont en première ligne et leur formation est à repenser dans cette perspective. L'enseignement agricole est appelé à poursuivre son rôle d'appui dans les mutations de l'agriculture à vivre voire de jouer un rôle d'avant-garde pour initier les formes de changement.

4. Synthèse

L'utilisation des pesticides de synthèse s'est construite dans la durée. Après la seconde guerre mondiale, leur emploi pour protéger les cultures a été promu et a été considéré comme un gage de modernisation de l'agriculture. Le plan Ecophyto 2018 impose une rupture dans la façon de gérer la protection des cultures. La lutte chimique n'est plus la référence et dans le même temps, la notion de modèle de référence, porteur de solutions universelles à opérationnaliser dans les différents systèmes agricoles disparaît. Les savoirs validés par les groupes d'acteurs ne sont plus uniquement basés sur les seuls transferts de technologies produites par la recherche et le développement à partir d'expérimentations en conditions contrôlées. Comme l'indique Chevassus-au-Louis *in* Deguine (2008), nous sommes face à un changement de paradigme dans les stratégies de protection de culture et dans la conception de systèmes de culture économes. Il s'agit d'un « (...) *passage progressif d'une croyance en l'arrivée d'une solution définitive et universelle - incarnée successivement par les pesticides de synthèse, la lutte biologique ou les OGM- à une approche « cousue main », combinant des approches toutes imparfaites dans un contexte local particulier.* » p. 9. Les agriculteurs seront susceptibles de favoriser la résilience des agro-écosystèmes et faire émerger une forme de produire autrement. Il est aussi question de considérer des contraintes et des leviers dans une perspective large dépassant le cadre strict de l'exploitation. Le cadre réglementaire régissant l'homologation et la vente des produits phytosanitaires, ne permet pas de dissiper les risques et les incertitudes liés à leur utilisation et la meilleure des préventions est de limiter leurs utilisations. Les premiers résultats du plan Ecophyto sont mitigés. L'amélioration des connaissances sur le fonctionnement des systèmes économes en pesticides peut permettre de favoriser les alternatives. La formation et l'encadrement des agriculteurs sont de réels leviers de changement. Les résultats issus de l'action 14 en témoignent.

Nous présentons dans le prochain chapitre un état de la problématique agronomique liée à la réduction de l'usage des pesticides dans les systèmes de production grandes cultures.

Chapitre 2

La problématique agronomique de la réduction de l'usage des pesticides dans les systèmes de production grandes cultures».

« Toute construction de connaissances est une opération risquée car elle implique qu'on choisisse les éléments dont on va tenir compte. N'en déplaise à ceux et celles qui voudraient voir dans la production de connaissances un processus neutre, impersonnel, guidé par une procédure tout à fait stable et purement logique » (Fourez, 2009, p. 83).

Réduire l'usage des produits phytosanitaires de synthèse ne va pas de soi : les derniers chiffres officiels publiés par le ministère en charge de l'agriculture sur la consommation en France de pesticides révèlent une hausse du NODU²³³ de 5% en moyenne entre 2009 et 2013 et de 9,2% entre 2012 et 2013²³⁴. Les pesticides utilisés dans le cadre de la lutte chimique sont un des piliers de la conduite des systèmes intensifs et se révèlent donc difficiles à remettre en cause. L'horizon 2018 d'abord envisagé dans la version du plan Ecophyto en 2008 a été repoussé à 2025. Cependant, la politique agricole définie dans la loi d'avenir pour l'agriculture du 11 septembre 2014, mettant en exergue la nécessité de « produire autrement », vise à orienter les systèmes de production agricole. Cette injonction ministérielle « à produire autrement » propose une voie pour parvenir à réduire la dépendance aux pesticides et des conditions : l'agriculture doit revoir ses façons de produire en s'engageant dans une transition agro-écologique (projet agro-écologique pour la France, 2014 ; Potier, 2014 ; Guillou, Guyomard, Huyghe et Peyraud, 2013). Pour produire autrement, le ministre en charge de l'agriculture souligne la nécessité impérative de réduire la dépendance aux pesticides de l'agriculture française tout en conciliant la compétitivité et les performances environnementales. La dimension sociale sous-entendue dans la première version de 2012 a été affichée en 2014.

Mais en quoi la décision de réduire de 50 % l'usage des pesticides pour contrôler des bioagresseurs ou celle de gérer la santé des plantes selon les principes de l'agriculture intégrée et/ou celle d'engager l'agriculture dans une transition agro-écologique amènent-elles à revoir les principes qui guidaient les prises de décisions et les actions chez les agriculteurs professionnels ? Ces perspectives sous tendent un changement profond à plusieurs niveaux : tous les acteurs du système sociotechnique sont concernés, les consommateurs, les agriculteurs, les chercheurs, les agents du développement, les agro-industriels, les politiques.

²³³ Se référer au chapitre 1 pour la signification du NODU.

²³⁴ Communiqué de presse du 22/12/14 à l'adresse <http://agriculture.gouv.fr/Produits-phytosanitaires-resultats-2013> consulté le 05/01/15.

A l'échelle de la conduite des cultures, un renouvellement des raisonnements s'impose pour envisager la santé des plantes associé à des changements de méthodes pour gérer les populations des bioagresseurs : il s'agit d'un changement de paradigme (Aubertot, *ibid.*). Il ne suffit pas d'améliorer ce que l'on sait faire, ce n'est pas non plus revenir en arrière : « business is not as usual ». Définir un référentiel de bonnes pratiques pour résoudre les questions soulevées n'apparaît pas suffisant en se fondant sur les recommandations de l'évaluation du réseau de fermes DEPHY présentées dans le chapitre précédent. Pour Butault *et al.* (2010), ce sont des systèmes économes en pesticides qu'il est question de concevoir et une grande majorité d'agriculteurs ne sont pas prêts. A ce premier niveau de complexité, s'ajoute celui de la difficulté de prévoir aujourd'hui comment les nouveaux systèmes économes en pesticides vont évoluer. Des connaissances sont produites chemin faisant « learning by doing », en même temps que les systèmes fonctionnent. Les approches développées (Réseau Mixte Technologique systèmes de culture innovants [RMT SdCI], réseau DEPHY²³⁵) mettent en évidence une autre façon de concevoir les mécanismes de régulation des systèmes vivants après une période marquée par l'artificialisation du milieu pour en prédire et en contrôler l'évolution. Ces nouvelles façons d'aborder la protection des plantes caractérisent de formes d'agriculture alternatives au modèle dominant.

Nous avons décrit dans le chapitre précédent les limites du modèle de production fondé sur l'usage des pesticides comme moyen privilégié pour protéger les cultures. Nous rappelons en quelques points ce qui apparaît essentiel pour développer ce que sous tend l'injonction à réduire les usages des pesticides dans l'agriculture cristallisée dans le plan Ecophyto. Le modèle intensif occidental des agricultures et le modèle de la révolution verte dans les pays du Sud révèlent :

- une stagnation des rendements malgré une mobilisation importante d'intrants coûteux (engrais de synthèse, eau, pesticides, variétés élites) et la mise en œuvre de technologies toujours plus pointues et onéreuses),
- des stratégies d'exploitation minière des ressources qui excluent la reproduction sur le temps long de ces agricultures :
- des impasses sur le plan technique avec l'apparition d'un nombre croissant d'espèces de bioagresseurs résistantes aux pesticides et les adventices sont particulièrement concernées par ces phénomènes de résistances aux familles d'herbicides (Ramade, 2014 ; www.weedscience.org) ;
- des externalités négatives dont les coûts sont de plus en plus difficiles à supporter sur le plan sanitaire, environnemental et ne sont plus acceptés par les sociétés.
- des excédents pour quelques productions et des besoins alimentaires qui ne sont pas partout satisfaits sur la planète.

Aujourd'hui, il y a consensus sur l'incapacité des systèmes conventionnels à contribuer au développement durable car trop coûteux et inaccessibles pour une grande majorité de paysans dans le monde (Dufumier, 2012). En France, le plan Ecophyto comme un ensemble de courants/mouvements qui amènent à reconsidérer les façons de faire dans l'agriculture pour limiter la dépendance aux pesticides de synthèse (agriculture écologiquement intensive, agroécologie, agriculture durable, permaculture, agriculture biologique) ont en commun de s'inscrire contre une forme paroxystique de l'agriculture intensive incarnant le modèle productiviste. Ces approches mobilisent des arguments, des cadres conceptuels, des acteurs différents et des moyens posant ainsi singulièrement le ou les changements de paradigmes envisagés (Aubertot *et al.*, 2005b, Butault *et al.*, 2010 ; Ricci *et al.*, 2011 ; Doré *et al.*, 2011). Nous dressons dans ce chapitre un état de l'art qui révèle la complexité de la gestion de la santé des plantes et du contrôle des bioagresseurs. Une réduction de 50 % des usages des

²³⁵ Le réseau mixte technologique systèmes de culture innovants (RMT SdCI) et le réseau DEPHY ont été présentés dans le chapitre 1.

produits phytosanitaires dans l'agriculture conduit *in fine* à réduire la dépendance aux pesticides en adoptant *a minima* les principes de l'agriculture intégrée.

Le lecteur ne manquera pas d'être surpris par la pluralité des domaines d'appui et de la diversité des connaissances à convoquer et à articuler dans les raisonnements qui fondent les décisions liées à l'« opération ordinaire » de protection des cultures. Toutefois, nous avons repéré des points-clés qui rassemblent ces différentes entrées pour appréhender et résoudre les problèmes qui émergent suite à la limitation des usages des pesticides pour conduire la protection des cultures et gérer la santé des plantes :

- la réduction du problème à sa dimension technique par l'inadéquation de pratiques agricoles et la restriction des actions à l'échelon « agriculteurs » ne seront pas suffisantes pour satisfaire les ambitions et opérer le changement (Aubertot *et al.*, *ibid.*) ;

- un nouveau rapport à la complexité doit être considéré pour viser une meilleure compréhension des problèmes dans leur globalité et pour appréhender les interrelations entre les différentes facettes des questions à traiter. Il apparaît nécessaire d'aborder le problème de réduction des pesticides sans se restreindre au contexte de la production agricole mais au contraire de considérer le système sociotechnique alimentaire ;

- la nécessité de s'appuyer sur des savoirs pluriels et distribués, tout en redonnant une place centrale à l'agronomie dans les pratiques agricoles pour appréhender la complexité pose la question de l'acquisition de la référence. Les systèmes économes en pesticides sont dits alternatifs dans la mesure où ils privilégient des approches différentes de celles retenues dans l'agriculture dépendante des pesticides. Ils sont redéfinis (Ricci, Bui, et Lamine, 2011a) : « (...) *Les agriculteurs qui se situent dans un paradigme de redéfinition du système sont dans l'optique de mettre en place des solutions « agronomiques » à la place de solutions « chimiques »* » (Ricci *et al.*, 2011b, p. 25). La question des savoirs amène également à interroger leurs modes de circulation ;

- la nécessité de prendre en compte la complexité des processus écologiques afin de s'appuyer sur les services de régulations que peuvent rendre les écosystèmes ;

- la gestion des adventices dans un contexte de réduction des usages des pesticides est le cas de gestion des bioagresseurs le plus complexe à aborder.

Si la question « Faut-il vraiment produire plus avec moins d'intrants et avec moins de pesticides ? » est porteuse de controverses, la question « Comment produire ? » est encore plus controversée (Petit, 2014). Sur le terrain, les acteurs comme les agriculteurs, les conseillers agricoles sont confrontés à la nécessité d'agir : concevoir et conduire des systèmes de culture économes en pesticides (Butault *et al.*, 2009) ou accompagner la conception et la conduite des systèmes alternatifs repose sur des règles de décision²³⁶ (Sebillotte et Soler, 1988) qui mobilisent des savoirs scientifiques stabilisés (des savoirs agronomiques et d'autres disciplines scientifiques), des savoirs professionnels, des savoirs d'expérience. Agriculteurs et conseillers vivent des tensions entre des savoirs académiques remis en cause mais utilisés par la profession car porteurs d'une certaine opérationnalité faute de mieux, et des savoirs scientifiques ou non, émergents, non stabilisés parfois discutés, qui contribueraient à construire des solutions. Pour la plupart, ces savoirs ne sont pas opérationnels car ils répondent à des questions qui ne sont pas exactement celles que se posent les praticiens. La difficulté à mettre en œuvre concrètement des modes de production alternatifs est exprimée de manière récurrente par les agriculteurs. A côté des problèmes techniques et pratiques soulevés par la conception des systèmes alternatifs aux pesticides, des dimensions psycho-sociales conditionnent les comportements et les attitudes. La loi d'orientation agricole, tout comme le projet de plan Ecophyto 2018, soulignent l'importance de la formation des professionnels

²³⁶ Le concept de « règle de décision » permet de définir « (...) *pour chaque étape du déroulement du programme, la conduite à tenir face aux événements dont l'agriculteur perçoit la réalisation comme possible* » (Landais et Balent, 1995, p. 30) cf. partie 4III du chapitre 4.

comme levier pour le changement. Le rapport « Concertation sur l'enseignement agricole préparatoire à la loi d'avenir sur l'agriculture » (Nallet, 2013) met en exergue la nécessité d'une formation professionnelle préparant des agriculteurs à « *maîtriser par eux-mêmes les combinatoires diverses et changeantes, afin de produire autrement* » (Nallet, *ibid.*, p. 2,) souligne également la nécessité de « (...) *remettre, l'agronomie au poste de commande* (...) » (p. 4). L'enseignement agricole technique a donc un rôle central à jouer. Dans ce contexte, les enseignants en agronomie sont confrontés à au moins trois difficultés :

- celle de faire le point des savoirs de référence et de s'appuyer sur des pratiques sociales et professionnelles de référence (Martinand, 1986), elles mêmes en reconfiguration ;
- celle de travailler la transposition didactique pour qu'ils puissent devenir des savoirs enseignables et enfin des savoirs appris ;
- **celle de proposer des situations d'enseignement-apprentissage qui contribueraient au développement de comportements et d'attitudes qui amèneraient les futurs acteurs à se positionner dans les différents courants de l'agriculture en accord avec le contexte institutionnel et politique.**

Ce chapitre est organisé en quatre parties. Une première partie dresse un état des savoirs en jeu en lien avec la « protection des cultures » dans la perspective de réduire de 50 % l'usage des pesticides. Dans un premier point, nous présentons les grands traits de l'étude scientifique Ecophyto R& D (Butault *et al.*, 2009) qui a discuté les effets de l'atteinte de différents niveaux de réduction de l'usage des pesticides sur les plans agronomiques et économiques, prenant appui pour cela sur l'année de référence 2006²³⁷. C'est l'entrée agronomique privilégiée par les auteurs qui nous fait retenir cette étude. Des niveaux de rupture dans le recours aux pesticides de synthèse ont été définis. Pour chacun des niveaux, les grands principes de la protection des cultures sont précisés. Nous faisons un état des savoirs sur la gestion des bioagresseurs et la conception de systèmes économes en pesticides. Nous nous limitons aux cas des grandes cultures²³⁸. La loi d'orientation agricole pour la France (2014) pose un cadre de réflexion et d'action pour améliorer la contribution de l'agriculture au développement durable. Dans cette perspective, le ministre en charge de l'agriculture a lancé un plan national « Agricultures, produisons autrement » au cœur duquel l'agro-écologie apparaît comme la voie permettant de concilier les performances économiques, environnementales et sociales dans les exploitations agricoles. L'agriculture française doit s'engager dans la transition agro-écologique. Dans un deuxième point, nous cernons les contours de ce concept « agro-écologie » : que recouvre l'agro-écologie ? Nous discutons ensuite ce que nous tend envisager le changement de l'agriculture sous la forme d'une transition agro-écologique. Dans un troisième point, nous abordons des notions, des concepts nécessaires pour raisonner les solutions pour assurer la santé des plantes et la gestion des bioagresseurs et leur déclinaison singulière pour le cas des adventices dans les systèmes agricoles de grandes cultures. Nous mettons en particulier en évidence la configuration renouvelée des approches dans la perspective de s'engager dans une transition agro-écologique. Dans un quatrième point, nous présentons diverses solutions concrètes ou leviers utilisables pour réduire la dépendance aux pesticides.

²³⁷ L'année 2006 a été retenue comme référence : des données statistiques sur les pratiques culturales du territoire métropolitain (enquêtes des Services de la Statistiques et de la Prospective agricole) étaient disponibles ; l'année climatique pouvait être considérée comme moyenne. Il est important de considérer ce dernier point car la dynamique des bioagresseurs et par conséquent leur gestion sont dépendantes des aléas climatiques. 2006 est « (...) *dans la moyenne en termes de quantité de biens agricoles produits et de pression de bio-agresseurs*. Butault *et al.*, 2009, p. 9). Nous rappelons que l'étude a été conduite sur des grandes familles de production métropolitaines (les grandes cultures, cultures légumières, vigne et arboriculture fruitière).

²³⁸ Les niveaux d'utilisation rendent compte de niveaux de dépendance aux pesticides. Le cadre Efficience, Substitutions, Reconception (ESR) (Hill et MacRae, 1995) présenté dans la suite s'adapte bien au cas des grandes cultures, selon les auteurs de l'étude.

1. Concilier la réduction de 50% des usages des pesticides imposée par le plan Ecophyto et la protection des cultures : changement de paradigme ?

Notre recherche vise à mettre en lumière ce que la perspective de concevoir et de conduire des systèmes économes en pesticides soulève comme questions dans la transposition didactique. Les pesticides sont des facteurs de production indirects car ils ne visent pas à augmenter directement le niveau de production mais ils sont employés pour limiter ce que l'on appelle les pertes qui sont elles-mêmes non prévisibles (Carpentier (2005) in Aubertot *et al.*, 2005b). En effet, si la présence de bioagresseurs perturbe le fonctionnement des plantes dans un peuplement cultivé et génère des dysfonctionnements plus ou moins importants (cf. le chapitre 1). Il est plus difficile de prévoir *a priori* avec certitude la hauteur des pertes de récolte occasionnées sur le plan quantitatif et/ou qualitatif. Ainsi pour gérer des bioagresseurs, les agriculteurs définissent des stratégies fondées sur des raisonnements plus ou moins complexes déterminant les prises de décisions tactiques (ajustement) et stratégiques (conduites sur le long terme) guidées (i) par l'objectif *in fine* de réduire les pertes de récolte et (ii) par l'atteinte de résultats (*i.e.* des résultats attendus par l'agriculteur, des résultats attendus par les opérateurs des filières, des résultats attendus par les consommateurs, etc.). Ainsi, Butault *et al.* (2009) ont analysé « *les quantités pesticides utilisées (...) par la définition de niveaux d'utilisation correspondant à différents profils de conduite des cultures* » (Inra, 2010, p. 2). Ces niveaux ont été définis en caractérisant dans le même temps des façons de produire (agriculture « intensive » conventionnelles, agriculture raisonnée, agriculture intégrée, agriculture biologique). Derrière ces différents niveaux d'utilisation se dessinent des paradigmes dans les façons de gérer la protection des cultures : est-il question de gérer la santé des plantes, de lutter contre des bioagresseurs, de gérer des populations de bioagresseurs ou tout à la fois ? Les auteurs qualifient ces niveaux d'utilisation de niveaux de rupture car leurs définitions s'appuient soit sur des stratégies de protection conditionnées par des seuils économiques de nuisibilité et/ou l'utilisation d'une combinaison de leviers à effets partiels (Aubertot *et al.*, 2005a), mais dans tous les cas, ils « (...) nécessitent ainsi des changements de pratiques globales, d'où cette notion de niveaux de rupture. » (Butault *et al.*, 2011, p. 9). Ces niveaux d'utilisation révèlent des stratégies que l'on peut caractériser à partir de trois niveaux de dépendance vis-à-vis des pesticides (Bellon, 2007 ; Lamine et Bellon, 2009). Le cadre conceptuel E.S.R (Hill et MacRae, 1995) a servi de base pour définir les différents niveaux de rupture dans l'expertise Ecophyto R&D (Butaut *et al.*, 2010). Hill et MacRae (1995) proposent le niveau E (Efficience), le niveau S (Substitution) et enfin le niveau R (Reconception).

Nous présentons ce cadre conceptuel ESR dans un premier point, puis nous décrivons les différents niveaux de rupture proposés par l'étude Ecophyto R et D (2009) (Butault *et al.*, 2009) dans un deuxième point. Pour chacun d'eux, nous présentons les grands traits de la stratégie de protection des cultures et nous évoquons sommairement la forme d'agriculture dont ces stratégies relèvent.

1.1. Les niveaux de rupture proposés par l'étude Ecophyto R&D (2009) pour le plan Ecophyto

1.1.1. Le cadre E.S.R. : un outil conceptuel d'analyse de la dépendance aux pesticides

Le cadre ESR émerge d'une approche critique de la conduite de la protection des cultures sur le continent nord américain au cours de la décennie « 60-70 ». En proposant ce cadre conceptuel, Hill s'interroge sur les façons de faire dans la protection des cultures (Hill, 2005). Il est convaincu que la base conceptuelle de l'approche de la protection des cultures dans l'agriculture conventionnelle est défaillante : l'usage majoritaire des pesticides de synthèse se révèle être une approche « *après le fait* » ou « *de sortie de crise* » à la résolution du problème posé. L'emploi des pesticides arriverait à la fin d'une bataille « perdue » dès son commencement. La pullulation de bioagresseurs serait liée à la conception même de l'agrosystème et ce serait le fonctionnement de l'agrosystème qui représenterait la cause du problème : « *La manière la plus efficace de résoudre des problèmes était de redéfinir les systèmes concernés afin qu'ils soient, dans la mesure du possible... à l'épreuve des problèmes. Cette approche de conception/redéfinition relève idéalement davantage de l'action proactive que de la simple réaction aux problèmes et aux crises.* (Hill, 2005). De nombreux auteurs se sont appuyés sur sa publication scientifique de référence « *Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture* » qui présente le cadre conceptuel ESR. Le cadre ESR²³⁹ est mobilisé pour sa pertinence à la fois dans l'analyse *a posteriori* des changements observés au cours du passage des systèmes conventionnels vers l'agriculture durable à l'échelle de l'exploitation agricole (Hill et MacRae, 1995) et pour conduire les réflexions visant une écologisation des pratiques : le cadre E.S.R. permet de décrire les modifications des pratiques et d'analyser la « transition » en identifiant les leviers d'action pour formuler des propositions d'évolution. Le cadre est suffisamment souple et ouvert (Hill, 2005) pour qu'il puisse être mobilisé pour d'autres intrants et dans des champs scientifiques comme l'agronomie, l'économie, la sociologie, entre autres. Nous nous limitons au cas des pesticides. Le tableau n°6 précise les objectifs et les enjeux de la réduction des pesticides pour les niveaux Efficience, Substitution, Reconception : des exemples de solutions concrètes qui peuvent être mises en œuvre dans les différents niveaux sont présentées. A partir de cette grille d'analyse ESR, il est possible de discuter les approches de conception des systèmes agricoles retenus : s'agit-il de « *perfectionner les systèmes de culture actuels* ou de « *cultiver autrement* » ? (Ricci, 2010, p. 9). On note un glissement sémantique : la publication de référence fait bien mention de « *sustainable agriculture* » mais aujourd'hui, c'est aussi l'agriculture écologique qui est citée, soulignant l'importance de considérer les processus écologiques dans les processus de productions agricoles pour construire la durabilité (Hill, 2005 ; Le Pichon, Romet et Lambion, 2008 ; Lamine et Bellon, 2009 ; Ricci, 2010). A ce titre Hill (2005) précise que l'avenir sera écologique ou ne sera pas.

²³⁹ Le cadre ESR est aussi appelé cadre des 3 R avec Réduction, Remplacement, Reconception (Le Pichon *et al.*, 2008).

Tableau n°6 : Modèles ESR d'après Hill et MacRae (1995) et Bellon *et al.* (2007)

	Objectifs et enjeux	Exemples
E	<p>Améliorer l'Effizienz des intrants. Accroître l'efficacité de pratiques conventionnelles afin de réduire l'usage et la consommation d'intrants coûteux, rares et dommageables pour l'environnement.</p> <p><i>Mais sans réduire la dépendance par rapport à des intrants externes.</i></p>	<p>Low-Integrated Pest Management, Agriculture Raisonnée, Agriculture de précision</p> <p>Approche largement utilisée dans la recherche agronomique, donnant lieu à des développements technologiques et pratiques (densités de plantation, machinisme, observations-suivis de ravageurs pour améliorer l'emploi de pesticides, amélioration du « timing » des interventions culturales)</p>
S	<p>Substituer les intrants chimiques par des intrants biologiques</p> <p>Remplacer les intrants et pratiques conventionnels (intensifs en ressources externes et/ou dégradant l'environnement) par des alternatives</p> <p><i>A ce niveau, la structure du système est peu modifiée</i></p>	<p>High-Integrated Pest Management, Agriculture Biologique (AB)</p> <p>Utilisation de produits plus bénins en termes d'impact environnemental Contrôle biologique, lâchers inondatifs d'auxiliaires Fixation symbiotique, rotations et engrais verts pour remplacer l'azote Travail du sol minimal</p> <p>Cas d'AB et de production intégrée</p>
R	<p>Redéfinir le système comme un agroécosystème soutenant : sa propre fertilité, une régulation naturelle des ravageurs et la productivité agricole.</p> <p>Éliminer les causes des problèmes qui se manifestent en E et S (prévention) <i>Fonctionner sur la base d'un nouvel ensemble de processus écologiques</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulation d'habitats (lutte biologique par conservation, avec auxiliaires généralistes) • Définition de problèmes et de moyens de résolution • Études de conversions (compréhension de facteurs limitants dans le contexte de structure et fonction d'agroécosystèmes)

Le niveau E « Efficience » : améliorer la mise en œuvre d'une technique

L'efficacité (niveau E) vise l'amélioration de l'utilisation des pesticides et la limitation de leurs impacts négatifs sur l'environnement :

- en réduisant les emplois (traiter seulement si le risque épidémique avéré est assorti de risque de pertes de récolte en tenant compte des informations du réseau d'épidémiosurveillance, utiliser des techniques de précision de l'épandage des pesticides comme les bas volumes les agroéquipements pour les applications localisées, et des équipements spéciaux anti-dérive de la pulvérisation) ;

- et dans le même temps en assurant des conditions optimales d'efficacité si le traitement n'est pas écarté (la bonne technique, la juste dose, le bon moment, avec des produits choisis selon la situation réelle ayant des impacts sur la santé et l'environnement plus acceptables).

De nombreux outils²⁴⁰ sont disponibles pour optimiser les usages de pesticides et en améliorer l'efficacité, néanmoins, la dépendance aux pesticides n'est pas remise en cause. La réduction de l'emploi des herbicides est beaucoup moins outillée et plus complexe²⁴¹ (Henry, Toupet, Deytieux et Reau, 2012). Les exemples montrent que le niveau E s'appuie sur des technologies existantes et des pratiques connues. Il s'agit de faire autrement avec ce que l'on a et on connaît déjà.

²⁴⁰ Il existe des modèles de prévision des épidémies, des outils d'aide à la décision et des outils de diagnostics pour les ravageurs et les maladies qui sécurisent le positionnement des traitements phytosanitaires. En effet, des règles de décision ont été définies.

²⁴¹ Pour les adventices, le sujet est beaucoup plus complexe et l'outillage méthodologique est très restreint : « *les Règles de décision d'opportunité des interventions herbicides sont peu nombreuses, et incomplètes. Or les enjeux de la réduction d'usage des herbicides sont importants : les herbicides sont en effet la première source de pollution des eaux par les pesticides. Plusieurs hypothèses sont évoquées pour justifier cette faible disponibilité (...)* » (Henry *et al.*, 2012, p. 179).

Le niveau S « Substitution » : améliorer en remplaçant une technique par une alternative

La substitution (niveau S) caractérise la substitution d'un traitement phytosanitaire par une technique alternative aux pesticides. Le niveau substitution s'appuie sur des raisonnements conduits traitement par traitement pour une culture et uniquement au cours d'une campagne de culture : l'ensemble des cultures n'est pas considéré. Par exemple un traitement herbicide peut être remplacé par un désherbage mécanique. La substitution vise l'optimisation des traitements phytosanitaires. Les techniques dites alternatives désignent un ensemble de techniques variées que nous présenterons plus loin autre que l'emploi des pesticides de synthèse. Ces techniques ont une caractéristique commune : elles sont dites à effet partiel car comparées à la lutte chimique, employées seules, elles ont une moins bonne efficacité sur la cible considérée. Il est donc nécessaire de les combiner entre elles et avec éventuellement la lutte chimique pour obtenir une efficacité satisfaisante (Munier-Jolain *et al.*²⁴², 2008). Même si pour le niveau S, le raisonnement ne s'applique qu'à l'échelle de l'itinéraire technique d'une culture, il recouvre déjà une certaine difficulté : combiner les solutions alternatives est complexe car il faut prévoir les effets additifs, les synergies et les antagonismes (Ricci, 2010). *In fine*, les solutions de substitution conduisent à une réduction de l'usage des produits phytosanitaires sans toutefois remettre en cause les fondements de la conception des systèmes : les systèmes demeurent dépendants des pesticides. De plus, même si l'alternative aux pesticides existe et si elle est employée, ce n'est pas pour autant une garantie pour la durabilité. Le cas de la gestion des adventices permet de l'illustrer : si l'efficacité de la technique de substitution est insuffisante, le niveau d'infestations peut devenir de plus en plus important au fil des campagnes de culture rendant inefficaces les solutions alternatives (Munier-Jolain *et al.*, *ibid.*, 2008).

Les niveaux E et S sont liés à la notion de lutte contre les bioagresseurs qui est la clé de voute des raisonnements. La santé des plantes n'est envisagée qu'*a posteriori*, une fois les dysfonctionnements avérés. Les stratégies d'*efficacité* et de *substitution* peuvent réduire la dépendance aux pesticides et limiter les impacts négatifs sur l'environnement sans remettre en cause les fondements des systèmes dont elles tentent de corriger les travers. Elles peuvent même contribuer à maintenir les systèmes à l'origine des problèmes observés (Hill, 2005). Ainsi, les initiatives visant l'*efficacité* et la *substitution* ne devraient être que temporaires, le temps de revoir globalement le système ou comme stratégie de dépannage (Hill, 2005).

Le niveau R « Reconception » : biodiversité fonctionnelle et résilience pour remettre en cause la dépendance aux pesticides

Pour la reconception (niveau R), une double rupture s'opère dans les façons de raisonner la protection des cultures. (i) Il ne s'agit pas de raisonner les moyens de lutte une fois le problème observé (épidémies de bioagresseurs). Au contraire, le niveau R suppose une démarche proactive qui amène à la conception des systèmes qui portent en eux les moyens pour affronter des problèmes et les dépasser. (ii) Un autre rapport à la santé des plantes et aux moyens à mobiliser pour parvenir à la préserver bousculent les conceptions du milieu biophysique chez les agriculteurs. La conception façonnée durant la phase d'intensification des systèmes de production héritée de la modernisation agricole est résumée en ces termes par Lamine (2011) : « *produire plus en maîtrisant toujours plus les processus naturels* » (p. 81). Pour le niveau *reconception*, il s'agit d'« *une reconstruction du rapport de l'agriculteur aux problèmes de santé des plantes (...) dans une approche écologique, visant à recomposer l'environnement global des cultures* (Meynard et Girardin, 1991 ; Altieri et Rosset, 1996 ; Baudry et Jouin, 2003) » (Lamine *et al.*, 2009, p. 487). Les fondements de la conception de

²⁴² (Munier-Jolain, Deytieux, Guillemin, Granger, et Gaba, 2008).

systèmes agricoles dépendants des pesticides reposant de manière quasi exclusive sur des mécanismes très artificiels de régulation externes sont revus : la prise en compte de la biodiversité est essentielle dans cette nouvelle perspective fondée sur une approche écologique des espaces cultivés. Les processus écologiques liés au fonctionnement des écosystèmes et en particulier le fonctionnement des agroécosystèmes²⁴³ deviennent des moyens de gestion et de régulation.

Le projet européen BIODÉPHT (1996-1999) a révélé les intérêts de la biodiversité et des effets de sa diminution dans des écosystèmes prairiaux sous différents climats, sols et latitudes : « (...) les atouts de la biodiversité vont bien au-delà du quantitatif. Lorsque celle-ci s'étirole ou s'effondre, c'est l'ensemble de l'écosystème qui est mis à mal. La résistance et la santé des plantes régressent (...) »²⁴⁴. D'autres études *in situ* rejoignent la théorie mathématique, la diminution de la diversité végétale « provoque une diminution de la productivité, de l'absorption et de la fixation du dioxyde de carbone et une augmentation des pertes de nutriments par lixiviation, de la fréquence des maladies et de la sensibilité à l'invasion de nouvelles espèces » (Tilman, 2005, p.109). Dans un agroécosystème, la santé des plantes peut être assurée par le fonctionnement même du système à condition de réinjecter de la diversité biologique. La biodiversité peut être caractérisée par :

- la richesse spécifique qui représente le nombre d'espèces présentes,
- l'abondance spécifique qui rend compte du nombre des effectifs dans chacune des espèces considérées,
- la diversité fonctionnelle qui rend compte des fonctions assurées par les êtres vivants pour que l'écosystème naturel ou géré s'auto entretienne. La notion de diversité fonctionnelle est capitale. Les écosystèmes présentant une grande diversité fonctionnelle supportent mieux les perturbations tout en produisant de manière plus stable que ceux caractérisés par une plus faible diversité fonctionnelle (Tilman et Downing, 1996). Le fonctionnement des écosystèmes génère des services dits écologiques ou écosystémiques (MEA, 2005 ; Le Roux *et al.*²⁴⁵, 2008). Loreau *et al.* (2002) insistent sur la notion d'espèces-clés, indispensables au fonctionnement de l'écosystème, et sur la notion de groupes fonctionnels (Gitay et Noble, 1997). Contrairement aux espèces-clés, d'autres espèces peuvent être interchangeables car elles assurent la même fonction (espèces redondantes). A partir de ces considérations et en intégrant le fait que la quantité de ressources disponibles à partager de chaque milieu est limitée, c'est en termes d'assemblage d'espèces dans des communautés que le fonctionnement d'un écosystème géré doit être envisagé : il sera possible de compter sur des services rendus par le fonctionnement du système. L'agriculture est responsable d'une érosion de la biodiversité. Les pratiques agricoles agressives comme la lutte chimique, mais aussi la destruction et la fragmentation des milieux de vie des espèces non cultivées et/ou sauvages sont les causes du déclin de la biodiversité, voire de l'extinction des espèces terrestres (Barnéoud, 2013). Dans un système cultivé intensif dit conventionnel, l'organisation de l'espace est simplifiée pour favoriser l'expression de la fonction de production évaluée seulement en termes de rendement par unité de surface. Cette simplification se caractérise par

²⁴³ Un agroécosystème est un écosystème géré dans le but de produire, de distribuer et de consommer de la nourriture, des carburants et des fibres. L'Unesco en 2009 en donne la définition suivante : « l'agro-écosystème est un produit de la modification de l'écosystème par l'homme et constitue un espace d'interaction entre l'homme, ses savoirs et ses pratiques et la diversité des ressources naturelles. L'agro-écosystème est l'unité de base permettant d'étudier les relations entre une communauté humaine, son environnement et les services que les écosystèmes fournissent pour assurer sa subsistance ». p. 2 extrait de http://www.unesco.org/mab/doc/icc/2009/f_agroecosystems.pdf consulté le 10 mars 2015

²⁴⁴ Extrait consultable à l'adresse. <http://ec.europa.eu/research/success/fr/env/0335f.html> consulté le 10 mars 2015.

²⁴⁵ Le Roux, X., Barbault R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R. Roger-Estrade, J., Sarthou, J.P., et Trompette, M. (eds), 2008)

un nombre restreint d'espèces dans les zones cultivées (espèces cultivées et autres espèces) et une proportion très réduite d'espaces dits non productifs qui ont été cantonnés au fil du temps aux limites des espaces considérés comme productifs.

Pour bénéficier des services rendus par le fonctionnement de l'agroécosystème, lors de la conception de systèmes cultivés, les agencements d'espèces cultivées doivent être raisonnés en termes de fonctions assurées sans se restreindre à la fonction de production mais sans la reléguer évidemment au second plan. Il convient également de considérer le fonctionnement du système au-delà de la campagne de culture et les conséquences de ce fonctionnement en raisonnant le choix des cultures qui se succèdent sur une même parcelle (les effets suivants et les effets précédents). Le raisonnement doit aussi permettre de définir la conduite de chacune des cultures pour favoriser l'expression des services écosystémiques (en particulier les mécanismes de régulation naturelle). Enfin, l'aménagement du milieu (milieu cultivé et milieu non cultivé) doit également être réfléchi pour assurer des agencements judicieux de communautés fonctionnelles. Le niveau *reconception* réinjecte de la complexité intra et inter parcellaire que les systèmes conventionnels ont cherché à réduire par divers moyens. Le milieu devient dès la conception favorable à la santé des plantes et défavorable à l'émergence des épidémies : la régulation des biogressseurs repose d'abord sur des mécanismes de régulation liés au fonctionnement même du système et sur des aménagements du milieu. C'est une rupture dans les façons d'appréhender la diversité biologique dans les systèmes les plus représentés sur le territoire national. Le raisonnement sous-tendu est complexe car il est nécessaire de réfléchir les solutions à des échelles spatiales et temporelles pertinentes qui ne se limitent pas à la parcelle et à la campagne culturale. Le niveau R sous-entend dans le même temps de dépasser la parcelle et la saison de culture pour prendre en compte des échelles spatiales et temporelles qui sont celles des processus écologiques sur lesquels on cherche à s'appuyer. Au niveau reconception, le système est capable d'absorber les perturbations générées par les bioagresseurs, tout en maintenant le cap des objectifs visés. Le système cultivé doit être au moins redéfini à l'échelle du système de culture en grandes cultures car il est possible d'intégrer le temps long avec le choix des successions de cultures. Dans cette perspective, il est donc question de concevoir des systèmes de cultures résilients.

A l'origine, le concept de résilience a été introduit en écologie (Holling, 1973). Plusieurs acceptions du concept de résilience ²⁴⁶ ont été développées (Pimm, 1984, Gunderson & Holling, 2002 ; Carpenter, Walker, Anderies et Abel, 2001 ; Cabell et Oelofse, 2012). Nous retenons le paradigme de la résilience qui s'intéresse aux effets des perturbations sur la dynamique des systèmes complexes éloignés de l'équilibre. Pour caractériser la résilience

²⁴⁶ La résilience est un terme employé dans le domaine industriel (physique des matériaux), de la psychologie et de l'écologie et il fait l'objet de nombreuses définitions. Nous nous limitons aux définitions liées au domaine écologique. Deux acceptions différentes éclairent le concept de résilience. Dans l'approche proposée par Pimm (1984), le concept de résilience caractérise le temps mis par un système écarté de l'état d'équilibre sous l'effet d'une perturbation pour revenir à l'équilibre ou dans un état proche. Plus un système sera résilient plus il retrouvera rapidement cet état d'équilibre. Cette approche de la résilience s'appuie sur les notions d'équilibre, de stabilité, des propriétés proches de l'équilibre. Pour Holling (1973), rares sont les systèmes ouverts à l'équilibre. Pour Holling (1973), un système soumis à une perturbation ne reviendrait pas à l'équilibre initial. L'auteur s'intéresse à ce qui se passe dans des conditions éloignées de l'équilibre dans le cas de systèmes complexes caractérisés par des interactions multiples et non linéaires. La résilience représente alors l'amplitude de la perturbation que peut absorber un système dans son fonctionnement tout en maintenant ses fonctions et ses capacités de régulation : les systèmes résilients seront capables d'absorber cette perturbation dans leur fonctionnement et de s'adapter sans s'effondrer. Les notions de réajustements, d'adaptation et de vulnérabilité sont sous-tendues : la possibilité de changement fait partie de la notion de résilience (Gunderson et Holling, 2002) et il s'agit pas de résister, mais de réduire les effets de la perturbation. C'est un autre paradigme qui n'envisage pas la perturbation comme un événement systématiquement néfaste mais comme le point d'inflexion vers une autre situation sans qu'elle soit pour autant chaotique : le système sera résilient si en changeant, il se maintient sous une forme sans s'effondrer.

d'un système, il est nécessaire de définir les frontières du système étudié (Carpenter *et al.*, 2001). Pour notre recherche, comme dans de nombreuses autres études (Cabell et Oelofse, 2012), l'agroécosystème apparaît pertinent. Ses frontières englobent l'espace physique dédié à la production, tout comme les ressources mobilisées, les infrastructures supports, les marchés, les institutions et les acteurs impliqués de la fourche à la fourchette. Cette approche présente l'intérêt de considérer l'agroécosystème dans un ensemble complexe de systèmes emboîtés de l'échelle du champ cultivé à celle du globe au sein desquels il convient de prendre en compte les processus écologiques et les dynamiques socio économiques (Conway, 1987) : cet ensemble d'interactions caractérisent des systèmes socio écologiques (Gunderson et Holling, 2002). Pour Conway (*ibid.*), la résilience d'un agroécosystème représente sa capacité à maintenir sa productivité lorsqu'il est soumis à des événements perturbateurs majeurs. Une épidémie de bioagresseurs est une illustration triviale de la forme que peut prendre « un événement perturbateur ». Dans un tout autre domaine, une prescription réglementaire ou une forte demande sociétale en faveur d'un changement important de mode de production peuvent également être assimilées à des événements qui vont générer des perturbations majeures dans le fonctionnement des agroécosystèmes : en imposant des changements radicaux, la productivité des systèmes peut être impactée.

La résilience est une propriété émergente des systèmes et dépendante du contexte : un système considéré résilient aujourd'hui peut ne plus l'être quelques années plus tard. Trois propriétés permettent d'appréhender la résilience d'un système (Carpenter *et al.*, 2001) : (i) sa capacité à absorber une perturbation extérieure tout en maintenant les mêmes mécanismes de régulation, ses fonctions et sa structure (« *retain the same controls on structure and function* » (*ibid.*, p. 766), (ii) son aptitude à s'auto-organiser en fonction de l'amplitude de la perturbation (« *the degree to which the system is capable of self-organization (versus lack of organization, or organization forced by external factors* » (*ibid.*, p. 766), (iii) son aptitude à construire et à accroître sa capacité à apprendre du changement et à s'adapter dans le changement (« *the degree to which the system can build the capacity to learn and adapt.* » (*ibid.*, p. 766). Ainsi, un système sera résilient s'il est capable d'absorber une perturbation tout en maintenant ses fonctions courantes, ses mécanismes de contrôle et sa capacité à évoluer pour se « reconstruire » si nécessaire. La notion de capacité d'adaptation est associée au concept de résilience.

En synthèse

Selon Hill (2005), le niveau *reconception* est atteint quand les causes des problèmes ont été identifiées et les problèmes seront alors résolus par le fonctionnement du nouveau système sans exiger le recours d'intrants externes. Dans le cas des pesticides, atteindre ce niveau conduit à des ruptures dans les objectifs, les méthodes et les cadres conceptuels qui servaient de référence pour la conception des systèmes de culture. Les innovations technoscientifiques ne sont pas suffisantes pour atteindre ce niveau. Il faut aussi compter sur des innovations organisationnelles au sein de l'exploitation et du territoire et sur des innovations sociopolitiques (Ricci *et al.*, 2011). Le niveau R sous tend de considérer les interactions avec le système socio écologique. Au niveau de la reconception, des considérations économiques, environnementales et agronomiques sont intégrées dans les raisonnements, mais la dimension sociale est parfois mal cernée. En effet, le rapport au risque, la représentation du métier, la prise en compte du rôle de soutien du « collectif » (*i.e.* pairs, conseillers) dans l'apprentissage et l'accompagnement dans le changement sont des facteurs essentiels à intégrer (Ricci, 2010 ; Lamine *et al.*, 2009 ; Lamine, 2011 ; Cerf *et al.*, 2010).

A l'échelle de la ferme, le passage de l'Efficiencia à la Substitution à la Reconception peut laisser supposer une progressivité et une linéarité dans les processus de changement : le système évolue par ajustements successifs vers des états au sein desquels les effets délétères

dénoncés disparaissent ou n'apparaissent pas. Or, les changements, sous-entendus les progrès en termes de réduction des usages des produits phytosanitaires, ne se font pas toujours par palier (changement incrémental). Navarrete *et al.*²⁴⁷. (2012) montrent que la pression des pouvoirs publics, en matière de réduction de l'usage des pesticides avec le retrait des substances préoccupantes et la restriction des emplois, limite les marges possibles de manœuvre du niveau E. En interdisant des solutions, la réglementation pourrait même dans certaines configurations forcer à « faire autrement ». Les agriculteurs peuvent alors directement se positionner au niveau S ou envisager le niveau R.

1.1.2. La définition concrète des niveaux de rupture proposés par l'étude Ecophyto R&D (2009)

Dans cette partie, nous présentons les différents niveaux de rupture retenus par l'étude Ecophyto R&D (Butault *et al.*, 2009). Les niveaux de rupture ont été caractérisés par des stratégies de protection des cultures à la parcelle et par grand type de culture. Les raisonnements sur lesquelles reposent ces stratégies de protection des cultures ont été rattachés à différentes formes d'agriculture (agriculture conventionnelle, agriculture raisonnée, agriculture intégrée, agriculture biologique). Six niveaux ont été discutés dans l'étude R&D Ecophyto (NA, N0, **N1**, **N2a**, **N2c**, **N3**) parmi lesquels quatre niveaux de rupture (cités **en gras**). L'étude a produit trois types de résultats :

- une analyse des caractéristiques des pratiques pour chacun des six niveaux par grand type de systèmes de culture (grandes cultures, vigne, arboriculture fruitière, cultures légumières) et des évaluations des performances à partir d'indicateurs (*i.e.* rendement), économiques (*i.e.* marge brute/ha) et de pressions environnementales (*i.e.* IFT culture) (cf. tableau n°7 colonne 1) ;
- une description des états du système agricole français (sur la base d'indicateurs tableau n°7 colonne 2), si tous les systèmes de production étudiés (grandes cultures, vignes, fruits, fourrages) étaient conduits selon les principes de chacun des niveaux de rupture définis. Considérée comme un « exercice d'école » (Butault *et al.*, 2009 ; Butault *et al.*, 2010) par ses auteurs, cette projection permet d'appréhender les bornes de ce qui pourrait être possible. Cet exercice offre une vision macro-économique des effets des niveaux de rupture à l'échelle nationale dans la perspective d'éclairer les décisions politiques, se fondant sur des éléments de l'analyse décrite mentionnée plus haut articulée avec les données du RICA 2006. C'est également un préalable à l'exercice de modélisation proposée pour les grandes cultures ;
- la modélisation des combinaisons optimales des niveaux de rupture au niveau national par rapport à des objectifs de réduction (-10%, -20%, -30%, -40%, -50%) tout en maintenant le niveau de production ou les marges. Cette proposition est obtenue par programmation mathématique et ne concerne que les grandes cultures. Elle vise à étayer l'instrumentation en termes de politique publique dans la perspective de permettre le passage du niveau actuel à des objectifs de réduction à l'échelle de l'agriculture française.

²⁴⁷ Navarrete, M., Bellon, S., Geniaux, G., Lamine, C., Penvern, S., Sautereau, N., et Tchamitchian, M. (2012).

Tableau n°7 : Liste des principaux indicateurs retenus pour l'étude Ecophyto R&D (2009)

Indicateurs	Echelle de la parcelle	Echelle d'un territoire
Agronomiques	Rendement moyen Rendement commercialisable moyen Variabilité des rendements ⁸	Volume produit Volume commercialisable Variabilité des volumes
Economiques	Marge brute ⁹ /Ha (+variabilité) Coût opérationnel ¹⁰ Temps de travail incluant la surveillance (à estimer) Produit (+variabilité) Charges phytosanitaires Charges d'engrais Charge de semence	Revenu brut (agrégation des marges brutes) Charges phytosanitaires
Pressions environnementales	IFT ¹¹ par type de culture IFT par type de produit	IFT moyen pondéré par scénario

Pour chaque niveau, nous présentons succinctement la forme d'agriculture à laquelle il fait référence, puis nous faisons un focus sur les grands traits de la stratégie de protection des cultures sous tendue. Nous présentons les principes de l'agriculture intensive (dite conventionnelle), de l'agriculture raisonnée, de l'agriculture à bas niveau de pesticides, de l'agriculture intégrée (avec la protection intégrée) et de l'agriculture biologique et les traits saillants des stratégies de protection des cultures afférentes (lutte chimique, protection raisonnée, protection intégrée, lutte biologique) cf. tableau n°8.

Tableau n°8 : Les niveaux de rupture définis par l'étude Ecophyto R&D (2009)

Niveaux de rupture	Niveau d'utilisation dans l'exploitation agricole	Formes d'agriculture de référence	Caractérisation de la stratégie de protection	Evaluation/cadre ESR
NA : Niveau actuel	Situation actuelle	Combinaison de toutes les formes d'agriculture observées sur le territoire national (hors Dom Com)		
N0	Pas de limitation du recours aux pesticides	Agriculture intensive	Lutte chimique systématique	
N1	Limitation du recours aux pesticides par le raisonnement des traitements en fonction de seuils d'intervention	Agriculture raisonnée	Protection raisonnée	E
N2a	N1 + mise en oeuvre de méthodes prophylactiques et alternatives à l'échelle (annuelle) de l'itinéraire technique d'une culture de la rotation	Agriculture à bas niveaux de pesticides	Protection intégrée	S
↓ A partir d'ici niveau de rupture important ↓				
N2c	N1 + mise en oeuvre de méthodes prophylactiques et alternatives à l'échelle (pluriannuelle) de la succession de cultures	Production intégrée	Protection intégrée	R
N3	Mise en oeuvre du cahier des charges de l'Agriculture biologique (suppression de tout traitement avec des pesticides de synthèse)	Agriculture biologique	Lutte biologique	R

Des points d'appui des raisonnements des différentes stratégies de protection des cultures nous intéressent particulièrement, nous les avons mis en exergue dans notre propos. Ils seront l'objet de développements spécifiques (lutte *versus* gestion, notion de seuil, notions de dégâts, de dommages et de pertes, notion de nuisibilités).

Pour chacun des niveaux de rupture, nous évoquons des effets de leur adoption généralisée dans l'agriculture française.

1.2. La traduction des niveaux de rupture en termes de pratiques pour protéger les cultures

L'étude Ecophyto R&D (Butault *et al.*, 2010) brosse un large panorama de la lutte chimique intensive (N0) à l'agriculture biologique (N3). Pour rendre compte « des progrès » en termes de réduction des pesticides, la situation de départ correspondant à un point zéro a été définie en préalable : le « niveau actuel » (NA). Il permet d'évaluer année après année des effets des recommandations du plan Ecophyto. Il caractérise la situation de l'année 2006 combinant tous les niveaux (soit N0, N1, N2 et N3). Les niveaux sont présentés suivant un gradient croissant de réduction de niveaux d'utilisation des pesticides de N0 à N3.

1.2.1. Le niveau d'utilisation intensive des pesticides N0

Contours

Le niveau d'utilisation intensive des pesticides (N0) caractérise les systèmes les plus utilisateurs de produits phytosanitaires ayant un recours quasi-exclusif à la lutte chimique préventive systématique. **Le niveau N0 est très important car il sert de référence pour comparer les effets des autres niveaux (N1, N2 et N3) qui intègrent une réduction de la quantité des pesticides pour gérer les bioagresseurs.**

Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures

Pour ce niveau, les stratégies caractérisent un ensemble de systèmes qui relèvent de l'agriculture conventionnelle. La définition de l'agriculture conventionnelle est imprécise. Elle fait référence aux systèmes les plus pratiqués dans la région considérée (Viaux, 2013). En France, on retrouve un continuum de systèmes de production entre l'agriculture raisonnée et l'agriculture dite productiviste (intensive pour le facteur « terre », très utilisatrice d'intrants chimiques, avec des impacts sociaux et environnementaux qui ne correspondent pas aux critères de la durabilité). Pour ce niveau N0, dans la logique de l'agriculture conventionnelle, les stratégies d'assurance priment et visent à limiter coûte que coûte les risques sanitaires : les traitements phytosanitaires sont réalisés de manière préventive et systématique. Le raisonnement des traitements phytosanitaires n'est pas toujours fondé sur une évaluation des risques avec des mesures et/ou avec des outils d'aide à la décision (c'est ce qui distingue certains systèmes dits conventionnels des systèmes raisonnés). Les choix des itinéraires techniques et des assolements reposent sur la limitation des risques économiques à court terme : le risque de dommage, exprimé en termes de « pertes quantitatives de récolte » guide les actions. La protection des cultures ne repose que sur l'usage des pesticides et elle est gérée comme un moyen d'atteindre des rendements élevés.

1.2.2. Le niveau d'utilisation des pesticides N1

Contours

Le niveau N1 correspond à la « *limitation du recours aux pesticides par le raisonnement des traitements en fonction de seuils d'intervention adaptés* ». Les pesticides restent les moyens privilégiés de contrôle des bioagresseurs.

Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures

Les stratégies qui sont déployées correspondent aux principes de gestion des bioagresseurs selon les principes de l'agriculture raisonnée. L'agriculture raisonnée répond à une définition et à un cadre de pratiques précisées dans le référentiel de certification « agriculture raisonnée », objet de deux décrets et d'un arrêté (2002, 2004 et 2002 modifié en 2005²⁴⁸) : « *les modes de production raisonnés en agriculture consistent en la mise en œuvre, par l'exploitant agricole sur l'ensemble de son exploitation dans une approche globale de celle-ci, de moyens techniques et de pratiques agricoles conformes aux exigences du référentiel de l'agriculture raisonnée. Le référentiel porte sur le respect de l'environnement, la maîtrise des risques sanitaires, la santé et la sécurité au travail et le bien-être des animaux*²⁴⁹ ». Promue par le réseau FARRE²⁵⁰, l'agriculture raisonnée correspond à la fois à une approche globale de gestion de l'exploitation agricole visant la rentabilité économique dans le respect de la réglementation nationale et territoriale, tout en raisonnant chaque technique de culture pour en réduire les effets négatifs (pertes économiques, externalités négatives). En fait, la notion d'« Agriculture raisonnée » est la traduction anglaise du concept « Integrated Farming », (« Agriculture Intégrée »). Mais, en France, les façons de faire relevant de ce référentiel ne correspondent pas à la définition retenue par les experts du domaine (Bonny, 1997 ; Ferron, 1999 ; Ferret et Douguet, 2001) : « *L'analyse comparée de ces deux concepts, protection intégrée d'une part et protection raisonnée d'autre part, met en effet en évidence des différences significatives tant au niveau de la stratégie que des objectifs, même si les méthodes mises en œuvre sont bien identiques* » (Ferron, 1999²⁵¹). Il s'agit davantage comme le précise Ferron (1999) d'une « *phase d'approche de la lutte intégrée consistant en un aménagement progressif de la lutte chimique grâce à l'utilisation des seuils de tolérance économique et à l'emploi raisonné de produits spécifiques ou peu polyvalents (OILB/SROP, 1973)*²⁵² ». Pour la protection des cultures, les traitements phytosanitaires ne sont plus

²⁴⁸ [Décret n° 2002-631 du 25 avril 2002 relatif à la qualification des exploitations agricoles au titre de l'agriculture raisonnée \(PDF - 48.3 ko\)](#) ; [Décret n° 2004-293 du 26 mars 2004 relatif aux conditions d'utilisation du qualificatif "agriculture raisonnée"](#) ; [Arrêté du 30 avril 2002 relatif au référentiel de l'agriculture raisonnée \(PDF - 47.1 ko\) Modifié par arrêté du 20 avril 2005](#)

²⁴⁹ Définition extraite du décret n°2002-631.

²⁵⁰ FARRE : Forum des Agriculteurs Responsables Respectueux de l'Environnement est une association interprofessionnelle qui regroupe des agriculteurs (fermes de rencontres et ouvertes aux publics), des organismes du monde agricole et agro-alimentaire, y compris un syndicat majoritaire [FNSEA], environnemental, de la santé humaine et animale, entreprises de l'amont et de l'aval de l'agriculture (dont des firmes phytosanitaires regroupées au sein de l'UIPP). La communication et les actions s'articulent beaucoup autour de la protection de l'environnement (au sens biophysique). La confusion entretenue entre « Agriculture raisonnée » et sa traduction anglaise « Integrated Farming », « Agriculture Intégrée » poussent le détracteurs de l'agriculture raisonnée à accuser le réseau FARRE de continuer à promouvoir une forme d'agriculture intensive technocentrée et ne remettant pas vraiment en cause les pesticides (association de protection de l'environnement comme générations futures, le réseau d'agriculture durable, le syndicat de la confédération paysanne).

²⁵¹ Référence en ligne consultable sur www.inra.fr/dpenv/ferpid19.htm

²⁵² *ibid.*

systématiquement réalisés de manière préventive : ils sont décidés en fonction de seuils²⁵³, d'observations et d'outils d'aide à la décision pour prévenir des risques de pertes de récolte. L'agriculture raisonnée renvoie à la notion de bonnes pratiques phytosanitaires, qui reposent sur une très bonne maîtrise des techniques : le référentiel est construit sous la forme d'une liste de recommandations techniques à respecter. Les systèmes de production calés sur ce niveau N1 ne remettent pas en cause la dépendance aux produits phytosanitaires. Emprunt d'un caractère normatif, le cadre pousse encore à la spécialisation technique des agriculteurs. Il est question d'améliorer l'efficacité des produits phytosanitaires : l'agriculteur améliore sa technicité qui correspond à ce qu'il sait déjà faire, « *business as usual* ».

Résultats attendus pour les grandes cultures

Cette approche permet de réduire les usages des pesticides en grandes cultures, en évitant « *tout recours superflu* » (Butault *et al.*, 2010, p. 21), mais elle est insuffisante pour satisfaire les objectifs de résultats du plan Ecophyto à l'échelle nationale et pour certaines cultures.

Pour des scénarios « grandes cultures », les IFT (rend compte de la pression d'utilisation à la parcelle) diminueraient de 21% en moyenne (11 à 25 %) par rapport à N0 et la marge brute augmenterait de +5% avec conservation du niveau de rendement.

1.2.3. Le niveau d'utilisation des pesticides N2a

Contours

Le niveau N2a correspond au « niveau 1 + mise en œuvre de méthodes prophylactiques et alternatives à l'échelle de l'itinéraire technique d'une culture de la rotation » : c'est un premier palier dans la remise en cause de l'usage des pesticides qui vise la mise en œuvre d'un itinéraire technique intégré.

Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures

Le raisonnement visant la réduction de l'usage des pesticides n'est développé que sur une culture de la rotation. La mise œuvre de mesures agronomiques interviennent en tant que mesures prophylactiques associées à des choix d'opérations culturales favorables au cours de l'itinéraire technique pour éviter un ou des traitements phytosanitaires. La stratégie de protection repose donc sur une combinaison de méthodes agronomiques et en ne s'autorisant la lutte chimique qu'en dernier recours : il s'agit d'une stratégie « protection intégrée ». Nous verrons dans le paragraphe 3. des principes et différents moyens mobilisables dans ce cadre. La dépendance aux pesticides est remise en cause dans un itinéraire technique et pour une culture. Ce n'est pas suffisant car toutes les cultures d'un système de culture ne sont pas impactées par les choix de réduction des emplois. Les stratégies correspondent au niveau S du cadre de Hill et MacRae (1995).

Résultats attendus pour les grandes cultures

Les projections de ce scénario dans l'étude Ecophyto R&D envisagent une diminution de 41% en moyenne des IFT par rapport à l'intensif (la fourchette est de 22 à 53% selon les zones et les cultures de la succession), une petite amélioration de la marge brute (+3.5%) comme pour le niveau N1. Cependant par rapport au niveau actuel la baisse de l'IFT n'est que de 17%. Il est aussi intéressant de noter que le temps de travail se trouve réduit de 5% en moyenne.

²⁵³ Dans la suite, nous discutons la notion de seuils en mettant en évidence les biais qu'ils recouvrent. La notion est polysémique. Défini dans un contexte, un seuil n'a pas vocation de généralité. Trop complexes et coûteux à déterminer pour une palette diversifiée de situations, des seuils sans ajustements ont été appliqués dans des contextes parcellaires très différents entraînant parfois des interventions qui ne se justifiaient pas.

Les concepts de lutte intégrée et de protection intégrée

Dans le chapitre qui aborde la situation-problème construite pour le recueil de nos données, nous présentons en détail des principes de lutte intégrée et/ou de la protection intégrée. Dans ce paragraphe, nous nous limitons à des définitions à partir desquelles nous extrayons des points saillants afin que le lecteur se saisisse des lignes directrices retenues pour envisager la protection des cultures.

- *La lutte intégrée et variations définitives*

La définition fondatrice de la lutte intégrée a été proposée par la FAO en 1967, la définissant comme « *un système de gestion des populations d'organismes nuisibles, en fonction de critères économiques, par l'intégration et non la juxtaposition de toutes les techniques connues aux facteurs naturels de régulation* » (FAO, 1968). Milaire (1995) cité par Ferron (1999) définit la lutte intégrée comme un « *système de gestion des populations de ravageurs qui, dans le contexte de l'environnement associé et des dynamiques des populations des espèces nuisibles, met en œuvre toutes les techniques appropriées, d'une manière aussi compatible que possible, pour les maintenir à des niveaux inférieurs à ceux causant des dommages d'importance économique*²⁵⁴ ». En 1973 OILB/SROP propose la définition suivante : « *toutes les techniques susceptibles d'être appliquées dans un même agro-écosystème, en respectant les critères économiques, écologiques et toxicologiques spécifiques* ». La protection intégrée est souvent assimilée à l'*Integrated pest Management* anglo-saxonne (IPM). La directive n° 2009/128/CE traitant de la gestion durable des pesticides cerne les contours de la lutte intégrée dans son article n°3 : « *La lutte intégrée est la prise en considération attentive de toutes les méthodes de protection des plantes disponibles et, par conséquent, l'intégration des mesures appropriées qui découragent le développement des populations d'organismes nuisibles et maintiennent le recours aux produits phytopharmaceutiques et à d'autres types d'interventions à des niveaux justifiés des points de vue économique et environnemental, et réduisent ou limitent au maximum les risques pour la santé humaine et l'environnement. La lutte intégrée contre les ennemis des cultures privilégie la croissance de cultures saines en veillant à perturber le moins possible les agro-écosystèmes et encourage les mécanismes naturels de lutte contre les ennemis des cultures* ».

- *La protection intégrée*

Progressivement au fil des usages, le concept de protection intégrée a été proposé par l'OILB/SROP²⁵⁵ en Europe de l'Ouest dans une communauté intéressée par la mise en œuvre de la lutte intégrée en arboriculture et en viticulture²⁵⁶. Le projet européen ENDURE²⁵⁷ définit

²⁵⁴ Cette définition a été élargie aux autres bioagresseurs.

²⁵⁵ OILB : Organisation Internationale de Lutte Biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles ; SROP : Section Régionale Ouest Paléarctique.

²⁵⁶ Dans ces systèmes de culture, la simplification du milieu cultivé (un cultivar et une organisation très simplifiée de l'espace avec des rangées d'arbres ou des rangs de ceps) ont favorisé l'émergence de bioagresseurs, rendant les systèmes très sensibles (source). Des exigences de standards de la filière horticole (fruits « zéro défaut ») et la prégnance d'une « norme professionnelle » ne tolérant pas la « vigne malade » ont poussé les horticulteurs et les viticulteurs à adopter et par la suite à réclamer des programmes de protection phytosanitaires couvrant au maximum les risques sanitaires. Ces programmes de traitements étaient caractérisés par de nombreux traitements systématiques plutôt préventifs, on peut encore compter aujourd'hui jusqu'à 30 traitements pour protéger les pommes (source).

²⁵⁷ ENDURE est un projet de recherche pluridisciplinaire qui a rassemblé un réseau de chercheurs européens, d'instituts de l'enseignement et du développement agricole de 2007 à 2010 pour aider les agriculteurs à opérationnaliser le cadre de la directive européenne n° qui exigeait la généralisation des principes de la

la protection intégrée des cultures comme « (...) *une approche durable de gestion des ravageurs, en combinant des outils biologiques, culturaux et chimiques d'une manière qui minimise les risques économiques, environnementaux et de santé* » (Endure, 2010, p. 5). Les membres de ce projet ont également proposé une vision de la protection intégrée « *comme un processus dans lequel l'amélioration continue des solutions innovantes est intégrée et adaptée localement dès leur mise en application et contribuent à réduire la dépendance aux pesticides dans les systèmes agricoles*²⁵⁸ ».

- *Lutte versus gestion*

Nous constatons de grandes similarités dans les approches entre les définitions de la lutte intégrée et de la protection intégrée et la distinction dans les définitions entre lutte et gestion intégrée n'est pas évidente (Lucas, 2007). Les termes de *lutte* et *gestion* sont souvent confondus pour désigner aujourd'hui le même concept. Toutefois, pour Baggiolini (1998) et Lucas (2007), le terme de gestion s'avère plus adapté pour ne pas se cantonner au sens premier de la notion de lutte pour laquelle il est question de « résoudre » les problèmes posés par les symptômes des effets des bioagresseurs : il n'est pas envisagé de se pencher sur les effets de mesures mises en oeuvre sur le fonctionnement du système. Au contraire, le concept de gestion sous tend la nécessité de considérer les effets des mesures mobilisées au-delà de la résolution du problème posé par les bioagresseurs ciblés : quels sont les effets sur des bioagresseurs non ciblés et sur les autres êtres vivants (*i.e.* les auxiliaire) ? Ainsi, le concept de gestion intégrée propose davantage une vision écologique du fonctionnement de l'agrosystème visant une « *une gestion écologique de la santé des plantes* » (Ricci *et al.*, 2011, p. 24).

En synthèse, les définitions retenues soulignent l'enjeu de considérer la gestion des populations et non le principe d'éradication : aucune méthode ne permet de réguler toutes les populations de bioagresseurs de manière simultanée. Il est nécessaire de compter sur le fonctionnement de l'environnement/écosystème au sein duquel les dynamiques des interactions entre les êtres vivants vont être influencées par les actions anthropiques et en vice versa :

- les bioagresseurs doivent être contenus et maintenus en dessous d'un seuil de « nuisibilité économique » par des méthodes de gestion adaptées, parmi lesquelles des techniques de culture ;
- les actions dirigées contre les bioagresseurs doivent préserver et/ou en favoriser les mécanismes biologiques de régulation de l'environnement considéré ;
- les définitions insistent sur l'importance de mettre en place de mesures préventives pour préserver la santé des cultures en amont, de combiner de manière adéquate et pertinente toutes les méthodes de gestion qu'elles soient préventives ou curatives sans en exclure, pesticides compris, en s'appuyant sur des outils d'aide à la décision et des données en temps réel issues de réseaux d'épidémiosurveillance. Le substantif intégré sous-tend que ce principe de protection des cultures vise l'intégration de toutes les solutions que l'on aura choisies : chaque moyen est retenu pour sa pertinence mais son utilisation suppose qu'il soit mis en cohérence avec tous les autres moyens retenus. Discuter des solutions sur le plan agronomique en se fondant sur les résultats attendus des combinaisons permet d'évaluer en partie la cohérence et la pertinence. Mais, les solutions mobilisées doivent aussi s'inscrire dans une perspective de durabilité en conciliant des critères économiques (les résultats des mesures garantissent une efficacité économique), environnementaux (les solutions doivent limiter les effets négatifs

protection intégrée (PIC). Aujourd'hui, le réseau s'autofinance et poursuit les recherches et les actions dans la continuité du projet initial.

²⁵⁸ http://www.endure-network.eu/fr/protection_integree/l_ipm_selon_endure consulté le 23 mai 2014

sur l'environnement et préservent la biodiversité pour s'appuyer sur les services des écosystèmes) et sociaux (protection de la santé des utilisateurs entre autre).

1.2.4. Le niveau d'utilisation des pesticides N2c

Contours

Le niveau N2c correspond au « *niveau 1 + mise en œuvre de méthodes prophylactiques et alternatives à l'échelle des différents itinéraires techniques et de la rotation* ».

Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures

Ce niveau caractérise la mise en œuvre de systèmes de culture intégrés (Butault *et al.*, 2010). Cette fois, le raisonnement à conduire gagne en (i) systémie et est plus (ii) intégré. (i) Toutes les rotations du système sont concernées et pour chaque culture, les itinéraires techniques sont révisés : le raisonnement est donc envisagé à l'échelle du système de culture et ne se limite pas à la définition de gestion de protection des cultures. Les principes de conduite des systèmes de cultures se fondent sur une approche globale. Le fonctionnement est appréhendé sous la forme d'un ensemble de systèmes emboîtés. (ii) La protection des cultures et la santé des plantes ne peuvent pas être considérées déconnectées de la gestion des autres facteurs qui participent au processus de production végétale (Meynard et Girardin, 1991). Cette perspective permet de raisonner la mobilisation et la mise en œuvre des solutions à des échelles pertinentes de temps et d'espace pour faire évoluer les systèmes vers une plus grande durabilité. Le niveau N2c repose sur les principes de l'agriculture intégrée *Integrated Farming Systems*²⁵⁹. L'agriculture intégrée est définie comme « *une approche globale de l'utilisation du sol pour une production agricole qui cherche au maximum à remplacer les intrants extérieurs à l'exploitation par des processus naturels de régulation. On cherche à minimiser l'utilisation des intrants en jouant sur le système de production lui-même pour minimiser, entre autres, les risques parasitaires* » (Viaux, 2013, p. 3). Les systèmes intégrés sont plus économes en intrants extérieurs à l'exploitation agricole. Plus autonomes en énergie fossile, en azote issu de sources externes, en eau, ils respectent davantage les ressources naturelles (eau, sol et biodiversité) en s'appuyant sur les processus naturels de régulation pour les valoriser. Pour ce niveau N2c, il est tout autant question de concevoir des systèmes de cultures qui vont assurer la santé des plantes, que d'envisager une gestion des populations de bioagresseurs.

Le niveau 2c est important et induit des changements importants car le concept de système de culture (Sebillotte, 1990) permet de travailler sur le moyen et le long terme et de dépasser la campagne culturale. A l'échelle système de culture se construisent les raisonnements qui vont définir des successions des cultures et qui vont déterminer les façons de les conduire dans ce contexte. Ces décisions vont conditionner les types de cultures retenues dans les assolements. Les principes mobilisés pour protéger les cultures reposent sur ceux de la protection intégrée (niveau 2a) pour chaque culture du système de culture, associés à des choix de rotations dans la perspective de prévenir les risques sur la santé des plantes et d'éviter des contextes favorables aux épidémies (Butault *et al.*, 2010) : les choix des précédents et des suivants sont réalisés pour limiter des risques sanitaires. La dépendance aux pesticides est remise en cause, ce sont des systèmes économes en pesticides (Butault *et al.*, 2010) qu'il est question de concevoir. Le niveau R du cadre de Hill et MacRae (1995) est atteint.

Résultats attendus pour les grandes cultures

Pour les grandes cultures, il est possible d'atteindre des niveaux de réduction proches des exigences du plan Ecophyto voire de dépasser l'objectif (-69% de la valeur IFT en moyenne

²⁵⁹ On évoque aussi la production intégrée, les systèmes de production intégrés.

pour les céréales par rapport à N0) : « *L'objectif de réduire de 50% l'emploi de pesticides est presque atteint si toute l'agriculture française passe en **niveau 2c**. La baisse de la pression pesticide est alors de 50% en grandes cultures (...)* » (Butault *et al.*, 2010, p. 45). Les rendements évolueraient peu en grandes cultures et la marge brute serait conservée voire améliorée. L'étude attire notre attention sur deux points : (1) la cohérence à l'échelle de l'exploitation agricole et (2) la prise en compte du contexte pour choisir les productions. (1) Le temps de travail serait augmenté d'environ 10%, augmentation en partie imputable aux travaux de contrôle mécanique des adventices. Le retard des dates de semis est un moyen efficace pour gérer les levées automnales d'adventices dans les céréales d'hiver, mais cette décision apparaît difficile à mettre en œuvre dans le calendrier de travaux. Le temps nécessaire pour caler la préparation du lit de semences et la réalisation du semis dépasse 1 année sur 5 le nombre de jours disponibles (dégradation des conditions de semis en raison des pluies automnales).

L'allongement des rotations est un moyen de maîtriser les épidémies de bioagresseurs et d'améliorer la résilience des systèmes de cultures. Cette perspective suppose des débouchés pour ne pas dégrader le produit des exploitations et invite à agir à l'échelle du socio-système sur « (...) *l'organisation des filières pour valoriser des productions qui le sont mal actuellement* » (Butault *et al.*, 2010, p. 46).

Echo particulier pour notre recherche

Ce niveau de rupture est important à considérer pour notre recherche pour au moins trois raisons :

- (i) les réductions sérieuses d'herbicides ne sont pas envisageables sans revoir les principes de conception à l'échelle du système de culture (Butault *et al.*, 2010) : « *Dans le niveau 2c, cette diminution de l'emploi des pesticides concerne d'abord les herbicides, contrairement au niveau 2a où les herbicides diminuent moins que les autres pesticides* » (Butault *et al.*, 2010, p. 45). Développer les raisonnements à cette échelle est donc un enjeu d'apprentissage dans les filières qui vont former les futurs agriculteurs.
- (ii) l'atteinte de ce niveau et la mise en œuvre des principes de l'agriculture intégrée confronte les agriculteurs à la nécessité de considérer la complexité en termes de gestion des assolements, de gestion des successions des cultures, de combinaisons de techniques culturales, tout en considérant le contexte territorial pour valoriser les productions (filières) qui doit co évoluer. Dans un contexte qui se reconfigure à l'échelle du socio-système, de nombreux repères deviennent mouvants. Ces perspectives génèrent des incertitudes, il est plus difficile de prendre des décisions en ayant des difficultés à se projeter. Selon nous, outiller les futurs agriculteurs à agir en situation d'incertitudes représente également un enjeu éducatif.
- (iii) l'atteinte du niveau 2c marque une rupture dans les raisonnements d'une majorité d'agriculteurs car il est question de « *dépasser la logique de raisonnement des intrants et en appliquant des principes de gestion agronomique qui marquent une vraie "rupture" dans les pratiques et les références ou repères mobilisés* » (Butault *et al.*, 2010, p. 30). Par conséquent, ce sont de nouveaux apprentissages dans la construction des raisonnements qu'il faudrait construire.

1.2.5. Le niveau d'utilisation des pesticides N3

Contours

Le niveau N3 correspond à la mise en œuvre de l'agriculture biologique.

Grands traits de la stratégie pour gérer la protection des cultures

Les principes de l'agriculture biologique caractérisent ce niveau. Ce mode de production est défini par un cahier des charges officiel (label Agriculture Biologique « AB ») encadré par la directive européenne 834/2007 (applicable depuis 2009 en France). L'article 4 de cette directive définit les principes de la production biologique comme le fait de «*concevoir et de gérer de manière appropriée des procédés biologiques en se fondant sur des systèmes écologiques qui utilisent des ressources naturelles internes au système, selon des méthodes qui utilisent des organismes vivants et des méthodes de production mécaniques*». Un cahier des charges spécifique est défini par grand type de production. Les systèmes conduits en agriculture biologique n'utilisent pas de produits chimiques de synthèse pour les productions végétales et animales. Les systèmes en AB se rapprochent des systèmes intégrés par une approche globale du fonctionnement pour en assurer la résilience. Mais les systèmes en AB s'en distinguent par l'interdiction du recours aux produits phytosanitaires de synthèse et aux OGM.

Comme il existe très peu de méthodes curatives, ce sont surtout des méthodes préventives qui se fondent sur une approche systémique du milieu afin de concevoir un milieu favorable à la santé des plantes et limitant les proliférations de bioagresseurs. Les raisonnements reposent le choix des cultures et des assolements diversifiés pour prévenir le risques sanitaires. Le choix des espèces et des variétés est capital : les systèmes agrobiologiques choisissent des plantes rustiques qui peuvent être des variétés anciennes, mais qui sont adaptées au contexte et moins sensibles aux bioagresseurs. Les rotations sont longues pour respecter des temps de retour de cultures ou de groupes de culture pour « rompre » le cycle des bioagresseurs. La lutte mécanique, la lutte thermique pour les adventices, la lutte biologique sont des moyens de gestion employés. Il est possible d'intervenir avec des traitements à base de produits qui satisfont à la fois le cahier des charges de l'AB et les exigences des textes qui cadrent les usages des pesticides. L'annexe II du règlement (CE) n°889/2008 donne la liste des produits autorisés en AB²⁶⁰ (i.e. produits minéraux autorisés contenant du cuivre ou du soufre). Le recours à ces produits de traitement doit être considéré comme un dernier recours justifié (ITAB, 2014). Les méthodes de lutte ou de gestion ne sont qu'un aspect de la stratégie de gestion de la santé des plantes.

Résultats attendus pour les grandes cultures

L'objectif de réduction de l'emploi des pesticides de synthèse (-50%) est de fait atteint dans ce niveau de rupture puisque leur emploi n'est pas autorisé dans le cahier des charges « AB ». A l'échelle parcellaire annuelle et part rapport au niveau N0, la conduite du blé tendre selon le cahier des charges de l'agriculture biologique occasionne une baisse de rendement de 30% chez le blé tendre selon le RICA et les experts de l'étude envisagent quant-à eux une baisse beaucoup plus importante (50 à 60%) (Butault *et al.*, 2011). Le temps de travail et la marge brute sont également impactés (hausse de 34 % du temps de travail et marge brute diminuée de 32%). A l'échelle pluri-annuelle, le niveau de production est affecté, mais la marge brute et le temps de travail ne sont jamais dégradés par rapport au niveau N0 (entre

²⁶⁰ Pour les produits de biocontrôle et les préparations non préoccupantes, la situation est en cours de clarification mais les difficultés administratives sont nombreuses (Herth et Lemaire, 2011).

autres). La généralisation de l'agriculture bio entraîne des pertes de production importantes, en

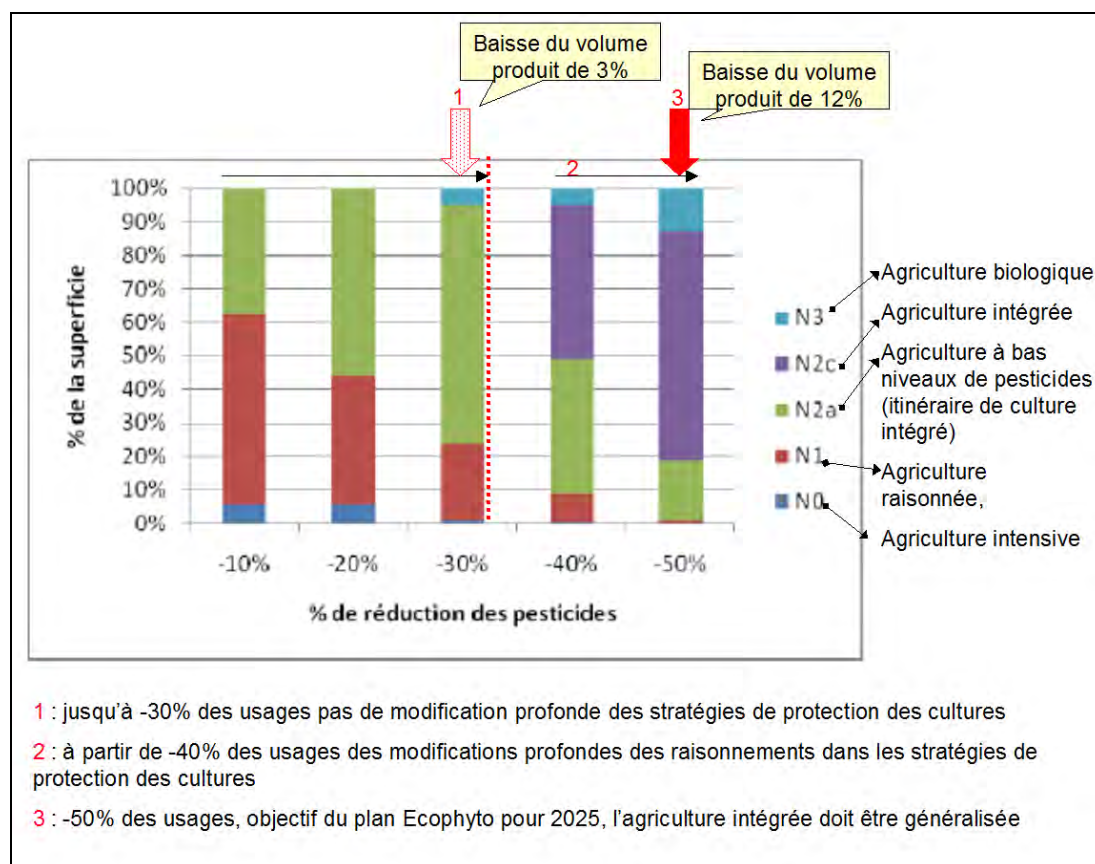
grandes cultures d'au moins 35% (RICA). En grandes cultures, les marges sont impactées avec des réductions significatives (-40%, à prix équivalents aux prix du conventionnel et -25% avec des prix bio revalorisés (+40%) sur la base des données du RICA.

Dans un contexte de prix bas et en l'absence de soutien public, la mise en œuvre de l'agriculture biologique pose des problèmes de rentabilité économique et de baisse de volumes pour les grandes cultures, même si des performances environnementales sont améliorées.

1.3. Des objectifs de niveaux à atteindre sur le plan national : Conséquences

Sur la base de modélisations mathématiques, des scénarios grandes cultures à l'échelle régionale, l'étude a produit des combinaisons de niveaux de rupture²⁶¹, pour atteindre des objectifs croissants de limitation du recours aux pesticides à l'échelle nationale. Ces combinaisons sont déterminées à partir de diminution de l'IFT (-10%, -20%, -30%, -40%, -50%) et sont exprimées en pourcentage de la superficie. La contrainte de maximisation de la marge brute au niveau de chaque région est incluse dans le modèle. La figure n°15 présente les différentes combinaisons obtenues par projection.

Figure n°15 : Combinaison de niveaux de rupture pour des objectifs de réduction des pesticides en grandes cultures (de -10% des IFT à -50%) à partir de Bultault *et al.* (2010)



²⁶¹ Nous rappelons que les niveaux de rupture s'adossent à de formes d'agriculture.

La limitation de la dépendance aux pesticides s'accompagne d'une modification de pratiques pour protéger les cultures : la part de l'agriculture conventionnelle diminue de manière significative et cette forme disparaît pour une diminution de moitié de l'IFT. Les stratégies de protection fondées sur la gestion intégrée des cultures prennent de l'ampleur par rapport aux stratégies fondées sur la lutte raisonnée. Le raisonnement à l'échelle pluri-annuelle n'est pas systématisé pour toutes les cultures de l'assolement en grandes cultures. Pour atteindre l'objectif de -50% des usages, l'agriculture raisonnée disparaît presque du paysage de l'agriculture française et l'agriculture intégrée doit être généralisée et la part de l'agriculture biologique s'accroît également. Il s'agit d'un saut cognitif important pour les acteurs comme nous l'avons évoqué, car les raisonnements doivent être déployés à l'échelle pluri-annuelle et sur toutes les cultures du système de culture. L'étude souligne néanmoins que jusqu'à -40% des usages, la marge brute n'est significativement impactée. Les pertes de production atteignent 12% pour un niveau de réduction de 50%.

2. Le concept d'agro-écologie et notion de transition

Faire de l'agriculture française un fer de lance de l'agro-écologie est devenu une préoccupation de l'agenda politique national. Le projet agro-écologique pour la France lancé le 18 décembre 2012 « Agricultures, produisons autrement » vise à engager l'agriculture dans une transition agro-écologique. Le plan Ecophyto, comme nous l'avons indiqué dans le chapitre 1, fait partie des objectifs prioritaires pour contribuer à la transition agro-écologique. M. Le Foll, ministre en charge de l'agriculture, présente l'agro-écologie comme « *un investissement d'avenir, elle est aussi pour les agriculteurs un moyen de répondre aux attentes de la société toute entière*²⁶² ». Dans la perspective d'éclairer le champ des possibles pour l'agriculture française, le ministre a confié à M. Guillou et B. Hervieu la mission de :

- recenser des expériences et d'explorer les leviers à l'émergence de nouveaux modèles agricoles et les freins à leur développement,
- de proposer des pistes pour favoriser leur développement.

Le rapport produit (Guillou *et al.*²⁶³, 2013) recense et analyse des solutions possibles de conduites agro-écologiques (pratiques) tout à fait transférables à l'agriculture française : l'agro-écologie offre des pistes concrètes pour l'amélioration des performances économiques et environnementales de systèmes de production. Il fait également mention de leviers, de freins et du temps nécessaire à l'essaimage de pratiques ancrées dans l'agro-écologie pour faire évoluer les pratiques actuelles majoritaires et les systèmes de production. Le rapport invite à la vigilance car l'amélioration de performances économiques et environnementales peut s'accompagner d'une dégradation des performances sociales, remettant en cause la durabilité des systèmes en mettant les agriculteurs en difficulté. La nécessité de réinjecter de la complexité dans les systèmes agricoles exige de nouvelles formes d'apprentissage tant sur le plan conceptuel (raisonnement pluriannuel, multi niveau) que sur le plan de la déclinaison concrète des principes sous la forme de pratiques agro-écologiques. Ces perspectives réclament plus de temps pour les suivis sur le terrain et pour les mises en œuvre amenant à accroître la charge de travail. Enfin, la dimension « risques pris par les agriculteurs » est soulignée et exige qu'elle soit prise en compte au sein des dispositifs par l'ensemble du système. Parmi les voies d'action, la formation professionnelle et initiale des agriculteurs et des conseillers agricoles est citée dans la conclusion du rapport : « *adapter les référentiels de formation initiale et continue des agriculteurs, et former les conseillers agricoles aux*

²⁶² Discours prononcé lors du Symposium international sur l'Agro-écologie pour la Sécurité alimentaire et la Nutrition, organisé par la FAO, Rome septembre 2014.

²⁶³ Guillou, M., Guyomard, H., Huyghe, C. et Peyraud, J.L. (2013).

principes de l'agro-écologie pour les diffuser plus largement auprès des groupes d'agriculteurs prêts à s'y engager» (Guillou *et al.*, *ibid.*, p. 59). Fort de ces conclusions, le plan d'action national « agro-écologique » enjoint les agriculteurs à s'engager dans la mise en œuvre de systèmes de production satisfaisant la triple performance économique, environnementale et sociale et le gouvernement a proposé un ensemble de mesures pour accompagner cette transition. L'agro-écologie est devenue une injonction politique au cœur de la loi d'avenir pour l'agriculture (septembre 2014) et la profession, la recherche, le développement et les systèmes de formation agricoles sont invités à soutenir cette vaste transformation. Le site du ministère « Agricultures, produisons autrement » donne 10 clés pour engager les professionnels dans ces nouveaux modes de production²⁶⁴. Le plan Ecophyto y figure pour poursuivre les efforts dans la réduction de la dépendance aux produits phytosanitaires. Plus globalement, la question de la réduction des intrants externes à l'exploitation agricole est sous tendue afin de concevoir des « *dispositifs innovants pour réduire l'usage des intrants* » (Guillou *et al.*, *ibid.*, p. 53).

L'agro-écologie a fait la preuve des pratiques agricoles efficaces (de Schutter, 2011) et constitue un cadre de pensées holistiques, donnant des pistes :

- pour clarifier des choix en termes de développement de systèmes agricoles et alimentaires pour l'avenir,
- pour mettre en œuvre concrètement des systèmes agro-écologiques.

Ces perspectives nous amènent à d'abord définir l'agro-écologie (de quoi parle t-on ?) et à discuter son lien avec le développement durable. Nous abordons ensuite en quoi l'agro-écologie questionne l'usage des ressources dans les systèmes agricoles. A ce titre, en agro-écologie, le concept d'agroécosystème permet de renouveler l'approche de la gestion des ressources. Puis, nous précisons des principes-clés en agro-écologie qui guident la conduite des systèmes agricoles. Nous développons enfin des approches de l'agro-écologie scientifique qui vont nous permettre de discuter comment la mise en perspective du plan Ecophyto dans le cadre de « Agricultures, produisons autrement » se reconfigure pour envisager la protection des cultures.

2.1. Agro-écologie, une forme de déclinaison du développement durable

Evoquer l'agro-écologie est équivoque car le terme désigne tout autant une discipline scientifique, un mouvement de transformation des sociétés et un ensemble de pratiques agricoles (Wezel, Bellon, Doré, Francis, Vallod et David, 2009 ; Stassart *et al.*, 2012) (cf. figure n°16). Dans un premier point, nous présentons brièvement les trois acceptions de l'agro-écologie et en quoi l'agro-écologie est une déclinaison du développement durable qui met au cœur des enjeux la question des ressources. Nous cernons le concept d'agroécosystème dans un deuxième point. Des principes de l'agro-écologie proposés par Altieri (1995) sont présentés dans un troisième point et enfin nous discutons les formes d'agro-écologie scientifique dans un quatrième point. Nous terminons par un rapide état des lieux de l'agro-écologie en France.

2.1.1. Un concept polysémique

Dans le monde, paradoxalement, l'agro-écologie est « *Tantôt présentée comme remède à tous les problèmes, tantôt accusée de mystification ou d'archaïsme (...)* » (Burger, Berton, Billaz et Lebreton, 2013, p. 7). Les trois formes de l'agro-écologie sont apparues au fil de l'histoire et ces déclinaisons varient selon les régions du globe concernées en raison des approches culturelles différentes et des traductions successives. Cette construction multi-site, multi-

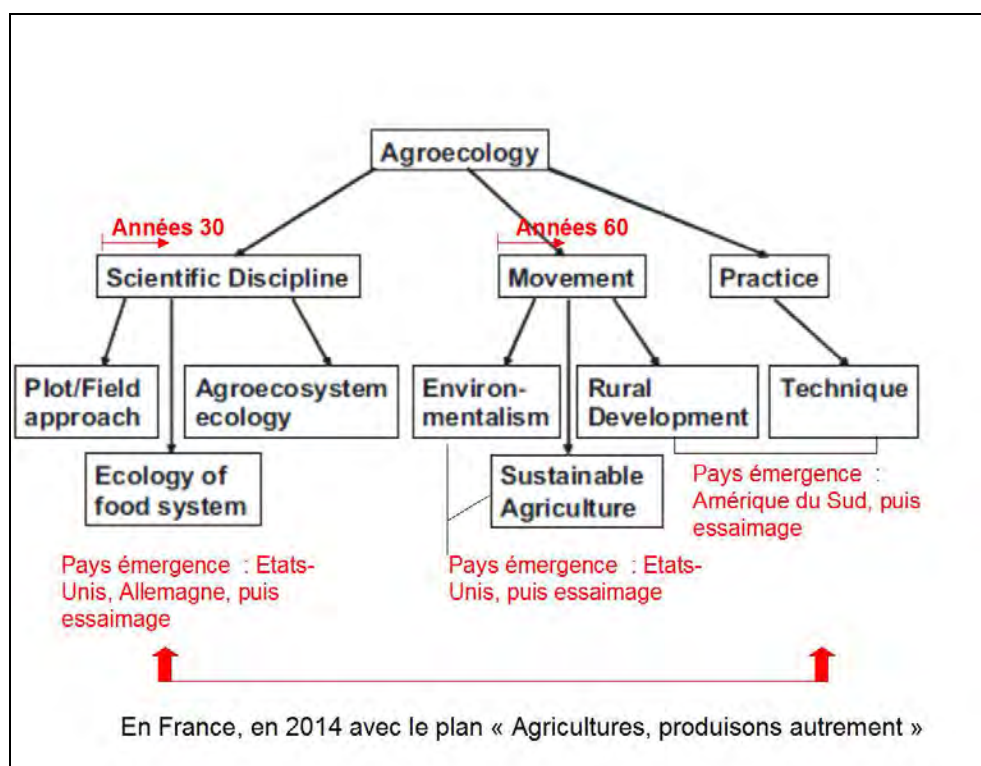
²⁶⁴ Nous l'avons évoqué cette perspective dans le chapitre 1. Le lecteur peut cependant se référer au site du ministère en charge de l'agriculture <http://agriculture.gouv.fr/definition-agroecologie> consulté le 05 mars 2015.

culturelle et multi-focale explique le flou dans la notion, tout comme les différences paradigmatiques (Wezel *et al.*, 2009 ; Holt-Giménez et Altieri, 2013) : il n'existe pas une seule manière de définir la notion. Néanmoins, l'agro-écologie permet de définir un horizon, mais les voies pour y parvenir sont multifformes. Tracer l'évolution de la notion au fil du temps exige de préciser les contextes de son émergence et la construction de son sens tant l'agro-écologie s'avère liée à des contextes sociogéographiques datés. Son histoire récente en fait selon nous un très bon exemple pour illustrer les interactions réciproques entre les sciences, les agricultures et les sociétés. La pertinence de l'agro-écologie réside dans le fait qu'elle offre un « espace conceptuel » qui permet de penser la durabilité des modes de production dans des contextes très différents.

Quelle que soit l'acception, l'agro-écologie a une fonction critique²⁶⁵ en proposant un cadre pour (re)penser les systèmes agricoles et la pratique de l'agriculture. L'agro-écologie prend d'abord la forme d'une discipline scientifique émergente à la fin des années 20 aux Etats-Unis. Elle mûrit pendant près de 80 années dans le monde. Ses acceptions se sont élargies au fil du temps, en s'essaimant dans des pays caractérisés par des entrées culturelles et des contextes politiques différents amenant plusieurs perspectives de l'agro-écologie (Wezel *et al.*, 2009). L'agro-écologie représentant un ensemble de pratiques agricoles et la forme incarnant un mouvement social contestataire émerge à partir des années 60 aux Etats-Unis et un peu plus tard, dans des pays du sud, l'agro-écologie en tant que mouvement social. L'Amérique latine a été pionnière dans ce domaine et aujourd'hui de nombreuses expériences à travers le monde révèlent le potentiel et l'efficacité de ces formes d'agricultures agro-écologiques (de Schutter, 2011). Ces mouvements sociaux prennent la forme de programmes visant la souveraineté alimentaire fondée sur le développement d'une agriculture familiale diversifiée et autonome. La constitution de réseaux d'échange de pratiques locales acquises par les agriculteurs de génération en génération ayant fait leur preuve est un point essentiel du développement et du maintien de ces formes d'agriculture agro-écologiques. Dans le même temps, ces mouvements sociaux militent en faveur des politiques publiques qui lui sont favorables.

²⁶⁵ Les formes d'agricultures, dites modernes largement promues par les états, comme la révolution verte dans les pays du sud et l'agriculture intensive agro-industrielle au nord ne ménagent pas les ressources et ne tiennent pas les promesses de l'éradication de la faim dans le monde.

Figure n°16 : Les trois acceptions de l'agro-écologie dans le monde aujourd'hui (Wezel *et al.*, 2009)



Wezel *et al.* (2009) distinguent deux périodes : « *old age' of agroecology* » ou la naissance de l'agro-écologie, des années 30 aux années 60 et « *Expansion of agroecology* » ou l'expansion de l'agro-écologie des années 70 à nos jours. Aujourd'hui en France, coexistent à la fois un ensemble de courants scientifiques, de mouvements sociaux et des cas d'exploitations agricoles où des pratiques agro-écologiques sont mises en œuvre.

2.1.2. Agro-écologie et développement durable

Les trois acceptions partagent cependant des préoccupations liées au concept de durabilité : (i) l'agro-écologie est un levier pour prémunir les sociétés de la non durabilité sur les plans environnemental (et économique) des systèmes de production agricole et (ii) de la non équité des systèmes agri-alimentaires. La première pointe la nécessité de retenir des modèles agricoles sur la base de leur capacité à préserver et à gérer à long termes les ressources naturelles (Holt-Giménez et Altieri, 2013). La seconde met en exergue la nécessité de considérer dans les systèmes agricoles leur aptitude à maintenir une production dans le temps dans des contextes changeants en interactions avec les sociétés (incertitudes, contraintes et pressions socio économiques).

A la suite du rapport Brundtland (1987) préparatoire au Sommet de Rio en 1992, le développement durable s'est progressivement imposé comme objectif politique national et international. Même si les contours de la notion ne sont pas nets et si les multiples définitions sous tendent des différences paradigmatiques et sont objets de controverses, un consensus demeure sur un ensemble de principes communs : le développement durable repose sur une approche globale qui postule qu'un développement à long terme n'est viable qu'en conciliant le respect de l'environnement, l'équité sociale et la rentabilité économique. La définition la

plus communément admise est donnée dans le rapport Brundtland (1987) (« *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* »). L'agro-écologie représente une forme de mise en œuvre méthodologique et pratique pour l'agriculture durable dans une perspective de développement rural durable (Sarandon et Flores, 2012). L'agriculture durable se définit comme écologiquement saine, économiquement viable, et socialement juste et humaine (Francis et Youngberg, 1990 *in* Bonny, 1994) : elle est « *capable d'évoluer indéfiniment vers une plus grande utilité pour l'homme, vers une meilleure efficacité de l'emploi des ressources et vers un équilibre avec le milieu qui soit bénéfique à la fois pour l'homme et pour la plupart des autres espèces* » (Harwood (1990) *in* Bonny, 1994). A l'échelle de l'exploitation, l'agriculture durable doit satisfaire des critères de *viabilité*, de *vivabilité*, de *transmissibilité* et de *reproductibilité* (Landais, 1998). L'agro-écologie peut être considérée « *comme un paradigme (...) comme un objectif théorique et méthodologique qui vise, en mobilisant plusieurs disciplines scientifiques, à étudier l'activité agricole dans une perspective intégrant des dimensions écologiques, économiques et sociales* » (Sarandon et Flores, 2012, p. 91) : la contribution à l'inscription des activités agricoles dans le développement durable est soulignée. Mais l'agro-écologie insiste sur la dimension collective et invite à considérer une pluralité d'acteurs concernés par l'agriculture. Ces collectifs sont au cœur des actions sociales (des agriculteurs en premier lieu, mais aussi, des acteurs du développement rural comme des scientifiques, des politiques, des agents du développement, des collectivités territoriales, des organisations non gouvernementales, etc.). Ils visent à faire émerger et à développer des formes d'agriculture « *socialement plus juste, économiquement plus viable et écologiquement plus appropriée* » (Sarandon et Flores, *ibid.*, p. 92), qui remplacent le modèle agro-industriel. Nous développons dans la suite de notre propos l'acception scientifique de l'agro-écologie. Les savoirs émergents produits offrent une approche conceptuelle pour concevoir et piloter des systèmes agricoles plus résilients et durables qui peuvent s'avérer très intéressants pour les praticiens et les enseignants des établissements agricoles en charge des formations des futurs agriculteurs et conseillers agricoles.

2.2. Le concept d'agroécosystème et la question des ressources

Dans son acception scientifique, le néologisme apparaît avec Bensin (1928) pour définir un nouveau champ scientifique fondé sur la mobilisation de concepts de l'agronomie et de l'écologie, mais également de concepts empruntés à quelques autres disciplines scientifiques biologiques (zoologie, physiologie des plantes) pour éclairer les pratiques de l'agriculture (en l'occurrence pour le cas du maïs). Ce rapprochement entre agronomie et écologie n'est pas anodin car c'est un premier pas vers le décloisonnement disciplinaire : l'agronomie était cantonnée aux champs cultivés (elle étudiait les facteurs pour la production agricole) et l'écologie aux espaces peu ou pas anthropisés (elle étudiait les interactions entre les éléments des écosystèmes, les flux d'énergie, les cycles de matières). Le champ scientifique émergent analyse les différents composants des systèmes cultivés (les plantes, le climat, le sol, les animaux et les bioagresseurs) et les interactions entre eux et avec les pratiques agricoles. Ces premiers travaux en agro-écologie ont une résonance particulière avec notre recherche : des publications abordent déjà des perspectives de gestion des bioagresseurs par des moyens de régulation biologique dans les agrosystèmes (à l'échelle de la parcelle) qui s'appuient sur le fonctionnement des écosystèmes (Friederichs, 1930).

L'agro-écologie a produit le concept d'agroécosystème et en a fait un concept-clé au cœur des raisonnements. L'agroécosystème est un système modifié par l'homme et géré pour produire des biens comme des productions pour l'alimentation, pour la fabrication de fibres ou pour la fabrication de carburants et considéré comme un écosystème. Comme tout écosystème, l'agroécosystème produit également des services. Cette dernière considération met *de facto* en

lumière la multifonctionnalité de l'agriculture : les agroécosystèmes fournissent des habitats, des paysages, interviennent dans le recyclage des nutriments et dans les régulations biologiques, participent à la séquestration du carbone et au contrôle de l'érosion des sols, et aux processus de détoxification et d'épuration des milieux. Ils jouent un rôle dans la conservation de la biodiversité « sauvage » et domestiquée/cultivée (agrobiodiversité). L'agroécosystème représente un concept pour théoriser : analyser, comprendre, évaluer, modéliser des processus écologiques dans la perspective de concevoir et de piloter des systèmes qui s'appuient sur le fonctionnement des écosystèmes. Au cours des années 70 et 80, l'agro-écologie a connu un tournant conceptuel en réaction aux pratiques agricoles de la révolution verte dans les pays latino américains (Altieri, 1987) et aux pratiques de l'agriculture agro-industrielle nord américaine. La discipline scientifique agro-écologie s'est investie pour résoudre les problèmes qui en ont découlé. Altieri est le précurseur de la conceptualisation scientifique donnant également à voir des pratiques agricoles associées. Altieri²⁶⁶ propose une démarche globale qu'il théorise en interaction avec les acteurs sociaux locaux et avec ceux à la tête de l'état dans la perspective d'agir sur les politiques de développement agricole, les pratiques agricoles et alimentaires en intégrant les conséquences environnementales et sociales des choix en vue d'une meilleure durabilité. De concept scientifique, l'agroécosystème devient également un lieu de mise en œuvre concrète des principes de l'agro-écologie prenant la forme d'une diversité de pratiques.

Dans les espaces cultivés, l'agro-écologie cherche à améliorer la durabilité des agroécosystèmes en imitant la « nature » plutôt que l'industrie (Altieri, 1995), en s'inspirant de l'écologie. L'agro-écologie développe une assise conceptuelle qui vise l'économie des ressources non renouvelables, le maintien et/ou l'amélioration du potentiel productif agricole, la réduction des intrants externes aux systèmes d'exploitation en particulier des intrants à risques comme les pesticides. L'agro-écologie amène à reconsidérer le milieu biophysique et les ressources. Le fonctionnement d'un agroécosystème dépend du milieu physique (sol, climat, topographie, biodiversité, disponibilité en eau, entre autres) dans lequel il est inscrit et le milieu va influencer ses capacités productives. Ce milieu représente un potentiel de ressources renouvelables et non renouvelables pour que le système géré puisse fonctionner. Dans l'approche agro-écologique, ces ressources ne sont pas illimitées : certaines ne sont pas renouvelables et il convient de les utiliser avec parcimonie et de les remplacer autant que possible par des ressources renouvelables. Les ressources renouvelables quant-à elles doivent faire partie des services rendus par les agroécosystèmes dont le fonctionnement doit assurer leur protection et en assurer le renouvellement à un rythme qui correspond au moins à leur consommation. Ces deux considérations sous tendent une dimension éthique dans l'agro-écologie soulignant la solidarité nécessaire intra et inter générationnelle pour ne pas user les ressources de manière hégémonique dans des formes d'agriculture excluant ainsi l'accès à d'autres. Ces perspectives s'opposent à la gestion des ressources des systèmes agricoles de types agro-industriels qui visent la maximisation de la fonction de production en mobilisant de manière excessive les ressources, résumées à un stock sans tenir compte de leur fragilité, stock que l'on peut améliorer par des intrants s'il est insuffisant. L'épuisement des ressources, la consommation supérieure à leur capacité de renouvellement ou la dégradation de leur qualité supérieure à leur capacité d'épuration ne sont traitées dans les stratégies de production que sous l'angle des coûts économiques directs (cherté de la ressource) ou indirects (pénalité agri-environnementales) : la production est cantonnée aux espaces productifs et la conservation et l'épuration sont reléguées (plus fort que déléguer) aux espaces naturels (Hubert, 2012).

²⁶⁶ L'agro-écologie en Amérique latine est à l'origine d'une des formes des mouvements sociaux.

2.3. Des principes fondateurs pour l'agro-écologie « pratique ».

Face à la diversité des acceptions de l'agro-écologie, Sarandon et Flores (2012) ont proposé quelques critères précisant ce que ne recouvre pas l'agro-écologie dans la perspective de lever des confusions.

Alors l'agro-écologie pour la pratique des agricultures, c'est ou ce n'est pas...

L'agro-écologie n'est pas « un « style » d'agriculture (biologique, biodynamie, naturelle ou permaculture) », ne peut pas être réduite « à une série de techniques ou de recettes écologiques », l'agro-écologie n'est pas seulement réservée ou « applicable à certains types d'agriculteurs : marginaux, à petites échelle ou avec peu de ressources », l'agroécologie n'exclue pas l'« utilisation d'intrants chimiques (pesticides, engrais) », elle n'a pas une visée prescriptive (« pas d'interdiction ni de normes »), « ce n'est pas un « retour vers le passé » ou vers des technologies « préhistoriques » », l'agro-écologie ne renie pas « la science ou la technologie moderne », et enfin l'agro-écologie « ne signifie pas une « non-intervention » sur les agroécosystèmes, en gardant tout naturel » (*ibid.*, p. 102).

Altieri (1995) propose cinq principes pour conduire concrètement des systèmes agricole. Ces principes renvoient pour certains à des fonctions écologiques (termes soulignés) :

- optimiser et équilibrer les flux de nutriments en garantissant des conditions de sols favorables qui assurent le recyclage de la biomasse ;
- minimiser l'usage des ressources externes non renouvelables (engrais de synthèse, carburant) et limiter les quantités de substances toxiques ou polluantes libérées dans le milieu (pesticides),
- maximiser l'usage des ressources renouvelables (solaire, organique, hydrique),
- favoriser la diversité génétique et fonctionnelle²⁶⁷ et, enfin,
- promouvoir les processus et les services écologiques.

Des principes auxquels s'adosse une grande variété de pratiques

Ces principes cachent toute une variété de pratiques plus ou moins complexes : des semis sous couvert, des associations d'espèces dans le temps et l'espace pour utiliser la lumière et les volumes du sol (*i.e.* agroforesterie), pour capter l'azote atmosphérique (introduction de fabacées), pour repousser les bioagresseurs et/ou limiter les épidémies, des associations de productions végétales et d'espèces d'élevage. A ces principes est associée l'ambition sociale de permettre d'assurer l'autonomie des agriculteurs et la souveraineté alimentaire. Goulet et Meynard (2012) constatent que peu de publications abordent de manière détaillée la déclinaison technique des principes. En particulier, il y a peu d'éléments sur la gestion concrète des problèmes posés par les adventices dans différents contextes. Il semblerait qu'il y ait une délégation de la déclinaison pratique et opératoire des principes aux acteurs locaux dans la perspective qu'ils soient adaptés aux contextes situés. Ces déclinaisons singulières sont objets d'apprentissages dans l'action et pour l'action, expliquant qu'il soit difficile de les extraire hors du contexte rendant alors très efficaces les échanges au sein de réseaux. Les principes permettent d'incorporer des savoirs locaux. Les savoirs d'expérience des agriculteurs sont capitaux car ils ont été acquis par ajustements successifs aux conditions locales. L'agro-écologie se révèle un espace de dialogues entre les savoirs scientifiques et les

²⁶⁷ Altieri propose une catégorisation fonctionnelle de la biodiversité : (1) les groupes fonctionnels qui réalisent des processus de médiation (pollinisation, lutte biologique, décomposition de la matière organique), (2) les groupes fonctionnels qui contribuent la protection des ressources sol et eau, (3) les groupes fonctionnels qui assurent la production des cultures, de bois et de fibres, (4) les « agents destructeurs » qui réduisent la production et limitent les autres fonctions, (5) les groupes fonctionnels qui permettent « la connectivité des éléments du paysage ».

savoirs paysans pour faire émerger de nouvelles technologies mais également des formes d'accompagnement des changements.

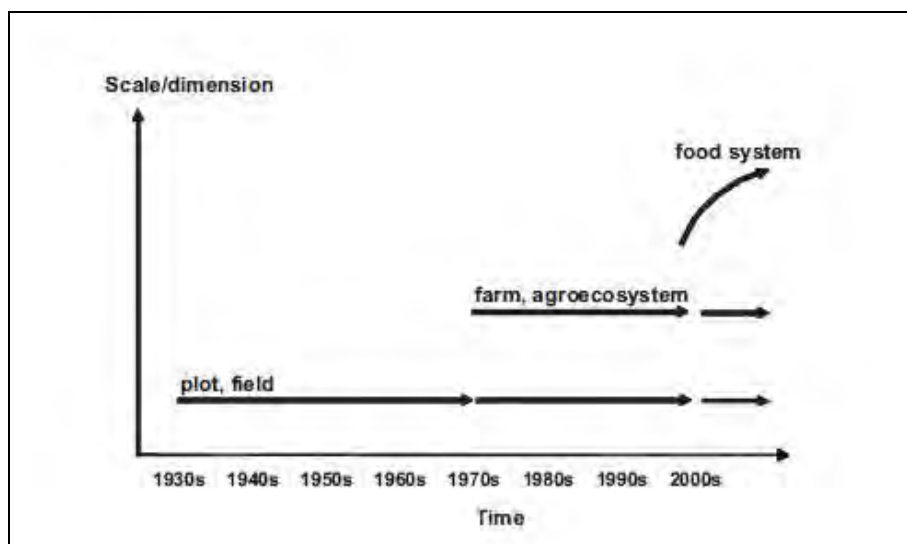
2.4. Quelques éléments sur l'agro-écologie scientifique

L'agro-écologie apparaît comme un cadre conceptuel pour concevoir et piloter des agroécosystèmes durables dans la perspective de protéger les ressources (Gliessmann, 1998): «*L'agroécologie est l'application de l'écologie à l'étude, la conception et la gestion des agro-écosystèmes durables* » (Gliessman 1998 in Stassart *et al.*, 2012).

Des échelles d'étude de plus en plus englobantes

De la parcelle ou champ cultivé au début des années 30, à l'exploitation agricole dans les années 70 et à l'agro-écosystème, au cours des années 2000, l'agro-écologie élargit son champ d'étude (cf. figure n°17). Le champ scientifique se penche sur la connectivité entre pratiques agricoles et le système alimentaire (Francis *et al.*, 2003 ; Buttel, 2003 ; Gliessman, 2007²⁶⁸)).

Figure n°17 : Les changements d'échelle dans les définitions de l'agro-écologie au cours du temps (Wezel *et al.*, 2009)



Cette approche renouvelée permet de considérer la pratique de l'agriculture dans des contextes socio-politiques où la complexité et l'incertitude des activités et leurs imbrications imposent la prise en compte des échelles d'organisation. Dans le même temps, en se plaçant à l'échelle du système alimentaire, l'agro-écologie invite à considérer le « *partenariat étroit entre les acteurs concernés, une recherche sur la transformation des systèmes agricoles* » (Meynard, 2012a, p. 86). Dès lors l'agro-écologie pluridisciplinaire devient interdisciplinaire et assoit comme base méthodologique une approche multi scalaire : écologie, sciences agronomiques et sciences sociales sont nécessaires tout comme la prise en compte d'échelles plus englobantes liée à la recherche de solutions aux problèmes posés les pratiques agricoles associées et les interactions avec les sociétés.

²⁶⁸ "The science of applying ecological concepts and principles to the design and management of sustainable food systems.", p. 7.

Des courants scientifiques en agro-écologie et controverses

Wezel *et al.* (2009) distinguent plusieurs orientations scientifiques en agro-écologie, porteurs de paradigmes différents (Buttel, 2003 ; Hubert, 2012) selon (i) les courants impliqués, (ii) les échelles d'étude mobilisées, (iii) la façon dont les ressources sont considérées (iv) les problèmes qu'elles cherchent à résoudre et (v) les frontières agraires.

(i) *L'agro-écologie agronomie* considère l'agronomie comme la discipline-phare. Le courant emprunte des concepts à l'écologie et les hybride dans la démarche agronomique. Mais la transposition reste difficile du fait d'approches conceptuelles différentes. Les disciplines scientifiques Agronomie et Ecologie sont incontournables mais la place des sciences humaines et sociales est discutée dans les approches en agro-écologiques. *L'agro-écologie systémique* s'ancre quant-à elle dans la lignée de l'écologie odumienne et met au cœur de l'approche des systèmes gérés les notions de résilience et de stabilité. Mais le passage de la conceptualisation à la déclinaison opérationnelle sous la forme de combinaisons de techniques opératoires sur le terrain est très difficile.

La *hard agroecology* et la *soft agroecology* sont deux formes scientifiques (Hecht, 1995). La *hard agroecology* s'appuie sur les deux disciplines phares « originelles », l'agronomie et l'écologie, auxquelles s'ajoute ensuite l'économie dans les années 90. Cette forme d'agro-écologie scientifique a pour échelle d'étude l'agroécosystème. Les recherches portent sur la compréhension des mécanismes biologiques en jeu (processus et dynamiques) dans le fonctionnement des écosystèmes. Il s'agit de contribuer à la résolution de questions de conception de systèmes agricoles résilients et durables afin de mobiliser de nouveaux savoirs dans des schémas de conception et dans les principes de leur conduite. Les êtres vivants et les mécanismes en jeu dans les fonctionnements des sols, le recyclage des éléments, les mécanismes génétiques (intra et interspécifiques) en jeu dans le contrôle biologique, la concurrence et la co évolution des espèces dans les milieux, la production de services écosystémiques entre autres sont des pistes émergentes. Ces questions sont instruites à partir de concepts comme la communauté fonctionnelle, les traits fonctionnels, les services écosystémiques, la biodiversité fonctionnelle intra/inter spécifique sans oublier le concept d'agroécosystème. Des travaux récents sur les dynamiques des adventices dans les systèmes de culture économes en pesticides s'inscrivent dans cette perspective agro-écologique (Garnier et Navas, 2011 ; Gaba *et al.*, 2010 ; Colbach *et al.*, 2014²⁶⁹).

Pour les tenants de la *soft agroecology*, la *hard agroecology* ne permet pas de prendre en compte le rôle des hommes et des sociétés pour le développement de leurs propres systèmes alimentaires. Ainsi la *soft agroecology* s'intéresse aux interactions entre les agroécosystèmes et les socio-systèmes. Les politiques, tout comme les projets de société (porteurs de valeurs), interfèrent dans les projets d'agriculture. Le développement des productions agricoles doit être connecté aux questions alimentaires et les activités agricoles doivent également considérer les perspectives de filières et être intégrées dans les projets d'aménagement du territoire en termes de qualité, de quantité et de sécurité. Les sciences humaines et sociales comme la sociologie, l'économie, mais aussi la philosophie font partie intégrante du projet scientifique interdisciplinaire porté par la *soft ecology*.

(ii) Les échelles d'analyse privilégiées varient avec les courants scientifiques agro-écologiques : l'agroécosystème est commun, mais dans *l'agro-population ecology*, l'échelle « populations » est au cœur de la démarche (dynamique et génétique). Dans *l'ecological political economy* (Altieri *et al.*, 1987), ce sont les échelles de l'exploitation agricole et des systèmes de production. Dans *l'integrated assessment of multifonctionnal agricultural*

²⁶⁹ Colbach N., Gibot-Leclerc S., Granger S., Moreau D., Voisin A.-S., Bockstaller C., 2014.

landscapes, l'approche est multiscalaire et très englobante, les territoires, les filières tout comme le système agri-alimentaire sont étudiés.

(iii) La façon dont les ressources sont considérées diffèrent selon les approches. Dans l'approche *resource sufficiency*, les ressources sont un capital (stock) qu'il convient de gérer selon l'état des ressources. Les ressources sont considérées comme pouvant être produites et exploitées sans que soient distinguées les singularités des contextes. La gestion des ressources vise à en limiter la consommation et/ou à en augmenter l'efficacité d'utilisation et/ou à substituer certaines ressources par d'autres. Les solutions proposées ne sont pas spécifiques aux contextes. Dans l'approche *functional integrity*, les ressources ne sont plus considérées comme une dimension statique et prévisible appréhendée par la notion de stock. Les ressources sont dynamiques et considérées comme le produit émergent du fonctionnement des écosystèmes et des socio systèmes complexes interconnectés. La question de la gestion repose sur l'identification « (...) *des points critiques- d'ordre techniques ou sociaux* » (Hubert, 2012, p. 146) qui affecteraient la durabilité des systèmes.

(iv) Autour d'un objectif commun- nourrir durablement la population humaine- les courants agro-écologiques se distinguent selon les problèmes qu'ils cherchent à résoudre. Pour les uns, il est question d'opérer une modernisation écologique de l'agriculture qui assure dans le même temps la conservation et la protection des ressources : des formes d'ingénierie écologique sont déployées pour assurer la durabilité des espaces productifs. Pour les autres, la durabilité des systèmes de production donne une priorité au développement de systèmes qui assurent la souveraineté alimentaire des populations les plus fragiles. La notion d'équité est au centre de l'approche.

(v) Certaines visions de l'agro-écologie se distinguent dans la définition des frontières agraires. Ce point est objet de controverses. Dans une approche, c'est le principe d'une gestion différenciée entre les espaces productifs dans ses contours actuels et les espaces naturels, les forêts, objets de protection spécifiques. La préservation de ces derniers est une garantie de voir les principales fonctions écologiques assurées. Dans une autre approche, les imbrications des systèmes cultivés avec les autres systèmes sont recherchées afin de créer « des mosaïques paysagères », tout en veillant à assurer une connectivité entre les systèmes et à organiser une certaine hétérogénéité. Il s'agit d'une recomposition des activités dans l'espace en pensant leur complémentarité dynamique en termes de diversité des services et des fonctions. Dans cette perspective, il n'y a pas de ségrégation entre des espaces productifs agricoles et les autres.

2.5. L'agro-écologie en France

En France, l'agro-écologie est presque « confidentielle » jusque dans les années 2000 (Bellon et Ollivier, 2012). L'agro-écologie en tant que mouvement social pour des agricultures alternatives s'est d'abord développée sous l'égide d'un acteur emblématique, P. Rabhi. Ce dernier prône une forme d'agriculture plus proche de la nature dès 1978 qu'il va essaimer à l'international pour l'autonomie alimentaire des petites communautés rurales dans des pays émergents. Progressivement, des syndicats agricoles alternatifs, des associations pour la promotion de l'agriculture alternative (agricultures de conservation, Solagro, l'AEI promotrice de l'agriculture écologiquement intensive, etc.) revendiquent des principes de l'agro-écologie. Les premiers mouvements font peu de référence aux travaux scientifiques agro-écologiques. L'agro-écologie scientifique émerge progressivement sans que le terme ne soit explicite, à la faveur de rapprochement entre agronomie et écologie. L'écologie est mobilisée pour tempérer des effets générés par un cadre de pratiques et de principes agronomiques. Les années 2000 marquent un tournant. L'agro-écologie est portée par des institutions comme le CIRAD et l'INRA (qui en fait une de ses priorités dans son document d'orientation 2010-2020). Ces institutions considèrent que l'agro-écologie peut contribuer à

relever les défis auxquels les sociétés sont confrontées comme le souligne le rapport de Schutter (2011) présenté au Conseil des droits de l'homme de l'ONU.

Aujourd'hui, la dimension sociale et la dimension scientifique viennent s'imbriquer à la dimension politique : la loi d'avenir porte un projet de transition agro-écologique pour l'agriculture française.

Que sous tend la notion de transition dans cette perspective de changement ?

Le concept de transition

Ces dernières années, le terme transition est employé dans de nombreux domaines (thermodynamique, mathématique, chimie, physique, politique, étude des activités humaines dans leur environnement, étude du développement professionnel). Aujourd'hui, les transitions sont *flores* : transition énergétique, transition socioprofessionnelle, transition politique, transition écologique, transition numérique, etc. La transition agro-écologique proposée par le ministère en charge de l'agriculture comme horizon pour l'agriculture française est celle qui nous intéresse. Nous retenons des points saillants qui nous interpellent dans le cadre de notre recherche.

Objet de nombreuses définitions, le concept de transition a des contours et une complexité propre à l'approche paradigmatique du champ de l'étude. Le concept de transition été étudié en sciences humaines pour un large éventail de thématiques aussi bien à l'échelle des individus (Dupuy et Le Blanc, 2001) qu'à celle des organisations et des socio-systèmes (Geels et Schot, 2007). Dans toutes les acceptions toutefois, la notion de transition suppose le passage d'un état vers un autre et ce passage est lui-même considéré comme un état à part entière. Les approches partagent l'idée que la transition représente le passage d'un système complexe caractérisé par un équilibre dynamique vers un autre système. En effet, la transition apparaît marquée par des processus de déconstruction et de recomposition dans les domaines sociaux, technologiques, politiques et cognitifs entre autres. Néanmoins, les définitions se distinguent sur ce qui se passe durant le passage considéré comme un processus de transformation : là encore l'empan des approches est large entre les acceptions qui considèrent le passage comme prédéterminé marqué par des étapes successives et progressives dans le temps (i.e. la transition entre le monde de l'école et le monde du travail, de l'enfance vers l'âge adulte) et celles qui introduisent l'idée de discontinuités et de ruptures dans le passage vers autre chose. Durant cette phase, différentes stratégies d'adaptation individuelles et collectives (David, 1985) se mettent en place, traduisant par le caractère hétérogène du chemin retenu et la dynamique (trajectoire ou pathway). A l'échelle des individus, les processus psycho-sociaux ont un rôle majeur dans la compréhension des phénomènes (description des étapes et leurs enchainement) attribuant un sens aux transformations. La dimension psycho-sociale est d'autant plus prégnante que le contexte socio-professionnel de référence est caractérisé par des incertitudes et de l'instabilité (Dupuy et Le Blanc, 2001 ; Masdonati, 2007). Les phases de transition sont des temps délicats, marqués par une forte contradiction entre le changement et la conservation et par la superposition de normes et de valeurs, générant de la confusion. Ces éléments contribuent à expliquer pourquoi aujourd'hui avec la perspective de changement générée par le plan Ecophyto, les agriculteurs sont en manque de repères et les enseignants ont du mal à construire des enseignements-apprentissages (voir *supra*).

Théorie des transitions sociotechniques pour penser la perspective de la transition agro-écologique

La théorie des transitions nous apparait un cadre d'analyse pour déployer des raisonnements complexes nécessaires pour appréhender la protection des cultures dans le cadre d'une transition agro-écologique. La théorie n'a pas de caractère opératoire, mais elle nous permet de discuter la situation de la France qui affiche la volonté politique de s'engager dans une transition agro-écologique.

L'économie et la sociologie se sont intéressées à l'adoption des innovations à leur acceptation dans les sociétés pour les premiers (travaux sur l'aversion aux risques, et à la diffusion des innovations (technologiques) pour les seconds (Rogers, 1962): les causes du décalage observé entre la rapidité de mise à disposition d'une pléthore de technologies destinées à améliorer le confort des sociétés et en assurer des formes de développement et la lente modification de la société par ces mêmes moyens ont été recherchées. La question de l'adoption et de la diffusion des innovations dans l'agriculture ont été l'objet de travaux spécifiques de l'échelle individuelle à la dimension collective (Mendras et Forsé, 1983 ; Rogers, *ibid.*, Valente et Rogers, 1995). Récemment, un champ scientifique de théorisation de la transition technologique appelé « management des transitions » a été développé par les économistes évolutionnistes : ces recherches ont visé l'opérationnalisation des transitions vers le développement durable par la définition d'une gouvernance adaptée²⁷⁰. Dans la veine de cette production scientifique, les théories des transitions sociotechniques ont permis de décrire des processus en jeu dans les phases de transition vers la durabilité de sociétés contemporaines confrontées à des problèmes. L'approche enrichit un des cadres antérieurs d'analyse sur les trajectoires du changement (Rogers, 1962) : les échelles individuelles et collectives et les interactions complexes et multidimensionnelles avec le contexte sont considérées. Les notions de verrouillage sociotechnique, de dépendance du chemin et le caractère multi-niveaux des processus sont mis en avant pour expliquer la résistance d'un modèle dominant face à des alternatives avérées plus compatibles (et opérationnelles) avec la durabilité.

Pour penser et s'engager dans la transition vers des systèmes plus durables, ici en l'occurrence des systèmes agro-écologiques, en raison de la complexité des phénomènes et des sociétés, la pensée linéaire n'est pas opérante. En effet, les changements d'état se produisent à plusieurs niveaux exigeant une approche systémique et transdisciplinaire pour appréhender les dynamiques de toutes les dimensions en jeu dans les phénomènes de transition vécues par les sociétés : des dimensions psycho-sociales individuelles et collectives (valeurs, comportements) ; des normes imposées par des politiques, des institutions, des communautés ; des disciplines directement connectées aux technologies et aux objets. Geels et Schot (2007) proposent une grille d'analyse compréhensive des phénomènes de transition. Les transitions dans un régime technologique sont le résultat d'interactions complexes à trois niveaux ou à trois échelles emboîtées : le paysage ou l'échelle « macro », le régime socio-technique ou l'échelle « méso », et les niches ou l'échelle « micro ».

Le niveau macro qui correspond au paysage ou « *landscape* » est l'échelle la plus englobante. Il caractérise l'environnement exogène des deux autres niveaux hiérarchiques. C'est à ce niveau que sont considérés les « mouvements de fonds », « les tendances » (Boulangier, 2008), les objectifs à long terme y sont définis. Le paysage englobe aussi les grands processus écologiques, les processus démographiques, les grandes crises entre autres. Il est constitué par les institutions et comprend également des normes sociales, politiques et culturelles, les idéologies politiques, les valeurs des sociétés et les modèles macro économiques (« (...) »

²⁷⁰ Les approches sont récentes et peu de résultats empiriques sont disponibles : les pays bas ont été pionniers en terme de déclinaison opérationnelle d'une transition de gouvernance pour le développement durable.

includes demographical trends, political ideologies, societal values, and macro-economic patterns (...) » (Geels, 2011, p. 28). A cette échelle, les changements sont lents, de l'ordre de plusieurs décennies, et les perturbations qui y surviennent impactent les deux autres niveaux sans qu'ils puissent s'y soustraire (« ils doivent s'adapter »). Le paysage est le niveau le plus stable et le plus résistant au changement. Il constitue un cadre de contraintes et impose une direction dans les dynamiques. Les niveaux micro et méso ne peuvent pas directement infléchir à court terme les dynamiques à cette échelle. Le paysage contraint un horizon qui favorise la généralisation de choix technologiques existants voire leur auto-renforcement.

La France déploie à l'échelon national et régional une politique en faveur de la réduction de l'usage des pesticides comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent : elle donne un horizon, des objectifs et pour la formation des futurs acteurs ajuste une politique éducative (nous le verrons plus loin). Le changement est amorcé et les résultats ne sont pas immédiats.

Le niveau méso correspond au régime sociotechnique²⁷¹ ou à la « structure dominante ». En interaction directe avec le paysage et les niches, à ce niveau s'opèrent des changements qui permettent d'optimiser l'existant. Sans pressions trop importantes des autres niveaux, seules les innovations compatibles avec le modèle dominant se développent : le fonctionnement du régime produit des mécanismes d'auto reproduction qui maintiennent le paradigme dominant ou le régime dans les grandes lignes. Or, le régime apparaît être une échelle-clé du système complexe pour deux raisons. (i) Les phénomènes de verrouillage prennent forme à ce niveau. Le verrouillage est lié à un régime d'adoption massif de formes d'innovations compatibles. Bidaud (2013) évoque la « *compatibilité avec les standards* » : plus l'innovation est répandue et plus elle sera acceptée et utilisée par les acteurs. Les interactions entre acteurs renforcent leur position et leurs intérêts entraînant des effets d'irréversibilité. A cela s'ajoutent des considérations épistémiques : plus les connaissances disponibles et mobilisables pour s'approprier les innovations « compatibles » sont abondantes, plus les utilisateurs sont rassurés. Dans bien des situations, les solutions alternatives sont peu nourries sur ce plan et cette configuration renforce l'aversion aux risques des utilisateurs potentiels. Les alternatives émergent au niveau des niches et n'ont pas encore été suffisamment capitalisées pour en extraire des éléments de portabilité pour aller nourrir des projets hors du contexte situé. La mosaïque des savoirs produits n'est pas accessible. (ii) Geels (2011) définit les transitions comme des changements de régime : un modèle sociotechnique évolue vers une autre forme. Selon Geels (*ibid.*), à ce niveau prennent forme et force les transitions. C'est donc à ce niveau que la transition agro-écologique doit pouvoir s'imposer, c L'agro-écologie devrait pouvoir s'exprimer dans toute sa diversité et non sous la forme d'un modèle dominant, supportant un paradigme, se substituant à celui qui est rejeté, critiqué et qui n'apparaît plus efficient : cette perspective correspond à un « (...) *scénario fondé sur la co-existence entre une pluralité de paradigmes, de façons de concevoir les choses et de produire les savoirs* » (Goulet, Magda, Girard et Hernandez, 2012, p. 246). Nous avons vu que le niveau de réduction des pesticides souhaité par le plan Ecophyto à l'horizon 2025 ne pourra pas être atteint sans revoir les principes de raisonnements de la protection des cultures (adoption des principes de l'agriculture intégrée).

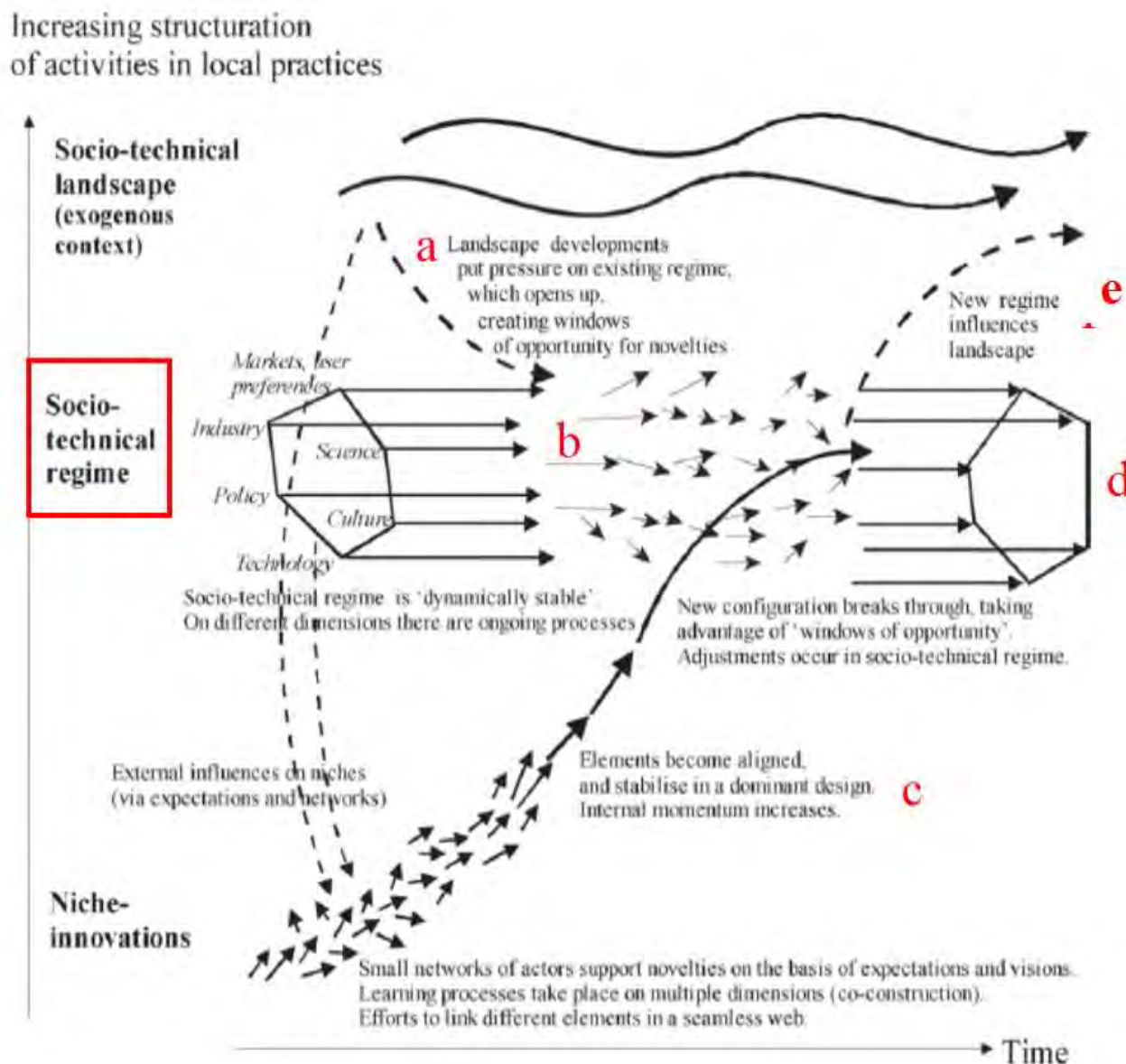
La consommation des pesticides a repris depuis 2009, malgré le plan Ecophyto (Butault *et al.*, 2011) : les conditions climatiques favorables, un marché agricole porteur pour les grandes cultures et un prix des consommations intermédiaires plutôt stables ont poussé les agriculteurs à recourir à des stratégies d'assurance pour profiter des opportunités. On voit là la difficulté à s'engager dans des alternatives si les conditions ne poussent pas à changer.

²⁷¹ Un système sociotechnique caractérise un ensemble d'objets techniques ou technologiques et d'acteurs en interaction pour répondre à une fonction sociale. Les travaux ont été en particulier déclinés pour l'étude des transitions dans les transports (Geels, 2002), mais aussi pour l'étude des formes de production agricole en France (Lamine, 2011).

Le niveau micro correspond aux niches. Les niches sont considérées comme des espaces protégés d'expérimentation d'alternatives. En marge du régime dominant, des systèmes cohérents alternatifs échappent aux formes de pression du régime dominant qui les écartent. Ces niches présentent des configurations favorisant l'émergence de réseaux sociaux qui vont supporter les innovations de niches, des apprentissages collectifs liés à ces nouvelles façons de faire. Ainsi, des innovations radicales ou de rupture, alternatives au régime socio technique peuvent émerger et se structurer (Geels, 2011). Ces innovations touchent aussi bien le domaine social, les concepts, les techniques, les connaissances. De nouveaux paradigmes émergent dans les niches. Des innovations de niches peuvent être intégrées dans le régime dominant sans en modifier l'architecture, mais elles permettent de résoudre des problèmes ponctuels. Néanmoins, les niches sont essentielles pour les transitions car elles sont porteuses de ferments qui peuvent générer des changements en profondeur du système « *Niches are crucial for transitions, because they provide the seeds for systemic change* » (Geels, 2011, p. 27). Les innovations de niches sont en route et aujourd'hui, les actions de capitalisations tentent de les mettre en lumière comme le montre le réseau des fermes Dephy, les expérimentations dans les lycées agricoles dans le cadre des actions 16 (voir un peu plus loin), et dans des cas d'exploitations ayant développé des alternatives au système conventionnel présentés sur le site « *Agricultures, produisons autrement* ».

Dans le cas des transitions, des changements multiples et convergents s'opèrent à différents niveaux et dans des secteurs variés de la société. La figure n°18 sert d'appui pour la « démonstration » qui suit. Par exemple, à la faveur d'une crise ou d'une orientation politique émergeant dans le paysage (a) : le régime est déstabilisé, les pressions créent des fenêtres d'opportunités pour les nouveautés (b). Les techniques, les pratiques, les organisations, les savoirs sont alors remis en question, créant des brèches dans le régime dominant au niveau desquelles des fenêtres d'opportunité s'ouvrent pour les innovations et le régime s'ajuste au fil de l'eau. Les innovations de niche faisant échos à des attentes spécifiques encouragées par les acteurs du paysage se développent, se structurent dans un réseau cohérent, prennent de l'ampleur (c) et viennent s'insérer dans le régime. Elles entraînent ainsi une reconfiguration du système sociotechnique (d). Enfin, le régime peut à son tour faire évoluer le paysage (e).

Figure n°18 : La perspective multi-niveaux de la transition Geels et Schot, 2007 (p. 401)



L'approche multi niveaux permet de (i)concevoir une stratégie globale opérante à plusieurs niveaux pour engager les sociétés dans une transition vers un horizon à atteindre et de (ii)déterminer les points d'appui pour déverrouiller un système socio-technique.

Pertinence de la grille d'analyse pour le cas de la réduction des pesticides

Cette grille a été mobilisée dans des études visant à mettre en lumière les causes du maintien d'un régime de production agricole dominant associé à l'agriculture de type agro-industriel et la marginalisation des alternatives. Le cadre proposé par Geels et Schot (*ibid.*) a permis de mettre en exergue des formes de verrouillage du système sociotechnique par un ensemble convergent de logiques d'acteurs, de technologies, de contexte scientifique, politique et institutionnel à plusieurs niveaux qui a exclu ou rendu marginales au fil du temps les

innovations ou des formes alternatives en agriculture (Vanloqueren et Barret, 2008 ; Lamine, *et al.*²⁷², 2008). Dans des travaux sur des cas de transitions vers des agricultures alternatives, la grille d'analyse a été adaptée, mais elle a permis de révéler que les obstacles/difficultés à l'adoption de pratiques plus écologiques (on entend par écologiques, des pratiques qui s'adosent sur les principes de fonctionnement des écosystèmes : réduction des pesticides, agriculture biologique entre autres) et à leur mise en œuvre dépendent évidemment de choix propres à l'agriculteur (économiques et techniques) mais sont également conditionnés par des systèmes qui dépassent l'exploitation agricole (le conseil, la recherche, les politiques agricoles, la demande des consommateurs).

En conclusion en France

Si, l'agro-écologie est aujourd'hui un des concepts fédérateurs pour l'action politique de le cadre de la transition agro-écologique, cette perspective suppose une approche multi échelle (Stassart *et al.*, 2012) pour accompagner le changement et mobiliser les acteurs. L'agro-écologie se révèle un cadre de pensées et d'actions pour améliorer le développement durable de l'agriculture impliquant les acteurs sociaux (de la société civile, les politiques), les professionnels agricoles et les experts scientifiques en vue de co-définir un horizon partagé et co construire des solutions fondées sur la pluralité des savoirs. Aucune définition vraiment partagée n'émerge en France. Toutefois comme le souligne Bellon et Ollivier (2012), les raisonnements pour construire des scénarios de systèmes production et la logique de leur conduite prennent de plus en plus de la distance vis-à-vis de la « *rationalité technique uniformisante* » (*ibid.*, 2012, p. 79). L'article 1 de la loi d'avenir précise en substance que « *Les politiques publiques visent à promouvoir et à pérenniser les systèmes de production agroécologiques, dont le mode de production biologique, qui combinent performance économique, sanitaire et environnementale et haut niveau de protection sociale* » « (...) *Ils sont fondés sur les interactions biologiques et l'utilisation des services écosystémiques et des potentiels offerts par les ressources naturelles, (...) en maintenant leur capacité de renouvellement du point de vue qualitatif et quantitatif* ». La politique donne un cap et indique « *Un cadre d'action qui propose des concepts, des outils, et des pratiques facilitant la transition vers des systèmes agricoles durables* » (David *et al.*, 2011²⁷³), sans imposer de formes. Le site « *Agricultures, produisons autrement* » fait état d'expériences très diverses ancrées dans leur contexte. En France, l'agro-écologie ne peut pas être réduite à un champ scientifique, à des mouvements sociaux ou à un corpus de pratiques : « (...) *elle est appelée à devenir un concept fédérateur d'action intermédiaire entre ces trois dimensions (...)* » (Stassart *et al.*, 2012). La ligne politique affiche sa volonté d'écologiser les pratiques agricoles et de considérer le développement durable de l'agriculture étroitement lié à des contextes socio-économiques pluriels : il n'y a pas un modèle uniforme pour l'agriculture, l'agriculture biologique est néanmoins encouragée.

3. Des notions pour raisonner la protection des cultures

Dans cette partie, nous développons les différentes notions d'appui pour raisonner la protection des cultures (notion de cycles, nuisibilité et sa quantification) dans un premier point. La notion de nuisibilité dans le cas des adventices est spécifiquement déclinée dans un deuxième point. Nous présentons une gamme de solutions pour protéger les cultures et gérer les adventices tout en précisant leurs intérêts, leurs limites et les perspectives de reconfiguration dans le contexte d'une approche agro-écologique dans un troisième point.

²⁷² Lamine C., Ricci P., Meynard J-M., Barzman M., Bui S. et Messéan A. (2008).

²⁷³ « Les mots de l'agronomie » consultable en ligne <http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Agro%C3%A9cologie> consulté le 05 janvier 2015

C'est ce travail préparatoire que devraient conduire les enseignants en agronomie pour faire l'état de la question avant de construire des situations d'enseignement-apprentissage.

3.1. Les éléments à considérer pour aborder la protection des cultures dans un contexte de limitation des usages des produits phytosanitaires

La présence de bioagresseurs perturbe le fonctionnement des plantes dans un peuplement cultivé et génère des dysfonctionnements plus ou moins importants. Les effets des populations des bioagresseurs sont à appréhender en termes d'interactions dynamiques et dans leur contexte. Les savoirs centraux reposent :

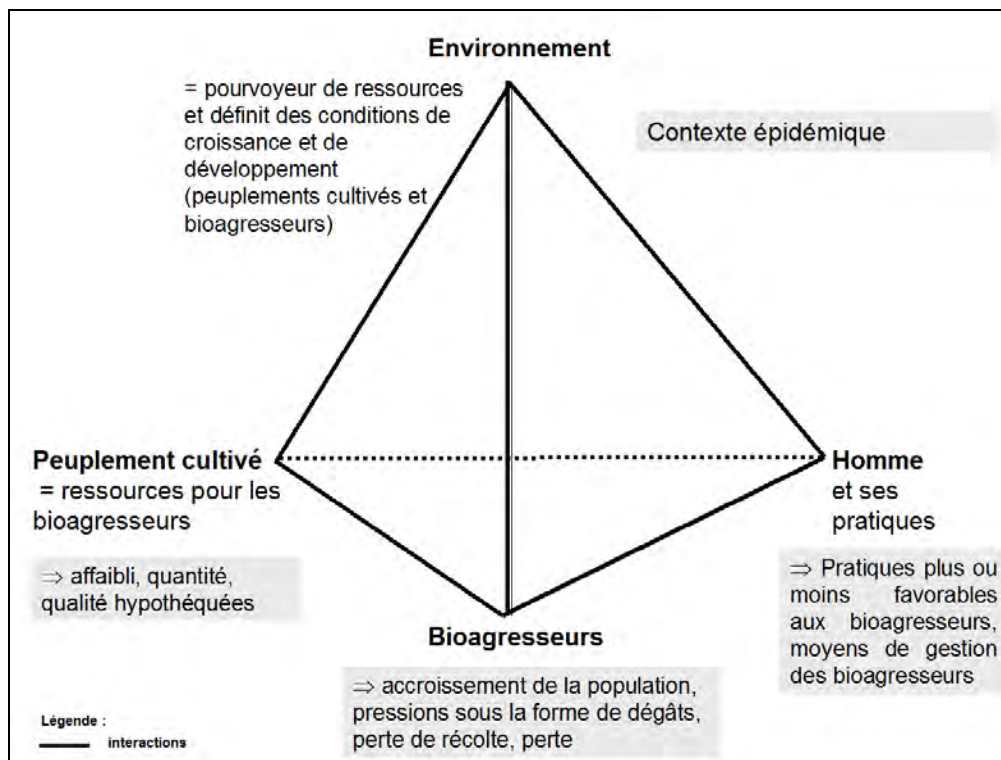
- sur la connaissance des cycles des bioagresseurs,
- sur la connaissance de leurs effets directs et indirects sur la culture dans un contexte de pratiques (nuisibilité),
- et sur la connaissance des principes d'action de moyens de gestion des bioagresseurs,
- et enfin sur la connaissance des performances des moyens de lutte ou de contrôle, sans se restreindre à la lutte chimique, évalués en termes de préservation des pertes de rendement comparés à des modalités sans protection.

La perspective d'engager l'agriculture française dans une transition agro-écologique amène sans doute à élargir les concepts et cadre d'analyse mobilisés en agronomie pour aborder la protection des cultures.

3.1.1. La connaissance des cycles

La connaissance des cycles de bioagresseurs est une donnée fondamentale qui permet d'appréhender les effets de l'activité biologique des « ennemis des cultures » et les conséquences de cette activité biologique sur le système « bioagresseurXpeuplement cultivéXpratiques agriculteurxenvironnement biophysique » cf. figure n°19.

Figure n°19 : Triptyque considéré pour caractériser le système d'interactions entre le peuplement cultivé et les bioagresseurs



L'environnement dans sa dimension biophysique définit des conditions plus ou moins favorables à l'activité biologique des peuplements cultivés (croissance et développement) et des bioagresseurs (épidémie²⁷⁴, cycles, multiplication et conservation). En connaissant le cycle du bioagresseur, il est possible de repérer des phases durant lesquelles certains moyens de gestion pourront être déployés.

Dans un contexte épidémique, les bioagresseurs perturbent le fonctionnement des peuplements cultivés et ce de manière plus ou moins importante allant jusqu'à causer des pertes de récoltes, mais ce n'est pas toujours vérifié. Le peuplement cultivé est affaibli. Des pratiques agricoles sont à l'origine de l'émergence et de la récurrence de certains bioagresseurs. Dans le même temps, différentes stratégies et moyens peuvent être employés pour réduire les effets des attaques de bioagresseurs : nous verrons une palette de solutions possibles dans la suite.

3.1.2. Des concepts liés à la quantification de la nuisibilité des bioagresseurs : dégâts, dommages, pertes et notion de seuils

La « nuisibilité d'un bioagresseur » désigne les manifestations des dysfonctionnements qui surviennent de manière récurrente et chronique ou brutale et ponctuelle²⁷⁵.

La notion de nuisibilité et pertes

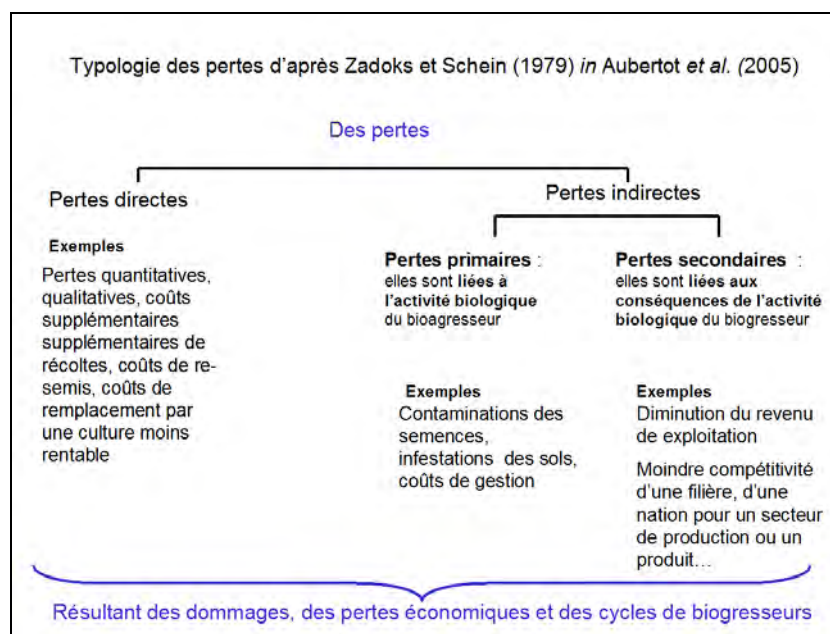
La nuisibilité caractérise le préjudice subi par la culture et/ou les conséquences négatives. Elle se manifeste sous la forme d'effets dépressifs affectant la croissance et le développement

²⁷⁴ On assimile les dysfonctionnements aux effets des épidémies. Une épidémie est La gestion de ces deux formes « d'épidémies » fait appel à des moyens et des bases de raisonnement différents.

²⁷⁵ La gestion de ces deux formes « d'épidémies » fait appel à des moyens et des bases de raisonnement différents.

d'une plante cultivée et/ou d'un peuplement cultivé, sur les plans quantitatifs et/ou qualitatifs et/ou en termes économiques. Zadoks et Schein (1979) cité in Aubertot *et al.* (2005b) ont proposé une typologie de pertes causées par la présence de biogresseurs cf. figure n°20.

Figure n°20 : Typologie de pertes (d'après Zadoks et Schein, 1979)



Les auteurs distinguent les pertes directes de différentes natures qui sont le résultat de l'action directe de la présence des biogresseurs comme une perte de rendement (quantité), les pertes indirectes primaires qui sont imputables à l'activité biologique du bioagresseur et les pertes indirectes secondaires qui sont quant-à elles liées aux conséquences de l'activité biologique. Il est important de souligner que les effets de ces pertes peuvent être mesurés et/ou perçus au-delà de la parcelle de culture et de la campagne culturale. Elles n'ont pas toujours été prises en compte dans la définition la plus complète de la nuisibilité d'un bioagresseur. Nous évoquerons cet aspect pour le cas spécifique de la gestion des adventices.

Une forme de quantification de la nuisibilité à partir des concepts dégâts, dommages et pertes économiques

Savary (1991) a proposé une quantification de la nuisibilité des biogresseurs à partir de trois concepts : dégât, dommage et perte.

Les dégâts sont les premières manifestations²⁷⁶ visibles ou mesurables (symptômes) par rapport à une plante saine causée par la présence d'un bioagresseur sur une culture (*i.e.* jaunissement, nécroses, diminution de la teneur en protéines...). La pression exercée sur le peuplement cultivé résultant de la présence de la population du bioagresseur affecte plus ou moins l'élaboration du rendement de la culture, de sorte qu'en fonction de la sévérité des attaques de bioagresseurs, le rendement quantitatif et/ou le rendement qualitatif²⁷⁷ peuvent être affectés générant des pertes de récolte.

Les dommages correspondent à des pertes de récolte. Il existe une fonction mathématique qui permet d'exprimer les pertes de récolte (dommages) en fonction des symptômes mesurés (dégâts). Ainsi, les pertes de récolte, c'est-à-dire les dommages, sont expliquées par la façon

²⁷⁶Le terme déviation est aussi utilisé.

²⁷⁷ Le rendement d'une culture peut être traduit pondéralement, c'est le plus fréquent : des quintaux de grains produits par hectare. Mais le rendement peut être estimé qualitativement comme par exemple un taux de protéine dans les grains de céréales, un taux de sucre pour les betteraves sucrières.

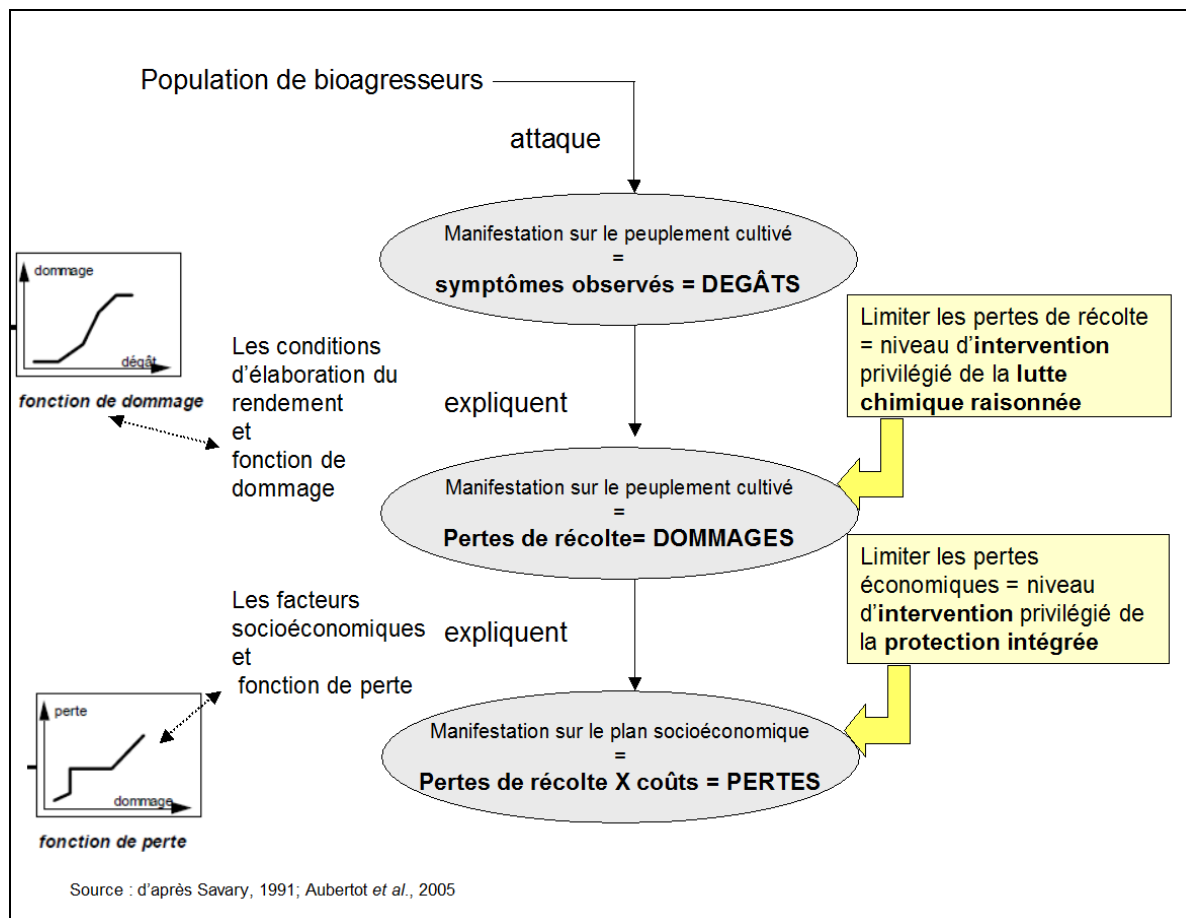
dont s'élabore le rendement de la culture et par une fonction de dommage qui est spécifique d'un couple « peuplement-cortège de bioagresseurs ». La fonction de dommage « *exprime les pertes de récoltes mesurées dans un peuplement en fonction de la quantité de dégâts* » (Aubertot *et al.*, 2005b, Chapitre 4 p. 12). Plus la pression des bioagresseurs est importante plus les dégâts seront élevés et plus les pertes risquent de l'être. Les pertes de récolte dépendent aussi du rendement accessible visé dépendant des pratiques culturales mises en œuvre : « *Les pratiques culturales devenaient alors en soi un élément déterminant des pertes de récoltes, parce qu'elles déterminent à la fois le rendement accessible et la vulnérabilité du peuplement végétal* » (Aubertot *et al.* ; 2005b, Chapitre 4 p. 14). Les pratiques culturales et en particulier la façon de concevoir la protection des cultures va conditionner la réponse du système aux bioagresseurs. Le dommage est expliqué par la mesure de la quantité de dégâts occasionnés par un type de bioagresseurs, par un « contexte de production » auquel il faut ajouter la prise en compte des dégâts occasionnés par d'autres bioagresseurs.

La notion de perte quant-à elle fait référence aux pertes économiques. Le passage des pertes de récolte aux pertes sous-entendues économiques est expliqué par une fonction de perte et par la prise en compte de facteurs socioéconomiques. La fonction de perte « *exprime la relation entre niveaux croissants de dommage et les pertes économiques qui s'ensuivent* » (Aubertot *et al.*, 2005b, Chapitre 4 p.12). En effet, les pertes de récolte seront plus ou moins préjudiciables selon le contexte. Le coût économique de la perte de récoltes est variable selon :

- la perte en terme de quantité et qualité,
- du prix escompté de vente des produits,
- coûts des investissements liés à la production, entre autres.

La figure n°21 schématise les liens entre les différents concepts explicitant la nuisibilité d'une population de bioagresseurs.

Figure n°21 : Schématisation de la quantification de la nuisibilité relation « dégâts, dommages, pertes » à partir de Savary 1991 ; Aubertot *et al.* 2005b.



- *Limite de la notion de dégâts chez les adventices et de la notion de pertes économiques*

La quantification des dégâts comme celle des dommages d'un grand nombre de bioagresseurs a pu être déterminée par des méthodes adaptées. Le cas des adventices apparaît moins bien alimenté. Ce sont en grande partie des freins imputables à la difficulté d'instrumentaliser la mise en œuvre de la collecte des données sur le terrain (parcelle contrôlée ou situation agriculteur).

Aubertot *et al.* (2005b) soulignent l'abondance des travaux sur les déterminations concrètes des fonctions de dommage sur une large gamme de bioagresseurs en terme de perte de récolte restreinte à sa dimension « rendement quantitatif » et mettent en exergue les manques de déclinaisons concrètes pour la fonction de pertes.

- *Polysémie de la notion de seuil*

La fonction de dommage a un statut particulier dans le raisonnement de la protection des cultures. Elle est liée à la théorie du seuil en protection des cultures (Zadoks, 1985). Le concept de seuil d'intervention a d'abord été mobilisé dans le raisonnement des stratégies de lutte contre les ravageurs, repris ensuite en phytopathologie pour gérer les problèmes de maladies dans les cultures. Les malherbologues s'en sont ensuite emparés, sans pour autant l'adapter complètement aux spécificités des concurrents que sont les « mauvaises herbes » : nous le verrons dans le paragraphe dédié à la gestion des adventices la notion de nuisibilité

indirecte est mal prise en compte dans la définition de seuil. La littérature fait mention de différentes notions de seuil pour raisonner les interventions dans la protection des cultures : seuil visuel, seuil de risque, seuil de nuisibilité, seuil de nuisibilité biologique, seuil de nuisibilité technique, seuil ou niveau d'intervention²⁷⁸, seuil de traitement, seuil de déclenchement de traitement, seuil de tolérance, seuil de tolérance économique, seuil d'intervention indicatif, seuil économique de nuisibilité, seuil de dommage économique (cf. tableau n°9)

Tableau n°9 : Notion stabilisée repérée dans le projet Endure²⁷⁹ (**en gras**) pour la protection intégrée des cultures PIC et variantes

Notions stabilisées	Variantes
Seuil visuel	
Seuil de nuisibilité	Seuil de nuisibilité biologique
Seuil d'intervention indicatif	Seuil d'intervention, Niveau d'intervention, seuil de nuisibilité technique, seuil de déclenchement, seuil de traitement, seuil de déclenchement de traitement
Seuil de tolérance économique	Seuil de tolérance
Seuil économique de nuisibilité	Seuil de dommage économique

Nous avons relevé à la fois des termes différents pour désigner des concepts distincts mais aussi des variantes terminologiques pour rendre compte de la même chose au risque de provoquer des confusions entre les notions. Simonneau (Bousquet, 2014) précise que « *la notion de seuil est imprécise et plurielle. Elle met en vis-à-vis des dégâts (symptômes visibles causés par un bioagresseur) et des dommages (pertes en q/ha voire en €/ha si la qualité est affectée)* » (p. 8).

Un seuil désigne un niveau d'un facteur variable dont le franchissement détermine un changement dans une série. Certains seuils sont retenus pour déclencher des actions, ainsi plusieurs seuils sont distingués dans les stratégies de protection des cultures. Nous en présentons six variantes.

1. Le seuil visuel correspond à la *densité minimale des populations à partir duquel l'ennemi peut être observé*²⁸⁰ dans les parcelles. Il est exprimé sous la forme par exemple d'un nombre de plantes d'adventices par m², d'un nombre de puceron par épi d'une céréale. Lorsque la présence est avérée, des conseils d'observation visant le suivi de la dynamique des populations de bioagresseurs peuvent être délivrés ;
2. Le seuil de nuisibilité est le seuil à partir duquel les effets des interactions entre les peuplements cultivés et la population de bioagresseurs causent des dysfonctionnements mesurables dans le peuplement cultivé. Il s'agit du *seuil à partir duquel les dégâts sont*

²⁷⁸ Le troisième principe présenté dans l'annexe III de la directive cadre sur l'usage durable (2009/128/CE) des pesticides fait explicitement mention de la notion de seuils d'intervention : « *Des seuils scientifiquement solides et robustes sont des éléments essentiels à la prise de décision. Pour ce qui est des organismes nuisibles, les seuils d'intervention définis pour la région, pour des zones spécifiques, pour des cultures et pour des conditions climatiques particulières doivent, si possible, être pris en compte avant les traitements* ».

²⁷⁹ Site de référence http://www.endure-network.eu/fr/publications_d_endure/guide_endure_du_formateur_en_protection_integree consulté en le 30 septembre 14

²⁸⁰ Définition extraite de http://www.endure-network.eu/fr/publications_d_endure/guide_endure_du_formateur_en_protection_integree consulté en le 30 septembre 14

*apparents*²⁸¹. Ce seuil est synonyme de seuil de nuisibilité biologique. Des mesures expérimentales ont permis de définir des niveaux de densité d'adventices ou des niveaux d'infestation d'insectes ou des niveaux de pression de maladie réduisant le rendement d'une céréale (-5 %, -10%...). Le seuil de nuisibilité s'exprime de manière spécifique selon le bioagresseur : par exemple, un nombre de plantes/m², un nombre de ravageurs cumulés capturés sur une période, un nombre de pustules pendant un stade phénologique d'une culture.

3. Le seuil d'intervention indicatif ou aussi niveau d'intervention est le niveau de présence d'une population de bioagresseurs ou « de dégâts » à partir duquel « *le dommage potentiel est avéré sans tenir compte ni du prix de vente de la culture ni du coût de la protection* » (Bousquet, 2014, p. 8). En dessous de ce seuil, il n'est pas justifié de faire un traitement dans le cadre de la lutte chimique. Au-dessus de ce seuil, l'agriculteur doit mettre en œuvre des mesures de protection de la culture considérée : « *seuil à partir duquel l'agriculteur doit mettre en œuvre des mesures de protection pour lutter contre la propagation des populations et les empêcher d'atteindre le seuil économique*²⁸² ». Ce niveau permet de déterminer un seuil de tolérance économique pour lequel est nécessaire la mise en œuvre de technique de lutte. Le seuil d'intervention a pour objectif de préciser les conditions des moyens pour protéger les cultures selon le seuil de nuisibilité, le stade de sensibilité de la plante (ou du peuplement) et des plages d'interventions possibles, entre autres. En fonction de la valeur de ce seuil, l'intervention sera impérative ou conditionnelle, immédiate ou différée. La notion de nuisibilité technique est parfois utilisée dans ce sens. Le seuil²⁸³ est défini par exemple par un nombre de bioagresseurs par organe, toutes les configurations qui présentent une pression plus importante peuvent faire l'objet de mesure de contrôle. Ce seuil d'intervention devrait être décliné de manière spécifique selon le devenir du produit récolté et les exigences assignées : par exemple pour le maïs et un type de bioagresseur, le seuil devrait être décliné selon qu'il s'agisse de maïs doux, de maïs grain ou de maïs pour le fourrage.

Aborder les définitions de seuils dans le but de préciser ce qu'elles recouvrent (facteurs considérés) n'est pas facilement accessible dans la littérature. Les seuils apparaissent comme des données limites figées à portée universelle : connaître la valeur, une fois stabilisée, laisserait sous-entendre qu'elle resterait valable quels que soient les contextes, sans reconsidérer les bases conceptuelles sur lesquelles elle repose. Or cette notion de seuil n'est pas anodine et débouche sur des prises de décision fondées encore pour beaucoup sur le recours à un traitement phytosanitaire. Selon Munier *et al.*²⁸⁴ (2002) et Munier-Jolain *et al.*²⁸⁵ (2004) la notion de seuil d'intervention n'est pas bien adaptée au cas des adventices. L'année culturale est considérée mais il est difficile d'intégrer les effets cumulés résultat d'un contrôle partiel qui va permettre malgré tout d'accroître le stock semencier. Aujourd'hui dans le cadre du réseau d'épidémiologie du territoire (axe 2 du plan Ecophyto), les acteurs discutent encore la définition de « seuil de nuisibilité » et des travaux sont en cours (AFPP, 2014). Il s'agira davantage de proposer une analyse des risques²⁸⁶ pour construire des stratégies

²⁸¹ Référence issue du même site « *endure-network.eu* ».

²⁸² Référence issue du même site « *endure-network.eu* ».

²⁸³ Parfois, la présence du bioagresseur correspond au seuil d'intervention.

²⁸⁴ (Munier-Jolain, Chauvel, et Gasquez, 2002)

²⁸⁵ (Munier-Jolain, et Morlon, 2004)

²⁸⁶ Afin d'attirer le lecteur sur la complexité de la définition concrète, adaptée et idéale d'un seuil d'intervention, il faudrait combiner (i) une pression d'un bioagresseur bien évaluée sur le terrain, (ii) à un potentiel de rendement (les impacts ne sont pas les mêmes selon le potentiel considéré [relation plus que proportionnelle entre le rendement et la pression]), (iii) aux facteurs qui rendent compte de la variation de la nuisibilité selon la capacité de compensation de la plante, et/ou de la variété, (iv), ce tout en considérant les effets du contexte pédoclimatique, les effets possibles ajoutés d'autres types de stress (comme la pression d'autres bioagresseurs, un stress hydrique,...). Il faudrait être en mesure de mettre en équation ces quatre types d'interactions très complexes que l'on a du mal à cerner et dont il est également difficile de prévoir les conséquences. Pour finir, il faudrait enfin

adaptées. En plus des limites soulignées pour les maladies et les ravageurs, leur définition soulève aussi des questions spécifiques pour gérer les adventices. Pour le cas spécifique des adventices, toutes les dimensions de la nuisibilité devraient être considérées. Or seule la nuisibilité directe du bioagresseur est considérée. Nous développons cet aspect plus loin dans le manuscrit.

4. Le seuil de tolérance est défini dans le cadre de la lutte intégrée. Il correspond au niveau d'une population de bioagresseurs « *au-dessus duquel les dégâts prévisibles ne sont plus tolérables si les conditions de multiplication de celle-ci deviennent favorables* » (Deguine *et al.*, 2008, p.180). Il est important de préciser que ce seuil de tolérance varie selon les conditions socio-économiques locales.

5. Le seuil de tolérance économique correspond au niveau de population au-dessus duquel la valeur probable du dommage est supérieure au coût de l'intervention ou « *seuil à partir duquel les ravageurs peuvent causer des pertes de rendement à cause du coût des traitements à mettre en œuvre*²⁸⁷ ». Ce seuil traduit un compromis entre le coût des interventions et les dommages aux cultures.

6. Le seuil économique de nuisibilité ou seuil de dommage économique est le « *niveau à partir duquel les dégâts provoqués par un ennemi des plantes en culture (...) correspond à une réduction attendue de la récolte (...)* » (Deguine *et al.*, 2009, p. 180).

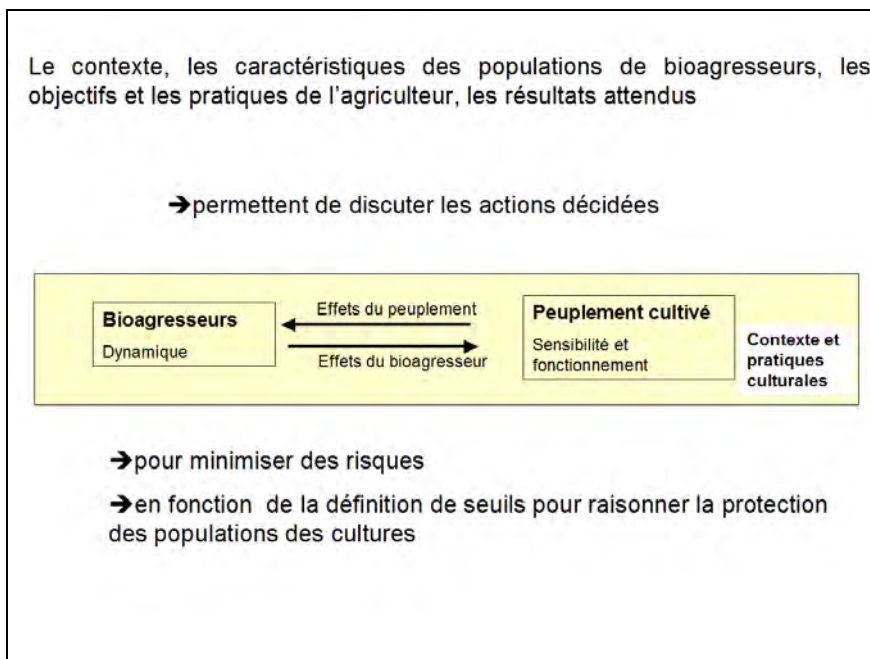
- *Seuils et risques*

Dans le cadre de la protection des cultures, les seuils matérialisent des limites au-delà desquelles les effets des bioagresseurs sont perceptibles et/ou mesurables. Ces notions de seuil renvoient à l'évaluation d'un risque en vu de prises de décision pour guider l'action (cf. figure n°22).

confronter ce système d'interactions aux profils actualisés d'efficacité des produits phytosanitaires (les efficacités des produits ont été évaluées au cours des campagnes de cultures), données elles-aussi complexes à renseigner.

²⁸⁷ Référence issue du même site « endure-network.eu ».

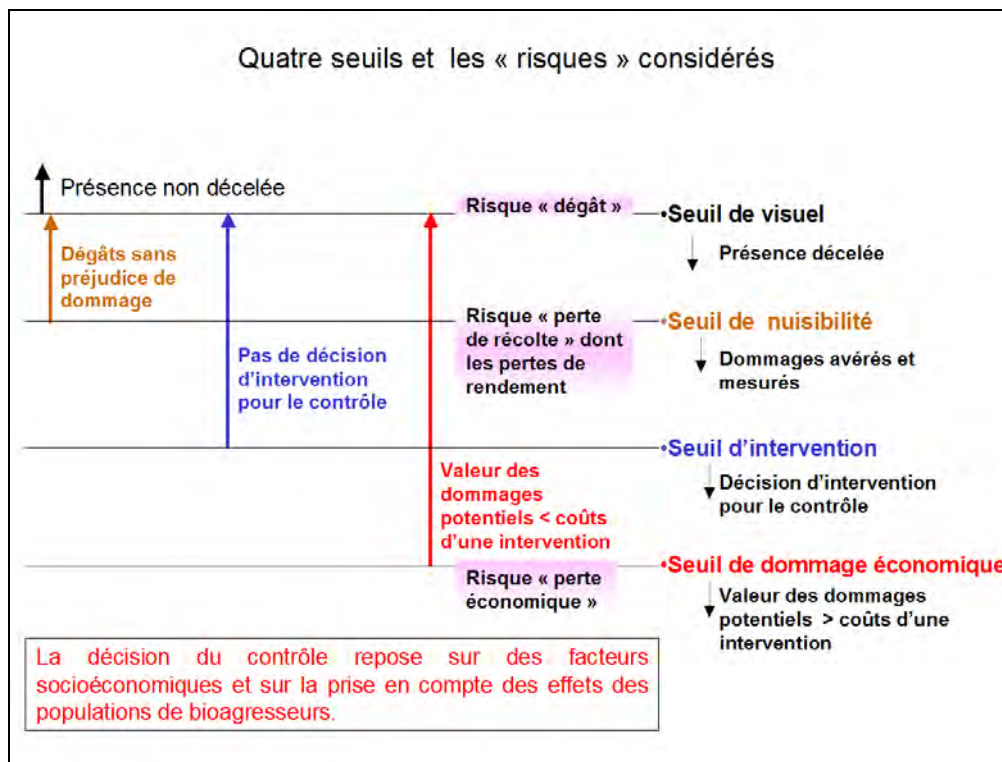
Figure n°22 : Décider d'agir sur le bioagresseur : un risque, un seuil, une décision et des actions



Ainsi pour gérer les bioagresseurs, les agriculteurs déploient des stratégies fondées sur des raisonnements plus ou moins complexes qui débouchent sur des prises de décisions stratégiques à moyen et long terme (*i.e.* le choix d'un type d'agriculture vu comme moyen de gestion de processus, choix d'un système de culture, d'une rotation) et de décisions tactiques (ajustement quotidien pour la mise en œuvre d'une technique par exemple). Ces décisions sont guidées (i) par l'objectif *in fine* de réduire les pertes de récolte et (ii) par l'atteinte de résultats²⁸⁸ (cf. figure n°23). Quatre seuils sont considérés dans des stratégies de protection des cultures (seuil visuel, seuil de nuisibilité, seuil d'intervention, seuil de dommage économique). Ils peuvent être associés à des risques (risque dégât, risque de perte de récolte souvent associé au risque de perte de rendement, risque de perte économique) que les stratégies de la protection des cultures visent à prévenir (cf. figure n°23).

²⁸⁸ Certains sont propres à l'agriculteur comme des résultats attendus en terme de performances agronomiques et économiques des cultures conduites. D'autres peuvent être attendus par des acteurs de la filière, par la nation ou un groupe de nations (enjeux de protection des ressources).

Figure n°23 : Quatre seuils et les risques considérés.



La notion de seuils de nuisibilité soulève des questions spécifiques pour gérer les flores adventices dans les systèmes cultivés (voir plus loin). Nous verrons dans les différentes stratégies de gestion des bioagresseurs quels sont les critères que l'on cherche à minimiser.

3.2. Le cas spécifique de la déclinaison de la notion de nuisibilité chez les adventices

La pratique de l'agriculture a fait émerger de manière concomitante un cortège de plantes concurrentes qui se sont spécialisées dans les espaces perturbés par les mises en culture (Baker, 1974) : les adventices²⁸⁹. Baker (*ibid.*) a proposé une définition de la notion d'adventice fondée sur une entrée écologique, particulièrement pertinente dans un contexte d'approche agro-écologique. Une plante est une adventice si dans toutes les zones géographiques, ses populations « *s'accroissent entièrement et de manière prédominante dans des situations délibérément perturbées par l'homme (hors plantes cultivées)* ». Cette définition sous tend qu'il s'agit d'individus, de communautés d'individus capables de persister dans des contextes qui ne correspondent pas à leur niche « naturelle ». La définition met également en exergue le lien étroit entre les systèmes agricoles anthropisés et les adventices (nous l'avons mentionné dans le premier chapitre). En s'intéressant à l'origine des adventices, il est encore question d'un lien avec les systèmes cultivés. Les adventices proviennent de trois voies d'évolution. Elles peuvent être issues :

- (i) de plantes sauvages adaptées aux perturbations régulières des agrosystèmes,

²⁸⁹ En fait, on distingue deux types de mauvaises herbes : (i) des adventices inféodées aux champs cultivés (espèces agrestes) et (ii) des adventices inféodées aux espaces interstitiels comme le bord des champs et des routes (espèces rudérales).

- (ii) de plantes résultat de croisement entre des plantes sauvages et des cultivars,
- (iii) d'espèces cultivées abandonnées qui ont vu les traits des adventices rétablis.

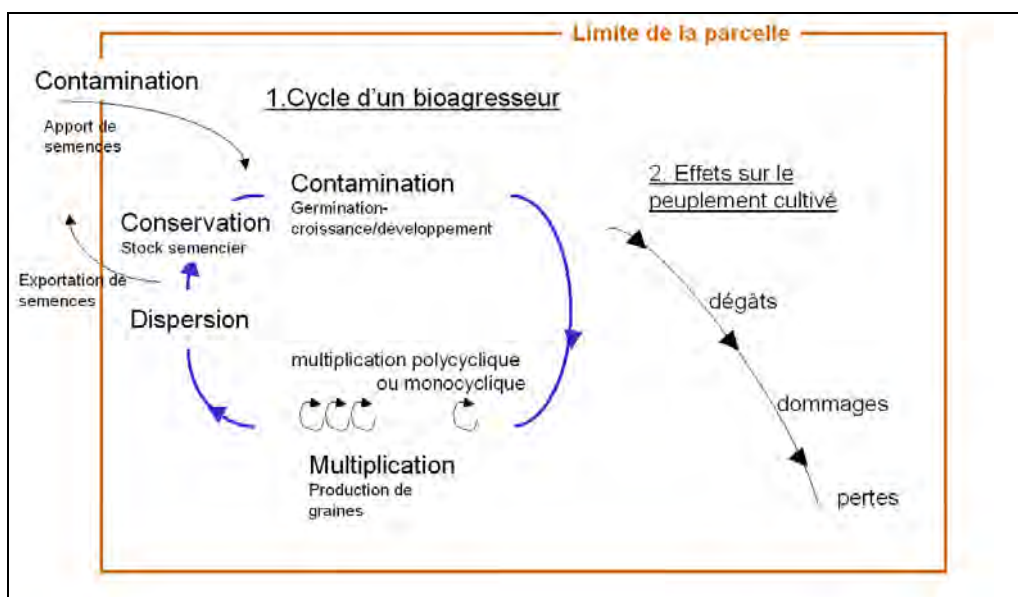
Dans tous les cas, les adventices ont un lien fort avec les milieux perturbés par l'homme et, ces plantes adventices ont un avantage adaptatif par rapport aux plantes cultivées que l'auteur *caractérise à partir* des traits d'adventicité (Baker, 1965, 1974). Ainsi l'idée de co-évolution entre adventices et le peuplement cultivé en lien avec la conduite des systèmes cultivés est essentielle à considérer.

La gestion des adventices se fonde sur un raisonnement qui mobilise des connaissances sur leurs caractéristiques biologiques et génétiques et sur leurs réponses aux perturbations (Rodriguez et Gasquez, 2008). Evaluer la nuisibilité des adventices est complexe à aborder. Nous présentons comment la nuisibilité s'exprime chez les adventices dans un premier point. Dans une approche classique, la notion de seuil est considérée et nous présentons la déclinaison de la nuisibilité en fonction de ces seuils dans un deuxième point. De nombreuses variables sont à considérer et des travaux en cours remettent en question les premières approches traitant la nuisibilité des adventices en soulignant les limites des conditions de détermination des seuils (Munier-Jolain *et al.*, 2002). Cette approche renouvelée sur la base de la prise en compte de traits est présentée dans un troisième point.

Comment s'exprime la nuisibilité chez les adventices ?

Les effets des adventices sont observés pendant qu'elles sont effectivement sur une parcelle cultivée (nuisibilité primaire) mais aussi delà du cycle cultural, dans les cultures suivantes (nuisibilité secondaire). Des plantes adventices se développent et se multiplient durant le cycle cultural. Selon les espèces et les conditions de milieu, elles peuvent réaliser un ou plusieurs cycles de développement et produire des graines et/ou des organes de multiplication comme les stolons et les rhizomes pour les espèces vivaces. Si des conditions favorables sont réunies pour les adventices, les graines peuvent germer durant le cycle cultural. A l'inverse, les graines sont conservées dans le sol constituant un stock grainier (ou stock semencier) cf. figure n°24.

Figure n°24 : Approche simplifiée d'un cycle de bioagresseurs : la contamination, la multiplication, la dispersion et la conservation.



Sur la parcelle cultivée, les adventices qui ont germé vont mobiliser une partie des ressources. Or l'eau, les substances nutritives (l'azote en particulier), l'espace pour capturer la lumière

sont limités sur une parcelle. Présentes en même temps, les adventices et les plantes cultivées vont entrer en concurrence pour satisfaire leurs besoins : croître et produire des organes de dissémination. La compétition pour les ressources est une des formes prises par les phénomènes de concurrence. La compétition peut tourner à l'avantage de la culture ou à celui de la communauté d'adventices. Dans le dernier cas, la compétition peut aller jusqu'à l'étouffement de la plante cultivée entraînant la disparition de cette dernière le cas échéant. Gerbaud (2002) a montré que plus la morphologie d'une espèce adventice est proche de celle de la céréale et plus elle exerce une compétition importante. La concurrence peut aussi être le résultat d'interactions allélopathiques négatives entre la plante cultivée et des adventices : l'émission de substances organiques par l'adventice empêche ou du moins gêne le développement de plantes voisines autres que celle de l'espèce²⁹⁰. Les effets de l'allélopathie peuvent être encore perçus dans les cultures suivantes.

Les conséquences de l'ensemble de ces phénomènes de concurrence vont dépendre de la sensibilité du couvert au cours du cycle cultural (la phase de levée est particulièrement critique), du type d'adventices présentes (variabilités inter et intra spécifiques), de leur stade, de leur densité, de la répartition des populations d'adventices dans la parcelle (géographie du salissement), des conditions pédoclimatiques. Les effets dépressifs de la présence des adventices sont évalués en termes de nuisibilité.

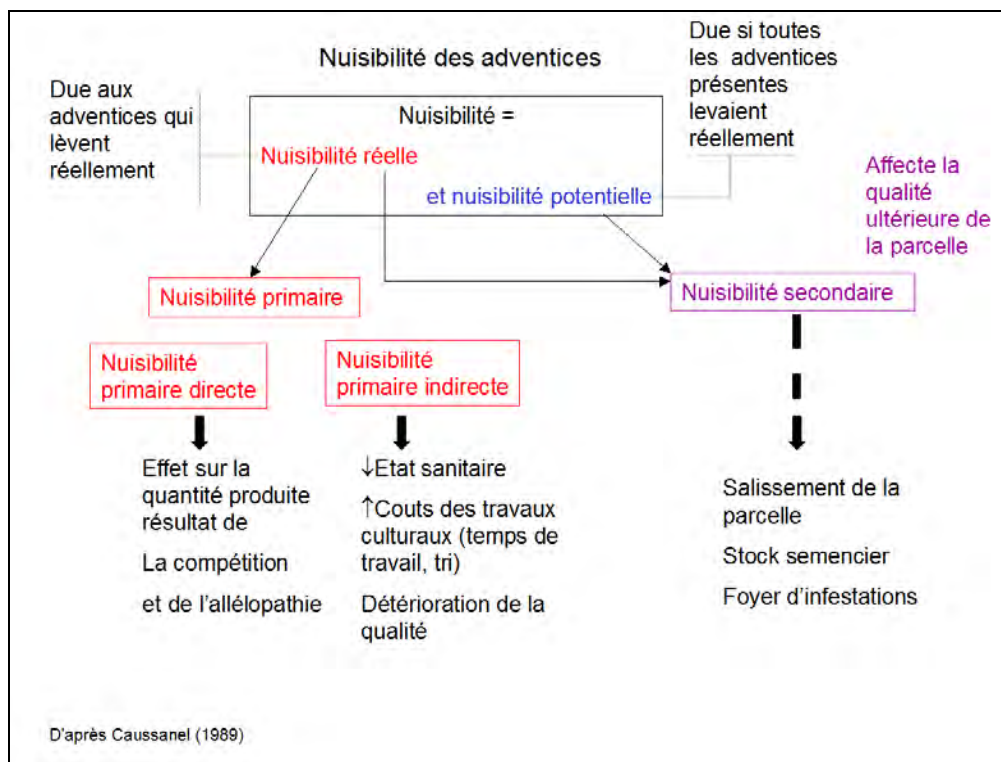
Evaluation de la nuisibilité

Les premiers travaux se sont concentrés sur une évaluation des effets des interactions entre peuplement cultivé et adventices en termes de pertes de rendement (Caussanel, 1989). Ces pertes de récolte quantitatives ont été déterminées pour des couples « culture-une espèce d'adventice ». Les pertes de récolte qualitative ont été quant-à elles moins abordées. Des études ont montré le lien entre systèmes de cultures, pratiques et pression d'adventices, mais elles soulignent également la difficulté à prévoir les dynamiques et les effets en termes de pertes de récolte.

Selon les pertes de récolte réelle ou potentielle identifiées sur une culture, différents concepts de nuisibilité ont été définis, associés à des seuils spécifiques de nuisibilité (Caussanel *et al.*, 1986 ; Caussanel, 1989) (cf. figure n°25).

²⁹⁰ Nous nous limitons à une définition qui ne discute que les interactions négatives entre plantes. Certaines définitions incluent les interactions avec d'autres types d'organismes. Nous n'abordons pas les phénomènes d'allélopathie positive. Le résultat de ces interactions biochimiques modifie la morphologie et/ou la croissance et le développement. Il est difficile d'isoler sur le terrain les effets de l'allélopathie de ceux résultant de la compétition.

Figure n°25 : Différentes nuisibilités des adventices



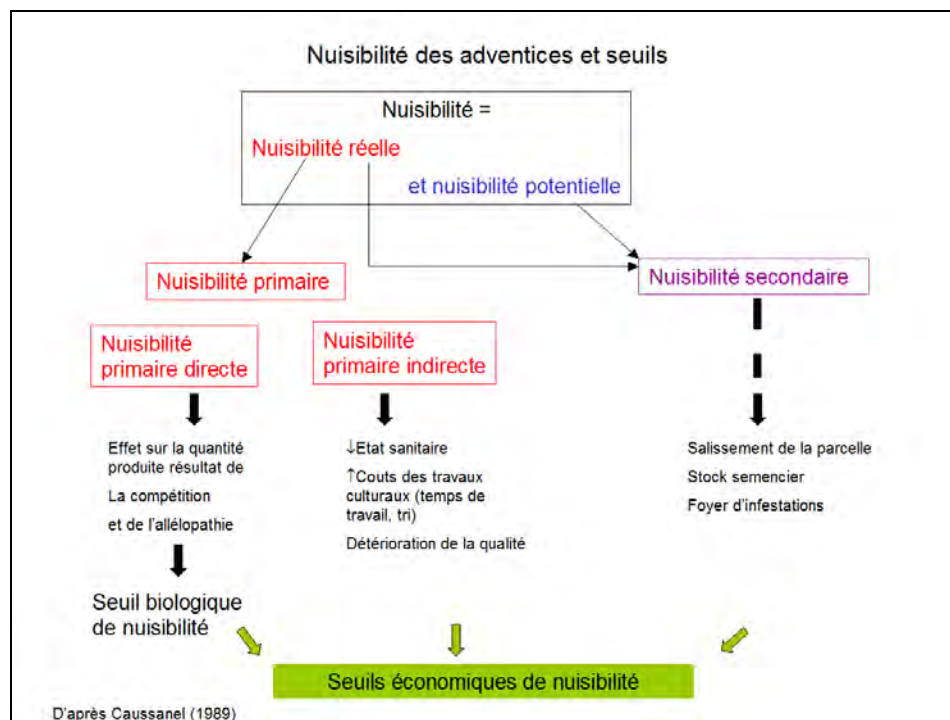
Les plantes adventices « profitent » de la parcelle en utilisant une partie des ressources qui étaient dédiées à la culture. Les plantes grandissent, se développent et se multiplient. « *Les effets mesurés traduisent la concurrence entre mauvaises herbes et plante cultivée* » (Caussanel, 1989, p. 219). La nuisibilité d'une adventice se manifeste alors sous forme d'une nuisibilité réelle et d'une nuisibilité potentielle. La **nuisibilité réelle** correspond aux effets réellement observés et mesurés de la concurrence dans le peuplement cultivé **durant le cycle culturel**. La **nuisibilité potentielle** caractérise les effets de la présence de l'adventice si tous les organes de multiplication donnait un individu capable à son tour d'affecter le fonctionnement du peuplement pendant et hors du cycle culturel pris comme repère. Des pertes de récolte quantitative et/ou qualitatives peuvent en résulter (**dommages**). Dans le cas de pertes rendement, on parle de nuisibilité **primaire directe**. L'altération de la qualité, la dégradation de l'état sanitaire²⁹¹, les frais culturels supplémentaires générés par la présence des adventices tout comme les nuisances représentent des coûts culturels supplémentaires : il s'agit alors de la **nuisibilité primaire indirecte**. La nuisibilité primaire caractérise les effets directs des adventices sur le produit agricole. La présence des adventices peut aussi altérer les capacités de production à venir à l'échelle de la parcelle ou à l'échelle de l'exploitation²⁹², il s'agit alors de **nuisibilité secondaire** qui caractérise les effets préjudiciables de la dynamique des populations d'adventices sur le potentiel ultérieur de la parcelle ou du milieu. La figure n°26 schématise les différentes nuisibilités retenues et met en évidence différents seuils de nuisibilité associés. Le seuil de nuisibilité biologique correspond au niveau d'infestation à partir duquel une baisse du rendement est observée. Le seuil de nuisibilité économique est le

²⁹¹ La dégradation de l'état sanitaire peut se manifester sous différentes formes. Le peuplement peut être fragilisé

²⁹² Au niveau de la parcelle, le stock semencier est considéré et au niveau de l'exploitation, il s'agit davantage d'une problématique de salissement des terres.

niveau d'infestation à partir duquel une opération de désherbage devient rentable : toutes les nuisibilités sont considérées (cf. figure n°26).

Figure n°26 : Nuisibilités des adventices et seuils



La notion de traits

Des adventices ont des avantages évolutifs sur les plantes cultivées. Des herbiers d'adventices ont montré que les populations d'adventices ont co évolué (variabilité génétique) avec les systèmes de culture pratiqués et au fil des années de production. Le concept de traits écologiques permet d'expliquer des avantages évolutifs des adventices dans certains systèmes de culture. Les génotypes qui exploitent rapidement les ressources du milieu pour s'installer le plus vite possible ont un net avantage, en particulier.

Baker caractérise les adventices à partir des traits qui pourrait correspondre à une adventice idéale (Baker, 1965, 1974). Un trait²⁹³ désigne une caractéristique morphologique, physiologique, phénologique ou comportementale mesurable d'un organisme qui affecte sa performance individuelle (fitness) sans référence explicite au milieu ni à aucun autre niveau d'organisation (Violle *et al.*, 2007²⁹⁴).

Le tableau n°10 reprend un ensemble de caractéristiques fréquemment rencontrées chez les populations adventices contribuant à expliquer leur « efficacité » et leur prévalence dans des systèmes cultivés (Baker, 1965, 1974, et adapté à partir Basu, Halfhill, Mueller et Stewart, 2004). Ces caractéristiques sont présentées dans la première colonne et la deuxième colonne propose des commentaires qui aideront le lecteur non aguerri à comprendre.

²⁹³ Le concept de trait a été l'objet de nombreuses variations de définitions selon les disciplines scientifiques. Nous nous cantonnons à une définition partagée en écologie fonctionnelle.

²⁹⁴Violle, Navas; Vile; Kazakou; Fortunel; Hummel, et Garnier, 2007

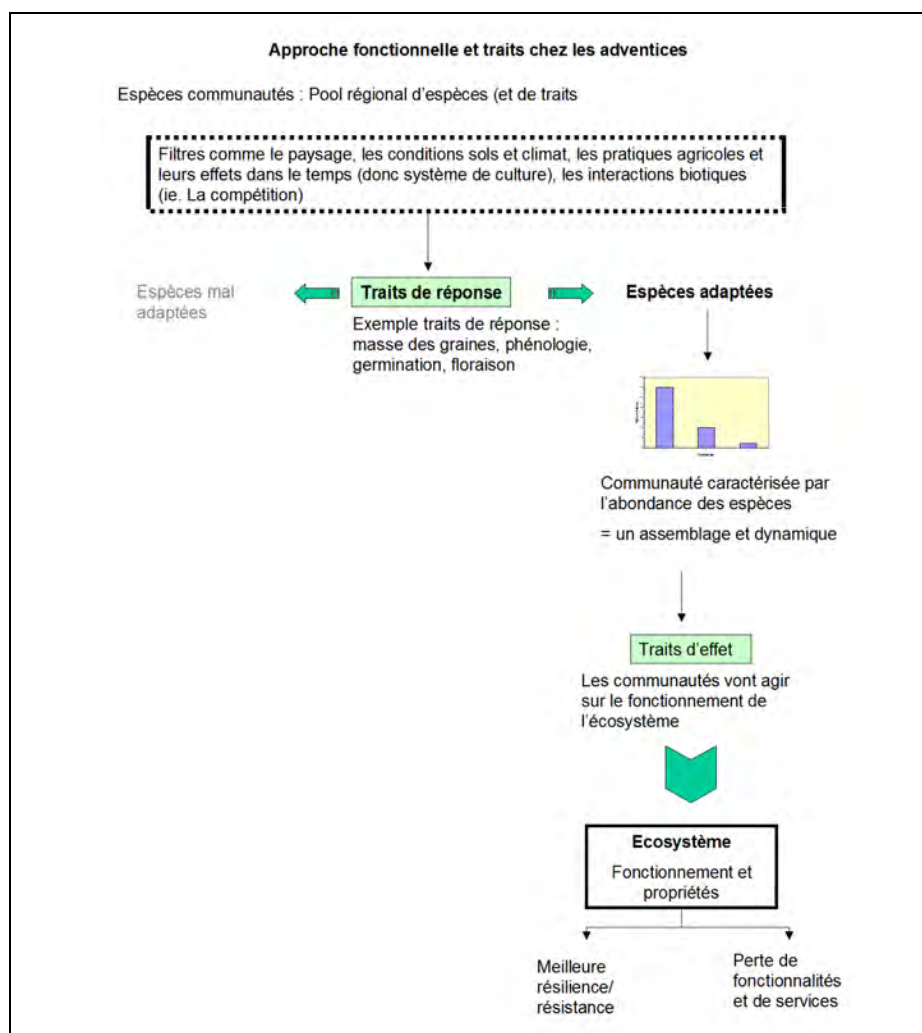
Tableau n°10 : Les traits rencontrés chez un grand nombre d'adventices

Caractéristiques	Commentaires
Tolérance à une large gamme de contextes et plasticité environnementale en particulier germination dans de nombreux environnements	Assure la colonisation d'espaces non spécifiques, caractère ubiquiste pour certaines Adaptation de la croissance et du développement en fonction des conditions environnementales (naturelles ou anthropiques) Facilite la colonisation de milieux très divers offrant une grande plasticité
Longévité des semences	Permet d'assurer la conservation des graines même si les conditions ne sont pas favorables pour attendre des conditions adaptées.
Dormance discontinue	Certaines graines d'adventice peuvent entrer en dormance lorsque les conditions sont défavorables pour reprendre le développement une fois les conditions redevenues favorables
Compétitivité par rapport aux plantes cultivées	Les adventices s'avèrent plus compétitives dans la capture des ressources en général
Croissance rapide des plantules et Phase végétative courte	Autorise une capture maximale des ressources comme la lumière, les nutriments et l'eau) rendant les adventices compétitives pour les ressources Permet, même si les conditions ne sont pas favorables en début de cycle, de rapidement profiter des ressources pour engager la phase reproductrice et terminer le cycle dont le terme est la production des graines.
Floraison indéterminée et Taxon autofertile	Assure une floraison étalée et autorise une Production continue de graines sur le cycle de développement N'exige pas d'auxiliaires pollinisateurs, mais autorise cependant la variation génétique au fil des cycles de développement
Pollinisation par des êtres vivants non spécialistes si fécondation croisée	N'est pas dépendant d'un auxiliaire qui pourrait faire défaut
Modes de reproduction sexuée et multiplication végétative	Pour certaines adventices, ces formes de multiplication sont un avantage adaptatif pour coloniser les milieux
Mécanismes de dispersion des graines sur de courtes et/ou sur de longues distances	Les plantes ne sont pas mobiles, les mécanismes de dispersion des adventices sont leur seul moyen de propagation pour s'installer dans les milieux
Forte production grainière	Production grainière pour favoriser la dissémination dans l'espace et dans le temps et permettant un stock suffisant de graines viables sur une période étendue
Système racinaire profond	Cette caractéristique améliore la résistance à la sécheresse
Facteur biotique de compétition interspécifique	Par exemple, phénomène d'allélopathie

Les conditions de milieu (naturel ou des pressions anthropiques comme les pratiques agricoles) jouent le rôle de filtres sur les individus favorisant, limitant ou interdisant leur installation et leur développement dans un contexte. Ces filtres agissent de manière spécifique sur les espèces en fonction de leurs caractères biologiques que l'on appelle des « traits de réponse » : ces filtres peuvent avoir des traits de réponse communs ou non, on parle de filtre à effet partiel. Les conditions pédoclimatiques, des actions anthropiques comme la fertilisation, le désherbage chimique, les interactions entre organismes sont des exemples de filtres. Ces interactions vont déterminer une communauté d'êtres vivants caractérisée par l'abondance des espèces selon leurs réponses aux contraintes. Le fonctionnement de cette communauté va avoir à son tour un impact sur le fonctionnement et la dynamique de l'environnement, ce sont les traits d'effets (Lavorel et Garnier, 2002).

La figure n°27 présente sous la forme d'un schéma, les éléments présentés supra et met en évidence les filtres liés aux pratiques qui sont discutés dans la suite du paragraphe.

Figure n°27 : Approche fonctionnelle et traits chez les adventices (d'après Lavorel et Garnier, 2002)



Chez les adventices, on trouve des espèces généralistes, capables de s'adapter à une large gamme de contextes et des spécialistes adaptées à une gamme étroite de contextes. Ces deux grands types de comportement révèlent deux stratégies fonctionnelles majeures :

- (i) une stratégie d'évitement avec des cycles courts, des mécanismes de capture rapide des ressources pour en maximiser l'acquisition,
- et (ii) une stratégie de mimétisme caractérisée par des cycles et une architecture calqués sur la culture (le vulpin des champs développe cette stratégie).

Des études récentes développant des approches agroécologiques soulignent la nécessité de tenir compte des conditions pédoclimatiques et d'intégrer les effets des pratiques jusque là non considérées pour expliquer les dynamiques observées chez les adventices. Ce dernier point est d'autant plus important que dans les systèmes économes en pesticides, des leviers à effets partiels²⁹⁵ sont efficaces pour gérer les populations d'adventices. Parmi eux, on trouve un ensemble de pratiques mises en œuvre à l'échelle du système de culture : il s'agit du contrôle cultural. Les pratiques mises en œuvre vont contribuer à prévoir les impacts des communautés d'adventices dans des systèmes qui vont limiter le recours aux pesticides. L'entrée agro-écologique considère les adventices en termes de communautés d'adventices constituées de plusieurs espèces d'adventices marquées elles-mêmes par une variabilité génétique inter individuelle. L'échelle des individus comme celle de la communauté permettent de caractériser la structure de la communauté d'adventices et son fonctionnement dans un contexte pédoclimatique. Des recherches portent sur la modélisation de ces dynamiques en lien avec les traits fonctionnels (Colbach *et al.*, 2014 ; Gaba *et al.*, 2010, 2013) et des caractéristiques de la diversité des espèces avec le projet Infloweb.

4. Des moyens de protection des cultures

Nous présentons dans ce paragraphe un ensemble de principes retenus pour gérer la protection des cultures et des moyens pour gérer plus spécifiquement les adventices non vivaces. Nous précisons dans un premier point le rôle des moyens de protection des cultures pour un niveau de production dans un contexte. Nous rappelons des points saillants des paragraphes précédents qui servent d'appui pour notre propos. Nous présentons ensuite différentes catégories de moyens de gestion en veillant à préciser le renouvellement de l'approche sous tendue par la transition agro-écologique.

4.1. Notions de niveaux de production et de facteurs de production

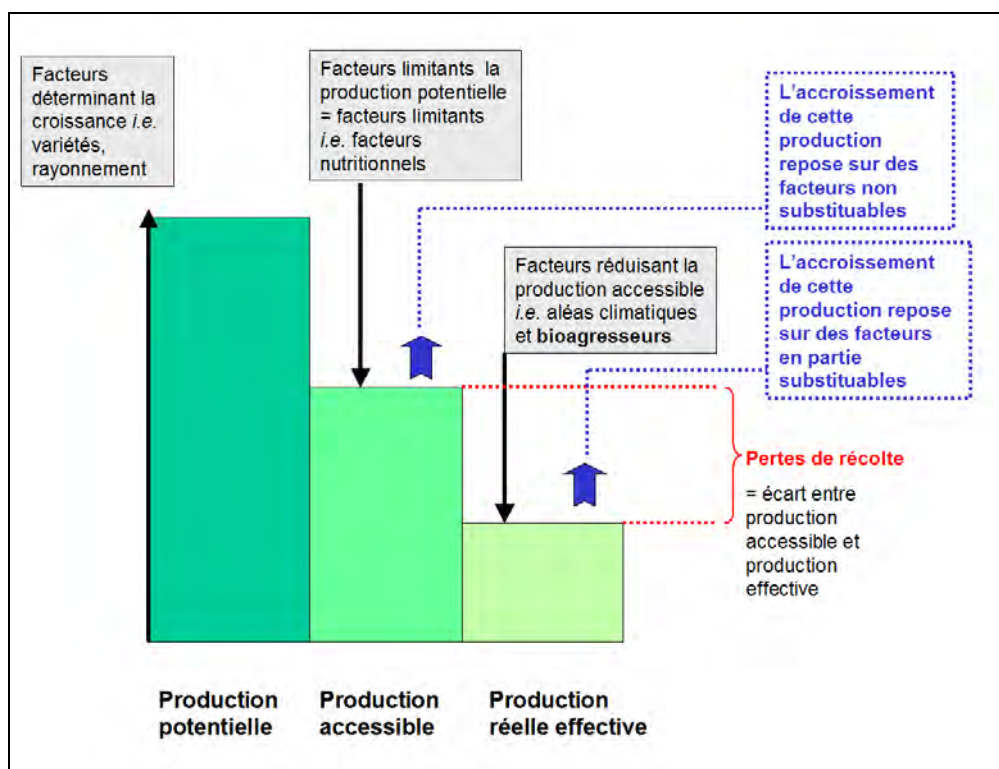
Dans un contexte, il est possible de définir trois niveaux de production (de Wit et Goudriaan, 1978 ; Rabbinge *et al.*, 1989 in Aubertot *et al.*, 2005b) cf. figure n°28.

- la production potentielle qui correspond à un niveau de production potentielle est permis par de facteurs qui déterminent la croissance comme le rayonnement et le potentiel du cultivar, ce sans contrainte,
- la production accessible. Dans un contexte, les ressources ne sont pas infinies, aussi des facteurs limitent la production potentielle. Les facteurs nutritionnels comme l'eau, et l'azote sont des facteurs limitants.
- la production réelle accessible est le résultat des effets de facteurs qui réduisent la production accessible en conditions réelles. Les aléas climatiques (sécheresse, températures

²⁹⁵ Ces notions sont plus amplement détaillées dans la suite. Dans notre propos, un levier est une solution mise en œuvre pour gérer un bioagresseur, par exemple un désherbage mécanique. Les leviers dits à effets partiels désignent des solutions qui ne permettent pas de gérer le bioagresseur au même niveau d'efficacité qu'avec un désherbage chimique : avec la lutte chimique quasiment 100% des adventices ciblées sont atteintes, hors contexte de résistance.

« anormales pour la saison », gelées, etc.) et les attaques de bioagresseurs et/ou concurrence (aléas biotiques) agissent sur le niveau de production. Ces aléas sont caractérisés par des risques d'occurrence²⁹⁶. Les bioagresseurs apparaissent donc comme des facteurs biotiques qui réduisent le niveau de production accessible et occasionnent des pertes de récolte sur le plan quantitatif et/ou qualitatif. Prévoir et estimer les pertes est un enjeu de recherche dans le contexte de conception et de la conduite des systèmes de culture économes en pesticides.

Figure n°28 : Trois niveaux de production en fonction des trois types de facteurs de production



En fait, le but ultime de la protection des cultures « n'est pas de limiter la taille des populations de bioagresseurs mais de réduire les pertes de récoltes (quantitatives et qualitatives) qu'ils peuvent occasionner » (Aubertot *et al.*, 2005a., p. 19). Limiter la population de bioagresseurs, le nombre ou la vitesse des épidémies n'en sont en fait que des étapes²⁹⁷.

Les mesures de protection des cultures qui visent à augmenter la production réelle effective reposent en partie sur un ensemble de moyens mobilisant des intrants substituables (Aubertot *et al.*, *ibid.*) : les pesticides font partie des intrants substituables. Les pesticides sont ainsi des facteurs de production indirects (Carpentier (2005) *in* Aubertot *et al.*, 2005b) : ils ne visent pas à augmenter directement le niveau de production mais ils sont employés pour limiter ce que l'on appelle les pertes de récolte, elles-mêmes non prévisibles.

²⁹⁶ La notion de risque doit attirer le lecteur sur le fait que l'aléa ne survient pas toujours. L'estimation du risque pour le cas des adventices est délicat et fait l'objet de travaux.

²⁹⁷ Mais, nous verrons pour le cas de la gestion des adventices que nous avons retenu dans le cadre de notre cas d'étude que ces deux points revêtent une importance capitale dans les éléments à considérer dans le raisonnement.

4.2. Rappels de points saillants d'appui

Le tour d'horizon réalisé dans les paragraphes précédents nous permet de tirer quelques lignes de forces.

- Un des enjeux actuels de la protection des cultures n'est plus de lutter contre les symptômes ou de contenir les cycles de développement des bioagresseurs, mais de considérer le milieu comme un agent contribuant à la santé des plantes. La difficulté réside dans le fait que les états du système changent eux-aussi avec les interactions. La dimension dynamique des interactions et le changement des états au fil du temps ne sont pas des aspects explorés dans les stratégies de protection des cultures fondées sur la lutte chimique : les systèmes sont décrits comme des systèmes de combinaisons de techniques cohérentes pour maximiser le rendement. Leur fonctionnement n'est alors appréhendé que de manière compartimentée afin de maîtriser au mieux les techniques.
- Un des enjeux de la protection des cultures aujourd'hui, en se fondant sur une approche agro-écologique, est de prendre appui sur les connaissances du fonctionnement des écosystèmes associé à une « *une prise en compte plus dynamique des seuils de nuisibilité* » (Lucas, 2007, p. 17), mais également d'acquérir des connaissances sur l'effet des pratiques de gestion sur l'ensemble de l'agrosystème.
- Un dégât n'entraîne pas forcément une perte de récolte, une perte de récolte n'engendre pas toujours une perte économique : il est possible de tolérer des pertes de récolte dans certains contextes, sans pour autant engendrer une perte économique.
- Les seuils de tolérance sont spécifiques des contextes.
- Les pertes de récolte ont été retenues comme « *une mesure de l'efficacité actuelle des méthodes de gestion mises en œuvre contre les bio-agresseurs, ainsi que des progrès que l'on peut escompter d'avancées futures dans le domaine de la protection des plantes (...)* » (Aubertot *et al.*, 2005b, Chapitre 4 p. 7). Aubertot *et al.* (2005b) soulignent un des effets d'avoir assimilé de manière restrictive dans les études la notion de perte aux pertes de rendement (perte de récolte directe quantitative).
- Le cas des adventices apparaît plus délicat à aborder car si les pertes de récolte directes imputables à ces concurrents peuvent être très importantes, les pertes indirectes le sont également. Les prises de décision reposent sur la définition de seuils qui ne prennent pas bien en compte les différents types de nuisibilité. Des effets cumulés liés à l'activité du bioagresseur ou aux conséquences de son activité peuvent générer de nouveaux problèmes au fil des campagnes de culture.

Il apparaît à présent nécessaire de présenter les différents moyens disponibles pour gérer la protection des cultures. Les différentes stratégies de protection des cultures sont subordonnées à l'atteinte de résultats attendus. Elles ont des objectifs spécifiques et privilégient en conséquence certains moyens : raisonnée, intégrée, biologique, dépendante des pesticides, systèmes agro-écologiques.

4.3. Des moyens pour gérer la protection des cultures

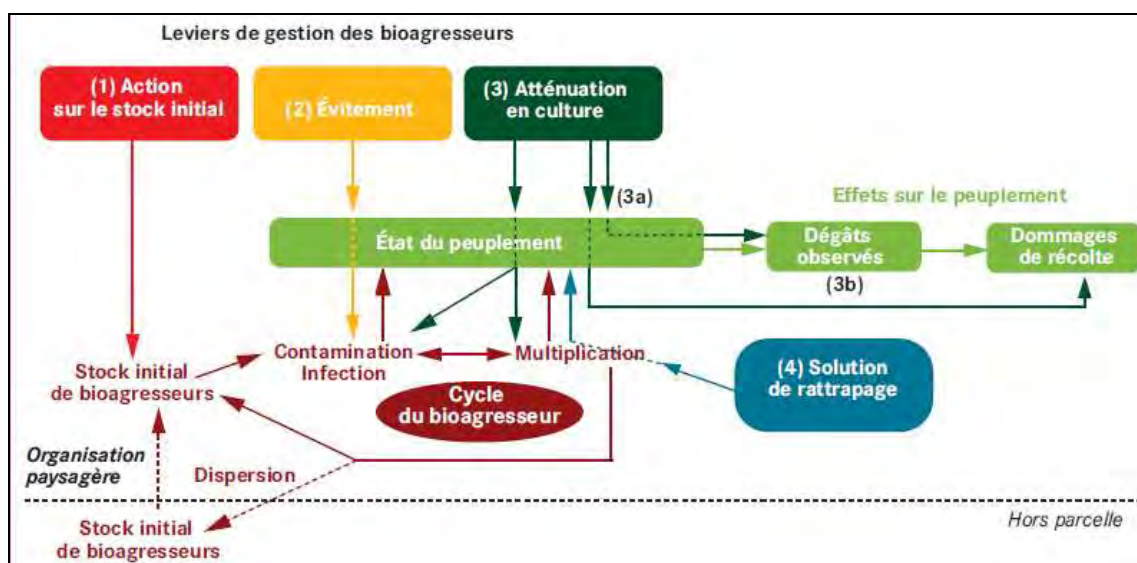
Nous présentons dans cette partie quatre principes pour la gestion des bioagresseurs. Nous précisons ensuite la notion de levier et la hiérarchie liée à leur efficacité sur les bioagresseurs. Nous déclinons les moyens de gestion : nous débutons chaque grand type de solution par une approche générale et nous faisons ensuite un focus pour le cas des adventices (le texte apparaît en grisé).

4.3.1. Des principes de gestion reposant sur des connaissances des cycles de bioagresseurs

Certains principes correspondent à des actions à envisager avant l'installation du peuplement cultivé, ce sont des méthodes préventives ou prophylactiques. D'autres principes correspondent à des actions à réaliser une fois le peuplement cultivé installé, ce sont des méthodes curatives. Que les actions soient préventives ou curatives, elles font référence à un des quatre principes pour agir sur les bioagresseurs proposés pour en limiter leurs effets sur le processus de production (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011) cf. figure n°29.

Figure n°29 : Les quatre principes pour gérer les bioagresseurs dans le cadre de la protection des cultures

:



Les quatre principes sont les suivants :

- (1)diminuer le stock initial de bioagresseurs, repéré sur la figure par « **Actions sur le stock initial** ». Les moyens mobilisés pour cela sont préventifs (prophylaxie). Ils agissent au niveau des sources de contamination potentielle sur la parcelle ou hors de celle-ci. La conséquence recherchée est la limitation de la population de bioagresseurs qui peut contaminer la culture dès lors que les conditions deviennent favorables.

- (2)« éviter la concordance entre la phase de contamination du bioagresseur et la période de sensibilité de la culture » (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011, p. 21), repéré sur la figure par « **Évitement** ». En effet, la sensibilité des plantes dans le peuplement cultivé varie au cours du cycle cultural. A certains stades de développement, les mécanismes de défense des plantes sont plus ou moins efficaces pour limiter les effets des attaques des bioagresseurs. Les processus de coévolution bioagresseurs-plante cultivé- pratiques culturales-conditions climatiques moyennes. L'évitement correspond à des mesures qui vont perturber le cycle de développement du bioagresseur en ne lui permettant pas de « profiter au mieux » du peuplement cultivé.

- (3) atténuer en culture, repéré sur la figure par « **Atténuation en culture** ». Limiter les dégâts est la conséquence recherchée de ce principe, une fois le bioagresseur installé. Les

moyens mobilisés confèrent un avantage concurrentiel au peuplement cultivé par rapport aux bioagresseurs. Ces moyens sont envisagés à la conception de l'itinéraire technique et/ou é celle du système de culture afin qu'au cours du cycle cultural, l'état du peuplement cultivé crée des conditions biotiques et abiotiques défavorables aux bioagresseurs (développement et propagation). Ces phénomènes d'atténuation reposent sur la recherche de structures du peuplement limitant la multiplication et la contamination :

- en choisissant des cultivars tolérants ou résistants ;
- et/ou par des agencements spatiaux particulier des espaces cultivés et hors parcelles ;
- et/ou par des conduites culturales favorisant la culture aux dépens du bioagresseurs.

- (4) intervenir en rattrapage, repéré sur la figure par « solution de rattrapage ». Les solutions mises en place visent à limiter les dégâts occasionnés par les bioagresseurs. Elles viennent en appoint des solutions mises en œuvre relevant des autres principes lorsqu'elles n'ont pas été assez efficaces. Nous attirons l'attention du lecteur sur ce point essentiel. Lorsqu'une solution de rattrapage existe, elle offre la possibilité d'envisager des stratégies de gestion des bioagresseurs avec des moyens alternatifs dont l'efficacité est partielle, mais dont les impacts sont plus acceptables en termes de santé humaine et de protection de l'environnement. Dans le cadre de la lutte intégrée, la lutte chimique est considérée une solution comme une solution de rattrapage, dans une grande majorité de cas.

4.3.2. La notion de levier et hiérarchie des leviers

Cette partie présente les méthodes mobilisables pour gérer la santé des plantes et pour gérer les populations de bioagresseurs. Nous définissons au préalable de la notion centrale de « levier » pour aborder la protection des cultures.

Le terme « levier(s) », sous-entendu « leviers d'action » permet d'agir directement ou indirectement sur une ou des populations de bioagresseurs. Employé en agronomie, le terme « levier » est issu du concept de protection intégrée des cultures qui dépend lui-même du concept d'agriculture intégrée. Un levier peut être mobilisé préventivement pour prévenir l'installation des bioagresseurs ou curativement, si les bioagresseurs se sont installés dans la culture. On associe l'épithète « alternatif » aux solutions autres que la lutte chimique sous-entendue la lutte avec des pesticides de synthèse

La notion de levier recouvre à la fois :

- des moyens d'action, des techniques culturales, associés ou non à des outils d'aide à la décision ;
- et la mise en œuvre de principes pour gérer les populations de bioagresseurs : l'action sur le stock initial, l'évitement, l'atténuation en culture et le rattrapage.

Nous avons relevé un certain nombre de variantes terminologiques dans la littérature pour désigner et/ou caractériser des leviers. En effet et sans en faire la distinction, sont utilisés à la fois la technique, le principe, un ensemble de « moyens d'action ». Dans la figure n°, les leviers correspondent aux termes en italiques.

Les leviers sont définis en fonction de (i)leur efficacité sur la cible considérée, (ii)des échelles spatiales pour leur mise en œuvre et sont classés en (iii)cinq catégories.

(i)Les différents leviers disponibles pour une même type de bioagresseurs (ravageurs, maladies ou adventices) sont plus ou moins bien adaptés et s'avèrent plus ou moins efficaces. Des tests sur le terrain ont permis d'établir une hiérarchie de leviers pour chacun des grands types de bioagresseurs (ravageurs, maladies ou adventices)²⁹⁸ (Attoumi-Ronceux *et al.*, 2011).

²⁹⁸ Nous avons simplifié notre propos en ne considérant pas le stress biotiques sous la forme de populations de ravageurs, de populations d'adventices et d'un pathosystème (plusieurs maladies concomitantes). Néanmoins la réalité est plus proche de cette configuration à laquelle il convient d'intégrer les synergies et les antagonismes des effets de toute la pression de bioagresseurs, effets très difficiles à considérer et à modéliser.

L'efficacité²⁹⁹ des leviers alternatifs est comparée à l'efficacité d'un traitement phytosanitaire. Une hiérarchie de leviers a été mise en évidence :

- seuls, certains leviers peuvent avoir une efficacité comparable à l'efficacité d'un traitement pesticide de synthèse. Ces leviers sont des leviers principaux ;
- d'autres ont une efficacité nettement inférieure utilisés seuls. Aussi pour gagner en efficacité et atteindre l'efficacité d'un traitement phytosanitaire³⁰⁰, il est nécessaire de combiner les leviers : ce sont des leviers secondaires ;
- enfin, d'autres leviers ont une efficacité trop faible seuls pour gérer les bioagresseurs. Ce sont des leviers complémentaires. Ce type de leviers ne peuvent être envisagés que combinés à des leviers principaux et/ou secondaires.

Les solutions alternatives aux pesticides de synthèse sont des leviers à effet partiel (Aubertot *et al.*, 2005a ; Ricci *et al.*, 2011 ; Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011) car ils ont en général une moins bonne efficacité que la lutte chimique. Ceci impose que les leviers à effets partiels soient combinés de manière pertinente (efficace et en lien avec le problème à gérer). La hiérarchie établie pour un type de bioagresseurs n'est pas valable pour un autre type.

(ii) Les leviers ne sont pas mobilisables à toutes les échelles spatiales. Certains sont utilisables à l'échelle de la placette de culture, de la parcelle et de l'itinéraire de culture, du système de culture, de l'assolement de l'exploitation agricole, du paysage³⁰¹. Ce sont des échelles d'action qui contribuent à expliquer l'efficacité des leviers et leur durabilité. La combinaison de certains leviers peut être plus efficiente que les effets additionnés de chacun (synergie), mais certaines combinaisons de leviers ne sont pas intéressantes car certains leviers sont antagonistes. La combinaison des leviers doit par conséquent être également raisonnée en terme de cohérence.

(ii) Les différents leviers sont classés en cinq grandes catégories de solutions pour gérer les bioagresseurs : le contrôle génétique, le contrôle cultural, la lutte biologique, la lutte physique et la lutte chimique (figure n°30, texte en bleu gras et souligné). La figure n°29 présente les cinq catégories de solutions et propose des déclinaisons spécifiques pour la gestion des adventices.

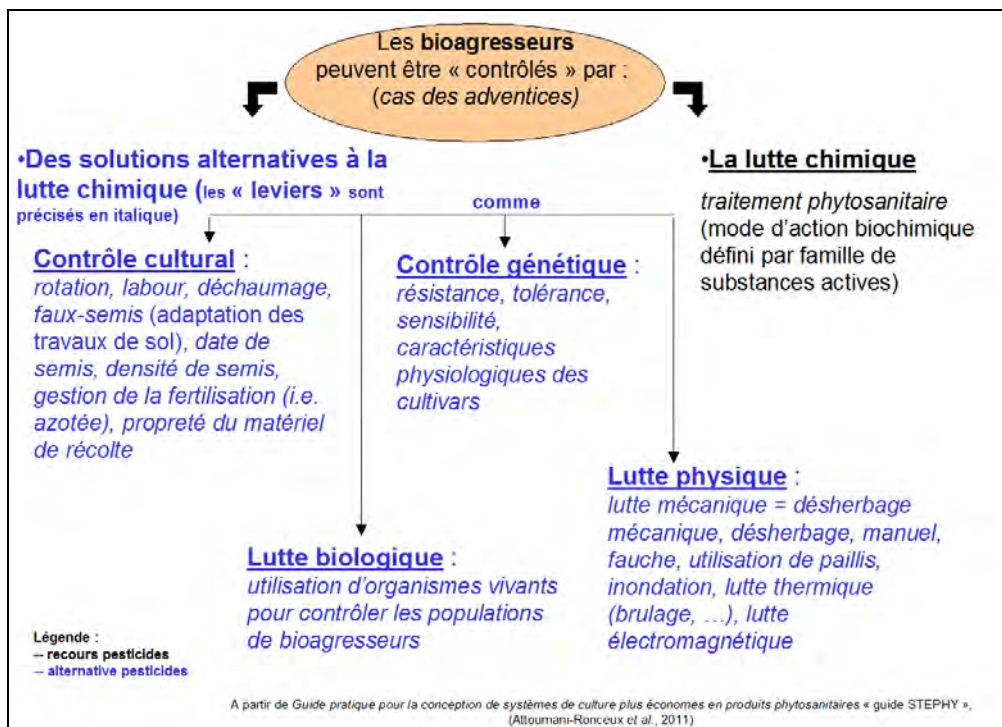
Dans la suite du manuscrit, dans le chapitre recueil et traitements des données (chapitres 4 et 5) et dans les transcriptions codées des discussions en annexes n°14 et n°15, un levier désigne une solution concrète visant la gestion effective des populations de vulpin.

²⁹⁹ La notion de « traitement » est retenue dans son acception large et non restreinte à un traitement de produits phytosanitaires. Par exemple pour un salissement de parcelles du à des adventices, l'efficacité d'un levier est déterminé par le pourcentage de plantes adventices détruites par le traitement comparée à un témoin auquel aucune mesure de protection contre les bioagresseurs-cibles n'a été réalisée. Par exemple, un levier a une efficacité de 95%, cela signifie que 95% des adventices ont été détruites par rapport au témoin.

³⁰⁰ L'efficacité d'un levier sur une population d'adventices est mesurée en pourcentage d'élimination de la population d'adventice comparé à un témoin non traité. Ainsi pour 100% efficacité, on ne retrouve plus la flore adventice visée, après le temps nécessaire pour que le pesticide agisse.

³⁰¹ Le terme « paysage » fait référence à un ensemble d'espaces considérés comme ne contribuant pas directement à la fonction de production d'un point de vue de l'exploitant. Par exemple, on retrouve des espaces hors parcelles, comme des bordures de champs, des haies, des espaces boisés, des espaces verts aménagés. Parfois, on oppose « espaces productifs » à « espaces non productifs » pour désigner ces espaces considérés d'un point de vue de l'exploitant comme non productifs. Selon nous, cette distinction génère de la confusion car ce n'est pas en terme de fonction de production qu'ils sont considérés mais dans le cadre des services rendus par le fonctionnement de l'écosystème, une autre fonction dans le système géré.

Figure n°30 : Cinq catégories de solutions pour gérer les bioagresseurs et leviers disponibles pour le cas des adventices annuelles



4.3.3. Différentes mesures et panorama des leviers pour protéger les cultures visant la réduction de l'emploi des pesticides

Les mesures préventives

Les mesures préventives sont employées avant que les dégâts n'apparaissent. Elles relèvent de ce que l'on appelle des mesures prophylactiques : on désigne ainsi par le terme « contrôle » l'ensemble des moyens mobilisables. Dans ce cadre, il est nécessaire de considérer l'ensemble du cycle du bioagresseur, de bien identifier les étapes du cycle sur lesquelles il sera possible et pertinent d'agir et enfin de repérer les moyens mobilisables et disponibles pour retarder, ralentir les installations des bioagresseurs, voire les empêcher (Lucas, 2007). Un des objectifs de cette catégorie de mesures est de rendre le système plus résilient aux aléas biotiques dès sa conception. : cette panoplie de mesures (de moyens et de méthodes) est une alternative à l'emploi des produits phytosanitaires et vise à contenir de différentes manières le cycle de développement des bioagresseurs pour empêcher l'apparition de bioagresseurs ou pour en minimiser les effets.

- *Le contrôle génétique*

Le contrôle génétique s'appuie sur le choix d'espèces et de variétés adaptées à des contextes de stress biotiques. Les cultivars sont soit issues de programme de sélection dirigée³⁰², soit ce sont des variétés obtenues par une longue sélection massale dans leur contexte de production, variétés dites « anciennes » libres de droits³⁰³. Les variétés retenues sont résistantes ou de

³⁰² Ce sont des variétés produites par la recherche privée ou publique et protégées par un « brevet ».

³⁰³ Ce sont par exemple des cultivars vendus par l'association Kokopelli.

tolérantes³⁰⁴ aux agents pathogènes ou aux ravageurs. Les géotypes de ces cultivars sont moins sensibles à certains ennemis des cultures. Ce levier agit au niveau des cycles de bioagresseurs soit en l'empêchant de se reproduire ou en réduisant sa vitesse de reproduction. Des caractères morphologiques défavorables à l'installation des bioagresseurs et à la multiplication/reproduction de certains bioagresseurs est une des formes d'expression de la tolérance.

Le choix d'espèces et de variétés adaptées au contexte pédoclimatique est un principe de l'agronomie. C'est un levier bien perçu et mobilisé depuis très longtemps par les agriculteurs qui permet de limiter les recours aux pesticides : il fait partie des solutions qui contribuent à améliorer la résilience des systèmes dès la conception et se révèle une solution de forte durabilité (Aubertot *et al.*, 2005b).

Cas des adventices dans les systèmes de grandes cultures :

Il s'agit de favoriser chez la variété son aptitude à concurrencer les adventices (Debaeke, 1997) : compétition pour la lumière et des ressources nutritives. Des critères de vitesse de la levée, de vigueur de croissance initiale³⁰⁵, de vitesse et de précocité de montaison, des aptitudes à valoriser des ressources nutritives dans un contexte de stress, le plus souvent azoté (Rolland, Le Champion et Oury, 2012), mais aussi certains caractères phénotypiques de la variété sont prédictifs de ce pouvoir concurrentiel³⁰⁶ du cultivar vis-à-vis des adventices (Fontaine, Bernicot, Rolland, et Poiret, 2009). Le port de la plante cultivée et sa hauteur sont particulièrement importants : le port étalé des feuilles et des plantes hautes font de l'ombre en hauteur rendant alors le couvert cultivé étouffant pour les adventices qui poussent en dessous. Le levier « contrôle génétique » est délicat à mobiliser pour contrôler les adventices. En effet, les critères spécifiques rendant compte du pouvoir concurrentiel des variétés ne font pas encore partie de la définition courante des idéotypes pour dresser le portrait de la variété idéale : « *Cette caractéristique variétale n'a en général pas été explorée dans les programmes de sélection variétale ces dernières décennies : « cet aspect « variétal » de la gestion des adventices n'a pas été pris en compte dans la sélection végétale au cours des 50 dernières années, la maîtrise des adventices se faisant par l'utilisation d'herbicides. Or, il existe une variabilité génétique du comportement concurrentiel des variétés de blé vis-à-vis des adventices* » (Rolland *et al.*, 2012, p. 79). Aujourd'hui, la sélection variétale recherche dans les schémas de sélection des critères qui améliorent ce « pouvoir concurrentiel ». Les programmes de sélection de variétés de blé tendre adaptés aux systèmes conduits en agriculture biologique³⁰⁷ et font émerger des variétés intéressantes utilisables pour différents modes de conduite.

304 La résistance désigne « *tout phénomène qui chez un végétal interdit ou limite le développement d'un bioagresseur* » (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011, p. 11). Les symptômes ne se manifestent pas et le bioagresseur ne perturbe pas le fonctionnement du cultivar résistant. La tolérance est l'« *aptitude d'une plante à limiter le dommage engendré par un dégât de bioagresseur* » (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011, p. 11). Les symptômes se manifestent tout en limitant les pertes de récolte. Il est important de toujours considérer les relations entre les peuplements cultivés et les bioagresseurs dans un contexte d'interactions : coévolution. La résistance ou la tolérance des cultivars peuvent être contournées par les bioagresseurs, les variétés devenant alors sensibles à de nouveaux géotypes de bioagresseurs.

³⁰⁵ Pour les cultures de printemps et d'été comme le maïs, ce sont des critères importants.

³⁰⁶ Le pouvoir concurrentiel est « *la capacité d'une plante cultivée à diminuer la nuisibilité des adventices* » (Fontaine *et al.*, 2009, p. 116).

³⁰⁷ Dans les systèmes conduits en « bio », l'approvisionnement en azote est un des premiers facteurs limitants, vient ensuite la pression des adventices dans un contexte sans recours possible aux herbicides (Rolland *et al.*, 2012). Un programme (« *Compétitivité vis-à-vis des adventices* » -2007-2009) financé par des Fonds de Soutien à l'Obtention Végétale (FSOV) dédié aux recherches en sélection variétale dans un contexte d'agriculture biologique a eu pour objectif de définir des critères variétaux communs à plusieurs partenaires de la filière, vis-à-

Les pratiques culturales en particulier développées dans le paragraphe contrôle cultural peuvent contribuer indirectement à la tolérance variétale (i.e. densité de semis et date de semis).

- *Le contrôle cultural*

Le contrôle cultural recouvre un ensemble de moyens mis en œuvre à l'échelle du système de culture. Ces moyens sont connus pour la plupart depuis très longtemps et ont été mis en œuvre très tôt dans l'histoire de l'agriculture. Ces moyens de contrôle recouvrent une diversité de pratiques hors emploi de produits phytosanitaires, hors lutte physique et hors contrôle génétique. Les organismes du développement agricole utilisent le terme de levier agronomique (chambres d'agriculture, Arvalis-Institut du Végétal, Agrotransfert, RMT sdc). Il s'avère que l'ensemble de cette catégorie de moyens de contrôle a une durabilité plus forte que la lutte chimique : « *les succès, tout aussi réels, bien plus anciens, et de ce fait autrement durables, des pratiques culturales et de l'amélioration génétique pour contrôler les bioagresseurs des plantes cultivées* » (Aubertot *et al.*, 2005a, p. 102). Actuellement, la recherche agronomique, le développement agricole, le ministère en charge de l'agriculture en font la promotion. Cette perspective illustre l'acception « *remettre l'agronomie au cœur des pratiques* » (source). Il s'agit de revenir sur les fondements du raisonnement agronomique qui permet dès la conception des systèmes d'esquiver une partie des risques que représentent les bioagresseurs dans le contexte. Comme nous l'avons précisé au chapitre 1, les agriculteurs et les conseillers agricoles se sont détournés d'une partie de ces moyens pour gérer la santé des plantes et les bioagresseurs, au profit de la lutte chimique. Le concept de système de culture (Sebillotte, 1990 ; Doré *et al.*, 2006) est au cœur de ces raisonnements. Il permet de considérer un ensemble de champs cultivés de manière intégrée comme un système d'interactions et d'interdépendances complexes et dynamiques entre :

- un contexte climatique environnant,
- des parcelles (caractéristiques sols, exposition, place dans le paysage),
- des choix d'opérations culturales sur les parcelles qui se matérialisent par des pratiques mises en œuvre. Ces pratiques se succèdent et génèrent des effets qui dépendent aussi des pratiques mises en œuvre précédemment,
- des interactions dans le peuplement cultivé entre plantes cultivées et avec d'autres êtres vivants dans la parcelle et/ou d'autres parcelles,
- des interactions dans le peuplement cultivé avec d'autres êtres vivants hors des parcelles du système de culture considéré (d'espaces non « productifs »).

Ainsi, l'état sanitaire d'une culture est pour partie conditionné par les pratiques culturales mises en œuvre à l'échelle du système. Si comme nous l'avons décrit précédemment des pratiques favorisent l'émergence des bioagresseurs et affectent la santé des plantes cultivées, certaines pratiques, au contraire, peuvent alors servir à limiter la sensibilité aux stress biotiques. L'adaptation du système de culture par des moyens spécifiques mis en œuvre durant différentes étapes de l'itinéraire technique des cultures permet d'agir sur la santé des plantes et/ou d'influencer les dynamiques des biogresseurs. Sebillotte (1967) a en particulier montré l'influence des rotations culturales sur la concurrence entre le blé et les adventices. Le tableau n°10 présente l'efficacité d'une palette de leviers disponibles en fonction des types de biogresseurs. Certains sont adaptés pour la gestion des adventices.

Cas des adventices dans les systèmes de grandes cultures (cf. tableau n°11, colonne n°2) :

Pour la gestion des adventices, les moyens de contrôle se fondent sur des stratégies qui visent une action sur le stock initial, l'évitement ou l'atténuation voire une combinaison de ces stratégies, garanties d'une plus grande efficacité :

- des choix en termes de successions des cultures sur une parcelle (alternance d'espèces de printemps/été et d'hiver, mais en pensant les cultivars en termes de bonne vigueur au départ, de port étalé, pour concurrencer les adventices)
- des choix de dates de semis et/ou de dates de récolte,
- des choix de densité de semis en jouant en particulier sur les espaces entre rangs,
- le choix de couverts durant l'interculture ou d'associations de cultures durant le cycle cultural,
- des choix en terme de gestion des résidus de la culture,
- des choix en termes de fertilisation azotée et/ou de stratégie d'apport d'eau,
- des choix de réalisation de certains travaux de sol hors lutte physique,
- des choix pour gérer les habitats qui pourront accueillir des « prédateurs » d'adventices (plantes ou de graines) comme certains carabes et d'oiseaux granivores.

Tableau n°11 : Différentes méthodes de contrôle cultural contre les insectes, les « mauvaises herbes », les maladies, les Nématodes *in* Aubertot *et al.* (2005b) adapté de Bajwa et Kogan (2004).

Éléments de lutte culturale	Insectes	Mauvaises herbes	Maladies	Nématodes
Succession des cultures	X	X	X	X
Adaptation de la nutrition de la culture	X	X	X	X
Propreté des équipements agricoles	X	X	X	X
Adaptation de l'irrigation	X	X	X	X
Adaptation du travail du sol	X	X	X	X
Gestion des résidus de cultures	X	X	X	X
Choix des dates de semis et de récolte	X	X	X	X
Adaptation de la densité de semis et de l'écartement entre rangs	X	X	X	
Cultures pièges	X			
Manipulation de l'habitat pour favoriser les auxiliaires (haies, cultures de couverture, cultures associées, paillis...)	X	X	X	
Destruction des hôtes alternatifs et des repousses	X		X	X

Nous développerons de manière détaillée les effets recherchés des stratégies du contrôle cultural déployées pour gérer les adventices dans les parcelles d'un système de culture dans le chapitre 4 qui présente les niveaux de complexité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques (partie 4IV)

- *La lutte biologique*

Plusieurs définitions sont données à la lutte biologique, mais elles ont en commun de mettre des organismes vivants antagonistes des ennemis des cultures au centre des moyens de lutte. Ces organismes vivants sont considérés alors comme des auxiliaires de l'agriculture. La lutte biologique exploite les mécanismes de régulation naturelle des populations dans les écosystèmes (Ferron, 1999 ; Deguine *et al.*, 2008). Le concept d'abord été initié par une communauté d'entomologistes débouchant sur une définition proposée par l'OILB-SROP³⁰⁸

³⁰⁸ L'OILB-SROP est l'Organisation Internationale de *Lutte Biologique et Intégrée- Section Régionale Ouest Paléarctique*. Elle donne la définition suivante de la lutte biologique « *utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs* ».

en 1973 : « *utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs* ». Les malherbologues ont ensuite enrichi élargissant le cadre d'application de la lutte biologique (au-delà des seuls ravageurs). La définition est devenue « *l'utilisation de populations d'organismes (vivants) parasitoïdes, prédateurs, pathogènes, antagonistes ou compétiteurs, de manière à réduire une population d'organismes nuisibles, en la rendant moins abondante et par la même moins nuisible qu'elle ne l'aurait été autrement* » (Ferron, 1999³⁰⁹). Ainsi, le phénomène de compétition doit être considéré comme une méthode biologique de lutte et non comme une méthode de lutte biologique (Norris, 1998). Plus récemment, une variante de la lutte biologique a été proposée : la lutte biologique « *utilise des organismes vivants pour prévenir ou réduire les dommages de récolte causés par des bioagresseurs* » Attoumani-Ronceux *et al.*, 2010, p. 20). Cette fois, l'accent est mis sur les effets de la lutte biologique sur le résultat attendu « *prévenir ou réduire les dommages* », c'est-à-dire les pertes de récolte.

Cas des adventices dans les systèmes de grandes cultures :

Trois grands types de méthodes sont observés pour bénéficier des services de ces auxiliaires : favoriser les auxiliaires autochtones ; introduire des auxiliaires allochtones, amplifier le rôle de certains auxiliaires *via* des lâchers inondatifs. Ferron (1999) dresse un bilan des opérations de lutte biologique contre les adventices : ce type de lutte contre les adventices demeure en retrait par rapport à celle contre les insectes, assortis de résultats économiques satisfaisants encore peu nombreux. Aujourd'hui encore, les moyens de lutte biologique demeurent peu explorés dans l'ensemble des recherches sur la lutte biologique. Pour gérer les adventices, des insectes phytophages spécialistes de certaines mauvaises herbes vont limiter leur prolifération. L'effet de prédation de graines d'adventices comme moyen de régulation biologique des infestations des parcelles cultivées est l'objet de recherches en agro-écologie. Nous ne développerons pas l'ensemble de travaux. Il apparaît que le maintien de conditions de milieu favorable à la biodiversité apparaît essentiel pour favoriser de ce type de services écosystémiques. Des études évaluent l'effet des auxiliaires du sol sur la consommation des graines d'adventices. Albretch, Kühn et Filser (2001) ont montré que des carabidés sont particulièrement abondants dans des parcelles colonisées par des plantes messicoles³¹⁰ (littéralement plantes des moissons). Ces insectes apparaissent intéressants pour agir sur le stock de semences des adventices dans le sol dans un contexte de réduction de l'emploi des herbicides (Cella, Boursault, Petit et Chauvel, 2010 ; Trichard, Chauvel, Petit & Michaut, 2013 ; Lamerre et Verschwele, 2013). D'autres travaux ont mis en évidence le lien entre plantes messicoles et la présence d'oiseaux et des micromammifères granivores. En tolérant des espèces messicoles dans les espaces cultivés et leurs abords, des oiseaux spécialistes mais aussi des espèces généralistes consommateurs de graines exercent un effet de prédation sur les graines des adventices (sur les plantes et sur le sol) réduisant le nombre de graines qui potentiellement pourrait enrichir le stock des semences. Des agents phytopathogènes³¹¹ vont perturber leur installation dans les milieux cultivés. Certaines bactéries édaphiques (rhizobactéries) auraient un effet allélopathiques négatifs envers certaines adventices *via* la sécrétions de toxines (Souissi, Lassoued, Mejri Et Khammassi, 2013). Enfin, des champignons employés sous la forme de préparations (mycoherbicides) révèlent des spectres d'efficacité spécifiques contre des mauvaises herbes (Yonli, Sawadogo, Bonzi-Coulibaly, Tapsoba, Bellvert, Comtes, Sereme, Sankara et Bally, 2013).

³⁰⁹ La référence est en ligne à l'adresse <http://www7.inra.fr/dpenv/ferlbd19.htm> .

³¹⁰ Les plantes messicoles poussent en même temps que les céréales à paille. Elles déroulent leur cycle de développement parallèlement à la céréale cultivée (partage de la même niche écologique). Elles sont adaptées aux perturbations du sol liées aux pratiques agricoles.

³¹¹ Ces agents induisent des maladies.

Les mycoherbicides sont des préparations à base de champignons (spores, mycélium,...) provoquant une maladie spécifique qui permet de lutter contre les mauvaises herbes avec un spectre d'action souvent limité voire spécifique. Elles s'appliquent au champ sous la forme de suspensions pulvérisées.

La lutte biologique contre les adventices est encore peu explorée comparée à la lutte contre les insectes et les maladies. Ces exemples intéressants révèlent les leviers encore mal connus mais prometteurs du contrôle biologique. En effet, la source majeure de mortalité semble être la prédation (Notman et Gorchov 2001) Par exemple, dans une culture de céréales, jusqu'à près de 70% des graines produites n'alimentent pas le stock grainier du sol, ne font pas partie des plantes adventices germées. Westerman, Wes, Kropff et van der Werf (2003) ont montré que les pertes sont le résultat de ces phénomènes de prédation. Les structures paysagères comme les bandes enherbées, les prairies naturelles, des haies favoriseraient ces mécanismes de régulation biologique.

Toutefois, la littérature fait mention à maintes reprises des incompatibilités entre la lutte biologique et la lutte chimique. Les auxiliaires sont en général plus sensibles que les bioagresseurs ciblés.

- *Lutte physique*

Les méthodes de lutte physique comprennent la lutte électromagnétique, la lutte pneumatique, la lutte thermique et la lutte mécanique (Panneton *et al.*, 2000b) : « le mode d'action primaire ne fait intervenir aucun processus biologique ou biochimique » (Panneton *et al.*, 2000a, p. 15). Après avoir très brièvement précisé ce que recouvre la lutte électromagnétique, pneumatique et la lutte thermique, nous focalisons notre propos sur la lutte mécanique qui apparaît plus accessible et la plus mobilisée dans le cadre de la gestion des adventices (le désherbage mécanique excepté, la lutte physique n'est pas courante en grandes cultures).

L'air en mouvement est le principe d'action contre les bioagresseurs de la lutte pneumatique. Ce type de lutte n'est pas employé pour la gestion des adventices. La lutte électromagnétique repose sur l'application d'un champ électromagnétique ou d'un courant électrique sur les bioagresseurs cibles, son coût très élevé explique ses utilisations restreintes. La lutte thermique se fonde l'application de températures létales hautes ou basses sur le bioagresseur.

Cas des adventices dans les systèmes de grandes cultures :

Pour les adventices, le désherbage thermique des cultures semées en lignes est employé dans le cadre de l'agriculture biologique. Il exige des équipements spéciaux pour appliquer la source thermique. La lutte mécanique comprend des méthodes actives comme le désherbage manuel³¹², l'arrachage, la fauche, le désherbage mécanique. L'utilisation de paillis et l'inondation se sont classées parmi les méthodes passives³¹³. Les désherbages mécaniques en végétation comme le binage, le sarclage, le hersage avec une herse étrille partagent deux objectifs : (i) éliminer les adventices à levée précoces qui sont susceptibles de concurrencer de manière préjudiciable la culture qui s'installe, (ii) favoriser les levées des adventices qui seront contrôlées ensuite mécaniquement dans le couvert ou durant l'interculture. Les actions n'ont d'intérêts que si elles se révèlent moins agressives sur le couvert cultivé que sur les adventices. Le désherbage mécanique suppose des équipements spéciaux. Son efficacité est très dépendante des conditions de réalisation : conditions de pédoclimatiques avant pendant et après les opérations, stade de la culture, stade de développement de l'adventice.

³¹² Le désherbage manuel est encore le mode de gestion des adventices le plus répandu : 50 à 70% des producteurs l'utilisent encore.

³¹³ Dans le cadre de la lutte physique, une méthode active est caractérisée par effet direct du moyen de lutte appliqué sur le bioagresseur, tandis que dans le cas des méthodes passives, ce sont les effets du stress induit par la méthode physique qui agit sur le bioagresseur .

- *Lutte phytosanitaire ou lutte chimique*

Améliorer le raisonnement de la lutte chimique sans compter sur les autres moyens de gérer les bioagresseurs ne permet pas seul de satisfaire l'objectif de réduction de 50% des usages du plan Ecophyto (2008). Néanmoins, un certain nombre de mesures peuvent être engagées pour limiter l'usage des produits phytosanitaires. En effet, dans les systèmes conventionnels, encore largement majoritaires sur le territoire national, les produits phytosanitaires sont souvent encore raisonnés dans le cadre de logique d'assurance pour les systèmes conventionnels : utilisation en routine et de manière systématique sans une évaluation fine des risques réels (Aubertot *et al.*, 2005b ; Viaux, 2013). Ces stratégies sont une traduction de l'aversion aux risques des agriculteurs, se révélant davantage une stratégie d'élimination d'un *risque d'infestation* que l'élimination d'une infestation (Aubertot *et al.*, *ibid.*). Le raisonnement de la lutte chimique conduisant à réduire l'usage des produits phytosanitaires ne remet pas en cause la dépendance aux produits phytosanitaires. Il débouche sur des décisions tactiques qui vont ajuster un programme de traitements à court terme, programme lui-même défini pour la campagne culturale. Ce programme de traitement est dépendant de décisions stratégiques à moyens et long termes comme celles qui ont défini le système de culture et avec lui, le choix des moyens de protection des cultures. Les pesticides demeurent un pilier sur lequel repose la conduite des cultures. Pour réduire l'usage des produits phytosanitaires, ce sont dans ce cadre les principes de la lutte raisonnée ou de la protection raisonnée qu'il faut décliner.

Le raisonnement de la protection des cultures n'intègre pas le niveau de production accessible. La protection est fondée sur l'évaluation des risques d'épidémies de bioagresseurs et n'est envisagée qu'en se référant au rendement potentiel et ne considère pas les pertes de récolte. Ces pratiques conduisent à surévaluer les risques de pertes de récolte. Le premier pas vers une réduction de l'emploi des produits phytosanitaires est de les employer dans des conditions optimales d'applications garantissant leur efficacité [pas de pluie après le traitement, bonne hygrométrie, vitesse de vent acceptable, matériels bien réglés, utilisation d'adjuvants, mélange de substances actives, etc.] : ces mesures relèvent des bonnes pratiques phytosanitaires. Ces pratiques permettent de limiter l'utilisation excessive de pesticides. Réaliser un traitement si le risque est avéré est un moyen pour réduire l'emploi des pesticides. Pour cela, le raisonnement s'appuie sur les bulletins de la santé du végétal qui diffusent des avertissements sur les risques et ou les états sanitaires des cultures à l'échelle de la petite région agricole. Combinés à ces données, des informations sont collectées sur la parcelle. Le raisonnement mobilise des outils d'aide à la décision pour décider ou non d'un traitement. Certains de ces outils sont associés à des règles de décision qui reposent sur des seuils de nuisibilité économique. Il est alors possible de ne traiter que « si nécessaire » et de réduire la fréquence des traitements. Enfin, combinés ou non à toutes ces mesures, en fonction du contexte (niveau de la pression sanitaire et répartition des bioagresseurs sur la parcelle, stade de la culture) et des produits phytosanitaires, la dose appliquée par unité de surface peut être réduite (agriculture de précision ou économies) : c'est la réduction de la quantité de substance active par hectare qui est visée.

Cas des adventices dans les systèmes de grandes cultures :

Des techniques ont permis de réduire les doses comme l'application localisée sur le rang permettant de cibler les adventices dans la zone où la concurrence est la plus préjudiciables. Des stratégies en post-levée en grandes cultures reposant sur l'observation sur des parcelles pour déterminer les type d'adventices, leur recouvrement, leur stade confrontée à des seuils de nuisibilité permettent d'envisager sur une campagne des « impasses ». Toutefois, les risques de salissement sur le long terme sont plus difficilement cernés (Munier-Jolain *et al.*, 2002) et

peuvent aboutir à des infestations d'adventices difficilement maîtrisables. Des pratiques de réduction de doses (doses appliquées en dessous de la dose homologuée) se sont développées à partir des années 2000 et contribuent à diminuer la quantité de pesticides épanchée. Cette pratique ne semble pas favoriser l'apparition de résistances (Beckie et Kirkland (2003) cité par Aubertot *et al.*, 2005b)

Rappelons que les herbicides sont des molécules organiques de synthèse qui vont perturber les fonctions vitales des adventices-cibles. Les produits phytosanitaires appartiennent à des familles biochimiques qui ont des modes d'action spécifiques. Les phénomènes de résistances à différentes familles d'herbicides sont de plus en plus observés dans le monde et en France : 232 espèces d'adventices de dicotylédones et monocotylédones sont concernées dans le monde. Délye, Deulvot et Chauvel (2013) ont montré que chez le vulpin des champs³¹⁴, les gènes de résistance pré existaient avant les herbicides de synthèse. Ces derniers exercent une forte pression de sélection favorisant au fil du temps les génotypes d'adventices résistants. Ce phénomène est inquiétant pour quatre raisons. (i) La fréquence initiale des plantes résistantes pour certains herbicides pourrait être supérieure à ce que l'on pensait jusqu'à présent. (ii) Une fois acquise la résistance se transmet aux descendants rendant inefficace la famille de l'herbicide³¹⁵ impliqué, générant des coûts supplémentaires de désherbage. Il est impératif d'utiliser une autre famille chimique avec un mode d'action différent. (iii) Les conditions d'homologation des produits phytosanitaires se durcissent et les firmes phytosanitaires ne sont plus en capacité de proposer des nouveautés pour renouveler les produits retirés du marché, en raison des coûts élevés de ces innovations. (iv) Ces deux points contribuent à réduire la palette des produits autorisés et ceci est très marqué pour la gamme des herbicides chez laquelle depuis plusieurs années aucune nouvelle famille n'a été commercialisée en France.

4.4. Synthèse

Le plan Ecophyto et son inscription dans une transition agro-écologique est à la fois une injonction et une invitation à gérer d'une autre manière la protection des cultures. Gérer la santé des plantes et les populations des adventices est complexe dans une perspective de réduction de la dépendance aux pesticides. Les fondements des raisonnements mis en œuvre pour protéger les cultures et des facteurs psycho-sociaux expliquent en partie la difficulté à entrevoir, accepter et mettre en œuvre des pratiques alternatives aux pesticides. Dans le cadre de stratégies de protection fondée sur le recours aux pesticides, les raisonnements reposent sur le recours systématique aux pesticides de synthèse, c'est-à-dire utiliser à un ou plusieurs pesticides durant la campagne de culture pour gérer des épidémies de bioagresseurs que l'on connaît. Ces raisonnements ont été construits dans la durée après la deuxième guerre mondiale et ont été progressivement nourris et enrichis par un outillage³¹⁶ favorisant le recours aux pesticides, facilitant leur emploi et l'évaluation de leurs effets sur les cibles

³¹⁴ Des résistances à deux familles d'herbicides, ont été découvertes en France.

³¹⁵ Les résistances observées concernent :

- des herbicides inhibiteurs de l'Acétyl- CoenzymeA Carboxylase (ACCase) avec les familles chimiques aryloxyphénoxypropionates dites APPs ou « fops » et les cyclohexanediones (CHDs ou dites « dimes ». ou « dymes » ,
- et les inhibiteurs de l'acétolactate-synthase (ALS) avec une famille très répandue les sulfonyles.

HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) est le comité d'action concernant les résistances aux herbicides. Il définit un mode de classification des herbicides selon différents critères qui dépendent en particulier de la famille chimique des produits. HRAC A désigne les herbicides de la famille des Fops et des Dimes et HRAC B, les herbicides de la famille des sulfonyles (sulfos). **Nous utilisons les sigles professionnels fops, Dimes et le nom sulfonyles ou sulfos dans la situation-problème partie 4II chapitre 4.**

³¹⁶ Des concepts, des références technico-économiques, des démarches, des outils d'aide à la décision ont été mis à disposition des praticiens sur le terrain, agriculteurs et comme conseillers agricoles.

visées. La démarche au cœur du raisonnement repose sur la mobilisation des informations, basées ou non sur l'observation concrète de la situation pour positionner correctement le traitement : l'avancer, le différer ou le réaliser comme prévu... Le raisonnement consiste alors :

- à repérer des périodes de sensibilité de la culture à une gamme de bioagresseurs durant le cycle cultural. Ce repérage est outillé par un ensemble d'avertissements agricoles émanant d'organismes ou d'entités officiels dont la mission est l'épidémiosurveillance ou par des bulletins produits par des entreprises de négoce et d'approvisionnement agricole ;
- à associer à chacune des cibles « bioagresseurs » une gamme de produits phytosanitaires efficaces pour limiter leur prolifération ;
- à connaître les conditions optimales d'application garantissant une bonne efficacité des produits de traitements (conditions météorologiques, phase de sensibilité de l'adventice, phase de sensibilité de la culture) ;
- à maîtriser la réalisation des bouillies pesticides et leur application (choix des matériels, des réglages, savoir-faire pratique d'épandage) ;
- à évaluer les effets des traitements : arrêt de la propagation des adventices par destruction (soit des plantes après la levée, soit par anti-germinatif avant leur levée).

Un ensemble d'acteurs participent à la mise à disposition de messages sur des risques « bioagresseurs » et les modalités pour les gérer sont encore très liées à des recommandations liées à l'emploi de pesticides. Les firmes phytosanitaires, les entreprises d'approvisionnement agricole, des services techniques de chambre d'agriculture ou d'instituts techniques, fournissent un ensemble d'informations techniques, technico-économiques à ce sujet. Les négociants d'agroéquipements agricoles y ont également contribué. Au niveau des conseils, nous avons vu la place du concept de seuil d'intervention dans les raisonnements tout en pointant les limites de son utilisation pour le cas des adventices. La « malherbologie », discipline scientifique support pour aborder les problèmes posés par les adventices dans les systèmes cultivés a mobilisé des concepts construits en entomologie et/ou en phytopathologie pour explorer ce qui faisait la nuisibilité des « mauvaises herbes ». Le concept de seuil de nuisibilité pose des problèmes de « traduction » pour la gestion des adventices. Il sert de base au raisonnement pour engager ou non une action sur les populations d'adventices et il est adopté par le développement pour délivrer le conseil et par les agriculteurs comme outil d'aide à la prise de décision. Or la caractérisation spécifique de la nuisibilité des effets résultant de la nuisibilité primaire indirecte et de la nuisibilité secondaire sont mal pris en compte. Ces considérations expliquent à terme des problèmes de gestion des salissements. La démarche de raisonnement apparaît simple et très axée sur le bioagresseur : « je contrôle aux périodes indiquées comme « critiques », le seuil n'est pas atteint, je diffère, le seuil est atteint j'interviens et je contrôle ». La logique de conception des systèmes prend appui sur les pesticides et mobilise des technologies de pointe exigeant une haute technicité.

Nous avons également repéré l'importance de la dimension psychosociale durant des transitions, marquées par des phases de construction et de déconstruction. La déstabilisation des acteurs dans la transition est d'autant plus forte que l'écart entre l'état de départ et l'horizon est important et que les connaissances nouvelles pour cheminer sont éloignées des acquis. La mise à disposition d'un paquet technologique considéré comme stabilisé (une technique, un mode de mise en œuvre, une gamme de résultats de référence attendus et un kit de savoirs associés pour simplifier le milieu afin de contrôler des aléas et pour en ajuster le fonctionnement) a entraîné une spécialisation des connaissances des agriculteurs. Ce sont des connaissances approfondies sur des techniques et sur leurs effets agronomiques à court terme et ce sont également des connaissances technico-économiques en vue de rationaliser des investissements productifs. La difficulté à faire autrement réside dans le fait que les agriculteurs se sont investis dans des apprentissages très liés à la dimension technique du

raisonnement visant l'amélioration de la performance par poste d'intrants pour atteindre de forts rendements. Une grande partie des agriculteurs utilisant des pesticides s'est construite une identité professionnelle à partir d'un référentiel fondé sur des critères prônant l'intégration agro-industrielle conforme au « main stream » du régime socio-technique dominant : être un très bon technicien (en opposition avec un bon paysan) et avoir des parcelles propres avec un bon niveau de performance agronomique (rendement élevé).

Aujourd'hui, il s'agit de faire autrement, mais comment et jusqu'à quel point ? Il est question de développer des formes d'agriculture alternatives au modèle dominant pour lesquelles les produits phytosanitaires n'occupent plus une place centrale dans les raisonnements. La difficulté à bien définir, caractériser ce que recouvre le modèle conventionnel vient compliquer le « travail de construction des alternatives ». En effet, le modèle conventionnel apparaît réifié (De Raymond et Goulet, 2014), considéré comme un repoussoir. Cette « chosification » du conventionnel apparaît davantage comme un point d'ancrage d'une rhétorique critique : il est difficile de cerner ce que recouvre la convention et quelles en sont ses marges, en particulier quel est le référentiel technique d'appui tant l'agriculture conventionnelle utilisatrice de pesticides est elle-même protéiforme. Dès lors, les alternatives se distinguent plus ou moins nettement dans les discours et dans les pratiques. Néanmoins, les conduites alternatives en agriculture s'inscrivent dans une démarche renouvelée tant sur les concepts que sur les échelles à articuler. Il est nécessaire de mobiliser des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes pour comprendre les processus écologiques qui s'y déroulent et acquérir des démarches de caractérisation du fonctionnement « écologique » des systèmes cultivés dans leur contexte. La parcelle, le système de culture, l'exploitation sont des agroécosystèmes qu'il convient de gérer pour la production de biens et de services rendus par les écosystèmes favorables aux activités humaines (services écosystémiques). La campagne de culture n'est plus l'échelle privilégiée des raisonnements. Pour le thème de notre recherche, le service de régulation des populations est central. Ceci implique d'intégrer le temps long dans les interactions biotiques et de considérer les complémentarités entre espaces gérés et espaces peu anthropisés qui peuvent être des habitats pour des espèces qui participent à la fonction de régulation biologique.

Aujourd'hui, il est question de certes mobiliser des connaissances agronomiques, centrales pour bien comprendre les mécanismes d'action des leviers agronomiques, mais également d'intégrer des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes dans les raisonnements. Il s'agit de mieux connaître les processus de régulation biologique au sein des écosystèmes pour les mobiliser et les intégrer dans le pilotage des systèmes cultivés. Il est alors question d'identifier les interactions biotiques et abiotiques en jeu et d'identifier les conditions de milieu les favorisant. Ainsi le milieu cultivé et les espaces non cultivés environnants sont envisagés comme des ensembles interagissant et traversés par des flux de matières, d'énergie et d'être vivants, au sein desquels les connections deviennent importantes à considérer. Les agriculteurs doivent « inventer » des combinaisons de leviers agronomiques pertinentes et cohérentes et les décliner sous la forme de pratiques dans la perspective de limiter le recours aux pesticides. Le résultat des combinaisons n'est pas connu à l'avance mais il met au cœur des raisonnements l'intégration de connaissances qui vont créer un milieu favorable à la santé des plantes et à la limitation des épidémies. La multitude des possibles ne peut pas être testée et validée, posant la question des références, des concepts et des connaissances pour instruire les problèmes soulevés par la perspective de réduire le recours aux pesticides.

Les agriculteurs, agents du développement, enseignants d'agronomie sont confrontés à une pénurie relative³¹⁷ d'outillages conceptuels et de connaissances pour instruire ces pistes de changement. Des savoirs émergents, en débat pour certains, ne sont pas toujours opérationnels

³¹⁷Il s'agit bien de pénurie relative au regard des savoirs/références abondants sur la lutte chimique. Le changement est en cours et les résultats s'acquièrent et s'ajustent au fil des campagnes de culture.

ou familiers (*i.e.* ceux produits dans le cadre de la recherche, aussi bien en agronomie ou écologie) et ne permettent pas aux acteurs de terrain de dépasser leurs problèmes. Certes, des expériences de systèmes alternatifs existent et les protagonistes ont construit malgré ces difficultés. Les réseaux que ces agriculteurs alternatifs ont fait émerger ont contribué à une forme de réassurance pour avancer (Compagnone, 2011). Pour les acteurs qui ne sont pas dans ses réseaux, la difficulté réside dans le repérage, la capitalisation et le travail de transformation de ces expériences alternatives sous formes de savoirs pour agir en situation (raisonner, conduire, évaluer, ajuster). A ce titre, le réseau de fermes DEPHY a conçu une démarche de capitalisation des expériences de systèmes économes en pesticides. Les efforts portent tout autant sur la poursuite de la capitalisation de références que sur leur consolidation.

Enfin, les dimensions liées à la production ne doivent pas être déconnectées de préoccupations sociétales en termes d'aménagement de l'espace, de définition de cadre de vie et de systèmes d'alimentation.

Il convient, une fois d'avoir fait un état des savoirs sur le gestion des bioagresseurs et des adventices en particulier, d'aborder à présent le cadre conceptuel dans la didactique des questions socialement vives.

Chapitre 3

Enseigner-apprendre des controverses

Etat et contribution des recherches sur les questions socialement vives

L'enjeu de notre recherche est de faire émerger des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques mobilisant des arguments agronomiques afin de voir comment ils se construisent, ce qui favorise ou freine leur développement et d'évaluer leur qualité. Un des enjeux du « produire autrement » est d'amener les élèves et les étudiants à produire ce type de raisonnement pour concevoir ou co-concevoir des systèmes de cultures alternatifs aux pesticides. Envisager des enseignements-apprentissages pour apprendre à piloter et à conduire des systèmes de culture économes en pesticides tenant compte des exigences du plan Ecophyto et de la transition agro-écologique est une question socialement vive (QSV°), triplement vive au sens de Legardez et Simonneaux (2006).

Dans cette partie de la thèse, nous abordons des éléments du cadre conceptuel qui nous ont permis de définir des fondements méthodologiques de notre expérimentation sur le terrain (soit pour le recueil de données, soit pour l'analyse de celles-ci). Nous nous intéressons d'abord à des questions d'ordre didactique liées au processus d'enseignement-apprentissage. La notion de didactique a donné lieu à de nombreuses définitions (Champy et Etévé, 2011). Entrer par une définition destinée à des non spécialistes permet de discuter ensuite les nuances et contributions des spécialistes des didactiques. Les « didactiques » s'intéressent au « *processus d'enseignement et d'apprentissage du point de vue privilégié des contenus* » (Champy et Etévé, *ibid.*, p. 268). Elles abordent des questions disciplinaires et/ou interdisciplinaires d'enseignement et d'apprentissage dans les situations éducatives. Trois types de didactique sont distingués :

- la didactique des enseignants et des formateurs qui sont des spécialistes de la didactique pratique,
- la didactique des inspecteurs pédagogiques qui prend la forme d'une didactique plutôt normative,
- et enfin la didactique des chercheurs en sciences de l'éducation qui propose une didactique critique et prospective.

Toutes ces didactiques³¹⁸ partagent au moins une finalité : elles doivent favoriser la rencontre d'un public avec les œuvres humaines que sont les *savoirs* (Chevallard, 2010, p. 140) : « *le*

³¹⁸ Aujourd'hui, didactiques et pédagogie, deux perspectives différentes, doivent dépasser leurs oppositions. Elles sont complémentaires et à articuler, indissociables de l'apprendre et du faire apprendre (Robbes, 2013) : « *La didactique s'intéresse aux processus d'acquisition et de transmission des connaissances pour une discipline donnée. (...) elle vise à comprendre les apprentissages scolaires à partir de la logique des contenus enseignés,*

surgissement du didactique dans une situation sociale se traduit par la création de conditions supposées accroître la probabilité de survenue d'un apprentissage donné » (Chevallard, 2010, p. 130). Pour Vergnaud (1992) cité par Zouari (2010), au sein des sciences de l'éducation, les didactiques ont une *responsabilité particulière* par rapport aux contenus de la discipline scolaire (p. 310). Elles contribuent à inventer les contenus et les conditions pour enseigner-apprendre en discutant la nature des savoirs à exposer (épistémologie)³¹⁹. Les didactiques ont produit des concepts pour y parvenir et ce, selon les œuvres à exposer. Les didactiques constituent un courant de recherche en sciences de l'éducation récent et hétérogène. Elles se sont constituées à partir des domaines comme la sociologie, la philosophie, la psychologie dont la psychologie cognitive et la psychologie sociale, l'anthropologie, entre autres, qui ont exploré la relation des individus aux connaissances et les mécanismes d'acquisition ou de construction de celles-ci. La diversité des disciplines instrumentales, des objectifs (fin heuristique ou praxéologique), des focales d'études (le savoir, l'élève, l'enseignant) contribuent à expliquer la richesse des recherches en didactiques. Les didactiques proposent de (i)cerner ce que recouvre l'objet d'apprentissage et de (ii)préciser, inventer ce qui va permettre de concourir à l'apprentissage visé dans un cadre de contraintes définies (comme l'institution scolaire, les demandes sociétales, l'état des savoirs académiques sur la question, le niveau scolaire, entre autres). Pour Chevallard (2010), dans une situation sociale, les didactiques consistent à « *faire quelque chose pour que quelqu'un "apprenne" quelque chose* » (p. 139). Alors que recouvre ces deux « quelque chose³²⁰ » pour la didactique des questions socialement vives ? Quelles sont ces conditions *supposées accroître les apprentissages* pour les QSV et surtout quels types d'apprentissage vise-t-on à travers l'enseignement des QSV ? Si pour Develay, la didactique constitue une « (...) *façon de lire et d'interpréter la dynamique des échanges d'une situation d'enseignement* » (Develay, 1993, p. 21), produisant des concepts et des théories dans ce sens, l'enseignement des QSV a fait émerger des questionnements spécifiques liés à des problèmes d'enseignement-apprentissage dans les trois types de didactiques évoquées plus haut (l'étude conduite par les enseignants, celle proposée par les inspecteurs et enfin celle investie par la recherche). Le courant scientifique de la didactique des QSV a développé une approche conceptuelle depuis environ 20 ans et il a affiché un ancrage socioconstructiviste pour envisager les enseignements-apprentissages.

Au cœur des didactiques, le « Comment apprend-on ? » et « Comment améliorer les apprentissages ? » sont essentiels. De grandes théories sur l'apprentissage ont été proposées au cours du XX^e siècle et d'autres se dessinent aujourd'hui. Dans une première partie, nous dressons un panorama rapide de quelques théories de l'apprentissage (le béhaviorisme, le cognitivisme, le constructivisme et le socioconstructivisme) en insistant sur le socio constructivisme, cadre de référence de la didactique des QSV. Dans une deuxième partie, nous abordons des résultats de la recherche issus des sciences cognitives que nous avons mobilisés pour concevoir le scénario didactique et pédagogique de notre expérimentation de

alors que la pédagogie s'intéresse à la logique des apprentissages à partir de la logique de la classe » (Develay, 1993, p. 39). Selon nous ces deux aspects sont indissociables. C'est la raison pour laquelle, nous proposons un scénario didactique difficilement distinct de la scénarisation dans la classe (point abordé dans le chapitre 4).

³¹⁹ « Ce qui caractérise donc la didactique par rapport aux diverses sciences de l'éducation, c'est sa responsabilité par rapport aux contenus de la discipline. Il s'agit sans doute moins pour elle « d'habiller » les contenus, que de les « travailler », de les adapter, voire de les inventer. Car ils ne se réduisent pas à une simplification attrayante des savoirs universitaires. Il y a un écart, dont on n'a mesuré l'ampleur que récemment et qui constitue le premier des « problèmes fondateurs » de la didactique » (Vergnaud, 1992, p.20).

³²⁰ Chevallard (2010) évoque plus précisément ces deux « quelque chose » en ces termes : « *la didactique se donne pour objets constitutifs les deux « quelque chose » évoqués : elle se demande quel est ce « quelque chose » dont l'apprentissage semble visé, et quelles sont les « choses » qu'il est possible de faire (sous les contraintes existantes, de tous niveaux) pour contribuer à cet apprentissage-là* » (Chevallard, *ibid.*, p. 139).

terrain. Dans une troisième partie, nous mettons en évidence l'émergence de questions auxquelles les recherches de deux courants éducatifs qui se sont développés parallèlement ont contribué à donner une réponse, l'un francophone avec la didactique des QSV et l'autre anglo-saxon avec les socioscientific issues³²¹ (SSI). L'exhaustivité du cheminement n'est pas visée. Nous avons construit cette partie sous un angle problématisé afin d'explicitier la pertinence de ce cadre théorique d'ancrage pour des questions soulevées par la perspective d'enseigner-apprendre à produire autrement avec moins de pesticides en entrant par la discipline scolaire « agronomie ». Pour cela nous avons en particulier développé des travaux sur l'argumentation et le raisonnement informel qui sont au cœur de notre situation-problème (sous chapitre 4III).

A la fin de chacune des parties des aspects orientant notre recherche sont synthétisés. Nous avons en particulier reformulé deux questions de recherche (QR6 et QR8) à la fin de ce chapitre.

1. Les différents courants d'apprentissage

Pour chacun des courants nous présentons une synthèse de la théorie, des principes retenus dans ce cadre pour conduire les enseignements-apprentissages et en particulier le statut de l'erreur. Des essais de classification des théories de l'apprentissage ont été proposés. Pour Lecomte (1993), les théories se distinguent selon qu'elles considèrent que les facteurs de l'apprentissage ne sont liés qu'à l'apprenant, qu'à des facteurs externes (environnements) ou qu'il est fondé sur les interactions entre l'apprenant et les environnements. Pour Develay (1993), trois familles de pensée peuvent être identifiées : le rationalisme (la connaissance repose sur l'inné), l'empirisme (la connaissance vient de la confrontation avec le monde par l'expérience) le constructivisme (la connaissance se construit en agissant sur le monde pour modifier nos « structures mentales » innées- *i.e.* le constructivisme). Bailly (1998) quant-à lui distingue les théories béhavioristes, les théories cognitivistes dans lesquelles il voit les modèles innéistes, les modèles constructivistes avec les modèles piagétiens et vygotskiens, entre autres.

Nous présentons le béhaviorisme, le cognitivisme, le constructivisme et le socioconstructivisme que nous développons davantage. La conception de l'apprentissage retenue pour notre recherche s'ancre dans le socioconstructivisme. Pour chacun des courants, nous posons quelques principes généraux et des concepts structurants, des considérations en termes d'enseignement-apprentissage parmi lesquelles est discuté le statut de l'erreur.

1.1. Le béhaviorisme ou encore le comportementalisme

Principes et concepts

Né aux Etats-Unis, ce courant est issu de résultats de recherches conduites sur des animaux en laboratoires et sur des individus (Watson, 1924 ; Pavlov, 1901 ; Thorndike, 1913). Né un peu avant le début du XX^e siècle, ce courant de pensée assimile le processus d'apprentissage à un changement de comportement observable déclenché par des stimuli émanant de l'environnement. Les facteurs d'apprentissage sont externes à l'individu et l'apprentissage est le résultat d'un processus d'interactions avec l'environnement (source du stimulus). Skinner (1938) a introduit le concept de conditionnement opérant : apprendre correspond à l'association d'une récompense à une réponse spécifique par conditionnements successifs, puis par renforcements positifs. Les apprentissages se produisent par paliers successifs fondés sur l'imitation, les observations et la répétition d'exercices, jusqu'à ce que le comportement

³²¹ Nous abordons une définition des SSI et nous caractérisons ce courant anglophone, plus loin dans le texte.

devienne automatique. Les apprentissages sont des enregistrements conditionnés et les connaissances sont « empilées », les unes à la suite des autres au fil des enseignements-apprentissages. Dans ce courant, les processus mentaux qui ne sont pas directement observables ne sont pas explorés (boîte noire, *black box*).

Conséquences en termes d'enseignements-apprentissages

Les situations de formation reposent sur un enseignement programmé (Skinner, 1953) dans lequel les objectifs sont définis et hiérarchisés pour induire des comportements types attendus (pédagogie par objectifs). Il convient alors de mettre en place un environnement qui va stimuler et renforcer les comportements appropriés par la répétition des exercices avec l'aide des enseignants. Inspirée par le béhaviorisme, la culture de construction des référentiels de formation a longtemps reposé sur la pédagogie par objectifs. Ceci peut contribuer à expliquer la difficulté actuelle de la prise en charge par les enseignants de situations didactiques et pédagogiques qui exigent la résolution de problèmes complexes. Cette pédagogie par objectifs entrevoit la résolution de tâches complexes à partir de leur éclatement en sous tâches plus simples à réaliser. Cela suppose que l'on puisse diviser un problème en sous-problèmes et que l'on soit ensuite en mesure de préciser la hiérarchie de leur traitement. La théorie a été remise en cause car elle n'a pas permis d'appréhender des apprentissages complexes qui ne s'expliquent pas à partir de l'existence d'un mécanisme d'interactions « stimuli-réponse ».

Le statut de l'erreur

Deux « conceptions » de l'erreur s'opposent dans le courant béhavioriste. Pour Skinner (*ibid.*), l'échec est considéré comme une faute car côté enseignement, tout est programmé pour l'éviter et côté apprentissage, c'est une défaillance dans le renforcement. Les processus cognitifs dans les apprentissages ne sont pas considérés : les remédiations se fondent alors sur un renforcement à partir de mêmes formes d'exercice. La dimension affective est considérée comme un facteur déclenchant externe (environnement). Pour Crowder (1960) au contraire, l'erreur est normale, inévitable dans un processus d'instruction et elle sert de guide pour apprendre : la « machine » à enseigner que Crowder a invité balise sous la forme d'un arbre ramifié le parcours de l'apprentissage. Il fonde l'enseignement programmé ramifié. Cette configuration permet à l'élève de retrouver l'endroit où il a commis une erreur pour la corriger seul.

1.2. Le cognitivisme ou rationalisme

Principes et concepts

Né dans les années 1950, ce courant se fonde sur des travaux conduits dans le cadre des recherches en sciences cognitives (Norman, 1993). Le cognitivisme est un paradigme des sciences cognitives (Steiner, 2005). Le béhaviorisme ne parvient pas « (...) à *expliquer les phénomènes mentaux complexes* » (OCDE, 2010, p. 42), comme les raisonnements, le fonctionnement de la mémoire et les processus d'acquisition du langage³²². La théorie, au contraire, s'intéresse aux processus cognitifs mentaux qui sous-tendent les comportements. Le cognitivisme rejette l'idée d'un apprentissage qui répond au schéma « stimulus-réponse ». Ce sont des processus mentaux³²³ complexes de traitement de l'information qui fondent les apprentissages. Des facteurs internes (Anderson, 1982), comme le fonctionnement de la mémoire (stockage) et des mécanismes mentaux complexes d'organisation de l'information

³²² L'étude des processus d'acquisition du langage est un exemple emblématique qui a contribué à remettre en cause le béhaviorisme. Des théories s'opposent à ce sujet. Chomsky (1975) a développé une théorie sur le caractère inné du langage, rejetant ainsi le caractère exclusivement conditionné par l'extérieur de ce processus cognitif.

³²³ Les explorations portent sur les capacités mentales propres au système nerveux central.

stockée (connexions et structuration des informations) en vue de sa réutilisation sont particulièrement impliqués dans les processus d'apprentissage. L'apprenant est un processeur qui « *absorbe les informations, effectue des opérations cognitives sur celles-ci et les enregistre en mémoire* » (de Corte, 2010, p. 43). L'apprentissage consiste à repérer l'information externe (importance des récepteurs sensoriels), à traiter et à emmagasiner cette nouvelle information (importance des différents types de mémoires courte et longue) et à faire des liens pour mobiliser des informations pertinentes pour résoudre un problème (importance des apprentissages de stratégies cognitives et métacognitives³²⁴) (Legendre, 1993, Tardif, 1992) : les apprentissages sont donc actifs et l'élève est au cœur du dispositif. Le cognitivisme propose une théorie du raisonnement, la théorie computationnelle qui repose sur la pensée rationnelle. Des recherches se sont aussi développées pour préciser l'influence du contexte social et culturel sur l'apprentissage des opérations de raisonnement (Cole, 1996). Les résultats conduisent à considérer l'importance de la situation dans les apprentissages (apprentissage situés, « *situated learning* ») : les processus cognitifs se produisent dans un contexte et la construction des apprentissages est partiellement dépendante de ces contextes.

Conséquences en termes d'enseignements-apprentissages

L'enseignement repose alors sur la mise en activité des apprenants (construction graduelle de la connaissance) à partir de la mise à disposition d'informations hiérarchisées et organisées, et sur l'identification des procédures pour résoudre les problèmes. Ces derniers sont fermés, construits de manière à permettre de mobiliser des connaissances antérieures, appelées « *représentations* » (Tardif, 1992), de les mettre en relation et de les réorganiser en les articulant avec les nouvelles. Les enseignements insistent tout autant sur l'acquisition d'un répertoire de connaissances (déclaratives, procédurales, conditionnelles³²⁵) et que sur des procédures de résolution.

Le statut de l'erreur

L'erreur est considérée comme un « bug » dont il convient d'identifier la cause. Elle fait cependant partie du processus d'apprentissage : elle est nécessaire pour identifier par effet rétroactif les failles dans le processus de construction des connaissances et dans les stratégies cognitives utilisées.

Le constructivisme et le socio constructivisme s'intéressent aux liens entre l'apprentissage et le développement humain.

1.3. Le constructivisme piagétien

Principes et concepts

Piaget a initié le constructivisme qui par la suite a été à l'origine de nombreuses variantes (Piaget et Inhelder, 1955) qui ont en commun deux fondements :

- elles postulent l'existence d'une séquence de niveaux structurants qui se succèdent dans le développement. Cette conception du développement rapproche la perspective piagétienne de la conception de la construction des savoirs scientifiques (Bachelard, 1938 ; Kuhn, 1970) ;

³²⁴ Les stratégies cognitives sont par exemple des méthodologies de recherche d'information, de résolution de problème type, de construction d'algorithme. La métacognition désigne à la fois la connaissance, les mécanismes de contrôle de leur acquisition, de leur utilisation par l'élève et de sa connaissance de ses propres stratégies cognitives.

³²⁵ Les connaissances déclaratives sont des connaissances théoriques (un fait, une référence, une règle, une théorie, un concept). Les connaissances procédurales sont des connaissances de procédures ou de démarches (étapes ou phases) pour résoudre une palette de problèmes (savoir-faire méthodologique). Les connaissances conditionnelles correspondent aux classifications et aux catégorisations.

- elles distinguent le développement et l'apprentissage.

Dans l'approche piagétienne, l'apprentissage repose sur des fondements biologiques liés à des stades de développement déterminant des capacités d'apprentissage (état de maturation) : le développement précède toujours l'apprentissage. Piaget pose ainsi explicitement la continuité entre le biologique et le psychologique. Le « sujet³²⁶ » est actif et il construit sa connaissance dans l'action **et** en interaction avec l'environnement. Il ne s'agit pas d'une transmission, ce n'est pas un conditionnement sous l'influence des seuls facteurs externes (des stimuli) : la connaissance est une reconstruction « individuelle » de la réalité.

Piaget considère que le processus d'apprentissage est d'abord interne pour ensuite être tourné vers le milieu pour y agir : les actions conduites pour apprendre sont intériorisées en s'inscrivant dans le cerveau sous la forme de structures opératoires. C'est en agissant sur le monde que l'enfant apprend et il n'y a pas d'apprentissage sans prendre en compte le « déjà-là » (Astolfi et Develay, 1989). Ainsi, les apprentissages apparaissent comme une succession de phases de déséquilibres et de rééquilibrations (modèle de la spirale), permettant alors à l'individu de s'adapter à son milieu. Au cours de ces processus³²⁷, Piaget a mis en évidence des moments de tensions (dissonances) cognitives, entre les connaissances et les représentations mentales du sujet et les données du monde « réel », appelés conflits cognitifs. Piaget a exploré des aspects du langage en décrivant trois types de langage³²⁸. Cependant dans l'approche piagétienne, le langage n'apparaît qu'en arrière-plan dans les processus d'apprentissage.

Conséquences en termes d'enseignements-apprentissages

Les enseignements-apprentissages reposent sur la pédagogie de la question, revient alors à l'enseignant, la tâche de construire des situations qui confrontent les élèves à des problèmes ouverts. Les apprenants vont eux-mêmes être confrontés au questionnement du problème conditionnant la mobilisation de savoirs pertinents dans ce cadre. Les enseignants veillent à enrichir la palette des situations de travail amenant les élèves à se rendre compte que les connaissances acquises ne leur permettent pas de résoudre ce à quoi ils ont choisi de les confronter : conduire les apprenants à un conflit cognitif les pousse à aller au-delà de ce qu'ils ont construit pour comprendre et expliquer le monde. Les savoirs mobilisés sont bien des réponses à des questions, leur redonnant un sens que la pédagogie de la réponse leur a fait perdre en omettant un détour sur leur épistémologie (Chevallard, 1997).

³²⁶ Piaget parle de sujet et non d'apprenant et il s'est particulièrement intéressé aux apprentissages chez les enfants.

³²⁷ Le développement cognitif de l'enfant s'opère par stades successifs en vue de s'adapter grâce au processus d'équilibration (Piaget, 1967). L'équilibration traduit la modification du système de compréhension du monde par le sujet. Ce processus caractérise la recherche d'un équilibre entre le sujet et le milieu sur la base de mécanismes d'assimilation et d'accommodation. L'assimilation correspond à l'action de l'individu sur l'environnement pour intégrer des données du milieu dans ses structures cognitives antérieures (schèmes). L'accommodation désigne la modification des schèmes de l'apprenant en fonction des données nouvelles : il ne s'agit pas d'un empilement des connaissances avec celles antérieures mais d'un processus de réorganisation marqué par un déséquilibre le temps de retrouver un nouvel équilibre. Cette accommodation vient souvent s'opposer aux connaissances ou aux représentations mentales antérieures, générant un conflit cognitif.

Le schème selon Piaget désigne « la structure ou l'organisation des actions telles qu'elles se transfèrent ou se généralisent lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues » (Piaget, 1967, p. 11).

³²⁸ Nous évoquons les trois types de langage dans le paragraphe sur le socioconstructivisme.

Le statut de l'erreur

L'erreur est utile car elle permet d'avoir accès à des indicateurs sur des processus intellectuels en jeu insuffisamment « assimilés » (mauvaise interprétation dans un schème) : il convient qu'elle se manifeste pour y remédier. Elle est perçue en termes d'obstacles. Elle est également selon Piaget un indice de la catégorie d'âge à laquelle appartient l'enfant.

Une des critiques adressées au constructivisme est de demeurer très centrée sur le sujet (théorie centripète, Astolfi, 2001), ne prenant pas en compte les aspects sociaux en jeu dans l'apprentissage comme les rôles de l'enseignant et des pairs. Le langage est secondaire dans les travaux de Piaget.

1.4. Le socioconstructivisme

Vygotsky a été à l'origine du socioconstructivisme dans les années 20/30. Inspiré par cet auteur russe, un courant de pensée occidental³²⁹ s'est développé bien plus tard sous l'impulsion de Bruner, Doise, Mugny, Wallon entre autres.

Vygotsky s'est intéressé aux rapports, chez l'enfant principalement, entre l'apprentissage et le développement psychique. Il a proposé une conception du développement psychique de l'enfant. Ces travaux ont apporté un éclairage nouveau sur la « *pédagogie et sur la psychologie traditionnelles* » (Yvon et Zinchenko, 2012, p. 22). En effet, Vygotsky prend le contre-pied des approches en psychologie de ses contemporains sur deux points. Les théories conventionnelles considèrent (i) les interactions sociales comme un **des** moteurs du développement, opposant le monde extérieur au monde intérieur de l'homme et (ii) partent du postulat que les processus psychiques sont donnés à la naissance. Au contraire Vygotsky pose les interactions sociales premières dans le développement et les apprentissages et ce sont ces interactions sociales qui permettent le développement des fonctions psychiques supérieures en intégrant la culture et son histoire. Vygotsky a produit la *théorie culturelle historique*, encore appelée *approche historique-culturelle*³³⁰, considérée comme une véritable théorie sociale du développement. L'auteur a développé des travaux sur la contribution du langage au développement de l'enfant et il a en particulier étudié le développement de ses fonctions psychiques comme la pensée.

Comme pour les courants précédents, nous abordons quelques grands principes de l'approche de Vygotsky. Nous nous intéressons à trois concepts-clés au cœur de la théorie d'apprentissage socioconstructiviste (la zone de développement proche, le conflit sociocognitif, la médiation sémiotique). Nous exposons quelques conséquences en termes d'enseignement-apprentissage. Enfin, en fondant notre recherche sur un ancrage socioconstructiviste, nous terminons par l'identification de points qui contribuent à structurer notre dispositif de recherche (cinq points mentionnés en grisé).

Les grands principes

Les résultats de recherches empiriques de Vygotsky traduisent le fait que mêmes les fonctions élémentaires de l'enfant sont conditionnées par le contexte social et l'histoire culturelle : « *les fonctions les plus élémentaires de l'enfant se caractérisent par une structure psychologique médiatisée, spécifiquement humaine* » (Yvon et Zinchenko, 2012, p. 44). Dès lors, le mode de construction des fonctions psychiques supérieures comme la perception, l'attention, la mémoire volontaire, la pensée conceptuelle, le langage écrit et oral ne résulte pas uniquement d'un équipement biologique (inné) mais ces fonctions psychiques se construisent à partir « du

³²⁹ Les travaux de Vygotsky n'ont connu de véritable essor que des années après sa mort : la barrière de la langue (le Russe) et la censure soviétique à son encontre en sont des causes.

³³⁰ En toute rigueur, cette terminologie est réservée à Vygotsky et à ses travaux dans la littérature russe.

dehors » dans l'interaction sociale à partir des instruments (objets) et de signes³³¹. Ces fonctions psychiques sont le résultat de *l'appropriation d'acquis historico-culturels*³³². Ainsi, selon Vygotsky, une fonction psychique supérieure apparaît deux fois, d'abord dans le cadre d'activités collectives, constituant une propriété même de ces interactions (*fonction interspsychique*) puis comme une propriété intérieure résultat d'une activité individuelle (*fonction intrapsychique*) (Vygotsky, 1933/1985³³³, p. 111 in Yvon et Zinchenko, 2012, p.44). Vygotsky pose ici le principe d'une cognition distribuée qui sera développée plus tard dans le champ des sciences cognitives (Hutchins, 1995). Les relations sociales apparaissent donc comme **le** moteur des processus de développement des fonctions psychiques de l'enfant. L'apprentissage précède et favorise le développement³³⁴. Le langage, considéré comme un système de signes hérités de la culture et de son histoire, joue un rôle particulier dans l'acquisition des fonctions psychiques supérieures (cf. concept de médiation sémiotique *infra*) car il médiatise la communication entre individus.

Tous les processus de développement des fonctions psychiques ne sont pas visibles et ne s'arrêtent pas quand l'activité qui déclenche l'apprentissage est achevée. En effet, selon Vygotsky, si au cours de l'apprentissage, il y a bien différenciation et réorganisation des fonctions entre elles, cette réorganisation se poursuit et mûrit au-delà de l'activité, en nourrissant d'autres fonctions psychiques (création de nouvelles liaisons). Ainsi, les apprentissages ont lieu *in situ* dans le cadre de la résolution d'un exercice et le processus d'apprentissage se poursuit au-delà. C'est ainsi que l'enfant « apprend » et se construit un nouveau rapport au monde (Vygotski, 1934/1997).

Comme pour le constructivisme, l'apprentissage ne se conçoit pas sans partir des représentations antérieures. Ainsi, la transformation de nos connaissances antérieures à partir d'un savoir « extérieur » ancré culturellement permet de construire un « regard » renouvelé sur nos connaissances (Yvon et Zinchenko, *ibid.*, p.379). Deux traits essentiels de la théorie en résultent :

- les interactions sont essentielles et d'autant plus si elles remettent en question les représentations initiales (le déjà-là) ;
- les apprentissages déclenchent ou réaniment des processus internes de développement qui ne sont accessibles qu'à partir de la médiation avec autrui (un adulte, des pairs). Une fois intériorisés, ils seront propres à l'individu.

Dès lors, le développement ne se réduit pas à une question quantitative d'accumulation de données par addition et par retrait : « *le développement intellectuel de l'enfant* » n'est pas « *le résultat d'une quantité donnée d'additions et de soustractions* » (Yvon et Zinchenko, *ibid.*, p. 103) et se ne conçoit pas « *par une lente et graduelle accumulation de changements distincts* » (Yvon et Zinchenko, *ibid.*, p.104). Complexe, le développement n'est pas linéaire³³⁵, et apparaît marqué par des phases de « *révolutions* ». Des aspects qualitatifs

³³¹ Cependant Vygotsky apporte une nuance en précisant que : le « *développement culturel du comportement, (...) repose aussi sur les changements internes de ce qui nous est donné par la nature* » (Yvon et Zinchenko, 2012, p. 76).

³³² Chaque société construit sa culture au cours de l'histoire et la culture s'inscrit *via* les interactions entre l'enfant et un autre individu, partie prenante de cette société. Rappelons que pour Piaget, les connaissances se construisent alors la conception vygotkienne évoque l'appropriation.

³³³ Ces interactions interpersonnelles « *apparaissent d'abord au sein d'un collectif, puis deviennent des fonctions psychiques intégrées à la personnalité* » (Vygotsky, 1931a/1983, p. 146-147 in Yvon et Zinchenko, 2012, p. 29).

³³⁴ Le fait que les apprentissages soient d'abord des processus externes à l'individu et que ceux-ci précèdent le développement s'oppose aux thèses de Piaget (le développement est d'abord interne et individuel et le développement précède les apprentissages, faute de quoi ils ne pourront pas se réaliser).

³³⁵ Cette perspective oppose Piaget à Vygotsky qui insiste sur l'idée de rupture, de discontinuité, de conflit qui émergent au cours des processus de développement.

entrent en ligne de compte : les fonctions psychiques comme la mémoire, l'intelligence, le langage sont liées et les rapports entre elles ne sont pas constants. Dès lors, il apparaît impossible de les étudier de manière séparée (Brossard, 2004).

De nombreux travaux ont porté sur le langage qui est, selon Vygotsky, essentiel, se révélant le principal instrument de la pensée logique et de la formation des concepts (Yvon et Zinchenko, *ibid.*, p. 75). Le langage³³⁶ sert à communiquer avec autrui dans le cadre des échanges interpersonnels. Il se transforme ensuite en langage intérieur et devient à ce moment-là le médiateur d'un mode de pensée, support des raisonnements.

Trois concepts-clés

- *la zone de développement proche*

L'apprentissage se réalise dans une *zone de développement proche* appelée également dans la littérature « *zone proximale de développement* » ou de « *zone de développement le plus proche* » (Yvon et Zinchenko, *ibid.*). Ce concept est central dans la théorie. L'apprentissage est en relation avec le niveau de développement psychique de l'enfant : certains apprentissages sont inaccessibles à des stades de développement. D'autres sont possibles par imitation avec l'aide d'autrui (souvent un adulte pour Vygotsky), et ce même si le niveau de développement n'est pas suffisant. Sur la base de ces observations, Vygotsky en a déduit le concept de la *zone de développement le plus proche*. Elle caractérise la distance entre le niveau de résolution d'un problème atteint par un enfant lorsqu'il réalise l'exercice sans aide (niveau actuel) et le niveau atteint avec l'aide d'autrui (un adulte, un enseignant, un pair ou un groupe). Cet aspect est très important car les apprentissages réussis dans ce contexte pourront être mobilisés dans d'autres situations. C'est l'expression d'une forme de construction sociale des connaissances, caractérisant l'appropriation culturelle des connaissances. La zone de développement le plus proche laisse présager le potentiel de l'enfant.

- *Le conflit sociocognitif*

Le concept a été produit dans le prolongement des travaux de Vygotsky, prenant aussi appui sur la proposition de conflit cognitif introduit par Piaget (Doise et Mugny, 1981). Dans le cadre d'interactions sociales (socio) lorsqu'une contradiction ou une incompatibilité entre ses idées et/ou ses représentations et/ou ses actions et/ou ses connaissances antérieures (cognitif) est perçue par un individu, un conflit émerge (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 2008). Doise et Mugny (1981, 1997) enrichissent les travaux de Piaget et Vygotsky en présentant les interactions entre pairs comme source de développement cognitif à condition qu'elles suscitent des conflits sociocognitifs.

- *La médiation sémiotique*

Les fonctions psychiques supérieures se développent à partir de la construction de significations. Les signes et les systèmes de signes sont des héritages historico-culturels. Ils sont extérieurs à l'individu dans un premier temps et représentent des formes symboliques de représentations du monde. A partir d'activités psychiques intérieures, les signes deviennent des stimuli artificiels qui assurent la construction de la signification contribuant à influencer le comportement (contrôle de son propre comportement ou de celui des autres) : la signification participe à la transformation de l'activité et modifie les représentations. Les signes sont donc des instruments psychologiques qui vont médiatiser l'activité sociale tout comme les outils.

³³⁶Inspiré par Piaget, Vygotsky considère trois moments d'évolution dans le langage : le langage social (médiateur des échanges et des actions sur l'environnement et les autres), le langage égocentrique (médiateur des échanges avec soi-même pour construire des raisonnements par exemple, ne s'adresse pas à l'environnement, mais pour Vygotsky ce langage est encore social contrairement Piaget) et le langage intérieur (non sonore et reflet de la pensée, c'est un mode de pensée par la signification).

Ce sont à la fois des outils culturels issus d'une construction historique de la culture et de la société et des outils sociaux lorsqu'ils servent de médiateur entre les hommes (*i.e.* adulte/enfant). Le langage est un système de signes, considéré comme un instrument psychologique, il a une fonction organisatrice fondamentale (sens et intériorisation des fonctions). L'appropriation des fonctions psychiques supérieures est permise par des médiations sémiotiques qui vont générer la double transformation de la fonction : les échanges inter personnels interactifs vont permettre l'appropriation collective de la fonction supérieure puis la fonction devient intrapsychique suite à une activité individuelle intérieure. Ainsi, par exemple, des raisonnements produits au sein d'un collectif pourront devenir des « acquis » pour chacun des membres du groupe.

Conséquences en termes d'enseignement-apprentissage

Les apprentissages scolaires ont deux caractéristiques :

- ils ont un caractère *systématique* dans le sens où la logique disciplinaire se fonde sur des concepts structurants qui vont définir l'ordre des apprentissages ;
- ils définissent une forme particulière de zone de développement proche. En situation scolaire, les enseignants exposent des savoirs qui n'ont pas forcément une relation immédiate avec les préoccupations des élèves et qui ne sont pas non plus toujours dans la continuité de leurs connaissances naïves. Certaines connaissances sont en rupture avec la proposition de l'enseignant et d'autres sont très éloignées générant un conflit sociocognitif. Les savoirs exposés peuvent être également éloignés du développement de fonctions psychiques de l'élève. L'école permet un développement fait de tensions et de contradictions en organisant pour l'élève un travail très au-delà de son développement mais également de ce qu'il serait capable de faire seul. Les enseignants sont des médiateurs entre l'élève et le savoir et doivent proposer des tâches complexes (au sens de culturellement complexes) qui font sens pour l'élève. Cette considération impose d'accorder de l'importance à la problématisation qui va susciter un motif d'apprendre. Les apprentissages, sous le contrôle de l'enseignant, génèrent un déséquilibre entre apprentissages spontanés et réactifs. Les médiateurs (enseignants et/ou pairs) créent ensemble une zone de développement proche.

Moussu, Accardi et Bonnaud (2005) définissent quatre exigences d'un enseignement socioconstructiviste, que d'autres auteurs ont complétées ensuite :

*Les enseignements efficaces sont ceux qui prennent en compte les acquis des élèves et qui dépassent le stade de développement psychique acquis. Toute nouvelle situation d'apprentissage doit permettre à l'élève de s'appuyer sur des fondements qu'il reconnaît et qu'il s'est appropriés. C'est dans la zone de développement proche que la construction des connaissances a lieu.

* Le conflit sociocognitif favorise les apprentissages si la dimension axiologique n'est pas trop impliquante et en opposition avec le système de valeurs (Simonneaux et Simonneaux, 2011) pour permettre aux élèves de prendre de la distance et ne pas les détourner de résolution du problème (Buchs, Darnon, Quiazade, Mugny et Butera, 2008) en bloquant le raisonnement (Simonneaux et Simonneaux, *ibid.*). La confrontation des points de vue, des représentations et de connaissances peuvent se fonder sur des travaux collectifs ou être générée par une situation-problème. Les bénéfices des interactions entre pairs peuvent apparaître même si aucun n'est expert³³⁷. Les activités socialement marquées (Gilly, 1994) sont intéressantes car elles jouent un rôle dans la régulation des comportements par rapport à la convention, la norme de référence et par rapport à la représentation de la résolution de la tâche (c'est rendre explicite le mode opératoire que Gilly définit comme des « *compétences cognitives relatives à des classes particulières de problèmes* » (Gilly, 1993, p. 674)).

³³⁷ Des travaux en mathématiques, en sciences physiques et dans le cadre des activités de résumé ont montré l'intérêt de la résolution des problèmes entre pairs (Baudrit, 2005).

* Le langage contribue à l'organisation de la pensée (il construit le sens et il contribue à la cognition). Les interactions langagières au sein de groupes vont permettre l'appropriation des connaissances par négociations et régulations successives. Dès lors, les enseignements-apprentissages doivent intégrer des dispositifs dans lesquels les élèves collaborent et mobilisent le langage pour résoudre collectivement un problème.

* Les « outils conceptuels de pensée » individuels sont le résultat d'un processus de transformation interpersonnel en un processus intrapersonnel qu'il convient de favoriser grâce aux interactions langagières. Vygotsky justifie l'intérêt des activités culturellement complexes : « *La tâche joue un rôle de « générateur » d'activités nouvelles, ce qui conduit l'élève à transformer son mode habituel de fonctionnement. C'est donc en fin de compte, l'activité propre de l'élève telle qu'elle est suscitée par ces tâches hautement exigeantes, qui est à la source du développement. L'enseignant place bien l'élève dans des situations nouvelles, mais c'est l'élève qui en accomplissant avec l'aide du maître les tâches qui lui sont demandées, se transforme lui-même.* » (Yvon et Zinchenko, *ibid.*, p. 373). Dans cette perspective, la « verbalisation » fréquente de la démarche est un moyen de conscientiser les apprentissages (les savoirs et les savoir-faire assimilés). L'acte d'abstraction se développe donc lorsque l'élève est confronté à des situations-problèmes qui le conduisent à conduire des activités de ce type.

- *La place de l'erreur*

L'erreur fait partie du processus d'apprentissage. Elle est le signe d'une construction en cours des structures cognitives et il convient alors de la repérer dans les dispositifs d'enseignements-apprentissages, de la co analyser avec les apprenants (Stigler et Hiebert, 1999). Elle est intéressante (« vos erreurs m'intéressent ») car elle se révèle être l'expression d'une forme de connaissance (Astolfi, 2011). S'agit-il d'une erreur dans la compréhension de l'énoncé, d'une conception erronée de l'élève, d'une erreur dans la procédure choisie ou mise en œuvre ?

Synthèse

Toutes les activités d'apprentissage passent par une activité mentale de réorganisation des connaissances et du système de pensée. C'est la condition pour qu'un nouvel apprentissage puisse avoir lieu. Le processus d'apprentissage repose sur des interactions sociales d'abord mettant en jeu des mécanismes inter-interpersonnels puis des mécanismes internes individuels : il ne se réduit pas aux interactions entre un individu et ce qu'il a à faire dans l'instant. Les fonctions cognitives supérieures comme la pensée, la mémoire, le raisonnement sont socialement construites grâce au langage³³⁸ et sont médiatisées socialement. L'appropriation des outils et des signes produits au cours de son histoire par la culture permet le passage des fonctions élémentaires aux fonctions supérieures cognitives à condition de prendre appui sur le déjà-là.

1.5. Mise en perspective pour notre recherche

Ce que nous retenons pour notre recherche

1. Le processus d'apprentissage est un processus actif qui prend forme et se structure en partie dans les interactions sociales.

L'approche socioconstructiviste met en avant la dimension sociale des apprentissages qui précèdent le développement des fonctions cognitives supérieures. Nous cherchons à faire émerger et développer des raisonnements complexes et les situations d'interaction sociales interpersonnelles peuvent favoriser la construction de raisonnements collectifs pour résoudre

³³⁸ D'autres signes servant à représenter sont également le support de ces fonctions cognitives.

un problème commun. Vygotsky a mis en lumière que ce qu'un enfant sait faire en collaboration, il saura le faire seul demain. Nous pouvons alors supposer que la démarche de résolution collective du problème va générer des apprentissages individuels qui pourront être mobilisés ensuite.

2. Tout apprentissage passe par une activité mentale de réorganisation des connaissances et du système de pensée.

Un nouvel apprentissage ne peut se concevoir sans considérer le « déjà-là ». C'est la condition pour qu'un nouvel apprentissage puisse avoir lieu. Nous proposons d'intégrer dans notre dispositif de recueils de données la prise en compte d'éléments du système de représentation connaissances (Bétoine et Legardez, 1995). Le système de représentations-connaissances (SRC) rend compte du déjà-là chez les apprenants : il peut s'agir de connaissances fondées sur des savoirs scolaires et/ou naturels (acquis hors du cadre scolaire) et/ou de représentations sociales. Le SRC caractérise le « système d'explication complexe du réel » (Bétoine et Legardez, 1995, p. 38). Le SRC comprend un ensemble « *de savoirs sociaux (et potentiellement de représentations sociales) et de savoirs scolaires antérieurs* » (Legardez, 2004, p. 654).

3. La configuration de groupes de travail des élèves et des étudiants sur une situation-problème peut générer des conflits sociocognitifs, favorisant les apprentissages dans l'interaction et dans l'interdépendance (cognition distribuée et apprentissage situé).

Lors de la résolution de problèmes, les interactions sociales (entre pairs ou avec des adultes), sous certaines conditions favorisent l'acquisition de fonctions cognitives (Doise et Mugny, 1981 ; Mugny, 1985 ; Perret-Clermont, 1979 ; Perret-Clermont et Nicolet, 1988 ; Roux, 1996). Les travaux en groupes sont intéressants car ils placent les apprenants en situation d'interactions. L'hétérogénéité intra groupale fait vivre le groupe et dynamise les échanges (Lewin, 1953). Elle peut favoriser les apprentissages coopératifs et/ou collaboratifs³³⁹ sur la base de relations d'interdépendances plus ou moins fortes (Johnson et Johnson, 1980). L'hétérogénéité et l'interdépendance sont des conditions indispensables pour qu'il y ait des apprentissages collectifs et individuels. Le succès dépend tout autant de l'efficacité de chacun que du système de récompenses attribué par chacun des membres en fonction des progrès réalisés (Slavin, 1983). Merieu a introduit la notion de groupes d'apprentissage (1996) dans lesquels les apprentissages collectifs peuvent amener à des apprentissages individuels (Merieu, *ibid.* ; Johnson et Johnson, 1990 ; Pléty, 1996). Constituer des groupes de travail hétérogènes et interdépendants implique l'exposition des points de vue et la recherche d'accord par la discussion et les débats des membres du collectif. Johnson et Johnson (1999) ont introduit la « controverse coopérative » caractérisée par le fait que « les jugements initiaux d'un apprenant sont incompatibles avec ceux d'un autre apprenant, et que les deux tentent d'atteindre une position commune » (Buchs, Darnon, Quiamzade, Mugny et Butera, 2008, p. 109). Lorsque que la consigne est donnée de trouver un consensus, les activités déployées par les élèves s'orientent vers une plus grande « curiosité épistémique » (*ibid.*, p. 109) les amenant à approfondir le sujet. Ce résultat fait écho aux travaux conduits par Mercer (1995, 2009) autour de la résolution des controverses qui évoque l'*exploratory talk* (discussion

³³⁹ Les termes de collaboration et de coopération sont souvent considérés à tort comme des synonymes, sans doute en raison de la référence commune au collectif. La coopération se distingue de la collaboration dans le fait que la résolution du problème passe par la définition d'un but commun atteint par une division des tâches. Au contraire dans la collaboration, les contributions individuelles sont interdépendantes, exigeant ajustements et coordinations permanents. Le travail des individus devient difficilement identifiable dans le déroulement du processus. La collaboration est marquée par « (...) *des efforts continus des sujets pour construire et maintenir une conception partagée des problèmes à résoudre* » (Paveau, 2006, p. 33).

exploratoire) quand des participants articulent des arguments pour résoudre un problème dans la perspective de trouver un accord³⁴⁰.

4. Les échanges langagiers interpersonnels permettent la structuration de la pensée collective support d'une résolution coopérative d'un problème.

Les activités langagières structurent la pensée. Amener à faire collaborer et à faire coopérer les élèves et les étudiants qui n'ont pas *a priori* les mêmes points de vue sur un sujet autour de la recherche d'une solution partagée d'un problème complexe sur la base d'échanges langagiers peut contribuer à améliorer la résolution collective. Cette recherche du consensus favorise l'exploration pour résoudre le cas d'étude (cognition située).

Les nombreux travaux autour de la résolution de problèmes portent sur des disciplines scientifiques et littéraires (Baudry, 2005) et il n'y a pas d'équivalent pour la discipline scolaire en agronomie. Nous n'avons par conséquent par de point d'appui spécifique.

5. Le processus d'apprentissage est un processus de maturation et des activités socialement marquées favorisent la mise en place de processus de régulation des comportements par la norme de référence.

Lorsque des apprentissages se produisent en situation lors de la résolution de problèmes, le processus se poursuit au-delà. Favoriser tôt dans le cycle de formation des apprentissages de haut niveau cognitif comme les raisonnements doit permettre progressivement de se rapprocher de la résolution de problématiques proches de la situation réelle (situation professionnelle significative, voir à ce sujet la partie 4I sur l'analyse curriculaire). La co-conception de systèmes de culture alternatifs économes en pesticides dans une perspective agro-écologique est complexe. Nous émettons l'hypothèse suivante : confronter les élèves et les étudiants avec l'aide d'un enseignant à la co-construction progressive d'une méta-démarche pour les aider à se représenter la résolution de la tâche participe au développement d'une zone de développement proche : il est nécessaire de proposer des activités que les élèves/étudiants ne savent pas faire pour qu'ils apprennent à le faire. Proposer des problèmes marqués socialement par leur inscription dans l'agro-écologie pourrait contribuer à favoriser un questionnement par rapport aux systèmes de cultures dépendants des pesticides.

Le panorama que nous venons de dresser a permis de poser des balises pour construire des enseignements-apprentissages efficaces en phase avec un ancrage socioconstructiviste. Nous abordons à présent quelques éléments issus des sciences cognitives qui nous ont apporté des éclairages sur les questions de « Qu'est-ce qu'apprendre ? ».

³⁴⁰ Nous abordons rapidement la typologie des types de discussions proposées par Mercer (1995) dans la quatrième partie sur la démarche d'analyse des données.

2. « Qu'est-ce qu'apprendre ? » Des éléments pour des enseignements-apprentissages efficaces issus des sciences cognitives

Cette partie reprend de manière synthétique les principes saillants issus d'une synthèse³⁴¹ des recherches en sciences cognitives (OCDE, 2010) et sur des travaux anglo-saxons (Bransford *et al.*, 2006)³⁴² pour concevoir et conduire des enseignements-apprentissages efficaces. Nous commençons par le constat d'un écart entre les productions des recherches en sciences de l'éducation et les pratiques didactiques et pédagogiques dans les classes. Nous passons ensuite rapidement en revue des principes retenus pour construire des enseignements-apprentissages « efficaces » en prenant appui sur des avancées des sciences cognitives (la pertinence d'un ancrage socioconstructiviste, la nécessité d'intégration des connaissances, l'importance de concevoir des enseignements-apprentissages fondés à la fois sur des concepts, des habilités et des démarches métacognitives, l'intérêt de reconsidérer le fonctionnement du cerveau et en particulier la forte intrication entre émotions et cognition, la prédisposition des adolescents aux configurations de travail collaboratif). Nous terminons par ce qui selon nous apparaît comme une des finalités éducatives : la perspective de construire une expertise d'adaptation.

Des orientations pour renouveler les formes d'enseignements-apprentissages : vers de nouvelles théories éducatives ?

La complexité des problèmes auxquels les sociétés sont confrontée exigent « (...) *la maîtrise en profondeur de concepts complexes, se forger une culture médiatique et apprendre à utiliser les nouvelles technologies de l'information (...)* » (OCDE, 2010, p. 26). Dès lors l'éducation se doit d'outiller les élèves et les étudiants afin qu'ils puissent « (...) *diagnostiquer et résoudre les problèmes du monde réel (...)* » (OCDE, 2010, p. 26). Comme le souligne le rapport de l'OCDE (2010), un grand fossé existe entre le monde professionnel de l'école, les recherches en éducation et l'échelon politique (Berliner, 2008). La difficulté d'appropriation des résultats de la recherche, la diversité des champs et des problématiques couvertes compliquent la valorisation des données par les enseignants/formateurs et leur intégration dans les politiques de réformes éducatives : « *Le problème résulte en partie de l'impénétrabilité totale d'une part importante de la recherche, écrite par des chercheurs pour des chercheurs et souvent seulement pour le sous-groupe de ceux qui partagent un intérêt spécialisé particulier. Outre l'inaccessibilité des savoirs, il faut donc aussi franchir l'obstacle de leur fragmentation : si ceux qui travaillent dans le domaine des sciences de l'apprentissage ne parviennent pas à jeter des ponts entre les diverses sous-disciplines et domaines de spécialisation, il n'est guère surprenant que d'autres n'y parviennent pas* » (OCDE, 2010, p. 30).

La succession des réformes éducatives a eu un impact structurel (plus de moyens technologiques, classe parfois à effectifs réduits). Elle n'a cependant eu que très peu d'effets sur les processus d'enseignements-apprentissages dans la classe, lieu où se construisent des apprentissages promus par le système éducatif reflétant des valeurs des sociétés. Des résultats

³⁴¹ Cet ouvrage édité par l'OCDE se fonde sur une synthèse de travaux de recherche conduit dans le cadre d'un projet de recherche appelé « Environnements pédagogiques novateurs » (ILE) sous l'égide du CERI. L'avant propos présente ainsi les objectifs de la production et les acteurs impliqués dans cette synthèse. « *Comment apprend-on ? La recherche au service de la pratique* » (...) « *S'appuyant sur les données de la recherche, il vise à informer les politiques et les pratiques éducatives sur la conception souhaitable des environnements d'apprentissage. Des chercheurs en sciences de l'éducation et des spécialistes de l'apprentissage de premier plan ont été invités à examiner les données d'un domaine particulier de la recherche et à en présenter les principales implications de manière compréhensible et accessible* » (OCDE, 2010, p. 4).

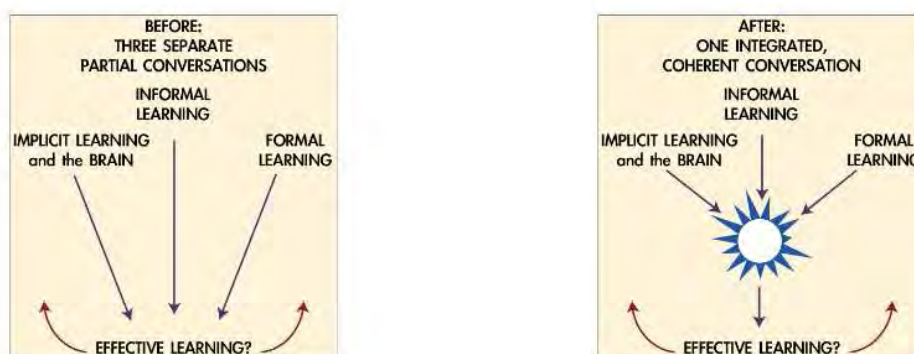
³⁴² Bransford, Vye, Stevens, Kuhl, Schwartz, Bell, Meltzoff, Barron, Pea, Reeves, Roschelle et Sabelli (2006).

de la recherche sur les processus cognitifs en jeu dans l'apprentissage, sur le fonctionnement de la mémoire et sa contribution dans l'apprentissage, sur la place jouée par les émotions et enfin sur les contextes d'apprentissage doivent inviter à restructurer les enseignements-apprentissages. Il convient alors d'améliorer la « qualité » des modèles d'enseignement-apprentissage afin de les transformer. Très peu de résultats ont été produits sur ce que recouvre et fonde la qualité dans les curriculums de formation : « *Pour Fullan et al. (2006, p 85), « très peu de dirigeants politiques, voire de praticiens, comprennent vraiment ce que la qualité veut dire au quotidien » (OCDE, 2010, p. 28).* Des recherches sur les processus en jeu dans les enseignements-apprentissages se sont déployées dans des divers domaines afin de mieux les comprendre et d'en améliorer l'efficacité (sciences cognitives, psychologie de l'éducation, informatique et sciences de l'information, anthropologie, sociologie et neurosciences sont mobilisées). Bransford *et al.* (2006) distinguent ainsi trois courants de recherche en éducation contribuant à améliorer la connaissance et la compréhension des processus :

- les recherches sur les apprentissages informels³⁴³,
- les recherches qui explorent l'apprentissage implicite³⁴⁴ et le cerveau,
- les travaux sur les designs pédagogiques pour l'apprentissage et au-delà³⁴⁵ (dispositif qui favorise les synergies entre apprentissages formels et informels).

Les auteurs regrettent qu'ils se soient développés plutôt de manière indépendante et, il conviendrait aujourd'hui de mieux articuler ces résultats afin de dessiner une théorie sur les apprentissages efficaces (*effective learning*) (cf. figure n°31).

Figure n°31 : Vers une intégration des courants scientifiques abordant l'apprentissage (Bransford *et al.*, 2006, p. 210)



Les processus d'apprentissage sont complexes et ne peuvent s'appréhender qu'en combinant des considérations multiples et imbriquées comme la maîtrise des concepts, la capacité à résoudre des problèmes de routine, la capacité d'adaptation face à des situations-problèmes complexes et nouvelles, la métaconnaissance de stratégies d'apprentissages et des mécanismes de régulation des émotions. Chez un élève au cours des enseignements-apprentissages, tous ces aspects contribuent à expliquer la capacité à faire face à une situation. Ils peuvent entrer en concurrence et ils ne sont pas identiquement configurés selon les individus.

³⁴³ Ce sont des apprentissages à partir d'activités dans les musées ou dans le cadre familial entre autres, hors d'un cadre scolaire.

³⁴⁴ « Implicite » signifie sans effort et de manière « inconsciente ».

³⁴⁵ L'école n'est pas le lieu ni la source unique de stimulation des apprentissages, loin s'en faut. Elle n'occupe que « 21 % du temps de veille des élèves » contre « 79% pour les activités non scolaires » selon le *National Council américain (2000)* » (OCDE, 2012 p. 50).

- *Un ancrage éducatif socioconstructiviste*

L'ancrage socioconstructiviste des apprentissages domine dans le monde de l'éducation fondé sur le fait que « (...) *les processus psychologiques internes à l'apprenant entretiennent une relation réflexive avec les aspects sociaux et situationnels qui influent sur l'apprentissage, aucun n'ayant priorité sur l'autre (Cobb et Yackel, 1998)* » (OCDE, 2010, p. 45). L'apprentissage doit être considéré tel un processus actif qui implique pleinement celui qui est en train d'apprendre : c'est « *l'apprenant qui doit créer lui-même de nouvelles structures de connaissance* » et personne n'apprend à la place d'autrui.

L'environnement pédagogique doit être conçu pour mettre l'apprenant au centre du dispositif. Outre la qualité des notions mobilisées, ce qui peut faire obstacle à l'appropriation du savoir et donc contraindre les élèves à être passifs doit être considéré en amont avec soin et intégré dans des dispositifs qui doivent favoriser les apprentissages.

L'apprentissage efficace (ou optimal selon les termes de l'OCDE (2010)) prend en considération les acquis (connaissances diverses, représentations sociales (Moscovici, 1961), représentations³⁴⁶, conceptions³⁴⁷). Comme nous l'avons déjà évoqué plus haut, les connaissances nouvelles ne sont appropriées que si elles sont intégrées aux structures cognitives antérieures : nos connaissances antérieures conditionnent ce que nous sommes prêts à apprendre. En particulier, un point mis en évidence par Schneider, Grabnere et Paetsch (2009) attire notre attention : chez des adolescents et des adultes « *les acquis dans un domaine spécifique constituent un des déterminants majeurs des apprentissages futurs* » (OCDE, 2010, p. 77). Plusieurs études corroborent le fait que les connaissances antérieures (acquises dans un contexte formel ou informel) et les représentations sociales et les conceptions interagissent avec le processus d'apprentissage (Vosniadou et Verschaffel, 2004).

- *Favoriser l'intégration des connaissances*

L'apprentissage efficace se fonde sur l'intégration des connaissances, entre autres. Dans les *curricula*, les logiques disciplinaires génèrent une fragmentation des notions. La mise en situation des élèves à partir de projets transversaux offre l'opportunité d'intégrer les connaissances fragmentaires autour de l'étude d'un phénomène complexe en prenant appui sur différentes disciplines. La complexité des questions socialement vives impose l'intégration des connaissances et les dimensions affectives et axiologiques interfèrent dans le processus.

- *Des concepts, des habiletés et la métacognition pour des apprentissages efficaces*

La question des savoirs est au cœur des dispositifs, faisant écho aux exigences des sociétés de la connaissance, et l'école leur a toujours accordé une place centrale. Cependant, si l'attention portée aux savoirs est importante et à discuter en termes de validité et de pertinence par rapport aux enjeux éducatifs et aux projets de société, l'acquisition de démarches heuristiques

³⁴⁶ Dans les processus d'enseignement-apprentissage, les représentations des élèves correspondent à des manières personnelles d'expliquer le monde pour y agir (Develay, 1992). Ces représentations sont en général tenaces et résistantes au changement. Accéder aux représentations permet de comprendre comment le monde est expliqué et être en mesure d'identifier des « erreurs » dans cette représentation. Apprendre, c'est changer de système de représentation, c'est-à-dire se construire un nouveau système compréhensif et explicatif du monde.

³⁴⁷ Des didacticiens préfèrent retenir le concept de « *conception* » (Giordan et Vecchi, 1987, 1990) à celui de représentation. Les conceptions désignent « *un ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations-problèmes* » (Giordan et Vecchi, 1990, p.79). Elles se réfèrent également au déjà-là dans une situation d'enseignement-apprentissage, lorsqu'un nouveau concept est introduit. Il existe alors une tension entre la conception qui a structuré une grille de lecture pour comprendre le monde et un nouvel outil pour appréhender le monde. Ces conceptions permettent de comprendre les stratégies déployées par les élèves pour résoudre des problèmes. Beitoine et Legardez (1995) évoquent le système de représentations-connaissances.

est également à considérer. Un apprentissage efficace repose sur l'acquisition de concepts, d'habilités, de démarches métacognitives. Or pour la question au cœur de notre recherche, les savoirs ne sont pas stabilisés. Les démarches de résolution sont en co-construction. Il devient alors difficile de définir sur cette base ce que peut recouvrir un apprentissage efficace. La didactique des questions socialement vives (Legardez et Simonneaux, 2006), que nous abordons plus loin, contribue à donner des réponses. Les concepts sont des outils abstraits qui permettent de construire une modélisation des phénomènes complexes et ils sont utiles pour questionner un problème dans la perspective de le résoudre. Les habilités ou les procédures servent à définir la méthodologie qui va contribuer à résoudre un problème. Un enseignement qui ne reposerait pas sur des concepts ne permettrait pas de dépasser la résolution de cas autres que ceux appréhendés en situation artificielle de classe et un enseignement qui n'attacherait pas d'importance à l'apprentissage des procédures ne permettrait pas d'accroître l'efficacité dans la résolution de problèmes de plus en plus complexes (des procédures bien maîtrisées permettent de réaliser certaines tâches rapidement pour allouer plus de ressources cognitives à la résolution de ses aspects plus complexes). Ces démarches d'analyse des problèmes permettent d'en construire des reformulations afin d'en améliorer la compréhension pour favoriser leur résolution. Il incombe à l'enseignant de travailler sur la distance entre les contenus à apprendre et sur ce qu'il est important d'apprendre pour « savoir faire ». Aider les élèves et les étudiants à prendre conscience des apprentissages qu'ils sont en train de vivre permet de développer la métacognition (connaissance que l'apprenant a de ses propres processus cognitifs (Hartman, 2001)). La métacognition permet de rendre conscientes l'acquisition et la mobilisation des différents processus cognitifs. En particulier, il est nécessaire de rendre consciente la tension entre (i) « savoir³⁴⁸ et apprendre » et entre (ii) « réussir et comprendre » (Meirieu et Daviet, 2014).

(i) La modernité nous donne l'illusion de savoir sans avoir appris (*ibid.*), en mettant à disposition foison d'informations et de technologies prêtes à l'emploi. L'apprentissage demande du temps, de l'énergie et déstabilise (Favre, 2007). En effet, pour apprendre, il faut se situer dans la zone de développement proche (Vygotsky, 1933/1985), zone où justement l'élève ne sait pas encore, où les hésitations et les erreurs sont nombreuses, zone où l'aide d'un tiers est nécessaire. (ii) Comprendre c'est accéder à une forme d'intelligibilité du monde et se détacher pour aller vers autre chose. Il est possible de réussir sans avoir compris (cf. plus loin le point sur la capacité d'adaptation). Reconsidérer le fait que les apprentissages exigent du temps et des efforts contribue au développement de la métacognition. Celle-ci favorise l'émergence de capacités d'autorégulation des processus cognitifs et de la motivation : se connaître, analyser ce qui favorise la réussite et/ou contribue à l'échec dans les apprentissages (aussi bien dans le registre des stratégies épistémiques que dans celui de la motivation et des émotions) pour agir, anticiper, s'adapter.

- *Tenir compte du fonctionnement du cerveau pour le stockage de l'information dans les enseignements-apprentissages*

Les enseignements-apprentissages scolaires doivent tenir compte des capacités et des mécanismes de traitement de l'information du cerveau humain (Lieury, 2003). Des contributions des sciences cognitives³⁴⁹, en particulier en psychologie cognitive et neurosciences (Kosslyn et Koenig, 1992 ; Maltin, 2001), sont incontournables dans ce domaine. La cognition ou « *activité mentale comprend l'acquisition, le stockage, la transformation et l'utilisation des connaissances* » (Maltin, 1996, p. 17). Il s'agit d'un

³⁴⁸ Le verbe ici est considéré.

³⁴⁹ Les sciences cognitives recouvrent un ensemble de disciplines scientifiques qui étudient le fonctionnement de la pensée (la psychologie, la philosophie, la linguistique, l'anthropologie, l'intelligence artificielle et les neurosciences). Gardner (1985) y ajoute l'économie et la sociologie.

ensemble de processus mentaux relatifs à la connaissance comme la perception, la mémorisation, le raisonnement, la résolution de problèmes et les processus de la pensée au repos. En particulier, pour concevoir et conduire des enseignements-apprentissages, il est important de se fonder sur le fonctionnement de la mémoire. Cinq systèmes de mémoires sont distingués : (i) la mémoire de travail (ou mémoire à court terme³⁵⁰), la mémoire à long terme qui se subdivise en quatre sous-systèmes avec la mémoire à long terme explicite (mémoires (ii) sémantique et (iii) épisodique) et la mémoire à long terme implicite ou non déclarative (mémoires (iv) procédurale et (v) perceptive). Les processus cognitifs dans l'apprentissage mobilisent à la fois la mémoire de travail et la mémoire à long terme.

La mémoire de travail traite des informations dans l'action. Elle a une capacité limitée, ne permettant de retenir qu'un petit nombre d'informations pendant un temps bref (30 secondes). Elle constitue « un goulot d'étranglement » qui conditionne la quantité d'informations qui pourra être traitée et stockée dans la mémoire à long terme³⁵¹. Il convient alors de ne pas saturer (saturation cognitive) la première mémoire au risque de ne pas permettre l'acquisition et le « bon archivage » des connaissances dans la mémoire à long terme.

Des processus cognitifs filtrent les informations perçues. Seulement une partie d'entre elles est transférée pour être organisée, intégrée dans de nouvelles configurations cognitives et stockée dans la mémoire à long terme³⁵². Seules, les informations jugées pertinentes, intéressantes voire celles qui sont récurrentes sont l'objet de cette transformation. La mémoire à long terme explicite comprend :

- (ii) la mémoire sémantique qui sert à construire le sens [les mots, les concepts, entre autres],
- et (iii) la mémoire épisodique qui stocke les souvenirs autobiographiques d'un événement passé. Elle permet de stocker et de récupérer des données.

La mémoire à long terme implicite ou non déclarative recouvre :

- (iv) la mémoire procédurale qui enregistre des gestes qui deviendront des automatismes dans la vie quotidienne. Dans ce système cognitif, les procédures mentales comme la résolution de problème sont emmagasinées,
- (v) la mémoire perceptive qui concerne la mémorisation par les sens (couleur, odeur, forme). Elle permet d'acquérir des savoir-faire, de les stocker et de les remobiliser en situation et de manière inconsciente.

Nous avons mobilisé des éléments concernant l'amélioration de la capacité de traitement de l'information pour la construction de la situation éducative et la définition de son scénario didactique (partie 4III du chapitre 4). Les notions de surcharge cognitive et de *chunk* (Miller, 1956), le principe de double codage verbal et visuel de l'information (Baddeley, 1986 ; Paivio, 1971, 1986) et son impact sur les apprentissages (Lieury, 1995) et des éléments du fonctionnement de la mémoire sémantique (Collins et Quillian, 1969) ont servi de points d'appui.

³⁵⁰ Deux modèles heuristiques proposent des visions de cette forme de mémoire labile (Baddeley, 1986 ; Cowan, 1996, 2008). Des controverses demeurent sur l'existence ou non d'une mémoire à court terme distincte d'une mémoire de travail voire même d'une distinction aussi nette entre des mémoires à long terme et des mémoires à court terme. Pour Baddeley (1986), la mémoire à court terme et la mémoire de travail sont distinctes. Pour Cowan, (1996, 2008), il est quasi impossible de distinguer les formes de mémoires tant elles reposent sur des mécanismes imbriqués d'interactions. En fait, il existe plusieurs théories sur la mémoire (Miyake et Shah, 1999). Les recherches récentes sur le fonctionnement du cerveau (INSERM, 2014) montrent que la mémoire fonctionne à partir de réseaux neuronaux distincts, interconnectés et interdépendants.

³⁵¹ Une information ne sera stockée dans la mémoire à long terme qu'une fois, encodée. La mémoire à long terme aurait une capacité de stockage quasi-illimitée. Elle est intéressante car les informations stockées sont persistantes pendant quelques jours voire pendant plusieurs années, et par conséquent mobilisables si nécessaire.

³⁵² En fait, des réseaux complexes d'informations se construisent.

- *Chunks et mémoires à court terme*

La mémoire à court terme ou la mémoire de travail fonctionne sur le principe d'unités élémentaires de mémoire (empan mnésique³⁵³) appelés *chunk* (Miller, 1956). Ces unités sont retenues car elles ont du sens pour celui qui perçoit l'information : ce sont des unités de sens³⁵⁴. Ces informations perçues pourront être ensuite encodées³⁵⁵ et traitées (organisées et stockées dans la mémoire à long terme). La mémoire de travail ne peut retenir qu'un nombre limité de chunks 7 ± 2 (donc entre 5 à 9 selon Miller (1956)). Or, cette mémoire joue un grand rôle dans les apprentissages nouveaux. Il convient donc de la valoriser au mieux, et pour faciliter le traitement de l'information dans la mémoire, il convient d'éviter ce que l'on appelle la surcharge cognitive. En premier lieu, il apparaît que le découpage de l'information en petites unités de sens appelées « chunk » (Miller, 1956) permette d'en accélérer le traitement. Paradoxalement, si le nombre de chunks est à peu près figé, la taille des chunks peut être très variable (leur contenu informationnel et selon l'expérience de l'individu influence la taille des unités). Un chunk est « *une unité subjective de stockage* » basée sur l'expérience antérieure des sujets (Rondal, 1999, p. 317).

- *Le double codage de l'information dans la mémoire de travail*

Dans la mémoire de travail, le codage de l'information par le cerveau se fait par deux canaux distincts de traitements : on parle de double codage de l'information avec un canal pour l'information visuelle et un autre pour l'information verbale (Baddeley, 1986). Sont alors distinguées, la mémoire de travail phonologique (encodage acoustique) et la mémoire de travail visiospatiale (encodage visuel des images). La capacité de mémoire phonologique est supérieure à celle de la mémoire visiospatiale. Un processus mental permet ensuite d'encoder une nouvelle fois les informations de la mémoire visiospatiale pour qu'elles passent dans la mémoire phonologique. Ainsi, selon Paivio (2007) des schémas, photos, dessins associés à un texte sont mieux retenus qu'un texte seul et les termes concrets vont plus facilement générer une image mentale, donnant accès au sens (ils auraient subi le double codage). L'apprentissage est effectif dès lors que les informations sont traitées (elles ont été perçues comme ayant du sens) pour être ensuite organisées dans les structures de connaissances déjà existantes.

- *Le rôle de la mémoire sémantique pour améliorer l'efficacité du traitement des nouvelles informations*

La mémoire sémantique joue un rôle particulier dans le processus de mémorisation. Les informations sont organisées par catégorie conceptuelle (et à partir de catégorie lexicale Collins et Quillian (1969)), hiérarchisée et emboîtée. Cette mémoire organise et structure le sens. Lors d'un apprentissage, si l'information est déjà stockée, l'accès à cette mémoire est direct pour comprendre et agir. Dans le cas où l'information n'a pas été répertoriée et stockée, la mémoire sémantique fonctionne alors par inférence, elle écarte des informations qui n'ont pas de lien apparent avec l'objet de l'activité : ces inférences correspondent à un raisonnement construit alors à partir d'un réseau de connaissances pour donner du sens aux nouvelles informations (Gazzaniga, Ivry et Mangun, 2000).

³⁵³ Il correspond au nombre d'éléments qu'un individu peut énoncer spontanément après une seule présentation.

³⁵⁴ Par exemple, pour retenir une liste d'un grand nombre de lettres, le stockage et le rappel en mémoire sont plus faciles si l'information est encodée sous la forme d'une suite de mots.

³⁵⁵ L'encodage est un processus qui code l'information en mémoire pour laisser des traces mnésiques.

Cependant, si la mémoire permet de stocker de l'information, l'organisation de certaines données dans cette mémoire n'est pas innée. Il faut **apprendre** à comprendre pour donner du sens et les enseignements-apprentissages en milieu scolaire y contribuent. Les sciences cognitives modernes montrent que la cognition repose sur des mécanismes complexes se fondant sur des structures organisées de connaissances chez les individus. Les recherches récentes nuancent la conception de l'apprentissage qui reposerait essentiellement sur une grande accumulation de « savoirs ». En fait, la qualité de la structuration des savoirs est tout aussi importante à considérer que la quantité des savoirs intégrés par les individus. Selon Lieury (2003) comprendre, c'est d'abord catégoriser dans la perspective de construire du sens. Les enseignants qui se sont appropriés plus d'unités de sens (stockés en mémoire et donc mobilisables) que leurs élèves doivent les aider à faire le lien entre les notions et penser progressivement la complexification de la construction de ce réseau d'interaction notionnel. C'est un aspect qui nous a guidé pour définir la qualité des raisonnements à partir de la définition de niveaux de complexité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques, nous conduisant à retenir un niveau structurant charnière (niveau de complexité 7- cf. chapitre 4 partie 4IV).

- *Considérer l'imbrication de la cognition, de la motivation et des émotions dans le processus d'apprentissage*

Les dimensions épistémiques (construction de la connaissance), affectives (registre des émotions entre autres) et axiologiques (registre des valeurs et des idéologies) sont intimement imbriquées dans les processus d'apprentissage chez les individus³⁵⁶. Cette considération remet en cause des approches cognitivistes qui assimilaient le traitement de l'information à des processus mécaniques désincarnés sans être inférés par l'affect. Emotion³⁵⁷ et motivation sont de puissants moteurs de l'apprentissage (Bandura, 1997), mais peuvent également en devenir des freins (Boimare, 2004 ; Delannoy, 2005). Pendant longtemps, les émotions ont été considérées hors du champ d'investigation des neurosciences. MacLean (1993), Papez (1994) et Panksepp (1998, 2004) ont ouvert le champ d'investigations des mécanismes neuronaux des émotions (neurosciences affectives). Panksepp a mis en évidence deux systèmes émotionnels qui interagissent et s'activent selon la situation : le circuit de la récompense (noyau cérébral *accumbens*) et le système émotionnel impliquant l'amygdale (peur). Plus une activité sera associée à une récompense, plus l'organisme s'en souviendra et plus il cherchera à renouveler cette activité.

Des travaux en sciences cognitives ont exploré le lien entre motivation et apprentissages scolaires et la place des émotions dans l'apprentissage. Les notions de motivation et d'émotion sont polysémiques. La motivation recouvre les besoins, les pulsions, les désirs, la volonté (Dortier, 2004). Elle est dépendante des centres d'intérêts des apprenants, de l'acquisition des connaissances qui peut la stimuler, tout comme la perception que les apprenants ont de leur capacité et des buts qu'ils se sont assignés et de la difficulté de ce qu'ils ont à faire. Ainsi, la motivation ne précède pas toujours les apprentissages. Elle est dynamique, fluctuant dans le temps. Stark, Rothe, Wagner et Scheich (2004) ont mis en évidence le lien étroit entre cognition et motivation. Apprendre peut engendrer de l'auto récompense : il existe une motivation endogène pour l'apprentissage (Favre, 2007, 2010) qu'il

³⁵⁶ Les positions entre scientifiques ne sont pas consensuelles. Zajon (2004) considère que les émotions et la cognition sont des processus autonomes (*in* Dortier, 2004, p. 188). Pour d'autres à l'instar de Sherer et Frijda (2004, *in* Dortier, 2004, p. 189) et Damasio (1995), les émotions contribuent aux processus cognitifs complexes comme le raisonnement et la perception.

³⁵⁷ Lecomte (2013) définit une émotion comme « une réaction de l'organisme à un événement extérieur, et qui comporte des aspects physiologiques, cognitifs et comportementaux » (p. 31).

faudrait provoquer et entretenir dans les situations scolaires. Favoriser cette dynamique en stimulant des circuits nerveux de la motivation (renforcement positif ou négatif).

Les émotions résultent et s'expriment lorsqu'il y a une tension entre nos besoins vitaux et les stimulations externes. Elles renvoient à un ensemble de processus affectifs complexes (Frijda, 1986). Elles interfèrent dans les processus d'apprentissage car « (...)elles envoient des signaux d'avertissement à forte priorité » (OCDE, 2010, p. 101) qui font interrompre les activités en cours et accroissent ainsi le niveau d'éveil. Elles permettent de réagir rapidement et se traduisent concrètement par des modifications physiologiques. Elles signalent qu'il est temps d'agir (Carver, 2003). Si le processus d'apprentissage se déroule sous le coup de l'émotion positive, les apprentissages vont donc être marquants³⁵⁸. Au contraire s'il est associé à des émotions négatives les élèves peuvent se détourner. Questionnés, des adultes précisent que « la polarité émotionnelle a marqué leur rapport à l'apprentissage et au savoir » (Delory-Momberger, 2003, p. 80) et évoquent spontanément « comme étant significatif pour leur parcours de formation » (*ibid.*) des moments chargés d'émotion. Cet aspect n'est pas au cœur de notre recueil de données, toutefois en nous intéressant dans notre recueil de données aux registres des risques perçus et de leurs justifications (cf. chapitre 4 partie 4V), nous accédons à des facettes de la dimension axiologique et/ou affective des apprentissages.

Apprendre à construire des structures de connaissances transférables

Les enseignements-apprentissages qui se fondent sur des savoirs concrets en lien direct avec un problème à résoudre en facilitent sa compréhension et sa résolution. Cette considération bat en brèche une perspective d'apprentissages qui serait fondée sur l'acquisition de compétences générales opérantes quelle que soit la situation et le contexte. Cette approche n'est pas réaliste et ne s'est pas avérée efficace dans les expériences qui ont tenté de l'encourager (Stern, 2001). Si des connaissances et des habiletés indispensables ayant du sens pour le problème à résoudre ont été intégrées en situation (Greeno, 1998), compter sur la remobilisation de celles-ci pour résoudre *de facto* d'autres situations problèmes plus ou moins similaires ne va pas de soi : il faut y « prêter attention » (Greeno, Moore et Smith, 1993 ; Tardiff, 1999 ; Presseau et Frenay, 2004). Travailler cette remobilisation se fonde sur un travail didactique de mise à distance afin de repérer et de caractériser la structure des problèmes : l'enjeu est de déceler des similitudes et des différences en contexte (Stern, Aprea et Ebner, 2003). Wagner, (2006, 2010) évoque l'identification de fragments de structures hiérarchiques fondant des unités de sens. Elles représentent des structures transférables³⁵⁹ qui seront plus faciles à remobiliser dans d'autres problèmes à résoudre que des connaissances isolées. Proposer aux élèves/étudiants des activités d'analyse des problèmes proposés en situation scolaire pour le repérage de ces unités de sens favorise l'acquisition de structures de connaissances transférables : « plus l'apprenant est capable de faire le lien entre les différents contextes éducatifs et le monde extérieur, plus facile sera le transfert » (OCDE, 2010, p. 89).

³⁵⁸ En fait, il s'agit d'un processus complexes d'interactions et de connexions entre les différentes parties du cerveau. La zone cérébrale de traitement des émotions est l'amygdale. Stimulée, elle envoie des signaux vers l'hippocampe, partie qui enregistre les nouveautés. Stimulée par l'amygdale, l'hippocampe enregistre alors mieux les informations.

³⁵⁹ Les recherches ont été menées dans le cadre de résolution de problèmes mathématiques. Le terme « transfert » a généré des controverses et ne doit pas être pris dans une acception passive sans « travail » cognitif (Wagner, 2010, Lobato, 2006). Wagner évoque les structures hiérarchiques en termes de « *the incremental refinement of knowledge resources that account for-rather than overlook-contextual variation* » (Wagner, 2006, p. 1).

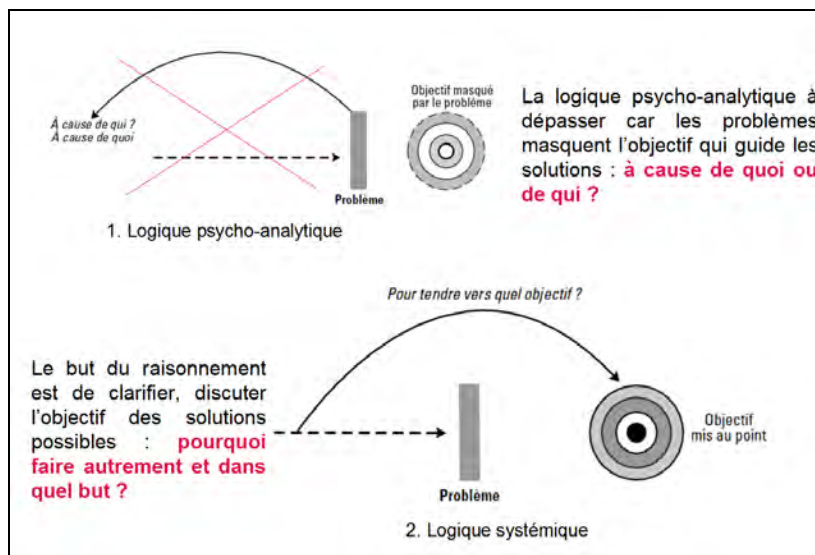
- Favoriser des configurations d'apprentissage collaboratif

L'activité individuelle et l'activité avec autrui et par autrui sont des moteurs de l'apprentissage (Salomon et Perkins, 1998), mettant en exergue le caractère social, culturel et distribué de l'apprentissage. Les neurosciences ont mis en évidence un facteur biologique avec la contribution des neurones miroirs³⁶⁰ (Rizzolatti, Fadiga, Gallese et Fogassi, 1996). Ces types de neurones prédisposent les enfants et les adolescents à se tourner vers l'autre et à entrer en interaction.

- Développer une « expertise d'adaptation » : un enjeu éducatif

Nous rejoignons de Corte (2010) dans sa définition d'une des finalités de l'éducation : les élèves et les étudiants doivent acquérir une « compétence d'adaptation, c'est-à-dire la capacité à appliquer des connaissances et compétences acquises de manière signifiante avec souplesse et créativité en fonction des situations rencontrées » (OCDE, 2010, p. 26). Un des enjeux éducatifs de notre recherche est de développer un dispositif pédagogique et didactique qui contribue à construire cette expertise d'adaptation permettant aux élèves et aux étudiants de s'ouvrir, de voir au-delà du problème et donc d'envisager de nouvelles solutions aux problèmes rencontrés (cf. figure n°32). Selon nous, cette perspective conduirait à développer des habiletés et à construire des connaissances pour fonder des raisonnements qui se focalisent non pas sur la recherche des causes des problèmes (schéma n°1 en haut), mais qui au contraire dépassent le problème et questionnent les objectifs des solutions à promouvoir (schéma n°2, en bas de la figure) : « Dès qu'il se pose, il s'agit d'abord de faire préciser l'objectif recherché avant d'apprécier, parmi les processus en cours, les leviers d'action pertinents sur lesquels fonder sa stratégie » (Bériot, 2006, p. 64). Il n'y a pas de solutions *a priori* sur lesquelles élèves et enseignants pourraient s'appuyer.

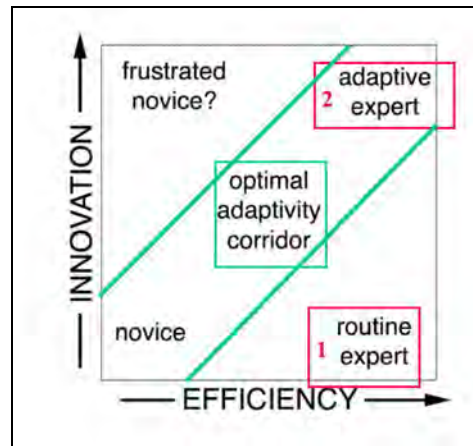
Figure n°32 : Développer une capacité d'adaptation pour dépasser l'approche psycho-analytique (d'après Bériot, 2006, p. 64-65)



³⁶⁰ Les neurones miroirs sont des neurones moteurs et ils sont activés par des actes moteurs réalisés dans un but précis (y compris entendre et observer) : ils ont été d'abord découverts chez le singe. Leur présence a été mise en évidence chez l'espèce humaine (Rizzolatti, 2009). Ils sont impliqués dans les mécanismes d'apprentissage par imitation, dans la compréhension des intentions : ils sont aussi activés lorsque l'on pense que l'autre va agir. Le système « miroir » est également impliqué dans l'apprentissage du langage, dans la genèse des émotions et de l'empathie.

L'expertise d'adaptation peut être caractérisée par deux dimensions : l'efficacité dans la résolution d'un problème et l'innovation ou la nouveauté que la solution représente (cf. figure n°33).

Figure n°33 : Efficacité et innovation, deux dimensions de l'expertise d'adaptation (d'après Bransford *et al.*, 2006, p. 223)



Les novices (en bas à gauche) n'ont pas intégré des routines et ne sont pas capables d'innover car ils n'ont pas le bagage conceptuel et les connaissances pour se représenter le problème et encore moins le dépasser. En prenant appui sur les caractéristiques des démarches de deux archétypes d'experts, il est possible de définir un positionnement optimal entre efficacité et innovation qui guiderait les enseignements-apprentissages impliqués dans la construction de cette capacité d'adaptation. L'archétype « *routine expert* » (1) recherche l'efficacité sans perdre de temps ou des ressources à innover : il connaît une palette de solutions possibles qui ont déjà prouvé leur efficacité en contexte. Au contraire, pour la résolution de certains problèmes, les routines ne sont pas applicables. L'archétype « *adaptive expert* » (2) est capable de résoudre les problèmes en construisant de nouvelles configurations, innovantes et efficaces. Il s'agit là de poser comme finalité de l'apprentissage et de l'enseignement des différentes disciplines l'acquisition d'une « expertise d'adaptation » (Alexander, 2003; Hatano et Inagaki, 1986; Hatano et Osuro, 2003) dans le domaine que la matière explore.

Les systèmes scolaires ont eu tendance à favoriser et privilégier l'« *expertise de routine*³⁶¹ » (Hatano et Inagaki, *ibid.* ; Bransford *et al.*, 2006). Sans l'exclure, il devient alors nécessaire de combiner dans les stratégies d'enseignements-apprentissages les phases de développement de l'expertise de routine et celle d'adaptation. Cette dernière est très intéressante car elle développe « (...) l'aptitude à transposer ses connaissances et ses compétences à de nouvelles tâches et à de nouveaux contextes d'apprentissage » (OCDE, 2012, p. 51). Dans l'enseignement, il ne s'agit pas de former des experts d'un domaine mais de doter les apprenants d'outils pour se situer dans le corridor central (en vert) tout au long de leur parcours scolaire. Cet outillage devrait être également efficace dans leur activité socio professionnelle : selon Bransford *et al.* (2006), cette capacité d'adaptation permet également

³⁶¹ L'expertise de routine désigne le fait que les élèves parviennent à réussir sans erreur des tâches scolaires soit car elles sont devenues « mécaniques » : les fondements sont compris et assimilés. Ces sont par exemple des connaissances sur l'arithmétique, des règles orthographiques. Elle permet de réaliser rapidement des tâches. Cependant pour certaines tâches, les « outils » utilisés sont mobilisés sans en avoir compris les fondements et le sens, mais les élèves parviennent à satisfaire les attendus. Dans ce cas, les apprentissages ne pourront pas être remobilisés dans des contextes différents pour résoudre des problèmes apparentés.

d'élargir et approfondir continuellement son expertise³⁶² et donc de s'adapter. Cependant le développement de la capacité d'adaptation ne se réalise pas de manière satisfaisante dans les situations d'enseignements-apprentissages où l'activité de l'élève est complètement guidée par l'enseignant. Selon Simons, van der Linden et Duffy (2000), il faudrait au contraire favoriser des situations d'apprentissage expérientiel³⁶³ et des situations d'apprentissage par l'action³⁶⁴. Ces perspectives toujours selon Simons *et al.* (*ibid.*) supposent des « *pratiques innovantes et des cultures de classe inédites* » (OCDE, *ibid.*, p. 52). La didactique des QSV propose des démarches et des dispositifs didactiques et pédagogiques innovants pour enseigner et apprendre des controverses.

Contribuer à construire cette expertise d'adaptation dans un domaine à l'école suppose la mise à disposition d'une base de savoirs propres au champ de l'étude et leur appropriation par les élèves. Dans cette perspective la construction d'un corpus de connaissances sur le sujet est primordiale, mais elle n'est pas complètement suffisante pour rendre efficaces des enseignements-apprentissages. Pour le cas de la question de notre étude, les savoirs ne sont pas tous stabilisés, ainsi il convient de doter les élèves/étudiants pour étudier leur validité en contexte.

Des perspectives pour inverser la tendance ?

Le rapport récent PISA³⁶⁵ (OCDE, 2014) montre une dégradation des résultats du système scolaire pour la France (augmentation du nombre d'élèves qui ont des difficultés à mobiliser des connaissances et des compétences pour appréhender les problèmes liés aux sciences et à la technologie dans sa vie future » (OCDE, 2014), une forte prégnance du déterminisme social sur les résultats scolaires). Des recherches en éducation conduites dans le cadre de l'enseignement-apprentissage des controverses proposent des dispositifs dans lesquels à la fois les modèles et les environnements d'apprentissage devraient permettre de développer des compétences cognitives et sociales.

Mise en perspective pour notre recherche

1. Des recherches ont mis en évidence l'importance des acquis dans un domaine spécifique pour les apprentissages futurs.

Pour la thématique de notre recherche, les fondements en agronomie apparaissent déterminants pour concevoir des alternatives aux pesticides. Aussi notre dispositif de recueil de données doit être en mesure de repérer des acquis en agronomie et/ou des conceptions en lien avec la discipline « agronomie. »

³⁶² Bransford *et al.* (2006) le formulent ainsi « *adaptive experts are much more likely to change their core competencies and continually expand the breadth and depth of their expertise* » (p. 223).

³⁶³ Les apprentissages expérientiels se fondent sur l'approche de problème en contexte et sur des études de cas qui impliquent les apprenants (enjeu motivationnel). Ce n'est pas l'enseignant qui fixe seul le cadre, mais ce sont la situation et l'interaction entre les acteurs de la situation didactique qui construisent la forme du projet de résolution.

³⁶⁴ Dans les apprentissages par l'action, les élèves participent à la définition des objectifs et définissent leur propre plan de travail (autorégulation par diagnostic et retour réflexifs, ceci renvoie à la métacognition évoquée plus haut).

³⁶⁵ PISA est un programme international pour le suivi des acquis des élèves conduit dans 65 pays. Il permet d'évaluer les compétences des élèves de 15 ans qui ont effectué leur scolarité obligatoire entre septembre 2002 et mai 2012 (l'enseignement agricole fait partie de l'enquête) : la culture mathématique, la compréhension de l'écrit et la culture scientifique sont évaluées.

2. Les questions socialement vives sont propices à l'intégration des connaissances. Elles se posent souvent en des termes a-disciplinaires et la problématique du *détour-retour*³⁶⁶ (Fink et Audigier, 2008) permet de construire des questionnements qui vont avoir des implications dans des disciplines qui seront alors pertinentes et mobilisées pour nourrir ce questionnement (des concepts, des habiletés entre autres) : c'est le détour. Cette perspective favorise les apprentissages dans les disciplines convoquées et leur articulation à condition que le sens soit reconstruit pour revenir au monde social : les savoirs sont donc intégrés pour rendre intelligible le monde dans la perspective d'agir³⁶⁷.

3. Nous sommes interpellée par l'idée de définir des unités de sens dans les apprentissages car cette forme structurée de savoirs favorise l'acquisition de structures de connaissances transférables.

Nous posons l'idée de repérer des données qui pourraient structurer des unités de sens dans le problème à résoudre que nous avons souhaité soumettre aux élèves/étudiants de notre expérimentation.

4. Au cours des processus d'apprentissages, les émotions et la cognition sont imbriquées pouvant générer des synergies positives et améliorer l'efficacité des apprentissages ou au contraire les émotions peuvent empêcher le déroulement des processus cognitifs.

La question des pesticides et de leur réduction peut se révéler un sujet sensible pour les élèves/étudiants qui en perçoivent des risques sur la santé, des risques de pertes économiques, entre autres (Frère, 2014). Nous souhaitons mettre les élèves et les étudiants en activité sur la résolution d'un problème qui invite à proposer des alternatives aux pesticides. Il convient alors de réfléchir à la forme qui permette à la fois de générer un conflit sociocognitif tout en évitant une interpellation émotionnelle trop forte. Nous souhaitons éviter le risque soit de voir les élèves et les étudiants se détourner de l'activité de collaboration, soit de cantonner l'activité à un débat d'opinions dans le registre des *fallacies*³⁶⁸ (Hamblin, 1970) qui ne prendrait pas appui sur des arguments conceptuels disciplinaires.

5. Les neurosciences confortent les résultats de recherches démontrant l'intérêt de mettre en interaction collaborative des élèves/étudiants au cours de processus d'apprentissage.

6. Les enseignements-apprentissages qui favorisent l'acquisition de démarches de raisonnements complexes en situations d'incertitudes contribuent selon nous à construire une expertise d'adaptation.

Concevoir un modèle de problèmes à proposer aux élèves/étudiants qui permettent de travailler des niveaux de complexité, eux-mêmes liés à différentes formes d'incertitudes est un enjeu éducatif dans la perspective d'apprendre à « produire autrement ». Ces situations de classe familiariseraient les apprenants à la prise de décision en contexte incertain et permettraient également de développer la métacognition (réflexion à conduire sur les niveaux de complexité envisagés et les solutions promues).

³⁶⁶ Cette démarche a été proposée dans le cadre de l'éducation au développement durable.

³⁶⁷ Le retour désigne la phase durant laquelle les élèves qui ont construit les apprentissages (étape du détour) sont face à une nouvelle situation qu'ils doivent à nouveau comprendre pour agir. Ainsi le retour « implique la mise en place d'une situation didactique propice à la mobilisation de savoirs dont la phase de détour a, en principe, permis la construction » (Fink et Audigier, 2011, p. 82).

³⁶⁸ Ce sont des argumentations qui se structurent à partir d'arguments fallacieux, mensongers et qui ne reflètent pas le point de vue des parties prenantes.

3. Didactique des QSV : faire exister la tension entre raisonnements informels et des éducations citoyennes et politiques

Technosciences et développement des sociétés post-modernes sont indissociables. Source de bien-être, cette configuration a généré également des risques et des incertitudes de plus en plus nombreuses. L'alphabétisation scientifique est un moyen de préparer le citoyen à comprendre les intrications complexes à l'origine des problèmes qui menacent notre avenir, afin qu'il soit en mesure de participer à la prise des décisions en matière de prévention. Or comme le soulignent des résultats de l'étude PISA, les résultats en sciences régressent : les élèves ont moins de connaissances et sont moins aptes à conduire une enquête pour se documenter, raisonner, développer un esprit critique pour résoudre un problème de la vie courante. La façon d'aborder les technosciences à l'école semble être une des causes de ces défaillances. Deux courants éducatifs, l'un francophone la didactique des questions socialement vives et l'autre anglophone la didactique des *socioscientific issues*, abordent des problématiques liées aux enseignements-apprentissages des controverses. Ils ont développé des approches éducatives « *against the grain* » (Cochran-Smith, 1991) qui participent à l'alphabétisation scientifique et à la formation de l'esprit critique sur les QSV/SSI. Dans un premier point, nous commençons par définir les QSV et SSI pour être en mesure de préciser leurs points communs et ce qui les distingue. La nature même des questions controversées qui impliquent les technosciences soulèvent des questions de transposition didactique que nous discutons ensuite. Dans un deuxième point, convergences et divergences entre les deux courants éducatifs et leur contribution à différentes facettes d'une forme d'éducation citoyenne. Dans un troisième point, de manière spécifique nous développons des aspects liés aux enseignements-apprentissages qui participent au développement de l'argumentation informelle, des raisonnements informels et en particulier des raisonnements socioscientifiques. Nous discutons en quoi ils contribuent à aider la prise de décision en matière de prévention et d'actions pour résoudre des problèmes sous-tendus par des QSV/SSI. Enfin dans un quatrième point, nous précisons ce que nous retenons pour construire notre situation-problème (en texte grisé), nous amenant à préciser deux de nos questions de recherche (QR6 et QR8).

3.1. Définition des questions socialement vives et Socioscientific Issues

Cette partie développe la question des rapports aux savoirs (trois niveaux de vivacité), et aux risques pour les acteurs de la situation didactique (point 1). Les particularités de ces questions dans le cadre de leur traitement en classe interrogent le processus de transposition didactique (point 2).

3.1.1. Les Questions Socialement Vives 'QSV', trois niveaux de vivacité dans les savoirs

Ce paragraphe discute les trois niveaux de vivacité des questions socialement vives, un ensemble de spécificités des formes scolaires des QSV et les risques qui en découlent à la fois pour les enseignants et pour leurs élèves.

Les questions socialement vives reposent sur une grande diversité de thématiques (les biotechnologies en agriculture [i.e. OGM], les modes d'élevage et le bien-être animal, les pesticides dans l'agriculture, la médecine et les thérapies géniques, les énergies, la téléphonie cellulaire, les nanotechnologies, le développement durable, la chimie verte, le changement climatique, la mondialisation, la sexualité, entre autres). Ces thèmes impliquent plusieurs domaines disciplinaires en sciences dures (biologie, physique, chimie, mathématiques) et/ou en sciences « douces » comme l'économie, l'histoire, la géographie entre autres. Nous avons proposé dans la partie « problématique » une définition aujourd'hui couramment retenue pour

cerner les questions socialement vives (QSV) (Legardez et Simonneaux, 2006). Ces auteurs ont retenu une perspective didactique déclinée en termes de rapport aux savoirs, leur permettant d'exprimer en quoi ces questions, aussi diverses qu'elles puissent être, nous interpellent. La vivacité des questions se manifeste à trois niveaux (Legardez et Simonneaux, *ibid.*) :

- (i) dans la société, les thématiques, les problèmes qu'elles soulèvent « interpellent les pratiques sociales des acteurs scolaires (dans et hors de l'institution) », elles sont considérées « (...)comme un enjeu de société » (Legardez, in Legardez et Simonneaux, 2006, p. 19).
- (ii) dans les savoirs de référence. Les experts du thème, scientifiques et/ou professionnels, sont en désaccord sur les voies de la résolution des problèmes soulevés par le thème : les débats portent sur les enjeux de la résolution, les moyens pour y parvenir, les implications sociales des choix retenus exprimés en particulier en termes des risques des conséquences des solutions. Des controverses traversent les mondes scientifiques : des savoirs savants sont en construction et non stabilisés, certains sont en compétition avec des savoirs stabilisés, prémisse de l'émergence de nouveaux paradigmes.
- (iii) dans les savoirs scolaires. Cette forme épistémique recouvre des objets d'enseignement construits par les enseignants en interaction avec la prescription (savoirs de référence), les manuels, les revues professionnelles et pédagogiques, les savoirs produits par l'institution (*i.e.* des recommandations de l'inspection pédagogique, des références produites par des réseaux pédagogiques, entre autres). Par exemple les différentes alternatives aux pesticides, les risques liés à l'usage des pesticides ou à la perspective de leur réduction font débat entre les élèves, entre les élèves et les enseignants, entre l'école et les professionnels et les parents (Frère, 2014).

Les QSV préoccupent les sociétés et font l'objet d'une médiatisation. Elles sont entrées dans le langage courant. Les débats de la sphère sociale, relayés et avivés par la presse, contribuent à façonner les opinions. En effet, la complexité est une caractéristique de ces questions et il est difficile de les appréhender pour saisir les enjeux sous-jacents. Les acteurs de la situation ne peuvent échapper aux débats et querelles médiatisées : « *l'école n'est pas en apesanteur sociale* » (Simonneaux et Legardez, 2011, p. 15). Ces considérations amènent Simonneaux et Simonneaux (2014) à préciser qu'« *un défi de l'éducation est de permettre aux apprenants de développer des opinions éclairées sur des controverses impliquant sciences et sociétés, pour être en mesure d'en débattre, en particulier de raisonner les mesures de prévention et d'utilisation des nouvelles technosciences* » (2014, p. 7). Les QSV interpellent le système éducatif soit parce qu'elles y sont invitées par la prescription soit parce qu'elles forcent la porte de l'école, propulsées par l'actualité. Elles entrent alors dans la classe sans que la problématisation soit prise en charge par l'institution. C'est à l'enseignant que revient alors la tâche de les transformer (problématiser) pour qu'elles prennent la forme d'objets scolaires. Soulignons que l'enseignement agricole à cet égard a été un pionnier en la matière, ménageant des espaces éducatifs pour confronter les apprenants dans le cadre de leur scolarité à des QSV (Férat, 2006).

Les QSV partagent le fait qu'elles sont objets de controverses « *dans le monde de la recherche et dans la société et souvent rapportées par les médias* » (Simonneaux et Legardez, 2011, p. 18). Les questions liées aux perspectives de réduction de l'emploi des pesticides sont triplement vives : vives dans les savoirs de référence, vives dans les savoirs scolaires et vives dans les sociétés.

Tutiaux-Guillon reprend en ces termes les contours des QSV (2006) : « *une question où s'affronte des valeurs et des intérêts, une question parfois chargée d'émotions, souvent politiquement sensible, intellectuellement complexe, et dont les enjeux sont importants pour le présent et l'avenir commun. Elle implique un débat, mais aussi une réflexion sur la complexité de la situation et des enjeux* » (p. 119 in Legardez et Simonneaux, 2006).

En définitive, les QSV sont complexes, plus ou moins impliquantes, elles ont forcément des répercussions sur notre futur commun, perçues selon nos valeurs, matérialisent des intérêts plus ou moins partagés : comment s'en saisir pour les affronter parce qu'elles vont tôt ou tard traverser notre vie de tous les jours ? L'école doit nous y préparer. Un travail didactique fondé sur les savoirs est à conduire afin d'identifier ce qui est enseignable, pourquoi et comment il est possible d'en favoriser les enseignements-apprentissages. Or, les QSV, objet d'enseignement-apprentissage, bousculent les inspecteurs disciplinaires, les enseignants et les élèves/étudiants car elles remettent en cause les formes scolaires traditionnelles dans leur rapport au savoir et à l'action. Ces formes traditionnelles sont caractérisées par :

- des savoirs disciplinaires circonscrits, validés. Le système éducatif dispose d'un corpus de savoirs bien identifiés. Les détenteurs du savoir sont bien repérés et leurs expertises sont reconnues et partagées ;
- des cours dialogués ou des activités codées par des procédures canoniques balisant la découverte et l'acquisition des solutions que l'on connaît à l'avance et dont la pertinence et l'efficacité ne sont plus à débattre ;
- une sphère éducative où se construit par convention, une neutralisation affective, seule la motivation a le droit de cité. Les opinions et le système de valeurs doivent être gardés pour soi car il n'y a pas d'espace ouvert et dédié institutionnalisé³⁶⁹ dans le système.

Avec les QSV, le travail de transposition didactique (que nous abordons un peu plus loin) n'est pas cadré, il est délicat, complexe et parfois il incombe complètement à l'enseignant :

- (i) les savoirs de référence ne reposent pas seulement sur un savoir scientifique. Ils sont distribués et pluriels. Les QSV ne respectent pas les frontières des disciplines scolaires (il n'y a pas de savoirs vraiment circonscrits). Simonneaux (2011) définit les savoirs impliqués dans les QSV comme pluriparadigmatiques et/ou engagés (il convient d'analyser les controverses, les risques/incertitudes) et/ou contextualisés (il est nécessaire de considérer leur validité en contexte) et/ou distribués (émanant de plusieurs producteurs de savoirs). Certains ne sont pas stabilisés, compliquant le travail de construction du curriculum qui se doit traditionnellement de se mettre à distance des savoirs sociaux et l'école (Legardez, 2006 *in* Legardez et Simonneaux, 2006). La construction de la prescription repose sur des choix difficiles à concilier. La tension est vive entre la nécessité de garantir la validité des objets d'enseignement-apprentissage dans le contexte sociétal, d'assurer une certaine permanence dans ce qui va être enseigné et appris et de contribuer en même temps à la transformation des sociétés par l'école. La didactique des QSV vise une émancipation des élèves/étudiants afin qu'ils puissent se construire une opinion autonome sur des sujets de société en débat. De leur côté, enseignants et formateurs ont du mal à s'emparer de la prescription quand elle n'est explicite pas. Les sujets controversés génèrent des débats entre parties prenantes liés à la diversité des points de vue fondée sur des valeurs. En plus de faire le point sur les savoirs de référence, les états de la controverse doivent être clarifiés : « *il convient de mettre en oeuvre l'incontournable détour de l'analyse socio-épistémologique des savoirs impliqués, (Legardez & Simonneaux, 2006), c'est-à-dire de broser la cartographie des controverses, pour reprendre l'expression de Latour (...)* (in Simonneaux et Legardez, 2011, p 21) . Elle consiste à repérer les savoirs impliqués, leur nature, les objets des controverses et les parties prenantes, les enjeux et leurs intérêts.

³⁶⁹ Nous empruntons le terme à Brousseau (1984) et à Sensevy, Mercier et Schubauer-Léoni (2000) dans le sens où l'institutionnalisation rend un objet officiel, inclus dans un processus d'interaction entre une institution et des acteurs dans cette institution.

La forte inscription axiologique des QSV met à mal le principe de neutralité promue par l'école républicaine laïque et rappelée dans la prescription curriculaire. Le traitement didactique des QSV interroge la posture de l'enseignant. Urgelli (2009) a mis en évidence plusieurs postures chez des enseignants du secondaire chargés de traiter le changement climatique, en se fondant sur la typologie proposée par Kelly (1986) : de la neutralité exclusive à l'impartialité engagée³⁷⁰ (partialité exclusive à l'impartialité neutre). Les enseignants ont du mal à définir et à construire la bonne distance entre les savoirs sociaux et les savoirs scolaires et/ou à intégrer des savoirs sociaux dans les savoirs scolaires, cette difficulté est encore plus délicate à surmonter quand les QSV ne sont pas prescrites et surgissent au fil de l'actualité. Les QSV questionnent leur rapport au savoir³⁷¹ (Charlot, 1997, 1999 ; Legardez et Simonneaux, 2006) « dans les sciences et les pratiques de références » (Legardez, 2006, p. 26). Elles confrontent ainsi les enseignants/formateurs à différents risques dans l'acte d'enseigner :

- le risque de la dérive normative imposant une vision politiquement correcte de la question,
- le risque de dérive relativiste vidant les QSV des savoirs qui leur donnent corps au profit d'un exposé sur des opinions, sans distance critique invitant au registre des possibles et sur un plan d'égalité, des argumentaires en contradiction avec les valeurs fondatrices des sociétés démocratiques ;

- le risque « de refroidir » la question en minimisant la vivacité sociale des débats. Cette fois c'est de leur sens que l'on vide les QSV pour les élèves/étudiants et pour les sociétés qu'ils défendent. Les QSV bousculent la rationalité technocentrée de certains enseignants en sciences ou de disciplines techniques au ministère de l'agriculture (Albe et Simonneaux, 2002 ; Simonneaux, 2012). Des enseignants auront tendance à écarter des controverses pour lesquelles, ils ne pourront pas s'appuyer sur des expertises produites par des référents scientifiques et/ou professionnels médiatisés, avalisés par les pouvoirs politiques (Urgelli, 2009).

Les élèves/étudiants sont également confrontés à un risque, celui d'apprendre. En particulier, la distance entre les pratiques sociales, dans lesquelles ils se reconnaissent, et les savoirs scolaires peut être importante, les déstabilisant. Ils seront alors réticents à s'investir dans des apprentissages qui heurtent leur système de valeurs au point de ne pas prendre appui sur ces savoirs pour agir en situation de classe (Simonneaux et Simonneaux, 2009 ; Frère, 2014) et/ou hors du contexte scolaire. La question de « la traduction des savoirs » du monde social en savoirs pour l'école a été soulevée. Le concept de savoirs de référence et celui de transposition sont abordés rapidement afin de souligner des problèmes spécifiquement soulevés par le traitement didactique d'une QSV.

³⁷⁰ Kelly (1986) distingue quatre types de posture chez des enseignants lorsqu'ils abordent une question socioscientifique, allant de la moins engageante à plus engageante dans le traitement de la vivacité de la question : la neutralité exclusive, partialité exclusive, l'impartialité neutre et l'impartialité engagée. Selon Kelly, la dernière posture devrait être favorisée. Dans le cadre d'une posture de neutralité exclusive, les enseignants ne doivent pas aborder des thèmes controversés, les faits scientifiques sont des vérités. Pour la partialité exclusive, les enseignants favorisent un point de vue sur une controverse et amènent les élèves à l'adopter. Pour l'impartialité neutre, les élèves doivent être engagés dans débats sur des questions controversées dans des situations éducatives, mais les enseignants ne doivent pas donner leur point de vue et doivent rester neutres. Pour l'impartialité engagée, les enseignants dans le cadre de débats sur des controverses donnent leurs points de vue et invitent dans le même temps les élèves à analyser la pluralité des points de vue sur la controverse.

³⁷¹ Charlot a introduit la notion de rapport au savoir en le définissant par « (...) l'ensemble (organisé) des relations qu'un sujet entretient avec tout ce qui relève de « l'apprendre » et du savoir », ou encore « le rapport au monde, à l'autre et à soi-même d'un sujet confronté à la nécessité d'apprendre » (Charlot, 1999, p. 2). Dans le rapport au savoir, Charlot distingue entre autre la dimension identitaire (apprendre fait sens par rapport à ce qu'est l'individu : pourquoi apprendre ?) et la dimension épistémique (apprendre, c'est faire quoi ? Quelles sont les activités effectives dans « l'apprendre » et que veut signifier savoir in fine ?).

Simonneaux et Simonneaux (2014) proposent un continuum d'enjeux éducatifs selon la façon dont la QSV est « refroidie » ou « réchauffée », à partir des valeurs sociales considérées dans les sciences. A l'extrémité froide, les enseignements fondés sur les QSV visent :

- les apprentissages scientifiques, pour lesquels, les approches sont plutôt monodisciplinaires,
- la promotion des technosciences,
- le développement de la rationalité technoscientifique.

Au contraire en réchauffant, la QSV, ce sont des enseignements interdisciplinaires, visant :

- des apprentissages complexes (*high order thinking* par exemple) en sciences dures et en sciences humaines et sociales,
- une éducation scientifique, citoyenne et politique,
- la promotion de la rationalité critique.

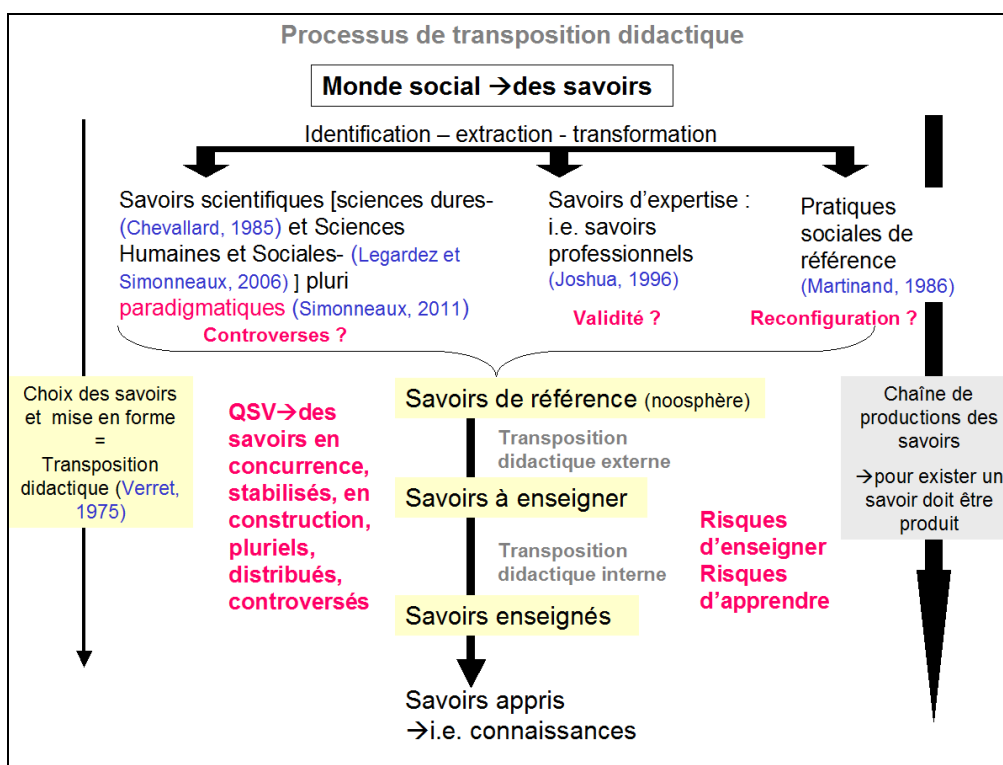
3.1.2. Le processus de transposition et le concept de savoirs de référence

Le processus de transposition didactique est à construire même avec une QSV/SSI. Nous revenons sur le concept développé par Chevallard (1985), complété par Martinand (1986) et Joshua (1996). Nous précisons enfin les points de vigilance dans le cadre des QSV/SSI.

Pour définir des *curricula*, les institutions scolaires font des choix de contenus à enseigner et à apprendre. Verret (1975) a introduit le concept de transposition didactique, caractérisant les choix et la mise en forme opérés par les individus lorsqu'ils désirent « transmettre » un savoir pour qu'il puisse être enseigné et appris. Pour les mathématiques, Chevallard (1985) a repris le concept et a développé la transposition didactique externe et la transposition didactique interne (cf. figure n°33). La première caractérise le passage de la sphère de référence au savoir à enseigner. La transposition est instruite par les spécialistes (la noosphère) et elle est sous la responsabilité de l'institution et donne lieu aux *curricula* formels ou prescrits. Pour Chevallard dans le cas des mathématiques, les savoirs de référence sont des savoirs savants. La seconde définit la transformation du savoir à enseigner par les enseignants aux savoirs enseignés. Les enseignants font des choix en fonction de leur contexte d'exercice (leurs connaissances sur les sujets à enseigner, les ressources de l'établissement, leur public scolaire, entre autres). Une discipline scolaire est caractérisée par un ensemble de savoirs, adossé à un ou plusieurs champs académiques. Au cours de la transposition didactique externe, les institutions opèrent un choix politique en fonction des visées éducatives et des projets de sociétés. Les élèves/étudiants vont acquérir des connaissances, être capables de réaliser un certain nombre de tâches qui ont sens pour les perspectives visées par la formation : poursuivre un cursus scolaire, s'insérer dans le monde professionnel, par exemple. Ainsi, des savoirs scientifiques sont retenus. Ce sont des « outils » pour accéder à une compréhension du monde. Pour les disciplines qui font référence à des champs professionnels, les savoirs académiques ne sont pas suffisants pour rendre intelligible le monde socio professionnel concerné et pour comprendre les enjeux et les pratiques. Martinand (1986) a introduit le concept de pratiques sociales de référence à partir de l'analyse de la discipline technologie enseignée au collège et des domaines d'application hors du champ scolaire. Selon Martinand, les pratiques sociales de référence sont indispensables à considérer car elles caractérisent l'ensemble d'un secteur social. Elles servent de points d'appui pour comparer ce que l'on enseigne et apprend à l'école et avec ce qui se fait dans le secteur social de référence (usage socio professionnel des savoirs, entre autres). Par exemple pour le secteur agricole des productions végétales, ces pratiques sociales de référence vont caractériser des activités de production en référence à des formes d'agriculture (bio, conventionnelle, intégrée, etc.), des formes de circulation des savoirs des sphères académiques vers le monde professionnel, des pratiques de la recherche dans ce secteur, entre autres. Joshua (1996) quant à lui a posé la nécessité d'intégrer en plus les savoirs d'expertise professionnelle pour caractériser les

références dans les disciplines pour lesquelles les savoirs savants ne sont pas centraux (*i.e.* linguistique, l'éducation physique et sportive). Les savoirs de référence recouvrent donc des savoirs « académiques » issus des sciences dures et des sciences humaines et sociales, des pratiques sociales de référence et des savoirs d'expertise professionnelle. La chaîne de transposition didactique permet donc de passer des savoirs de référence aux savoirs à enseigner pour aboutir aux savoirs enseignés (cf. figure n°34).

Figure n°34 : Le processus de transposition didactique



Les QSV génèrent des difficultés à plusieurs niveaux (repérés en rouge sur le schéma) dans le processus de transposition didactique et exposent les acteurs de la situation didactique aux risques d'enseigner du côté des enseignants et aux risques d'apprendre du côté des élèves/étudiants (Legardez et Simonneaux, 2006) (voir *supra*). Elles sont difficiles à appréhender : les savoirs scientifiques relèvent de plusieurs paradigmes parfois en contradiction. Pour le cas de la réduction de l'usage des pesticides, les références scientifiques liés à la lutte chimique (les concepts de seuils³⁷² cohabitent avec des concepts et des notions relevant de paradigmes de l'agro-écologie³⁷³ comme le concept de service écosystémique. La validité des savoirs d'expertise est également débattue. Toujours en lien avec la problématique des pesticides dans l'agriculture, l'inscription du plan Ecophyto dans une perspective de transition agro-écologique amène à élargir le cadre des expertises (Simonneaux et Cancian, 2013) afin de prendre appui sur des savoirs professionnels situés construits par des agriculteurs engagés dans des systèmes de production alternatifs. Les pratiques professionnelles sociales de référence sont l'objet de reconfiguration en n'accordant pas autant de place aux pesticides dans les raisonnements pour la conduite des productions (mais le niveau de remise en cause de la dépendance n'est pas le même selon les agriculteurs).

³⁷² Se référer au chapitre 2.

³⁷³ Là aussi, nous avons précisé dans le chapitre 2, la polysémie des approches dans l'agro-écologie.

3.2. Socioscientific Issues ‘SSI’ versus ‘QSV’ : contributions communes et nuances

Nous présentons dans cette partie une définition de la notion de SSI et nous discutons ensuite les points de convergence et les nuances entre les approches et contributions du courant éducatif des QSV et celui des SSI

Les SSI (questions socioscientifiques³⁷⁴) et les QSV ont des points communs mais les approches éducatives sous tendues divergent par certains aspects que nous allons expliciter (Simonneaux, 2013).

Des dilemmes socioscientifiques ‘SSI’

Les SSI sont issues d’un courant éducatif anglo-saxon apparenté à celui des QSV, abordant l’éducation aux sciences (Sadler, Chambers, et Zeidler, 2004). Au cours de ces 20 dernières années, ce courant de recherche en éducation est progressivement devenu un des plus importants dans le cadre de la didactique des sciences (Chang Rundgren et Rundgren, 2010) Les contours des SSI sont proches de ceux des QSV. Les questions socioscientifiques ont des liens forts avec les technosciences, concernent très souvent un domaine à la pointe de la recherche. Elles ont des répercussions sociales qui imposent des prises de décisions individuelles et/ou au niveau des sociétés. Les problèmes environnementaux comme le réchauffement climatique et des technologies comme le clonage et les cellules souches, les énergies alternatives, les biotechnologies, la téléphonie cellulaire, les nanotechnologies sont des thématiques supports de SSI. Les dilemmes qu’elles soulèvent sont complexes, ouverts, mal structurés, souvent objets de controverses dans le domaine scientifique d’appui (parfois, ils ne le sont pas), sans solution claire apparente et définitive : plusieurs alternatives valides sont envisageables selon les perspectives envisagées (Sadler, 2004). Très fréquemment, elles présentent une dimension éthique (Zeidler, 2007). La prise de décisions au sujet des SSI suppose l’évaluation des risques (Kolsto, 2006).

Des problèmes multi scalaires ayant des implications dans plusieurs domaines

Les QSV/SSI peuvent être des problèmes à une échelle planétaire, globale et sur le temps long ou être circonscrits à une échelle locale comme l’implantation d’une usine de dessalement d’eau de mer, les problèmes de pollution des algues vertes en Bretagne (Morin, 2013). Dans de nombreux cas, les QSV/SSI sous tendent des prises de décision et des actions qui impliquent le développement des sociétés. Elles exigent donc de comprendre les enjeux sous jacents, amenant à aborder les fondements de développement des sociétés. Dans de nombreuses configurations, la résolution des problèmes générés par ces QSV/SSI dans les sociétés modernes suppose la mobilisation de sciences et de technologies (faits, concepts et/ou théories) sans que pour autant cela soit suffisant (Legardez et Simonneaux, 2006 ; Simonneaux et Legardez, 2011 ; Sadler, 2004 ; Sadler, Barab et Scott, 2007). La construction des réponses dépend de la prise en compte (i)de considérations politiques, économiques, environnementales, morales et éthiques, entre autres et (ii)de la capacité à évaluer des informations abondantes, plus ou moins fallacieuses (Simonneaux et Simonneaux, 2005). (i)La résolution suppose dans le même temps d’avoir été en mesure de « peser » les conséquences sociales des solutions retenues. Ces QSV/SSI sont cependant tellement embrouillées qu’il est difficile de se faire une opinion qui ne soit pas façonnée par les médias : les QSV/SSI rendent difficile la prise de décision pour agir. Les individus doivent être en mesure de discerner les enjeux, de comprendre les problèmes posés pour construire une

³⁷⁴ Sadler (2004) insiste sur l’association de « socio » et de « scientifique » afin de montrer les interrelations étroites et indissociables entre les domaines sociaux et scientifiques.

opinion autonome afin de défendre ce qu'ils croient, juste et bon pour leur avenir et l'avenir commun. La dimension axiologique est indissociable des aspects cognitifs pour aborder les QSV/SSI (Sadler et Zeidler, 2009). (ii) Kolsto (2001) a montré la difficulté à évaluer des informations contradictoires et de sources différentes à propos d'une SSI chez des étudiants norvégiens. Il conclut à la nécessité de contribuer à expliciter ce qui fondent des critères de validité en sciences dans les enseignements afin de contribuer à une éducation citoyenne (*voir infra*) et d'améliorer les apprentissages en sciences (Zohar et Nemet, 2002).

Le courant des SSI a développé des aspects en lien avec les dimensions morales et éthiques. En plus de ces considérations, avec le traitement des QSV apparaît plus explicitement la nécessité de discuter comment individuellement ou des groupes sociaux définissent les contours des implications sociales des problèmes et des solutions à envisager. En particulier, les QSV mettent en évidence l'importance des opinions, des intérêts plus ou moins divergents des parties prenantes et des risques perçus dans les solutions retenues. Un des enjeux d'introduire ces QSV dans les curricula est de travailler avec les élèves/étudiants la diversité de ces considérations afin de comprendre pourquoi les controverses émergent et pourquoi il n'est pas simple de les résoudre.

Une alphabétisation scientifique nécessaire « scientific literacy » : des nuances avec les courants STS et STSE

La nécessité d'une alphabétisation scientifique (*scientific literacy*) est une vision partagée, même s'il n'y a pas d'explicitation claire de ce que peut recouvrir cette forme d'alphabétisation (Sadler, 2011) pour l'évaluer (Sadler et Zeidler, 2004). Deux approches ont cependant été proposées (Roberts, 2007) :

- une alphabétisation scientifique visant la promotion des technosciences sans considérer les intrications sociales entre sciences, technologies et sociétés, « *vision I*³⁷⁵ » (Roberts, *ibid.*, p. 730) ;

- une autre fait référence à la construction sociale des sciences avec des pratiques épistémiques. Elle souligne le rôle de l'implication des citoyens dans les orientations et les choix en matière de recherche, « *vision II* » (*ibid.*, p. 730). Elle sous-tend une implication personnelle qui repose sur des connaissances scientifiques et sur des connaissances sur les processus de construction des faits et de preuves scientifiques.

Les deux approches exposées coexistent dans le courant des SSI, les QSV invitent davantage à une analyse critique des conditions de construction des savoirs académiques et des expertises. Les SSI font essentiellement référence aux sciences dures tandis que pour les QSV, un détour par les sciences humaines et sociales et/ou par des savoirs sociaux ou professionnels est également préconisé (Simonneaux et Simonneaux, 2014a) afin de considérer l'indispensable dimension des « humanités » (Simonneaux, 2013). Selon les courants des SSI *vision II* et des QSV, l'alphabétisation scientifique prône un enseignement des sciences qui participe et favorise le développement du citoyen responsable, préparé à participer à la vie de la société moderne (Driver, Newton et Osborne, 2000 ; Kolsto, 2001 ; Zeidler, 1984) : « *What is clear is that ordinary citizens will increasingly be asked to make judgements about matters underpinned by science knowledge or technological capability, but overlaid with much wide considerations* » (Hodson, 2003, p.650) in Sadler, 2011, p. 2). Dans nos sociétés modernes la didactique des QSV est très liée à une forme d'éducation à la citoyenneté³⁷⁶ et à la responsabilité (Albe, 2009) voire à une éducation politique « *politic*

³⁷⁵ Zeidler, Sadler, Simmons et Howes (2005b) définissent plus précisément ce que pourrait être une *scientific literacy* « (...)i.e., *acquiring skepticism, maintaining open-mindedness, evoking critical thinking, recognizing multiple forms of inquiry, accepting ambiguity, searching for data driven knowledge* » (p. 358)

³⁷⁶ Comme le fait remarquer Audigier (2006), l'éducation à la citoyenneté est jugée indispensable par la société et les institutions scolaires en France. Elle n'a cependant pas de forme scolaire nette et elle est sujette à

literacy » (Levinson, 2012 ; dos Santos, 2014), en faveur d'actions concrètes (Bencze, Sperling, et Carter, 2012 ; Reis, 2014). Sadler (2011) propose une vision d'une forme d'alphabétisation scientifique à promouvoir : elle favorise le passage des frontières entre les deux cultures scientifiques (scolaire scientifique et culture scientifique pour comprendre et agir sur le monde). Elle se fonde sur le sens des situations d'enseignement-apprentissage en lien avec celles que les étudiants sont susceptibles de rencontrer en tant que citoyen. Il va jusqu'à proposer une forme d'alphabétisation scientifique à partir des situations liées à la science (« *about science-related situations* » Sadler, 2011, p.1).

Cette forme d'éducation aux sciences contribue également à développer une approche réflexive, « *Reflexive Judgement* » (King et Kitchener, 1994), permettant le développement d'une pensée critique sur les implications sociales des sciences dans les cours de sciences (dures et/ou souples) (Albe, 2008b ; Kolstø et Ratcliffe, 2008; Simonneaux, 2008). En effet, les travaux conduits à partir des QSV/SSI amènent les élèves/étudiants à se pencher à la fois sur les contenus scientifiques (les concepts, des théories et des données fondamentales dans le domaine scientifique concerné) et sur l'activité scientifique en tant que pratique sociale et culturelle : les scientifiques qui font les sciences sont inscrits dans un contexte social et culturel. Les influences mutuelles sont indéniables et leur interdépendance amène à reconsidérer le « (...) *mythe de la neutralité sociale des sciences* » (Astolfi, 2005, p. 71).

Les recherches sur les QSV et SSI s'inscrivent dans la lignée du courant éducatif qui prône l'étude des interactions entre sciences-sociétés et technologies (STS) afin de mettre en évidence l'imbrication des choix collectifs dans les sociétés dans les orientations techniques et scientifiques. La didactique des QSV insiste également sur la nécessité de considérer des dimensions politiques. Le courant STS se fonde sur une démarche éducative initiée par des scientifiques concernés par les effets des sciences et des technologies sur les sociétés (Simonneaux et Legardez, 2011). Il veut promouvoir la prise de décision personnelle sur des sujets impliquant des sciences. Cette visée a été par la suite étendue à la prise en compte de l'environnement dans ce système d'interactions à l'origine du courant STSE (E pour environnement) (Hodson, 2003). Hodson pose l'exigence d'intégrer des considérations liées aux milieux de vie des sociétés humaines afin de mieux prendre en compte des impacts et des conséquences des choix des sociétés, également fondés sur des choix personnels. Il milite pour un élargissement de l'examen des sciences dans un contexte politique, social et culturel (Zeidler et Keefer, 2005a). Pour Hodson, cette approche éducative doit conduire à l'action concrète (activisme). Les sciences et les techniques sont des œuvres humaines qui sont des réponses à des problèmes identifiés comme tels dans les sociétés (Chevallard, 1997). Funtowicz et Ravetz (1993) définissent certaines activités scientifiques comme relevant de la Post Normal Science, celles sont étroitement liées aux besoins humains et demandent des réponses urgentes. Alors, les prises de décision ne doivent pas être réservées aux experts scientifiques ou aux politiques, mais doit intégrer toutes personnes concernées (idée de (Simonneaux et Legardez, 2011) Des moments d'échanges hybrides devraient être ouverts à toutes les personnes concernées et constitueraient une forme de démocratie participative (Callon, Lascoumes et Barthe, 2001). Il convient de favoriser l'apprentissage de ces formes de participation citoyenne dont les enjeux sont d'appréhender la complexité des questions et d'être en mesure de construire « (...) *une opinion informée sur ces questions, d'être capables de faire des choix en matière de prévention, d'action, d'utilisation et d'être capables d'en débattre* » (Simonneaux et Simonneaux, 2005, p. 83) de manière autonome et responsable

controverses et débats. Elle recouvre un champ tellement vaste qu'Audigier souligne un risque de dérive : « *tout ce qui touche à la vie en société intéresse de près ou de loin le citoyen, tout (ou presque) peut donc relever, au moins en partie, de la citoyenneté. La citoyenneté est ainsi partout au risque de n'être nulle part* » (Audigier, 2007, p. 25)

(Simonneaux, 2010). Dès lors, cette perspective sous tend une implication de l'école active et responsable.

Les courants QSV/SSI conçoivent une éducation aux sciences à partir de dilemmes qui sont impliquants dans la vie courante et qui ont des impacts importants pour la vie future (Kolsto, 2001). Ces enseignements-apprentissages laissent par conséquent une plus grande place à la discussion comparés aux « cours » plus classiques en sciences : il n'y a pas une solution unique pour aborder le problème et pour le résoudre. Il est nécessaire d'en discuter. Comme le souligne Simonneaux (2005), contrairement au QSV, les courants STS/STSE n'ont pas cherché à « (...)réellement exploiter la puissance didactique des discours, de l'argumentation, de la prise en compte de la nature de la science, des connexions émotives, culturelles ou épistémologiques au cœur de ces questions » (p. 82). Comment amener les élèves et les étudiants à défendre des choix sans prendre en compte ces considérations ? Contribuer à aider les élèves/étudiants à des prises de décision en autonomie et de manière responsable est un des enjeux des deux courants éducatifs QSV/SSI.

L'alphabétisation scientifique vise à comprendre des contenus scientifiques dans toutes leurs variétés, à être informés des méthodes et des canons de la production de faits scientifiques et à être en mesure de comprendre les répercussions des technosciences dans le monde social en étant vigilant et critique à cet égard. Simonneaux et Legardez (2011) propose une contribution des QSV en terme de *réflexivité axiologique* et de *questionnement épistémique* (p. 27). Si promouvoir la prise de décision sur une QSV/SSI est un enjeu éducatif, cela suppose que les élèves/étudiants soient en mesure d'évaluer les informations mobilisées dans ce cadre.

Enseigner-apprendre des QSV/SSI pour se construire une expérience personnelle

Les élèves et les étudiants se détournent des enseignements scientifiques même s'ils saisissent l'intérêt des sciences pour la vie quotidienne. Plus grave, ils échouent dans les apprentissages des sciences académiques (Sadler, 2011 ; Aikenhead, 2006, 2010 ; Venturini, 2004). Pour les élèves/étudiants, les enseignements-apprentissages scolaires en sciences sous un format académique s'apparentent à une culture qui leur est étrangère³⁷⁷ (Sadler, 2011). Les QSV/SSI redonnent de la saveur aux savoirs scientifiques (Astolfi, 2008) en s'appuyant sur des problèmes qui ont une résonance et des implications dans la vie de tous les jours (« *relevant science in everyday world* » (Sadler, 2011, p. viii ; Aikenhead, 2010). Cependant peu d'élèves/étudiants *a priori* parviennent à percevoir l'intérêt de données scientifiques pour questionner et solutionner une QSV/SSI (Sadler, Chambers et Zeidler, 2004). Chang Rundgren et Rundgren (2010) et Patronis, Potari, et Spiliotopoulou (1999) ont à ce sujet montré l'importance des expériences personnelles dans la prise de décision : faire vivre une prise de décision complexe sur une QSV/SSI dans le cadre de situations éducatives participe aux expériences. Les enseignements-apprentissages en butte sur des QSV/SSI visent ainsi une forme d'empowerment³⁷⁸, c'est-à-dire à amener les élèves/étudiants à mobiliser les connaissances acquises et les capacités/habilités développées en situation réelle dans le but d'être capable d'agir pour transformer leur environnement, la société.

Un grand corpus de recherches francophones et anglo-saxonnes aborde les QSV/SSI. La littérature révèle une grande richesse en termes de thèmes abordés, de publics mobilisés, de types de productions attendues et de configurations d'interactions. Des recherches empiriques ont été développées avec des étudiants dans le supérieur, des élèves dans le secondaire et au primaire, avec des enseignants aguerris et/ou novices. Des configurations de scénarios différents ont permis de comparer :

³⁷⁷ Ces « contenus » reposent sur une science abstraite, décontextualisée et les enseignements visent l'accumulation de connaissances et l'acquisition de procédures standardisées sans que les étudiants parviennent à faire des liens pour améliorer leur compréhension du monde (Aikenhead, 2006).

³⁷⁸ Pris dans le sens d'émancipation.

- des cohortes qui ont abordé différemment un thème controversé, avec des groupes témoins mobilisés sur des enseignements « classiques » en sciences, comparés à des groupes confrontés à une QSV/SSI (évaluation des connaissances, des habilités en pré et post tests) (Zohar et Nemet, 2002) ;

- des situations où la controverse est problématisée sous la forme d'une QSV/SSI avec une formation préalable sur l'argumentation ou la conduite de débats ou non (évaluation des connaissances, des habilités en pré et post tests) (Zohar et Nemet, 2002 ; Simonneaux et Simonneaux, 2005) ;

- des situations de travail sur une QSV/SSI (évaluation des connaissances, des habilités en pré et post tests) et évaluation de la résolution pour une autre question controversée afin de discuter la remobilisation des acquisitions et les progrès et/ou les blocages.

Les travaux conduits avec les élèves/étudiants/adultes confrontés à la résolution d'une QSV/SSI ont débouché sur des productions d'écrits et/ou productions orales individuelles et/ou dialogiques ou sur des actions concrètes hors de l'institution scolaire. Les dispositifs ont retenu des configurations de résolution individuelle et/ou coopérative/collégiale fondée sur des interactions intra culturelles et/ou interculturelles (Morin, 2013), utilisant ou non des interfaces numériques, des séquences de travail en présentiel, à distance synchrones ou asynchrones, dans la classe de cours ou à l'extérieur (non formel). Des situations de débat ont été fréquemment retenues (Albe, 2006). Des études de cas et les problèmes authentiques, des *serious game* (Vidal et Simonneaux, 2011), des situations-problèmes ont également fait partie de la palette des outils didactiques pour conduire les enseignements-apprentissages.

En prenant appui sur les QSV/SSI, les chercheurs et les enseignants/formateurs visent le développement de « *high-order thinking* » (Resnick, 1987). Selon les auteurs, cela recouvre l'argumentation, la pensée critique, le raisonnement informel, le raisonnement scientifique entre autres (Sadler, 2009). Selon les objectifs visés, Sadler (2004) a proposé une typologie³⁷⁹ en distinguant quatre orientations :

- (i) argumentation sur les QSV/SSI (Albe, 2008a ; Simonneaux et Chouchane, 2011 ; Simonneaux, 2003 ; Simonneaux et Simonneaux, 2005 ; Panissal et Brossais, 2011, Panissal et Brossais, 2013 ; Zohar et Nemet, 2002 ; Bader, 2003).

- (ii) nature des sciences et prise de décisions (Jimenez-Alexandre et Pereiro-Munoz, 2002 ; Simon et Amos, 2011 ; Bencze, Sperling et Carter, 2012 ; Zeidler, Appelbaum, Sadler, 2011 ; Sadler, 2009 ; Kolsto, 2001 ; Grace et Ratcliffe, 2003 ; Driver, Leach, Millar et Scott, 1996). Les travaux montrent que les situations éducatives sur les QSV/SSI permettent aux élèves/étudiants de discuter les preuves scientifiques et les expertises, prenant conscience de leur caractère provisoire. Les apprenants sont alors plus enclins à accepter que les sciences ne délivrent qu'un savoir non stabilisé sur des questions incertaines ;

- (iii)évaluation des informations, des expertises (King et Kitchener, 1994 ; Kolsto, 2001 ; Klosto, 2006 ; Driver, Leach, Millar et Scott, 1996) ;

- (iv)compréhension conceptuelle et raisonnement informel. Dans ce cadre deux formes de raisonnements ont été développées : les raisonnements socioscientifiques (Sadler, 2004, Zohar et Nemet, 2002 ; Sadler *et al.*, 2011 ; Saoudi et Simonneaux, 2007 ; Morin, Simonneaux, Simonneaux, Tytler et Barraza, 2014) et les raisonnements moraux et éthiques (Sadler *et al.*, 2007 ; Sadler et Zeidler, 2005 ; Zeidler et Keefer, 2005a ; Lipp (non publié) ; Vidal, et Simonneaux, 2014). La construction d'argumentations et le développement de ces formes de raisonnements sont très liés.

³⁷⁹ Nous illustrons par chacune des orientations sans viser l'exhaustivité.

Dans la grande diversité et disparité dans les travaux, des résultats se recoupent mais d'autres fournissent des éclairages contradictoires. (i) Les connaissances sur le sujet, les expériences personnelles et les valeurs ont très souvent mentionnées comme déterminantes dans la qualité des propositions des élèves/étudiants. (ii) La mise à disposition d'informations scientifiques et l'appui sur le système de valeurs ne favorisent pas toujours des apprentissages.

(i) Lewis et Leach (2006) ont mis en évidence l'influence de la connaissance du contexte dans les prises de décisions sur une SSI. Lorsque les contextes sont mal compris et lorsque de surcroît, les élèves/étudiants ont peu de connaissances scientifiques sur le thème, la prise de décision sur ces questions est délicate à partir d'une discussion raisonnée (*reasoned discussion*). Certains ne s'engagent pas, d'autres donnent leur point de vue sans argumentation. Au contraire, à partir d'un contexte et d'un sujet plus familiers et que ce soit pour des élèves/étudiants acculturés en sciences ou non, l'argumentation produites par les élèves/étudiants est plus élaborée : ils se reconnaissent comme des parties-prenantes des controverses. De plus, en fournissant des informations sur le thème à discuter, les élèves/étudiants sont alors capables en s'appuyant sur le contexte, leurs connaissances et leurs expériences de poser des éléments-clés du problème. Mais ils ne mobilisent pas toujours des arguments scientifiques. Confrontés à la résolution d'études de cas authentiques (Zohar et Nemet, 2002 ; Jimenez-Aleixandre et Enduran, 2008 ; Kelly et Takao, 2002 ; Osborne , Erduran et Simon, 2004 ; Sadler et Fowler, 2006), les élèves argumentent d'abord à partir de leurs connaissances, de leurs opinions construites hors des cadres scolaires et de leur expérience personnelle et à partir de ce qu'ils jugent important en prenant appui sur leur système de valeurs. Le travail de recherches de solutions pour les problèmes soulevés par une QSV/ SSI favorise la compréhension de concepts, l'intégration des données contextuelles (cognition située) et la mobilisation des théories pour comprendre le monde (Jimenez-Aleixandre et Enduran, 2008 ; Bravo-Torija, 2012 ; Bravo-Torija et Jimenez-Aleixandre, 2012). A ce titre, des configurations pédagogiques fondées sur des interactions discursives favorisent les démarches d'exploration qui mettent en contact les apprenants avec de nouveaux savoirs mobilisés alors en situation (Mercer, 1995). Ceux-ci sont plus facilement intégrés aux connaissances (Simonneaux et Simonneaux, 2009). La problématisation des controverses sous la forme de QSV/SSI améliore les apprentissages des contenus scientifiques (Zohar et Nemet, *ibid.* ; Pedretti, 1999). Les QSV/SSI invitent à évaluer les expertises et participent à la construction d'une opinion informée (Sadler et Fowler, 2006). Il est possible d'améliorer les habiletés argumentatives après une courte formation spécifique (Simonneaux et Simonneaux, 2005).

(ii) Simonneaux et Simonneaux (2009) ont de leurs côtés révélé que la charge affective et la proximité de certaines QSV (question locale et impliquante) limitaient les apprentissages scientifiques et les raisonnements socioscientifiques. Mais de son côté, à partir une étude de cas authentique sur la marée noire affectant les côtes espagnoles, Jimenez-Aleixandre (2006) a montré que cette SSI, pourtant proche et concernant de près les étudiantes, avait favorisé au contraire le raisonnement critique et l'approfondissement des contre-argumentations pour rejeter les positions divergentes.

3.3. Argumentation et raisonnements socioscientifiques : question d'évaluation

Nous abordons dans cette partie des contextes d'émergence des raisonnements informels et le lien avec l'argumentation informelle.

3.3.1. Argumentation et raisonnement informel

Argumentation et logique informelle

L'argumentation est l'expression d'une forme de pensée. Penser selon Kuhn (1991), c'est résoudre un problème. L'argumentation est un discours fondé sur la « *pratique du langage en contexte* » (Plantin, 1996, p. 18). L'argumentation suppose que l'on argumente sur un objet (Nonnon, 1996). L'argumentation se distingue de la clarification, elle ne consiste pas à rendre claire une position partagée. Au contraire, l'argumentation apparaît comme un « (...) *mode de traitement spécifique du désaccord* » (Micheli et Jacquin, 2012, p. 601) : « *J'argumente non pas quand les choses sont claires, mais quand le monde se brouille, que les repères se dissolvent, que le monde 'extérieur' résiste à mes idées et me dément* » (Angenot, 2008, p. 434). D'après Perelman (1977) « *l'argumentation se déploie à partir d'une discussion « qui divise soit le moi, soit l'autre* » (Plantin, 2009, p. 64). L'argumentation naît des désaccords et la construction des argumentations repose sur une logique informelle. En partant de points de vue différents, plusieurs solutions sont envisageables pour traiter le désaccord : la construction d'argumentations sous tend donc des *intérêts*, des *valeurs* mais également des *informations lacunaires* et *l'absence de conclusions univoques* (Plantin, 2009, p. 64).

L'argumentation est polysémique : elle recouvre à la fois la succession des arguments et le produit du processus. Elle peut définir une démonstration, comme un raisonnement scientifique et une production rhétorique dans l'objectif de convaincre/persuader et non de démontrer sur la base de la logique formelle (Shwarz et Baker, 2015). Alors argumenter, est-ce convaincre et/ou persuader ? Peu de situations réelles se réfèrent à l'argumentation comme mode de persuasion³⁸⁰, sauf dans le cas d'une plaidoirie au tribunal (Angenot, 2008) et pourtant tout le monde argumente. Des formes d'argumentation sont décelées tôt chez les enfants et ce type de discours « (...) *caractériserait aussi bien le savant que le citoyen* » (Plantin, 2009, p. 63). L'argumentation est une pratique épistémique structurante au cœur de l'activité scientifique (Simonneaux, 2001). Argumenter, est-ce davantage pour convaincre comme le laisse supposer ses racines dans l'exercice de la démocratie dans les cités antiques ? Un certain nombre de théories sur l'argumentation pose le point de désaccord comme indispensable à l'émergence d'une argumentation (Micheli et Jacquin, 2012), mais la visée de cette forme de discours divise. Pour Van Eemeren, Grootendorst et Henkemaans (2002), l'argumentation est produite dans le but de faire changer de point de vue l'interlocuteur, que celui-ci soit d'ailleurs en interaction directe ou par l'intermédiaire de discours monologiques distants. Angenot (2008), Plantin (2005), (Micheli et Jacquin, 2012) partagent l'idée du « *changement d'attitude par rapport à un point de vue* » (Micheli et Jacquin, 2012, p. 601) mais pas dans la perspective de « (...) *produire chez l'allocutaire un changement d'attitude par rapport à un point de vue* » mais au contraire dans « (...) *une visée de justification d'un point de vue, et une visée de positionnement de ce dernier par rapport à un autre point de vue* » (Micheli, 2012, p. 7). Nous adhérons à cette proposition qui circonscrit le processus d'argumentation à une production langagière visant « (...) *au-dessus de la tête de l'interlocuteur ou de l'adversaire* » à « *obtenir raison d'un tiers spectral posé en arbitre, qui lui, saurait reconnaître le bien-fondé, la rationalité, la morale, la justice de notre argumentation* » (Doury, 2009 p. 3). Les locuteurs « *argumentent pour si situer par rapport*

³⁸⁰ Persuader, c'est produire des raisons pour justifier un point de vue et surtout faire adhérer à ce point de vue.

aux raisons des autres en testant la cohérence et la force qu'ils imputent à leurs positions », (Angenot, 2008, p. 441). C'est dans cette perspective que nous comptons nous appuyer sur les productions langagières des élèves et des étudiants engagés dans notre expérimentation.

Du raisonnement formel au raisonnement socioscientifique

L'argumentation est le support de la construction de raisonnements³⁸¹. Elle consiste donc à un agencement de différents types d'énoncés pour arriver à des conclusions en partant des « prémisses ». Il n'y a pas de vrai consensus dans la terminologie des énoncés étayants « prémisses », « raisons », « arguments » et dans les énoncés étayés « thèse », « conclusion », « claims ». L'argumentation consiste en un processus de justification (Gauthier, 2002, 2005) ou « *d'étayage* » (Micheli et Jacquin, 2012) entre des prémisses et des conclusions. Toulmin (1958) précise le but de cette pratique de langage en ces termes : « *to show that is justifiable* » (p. 197). Ainsi pour définir une argumentation, nous retenons la proposition suivante : le discours prend la forme d'une argumentation dès lors qu'une forme de justification est identifiée. Il existe plusieurs variantes dans la définition de la notion d'arguments (Gauthier, 2002). C'est « *un fait qui vise à justifier la crédibilité d'une affirmation incertaine* (Jimenez-Aleixandre et Enduran, 2008) » (Lopez Facal, Jimenez-Aleixandre, Arcidiacon, 2015, p.3 27). Un argument est « (...) *l'articulation d'une proposition et sa ou de ses justifications* » (Gauthier, 2005, p.132). Nous retenons la définition donnée par Gauthier d'un argument. Les contours de la définition de l'argumentation sont également variables.

Dans le cadre de l'enseignement des sciences « classiques », le raisonnement formel est la référence : la conclusion du raisonnement découle directement des itérations logico-déductives qui vont permettre d'identifier les sous problèmes, de les résoudre séparément toujours sur le même principe itératif pour enfin solutionner le problème en entier. Cela suppose cependant deux points : (i) les données du problème existent et sont connues, (ii) les prémisses ont été définies et fixées une fois pour toute comme point de départ de la résolution. En dehors d'exercices abstraits en situations scolaires ou de la présentation formelle standardisée, codifiée des démarches pour produire des faits scientifiques, le modèle logico-déductif comme mode de pensée, au sens de moyen pour trouver une solution à un problème n'est pas adapté pour résoudre des problèmes de la vie courante. Toulmin (1958) et Curd et Cover (1998) soulignent que dans la vie courante, le raisonnement formel n'est pas efficace, cette forme de raisonnement cartésien serait réservée aux pratiques scientifiques³⁸². Les individus abordent et résolvent leurs problèmes à partir de raisonnements informels, encore appelés raisonnements situés, structurés sous la forme d'une argumentation. (Voss, Perkins et Segal, 2012³⁸³ ; Kuhn, 1991). L'argumentation et le raisonnement informel sont indissociables. Cette forme de raisonnement s'oppose à l'abstraction mathématique ou au raisonnement logique (« *abstrat mathematical and logical reasoning* » (Voss et Means, 1990, p. XI)). Dans le cas d'un raisonnement informel, les prémisses ne sont pas fixées à l'avance et elles peuvent être modifiées chemin faisant au gré des informations qui deviennent

³⁸¹ Perelman et Olbrechts-Tyteca (1970) opposent le raisonnement à l'argumentation les deux notions. Nous pensons au contraire comme le suggère Toulmin (1958) considérant « (...) *plutôt l'argumentation comme un élargissement du raisonnement* » (Gauthier, 2005, p. 93)

³⁸² Toutefois, Kuhn (1962) nuance cette représentation en soulignant le « trouble » lié à l'effervescence qui précède un changement de paradigme : si le raisonnement formel contribue à la production des savoirs scientifiques, la nouveauté émerge aussi de la production des raisonnements informels. Les apparences sont trompeuses : si les résultats scientifiques sont présentée sous l'archétype d'un raisonnement logico-déductif, ils émanent également de raisonnements informels (Tweney, 1991).

³⁸³ Le concept de raisonnement informel est issu de travaux en psychologie cognitive à partir d'un nouveau positionnement épistémologique : au lieu de s'intéresser au « *What* » (Kuhn, 1961, p. 10) pour expliquer les attitudes et les opinions, le « *Why* » pourquoi (a été retenu comme point d'exploration (Billig, 1987).

accessibles lors de l'exploration. Dans le cadre de la résolution d'une QSV, la construction de solutions plus ou moins pertinentes reposent sur la production d'argumentations en lien avec le contexte de la question. Les travaux sur l'argumentation en sciences ont montré qu'en imposant une configuration de résolution commune et consensuelle à partir d'une QSV contemporaine, les élèves/étudiants développaient une forme particulière d'argumentation apparentée à la production de raisonnements informels. Les avis et les intérêts divergent et c'est pour cela que la résolution exige d'envisager différentes solutions en examinant leurs intérêts et leurs limites, leurs conséquences. Les alternatives sont explorées favorisant la production d'arguments ou de contre arguments qui permettent de décider collectivement ce qui sera retenu et pourquoi et ce qui sera rejeté et pourquoi. Dans certaines conditions, les élèves/étudiants déploient des argumentations prenant appui sur de multiples domaines de référence combinant des savoirs stabilisés et émergents (Sadler, Klosterman et Topcu, 2011) en étant influencés par l'expression des valeurs et la perception des risques/incertitudes dont les solutions étaient porteuses (Simonneaux et Cancian, 2013). Le raisonnement informel construit dans ce cadre est un raisonnement socioscientifique (RSS) (Sadler, 2004). Le cheminement argumentatif est le support de la construction du raisonnement informel. Les liens étroits entre argumentation et raisonnements informels ont été mis en évidence (Voss, Perkins, et Segal, 2012 ; Kuhn, 1991 ; Sadler, 2004 ; Zohar et Nemet, 2002). Mais en soulignant la spécificité de la forme argumentative dans des contextes de SSI (Erduran, Simon et Osborne, 2004; Sadler et Donnelly, 2006 ; Zohar et Nemet, 2002 ; Chang et Chiu, 2008), des difficultés sont éprouvées par les élèves/étudiants à produire des argumentations souhaitables (Albe, 2008b). De leur côté, les enseignants/formateurs sont déstabilisés, voire désarmés, par la complexité des questions pluridisciplinaires et pluri-paradigmatiques, supposant d'avoir au préalable conduit une analyse socio-épistémologique approfondie (Simonneaux et Legardez, 2011 ; Levinson, 2004). Le manque d'assurance dans la conduite et dans les attendus des formes argumentatives souhaitables (Levinson et Turner, 2001 ; Simonneaux, 2008) et la pénurie d'outils didactiques adaptés pour conduire concrètement des enseignements-apprentissages sont des difficultés supplémentaires (Sadler, 2011).

3.3.2. Evaluer la qualité des raisonnements RSS

Nous présentons quelques outils et démarches permettant de cerner et de discuter la question de l'évaluation des RSS.

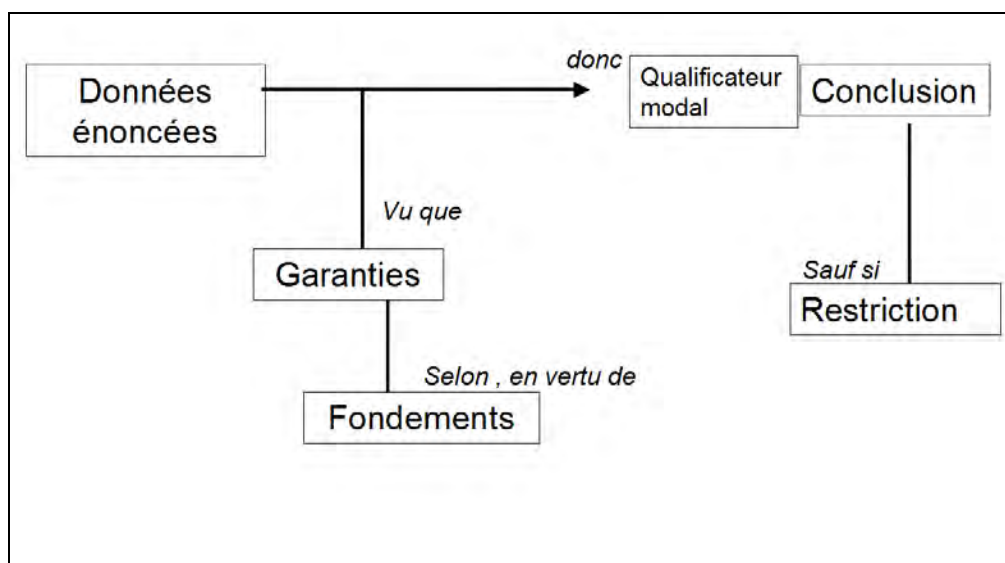
L'argumentation est un « *phénomène de langue* » (Schwarz et Baker, 2015, p. 271) dont l'étude peut se fonder sur « *les discours et le dialogue* » (Schwarz et Baker, *ibid.*, p. 271). La revue bibliographique révèle l'importance de l'argumentation dans les apprentissages en sciences pour atteindre des visées éducatives plus larges³⁸⁴ à relier :

- à la théorie théorique culturelle historique vygotskienne d'acquisition des connaissances et du développement de fonctions cognitives de haut niveau dans laquelle le langage a un rôle majeur (Vygotsky, 1933/1985). La construction des connaissances est intimement liée à la production de discours (interpersonnels et/ou intra personnels). Des liens « (...) *apparaissent, de plus en plus clairement, entre savoirs et productions langagières* (Jacobi & Peterfalvi, 2004, p. 4) » (in Albe 2006, p. 105) ;
- au fait que les apprentissages efficaces se construisent en situation (Greeno, 1998). Dès lors, les QSV/SSI représentent des contextes pour structurer et développer des apprentissages, en particulier pour construire des raisonnements qui vont permettre de prendre une décision.

³⁸⁴ La visée éducative est l'éducation à la citoyenneté participative responsable et réflexive.

Perelman et Olbrechts-Tyteca (1958, 1970), Toulmin (1958), Anscombe et Ducrot (1983), Grize (1982), Buty et Plantin (2008) entre autres ont eu une influence certaine dans la théorisation de l'argumentation. Ils ont produit des modèles et/ou des théories pour caractériser les formes et la qualité des argumentations dans différentes situations : « *la rationalité argumentative est en définitive liée à celle de l'évaluation, activité indissociable de l'argumentation* » (Plantin, 2009, p. 54). Toulmin (1958) a été très largement mobilisé dans le cadre de l'éducation aux sciences pour analyser la « qualité » des argumentations produites par les élèves/étudiants, parfois par des enseignants à partir d'écrits³⁸⁵ et moins à partir de productions orales. Il a inscrit sa proposition de modèle dans la perspective de rendre compte de la logique formelle : le raisonnement informel s'exprime pour résoudre les problèmes que les individus rencontrent dans leur quotidien et la production d'argumentations formelles y contribue. Il a clarifié tous les énoncés étayants (ceux qui permettent d'arriver à la conclusion) et étayés (la conclusion) et a proposé un modèle de leur agencement. Il distingue ainsi six types d'énoncés. Les données (*data* ou *ground*), ce sont les "preuves" qui fondent la conclusion. Les garanties (*warrants*) qui explicitent le lien entre les données et la conclusion. Elles ne sont pas toujours explicites. La conclusion (*claim*) précise ce que l'on tient pour vrai (point de vue). On ne retrouve pas toujours les autres éléments dans les productions langagières. Elles³⁸⁶ consolident et étayent l'argumentation : les modalités (*qualifiers*), les fondements (*backings*) et les restrictions (*rebuttals*). La figure n°35 présente le modèle.

Figure n°35 : Le modèle de Toulmin (1958).



Ce modèle présente l'intérêt de se centrer sur des invariants dans le contenu de l'argumentation, sans pour autant en préciser la qualité. Les didacticiens en sciences se sont largement appuyés sur ce modèle et ont dans le même temps procédé à des clarifications et à des adaptations à partir de la résolution de QSV/SSI (Zohar et Nemet, 2002 ; Jimenez-Aleixandre et Pereiro Munoz, 2002 ; Panissal et Brossais, 2012 ; Ducamp et Simonneaux, 2012). Beaucoup d'études se sont focalisées sur l'évaluation du processus de construction de l'argumentation afin de rendre compte comment les élèves et les étudiants mobilisaient des preuves et les concepts. Une des finalités est d'être en mesure d'explicitier comment « apprendre à apprendre à argumenter ». D'autres aspects qualitatifs ont été moins explorés

³⁸⁵ Il y a moins de références à l'utilisation de Toulmin dans le cadre de l'analyse des productions orales.

³⁸⁶ Les modalités (*qualifiers*) précisent les conditions particulières pour que la conclusion soit vraie; les fondements (*backings*) renvoient aux fondements, à ce qui est connu et qui fait autorité et les restrictions (*rebuttals*) posent les exceptions éventuelles, les fondements (*backings*).

comme la complexité et la validité des arguments, la diversité des domaines d'appui (Simon, Erduran et Osborne, 2006). Des recherches ont cependant proposé de clarifier la dimension épistémique de l'argumentation pour caractériser chez les raisonnements produits à partir d'une SSI.

Quatre exemples de grille d'analyse des raisonnements

Le raisonnement RSS est étroitement dépendant de la construction d'argumentations. C'est à partir de celles-ci qu'une série de travaux ont proposé des démarches pour évaluer la qualité des raisonnements (Zohar et Nemet, 2002 ; Bravo-Torijra, 2012 ; Sadler *et al.*, 2007 ; Simonneaux et Simonneaux, 2009 ; Morin, 2013) et un modèle de compréhension heuristique (Chang Rundgren et Rundgren (2010)). Dans un ensemble de travaux, le raisonnement socioscientifique et l'apprentissage de l'argumentation sont des opportunités pour construire des apprentissages complexes et situés.

Zohar et Nemet (2002) ont fait travailler des étudiants sur des controverses liées à de dilemmes génétiques impliquant les individus sur des dimensions éthiques et morales. En comparant deux scénarios didactiques et pédagogiques : l'un en abordant le problème vidé des controverses, l'autre sous une forme problématisée d'une SSI. Les auteurs ont évalué l'argumentation et la qualité des raisonnements à partir de différents critères afin de voir si les connaissances en biologie avaient été retenues, si elles étaient valides pour résoudre le dilemme, si la conclusion était justifiée. Elles ont également considéré la complexité de la construction de l'argumentation (arguments et de contre-arguments). Dans le 'scénario SSI', un travail autour de la définition de la qualité d'un argument a été conduit avec les étudiants améliorant ensuite la qualité des productions argumentatives. Les résultats de l'étude montre que la construction d'argumentations de qualité sur des QSV/SSI :

- améliore la compréhension des concepts scientifiques,
- et favorise les apprentissages scolaires en sciences en les connectant à des situations ordinaires.

Ces résultats rejoignent ceux de Driver, Newton et Osborne (2000) et ils seront confirmés dans d'autres recherches sur les SSI/QSV (Simonneaux et Simonneaux, 2005 ; Simonneaux, 2003 ; Osborne *et al.*, 2004 ; Sadler, 2004 ; Sadler et Donnelly, 2006 ; Jimenez-Aleixandre, 2006 ; Jimenez-Aleixandre et Puig, 2010 ; Simonneaux et Chouchane, 2011 ; Buty et Plantin, 2009). Ces apprentissages de fonctions cognitives de haut niveau peuvent être développés tôt, sans attendre les études supérieures comme le montrent les résultats de recherches de Evagorou, (2011) et de Tartas et Simonneaux (2015).

Bravo-Torija (2012) a proposé un cadre d'analyse pour évaluer la qualité des raisonnements à partir de la résolution d'une étude de cas sur la gestion des ressources marines. Elle a défini six niveaux différents de complexité pour caractériser la qualité des raisonnements en examinant les contenus et la structure des argumentations. Le niveau 1 correspond aux raisonnements les moins élaborés. Pour définir ces niveaux, elle a examiné :

- comment les étudiants parvenaient à extraire des données du contexte, si elles étaient pertinentes pour expliquer le problème (niveau 1),
- s'ils établissaient ou non des relations causales simples entre elles (niveau 2),
- s'ils étaient capables de faire le lien avec des théories et des modèles (replacer le problème dans un plus général) qui font fournir un autre format de données : les preuves (niveau 3),
- s'ils étaient capables de produire une conclusion simple (une proposition de solution pour gérer les ressources) avec les données générales et des données factuelles (niveau 4),
- s'ils étaient capables de combiner des données de modèles, des données factuelles et des éléments du modèle pour produire une conclusion et s'ils examinaient les conséquences des solutions à partir des preuves disponibles (niveau 5),

- s'ils étaient capables de produire plusieurs conclusions alternatives complexes et d'envisager les conséquences à partir des preuves disponibles (niveau 6). Ce niveau n'est pas atteint par les étudiants dans l'expérimentation montrant ainsi la difficulté des tâches impliquées. Les résultats invitent à mobiliser les QSV/SSI pour améliorer la qualité des raisonnements dans la perspective d'atteindre ce dernier niveau.

Les approches proposées par Zohar et Nemet (2002) et Toreira insistent sur les connaissances disciplinaires en lien direct avec le cœur du problème (la biologie/génétique pour le premier cas et la biologie/écologie pour le second cas). La qualité des raisonnements est évaluée :

- à partir de la complexité et la pertinence des justifications qui amènent à la conclusion ;
- à partir de la richesse des différentes alternatives explorées et leurs conséquences (peser les avantages et les inconvénients en fonction des données du contexte et par rapport à d'autres données établies hors du cas étudié) ;
- à partir de la pertinence de l'articulation entre des données factuelles, des preuves scientifiques et de cadres conceptuels et à partir de la prise en compte des conséquences des solutions possibles et de celle retenue.

Devant la difficulté des étudiants à se positionner et à prendre des décisions sur des SSI, et à celle de certains enseignants à construire des situations éducatives adaptées aux SSI, Sadler (2004) et Sadler *et al.* (2007) ont proposé un cadre d'analyse pour guider les enseignements-apprentissages qui visent à faire émerger des RSS pour résoudre une SSI. Ils se sont fondés sur les travaux antérieurs de King et Kitchener (1994) pour élaborer un modèle de RSS. Ils ont mis en évidence quatre critères les plus significatifs d'une SSI à considérer en vue de prendre une décision (« *the following have emerged as among the most significant practices for decision-making* » (Sadler *et al.*, 2007, p. 374). Ces critères marqués par une certaine invariance sont précisés par quatre niveaux d'approfondissement. Les scores allant de 1 à 4 (1 est attribué au plus faible niveau). L'évaluation des niveaux d'approfondissement se fonde sur l'analyse des argumentations produites au cours du processus de RSS. Les quatre critères sont :

- critère 1 : la prise en compte de la complexité des questions socio-scientifiques « *Recognising the inherent complexity of SSI* » ;
- critère 2 : l'examen des problèmes à partir de plusieurs perspectives « *Examining issues from multiple perspectives* » ;
- critère 3 : la perception que ces questions doivent être soumises à des explorations complémentaires « *Appreciating that SSI are subject to ongoing inquiry* » ;
- critère 4 : l'expression de scepticisme à l'égard des informations qui peuvent être biaisées « *Exhibiting skepticism when presented potentially biased inform* ».

Le critère lié à la complexité est important car c'est une caractéristique-clé des QSV/SSI (Saoudi et Simonneaux, 2007). Simonneaux et Simonneaux (2009) ont enrichi le cadre d'analyse de Sadler (2004) et Salder *et al.* (2007) en proposant deux autres critères. Un des critères est lié à la question de l'incertitude et des risques (qu'ils extraient du critère 1 en se référant aux sociétés du risque évoquées par Beck), le second repose sur la prise en compte des modes de gouvernance et à la pluralité des savoirs et des producteurs de savoirs. Les quatre dimensions clarifiées sont les suivantes : « *Consequently, we suggest completing this reasoning with four operations: (a) the identification of the risks and uncertainties; (b) the research and evaluation of the knowledge produced by non-academic producers of knowledge (professional groups, associations, consumers), Bourdieu's other symbolic producers; (c) the consideration of the values (potential values marked by cultural, societal or media elements) or ethical principles which influence opinions; and (d) the analysis of the modes of*

*governance and the balance of power in the local or global orientation*³⁸⁷» (Simonneaux et Simonneaux, 2009, p. 684).

Chang Rundgren et Rundgren (2010) ont proposé un modèle holistique (SEE-SEP) pour caractériser l'essence des SSI (« *to provide a holistic view to represent the essence of SSIs* » Chang Rundgren et Rundgren, 2010, p. 3). Ce modèle vise à aider la construction de situations éducatives « *a workable model* » (p. 15) qui favorisent des apprentissages en lien avec l'alphabétisation scientifique (vision II) et la mobilisation des connaissances et des capacités cognitives comme le RSS et la pensée critique dans des situations concrètes ordinaires (« *transferring content knowledge and skills to real contexts* » (p. 5). Il met en relation six dimensions repérées comme importantes et liées pour circonscrire une SSI (des aspects sociologiques/culturels, environnementaux, économiques, scientifiques, éthiques/moraux et politiques) avec des facteurs qui se sont révélés importants dans les choix, les raisonnements et les prises de décisions personnelles (les valeurs, les expériences personnelles et les connaissances sur le sujet) . Testé sur des résultats antérieurs de recherches, le modèle a permis de donner des indications intéressantes sur la qualité des RSS et l'argumentation informelle dans des situations éducatives en contexte scolaire.

Morin (2013) a proposé une modélisation des raisonnements socioscientifiques dans une perspective de durabilité. Il a testé son modèle à partir de la résolution de trois QSV (la consommation de viande, le dessalement de l'eau de mer en Australie, les algues vertes en Bretagne). Six dimensions sont considérées pour évaluer la qualité de la résolution : la problématisation³⁸⁸, les interactions³⁸⁹, les savoirs³⁹⁰, les incertitudes et les risques³⁹¹, les valeurs³⁹² et la gouvernance³⁹³. Pour chacune des dimensions, quatre niveaux d'approfondissement sont définis (cf. figure n°36), permettant d'analyser la qualité des raisonnements socioscientifiques construits par les étudiants.

³⁸⁷ Traduction de l'auteur : « *Nous suggérons de caractériser le raisonnement à partir de quatre opérations, (a) l'identification des risques et des incertitudes, (b) la recherche et l'évaluation de savoirs produits par des producteurs de savoirs non académiques (groupes de professionnels, associations, consommateurs) les autres producteurs de savoirs symboliques selon Bourdieu, (c) la prise en compte des valeurs (valeurs liées à la culture, à la société ou aux médias) ou des principes éthiques influençant l'opinion et (d) l'analyse des modes de gouvernance et le jeu de pouvoirs dans la détermination des orientations locales et globales* ».

³⁸⁸ La dimension « *problématisation* » rend compte de la diversité des angles de vue retenues par les étudiants pour cerner la complexité des enjeux.

³⁸⁹ La dimension « *échelles considérées* » vise à analyser et évaluer les changements d'échelles considérées dans la résolution des problèmes (tension local/global).

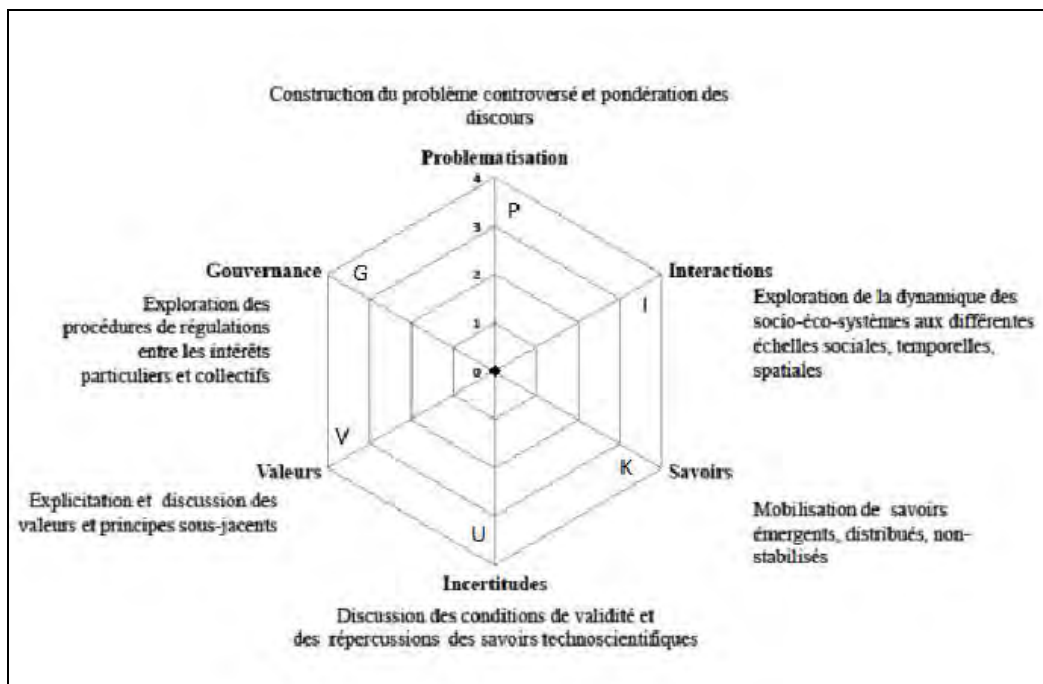
³⁹⁰ La dimension « *savoir* » explore la façon dont les différents sont pris en compte et articulés (savoirs stabilisés/émergents).

³⁹¹ La dimension « *incertitudes et risques* » vise à caractériser comment les risques et les incertitudes des solutions retenues sont envisagés (validité/conséquences).

³⁹² La dimension « *valeurs* » s'intéresse aux valeurs discutées et aux principes sous tendus.

³⁹³ La dimension « *gouvernance* » discute de la façon dont le groupe négocie les intérêts particuliers et collectifs considérés.

Figure n°36 : La grille d'analyse des RSSD (raisonnement socioscientifique dans une perspective de durabilité) (Morin, 2013, p. 114)



A partir de son dispositif Morin (2013) et Morin *et al.*³⁹⁴(2014) ont étudié les effets des interactions interpersonnelles et interculturelles dans la construction des raisonnements socioscientifiques dans la perspective de la durabilité. Le dispositif a permis de révéler des déterminants améliorant leur qualité. Ils correspondent à des moments particuliers dans les échanges durant lesquels la collaboration prend la forme de discussions exploratoires (*exploratory talk* (Mercer, 1995)) pour « creuser » une question et/ou un problème rencontré. Mercer (1995) s'est fondé sur les travaux de Vygotsky (1933/1985) qui pose le rôle central des interactions sociales et du langage dans la construction des connaissances et de fonctions cognitives de haut niveau (les high order thinking du courant des QSV/SSI). Sur la base d'observations des interactions entre enseignant/élèves et élèves/élèves, Mercer (1995) a mis en évidence et décrit trois types de discussions observées en classe. La dispute (*Disputational talk*) se caractérise par un désaccord et des prises de décisions individuelles. Les échanges sont courts, majoritairement constitués d'affirmations et de défis ou d'oppositions : il n'y a pas coopération et/ou collaboration pour résoudre le problème et il n'y a pas non plus d'approfondissement. Dans la discussion cumulative (*Cumulative talk*), les participants sont à l'écoute les uns des autres et construisent collectivement une réponse. Mais ils ne font pas preuve d'esprit critique, et les assertions s'accumulent les unes à la suite des autres : la collaboration est effective mais sans approfondissement. Au contraire par rapport aux deux premières formes de discussions dans la discussion exploratoire (*Exploratory talk*), les désaccords entre les parties prenantes sont explorés collectivement et de manière constructive, conduisant parfois à mobiliser de nouvelles données et cela en contexte (apprentissage efficace situé). Les interactions langagières interpersonnelles se révèlent des moyens de construire un raisonnement collectif. La discussion exploratoire contribue à penser, réfléchir ensemble au sein de la classe pour résoudre un problème et développer ainsi chez chacun sa compréhension du monde (cognition distribuée).

³⁹⁴ Morin, Simonneaux, Simonneaux, Tytler, et Barraza (2014).

Nous venons de voir que la qualité des raisonnements socioscientifiques avaient été définis par les auteurs cités en termes de niveaux de complexité, eux-mêmes fondés sur des argumentations informelles complexes, elles-mêmes prenant appui sur l'expérience personnelle, les valeurs et des connaissances de plusieurs disciplines à croiser. L'argumentation a été caractérisée :

- (i) en considérant une dimension sémantique et épistémique (le contenu renvoyant au sens). Cet aspect qui est plutôt prégnant en général dans les études sur les QSV/SSI ;
- et/ou (ii) en s'intéressant à sa dimension dialogique qui rend compte du processus de construction dans l'interaction. Cet aspect a été peu exploré dans les recherches sur les QSV/SSI. Pourtant, la dimension dialogique occupe une place importante dans la compréhension des mécanismes des apprentissages (Grecco Morasso, Miserez-Caperos et Perret-Clermont, 2015).

3.4. Synthèse et reformulation de deux questions de recherche (QR6 et QR8)

Nous présentons les éléments que nous avons retenus pour compléter nos démarches de recueil et d'analyse de données.

L'argumentation et les raisonnements sont intimement liés. Il y a un processus d'argumentation dès lors qu'une proposition est suivie de sa justification.

1. L'analyse des argumentations permet d'accéder à des facettes du raisonnement. Nous fonderons notre travail d'analyse en partie sur l'étude des productions argumentatives.

Dans la vie courante, les argumentations et les raisonnements informels sont construits pour prendre des décisions et résoudre les problèmes. L'argumentation et un raisonnement se déploient quand des points de vue différents sont envisagés pour résoudre des problèmes.

2. L'état de l'art que nous venons de dresser montrent que les QSV/SSI offrent l'opportunité de construire des situations éducatives en contexte scolaire qui font émerger et développer ce type de raisonnement (raisonnement socioscientifique : RSS). Elles sont complexes et interpellent les acteurs dans leurs rapports aux savoirs et aux risques/incertitudes. Elles interrogent leur système de valeurs. Les points de vue sont différents sur les mesures de prévention à décider et sur leurs conséquences. Les QSV/SSI offrent dès lors un cadre de travail pour faire émerger des dilemmes impliquant les élèves/étudiants de la situation éducative les amenant à construire des RSS.

Les expériences vécues, les valeurs et les connaissances personnelles sont déterminantes dans les prises de décision et dans le choix de solutions retenues pour résoudre des problèmes soulevés par une QSV/SSI. En particulier, les connaissances acquises antérieures qui peuvent permettre de résoudre la QSV ont un rôle important car ce sont d'abord celles-ci qui sont mobilisées avant les preuves scientifiques mises à disposition pour le contexte de la SSI.

3. Faire vivre aux élèves/étudiants des situations les impliquant dans lesquelles ils doivent prendre des décisions en vue de résoudre une QSV/SSI permet d'améliorer le « socle de connaissances disciplinaires liées ou non au sujet », puis des connaissances interdisciplinaires et constituent en soi une expérience. Ces expériences scolaires pourront servir alors de point d'appui pour aborder une autre QSV/SSI.

4. La question de la problématisation est importante car elle va orienter le sens et conditionner l'implication des élèves/étudiants.

La production d'argumentation de qualité favorise l'acquisition des connaissances disciplinaires et interdisciplinaires et la compréhension des concepts et des théories qui offrent des guides de lecture pour appréhender le monde. Elles améliorent la qualité des RSS produits dans ce cadre.

5. Favoriser la construction d'argumentations de qualité contribue à construire des apprentissages efficaces pour améliorer les RSS.

6. Définir des critères de qualité des argumentations fonde la structure des grilles d'analyse et d'évaluation de la qualité de ces raisonnements. La dimension complexité, en particulier en termes de savoirs pertinents et cohérents à mobiliser et à articuler est un point central à considérer pour aborder et résoudre les problèmes soulevés par une QSV/SSI étudiée. La grille d'évaluation du RSS doit y faire mention explicitement. Les risques que les parties prenantes expriment peuvent donner des indications sur les expertises qu'ils reconnaissent. Ce dernier aspect est important en raison de la pluralité des savoirs impliqués dans les QSV. L'inscription des solutions dans le développement durable proposées par les élèves/étudiants est également un critère important à faire figurer dans la grille d'évaluation des RSS, elle rend compte d'un engagement citoyen conciliant les intérêts individuels et collectifs.

Les recherches en éducation révèlent l'importance des situations d'interactions, mobilisant le langage dans la construction des connaissances et de différentes formes de raisonnements. Les situations de coopération et de collaboration permettent d'appréhender des apprentissages complexes et d'en faciliter sous certaines conditions l'acquisition (elles allègent dans un premier temps la prise en charge individuelle). Les configurations d'interactions qui génèrent des discussions exploratoires (*exploratory talk*) favorisent des démarches d'exploration avec à la clé la mobilisation de savoirs en contexte. Ces apprentissages sont efficaces car ils ont un sens. L'analyse de ces moments d'interactions permet d'avoir accès au processus durant lesquels les apprentissages se structurent et se développent.

7. En considérant l'importance de la dimension dialogique de l'argumentation dans la construction des RSS, une configuration de travail collaborative doit être favorisée pour appréhender la complexité de la résolution d'un problème qui pousse des élèves/étudiants à concevoir des systèmes de culture économes en pesticides. L'analyse des produits de ces interactions peut alors révéler des freins et des obstacles à l'émergence et au développement de RSS.

Notre recherche vise à mettre en place un dispositif qui permet l'émergence de proposition de solution négociée pour réduire l'usage des pesticides. Ces propositions doivent tenir compte des contextes (enjeux), mobiliser des arguments agronomiques indispensables pour concevoir des systèmes économes en pesticides, s'inscrire dans le même temps dans une perspective de développement durable (exploration des trois dimensions de la durabilité) et dans la transition agroécologique. Comme il n'existe pas de proposition préconstruite, les solutions vont dépendre des éléments négociés et retenus selon le contexte de la situation (les participants, leur expérience, leurs connaissances, des informations mises à disposition et/ou supplémentaires cherchées pour résoudre une question, leurs expériences et la dynamique de la collaboration). Les activités des élèves/étudiants que nous attendons s'inscrivent dans ce que Sadler (2004) définit comme un RSS. Dans notre recherche comme précisé dans le début du manuscrit, ce seront des raisonnements informels agro-écologiques et socioéconomiques (SAR). Les argumentations produites dans la situation éducative rendront accessibles des facettes de la construction du raisonnement informel. Il n'y a pas de travaux conduits dans ce sens sur des cas de QSV agronomiques qui peuvent servir d'appui. Un résultat préalable consiste donc à construire une grille d'analyse et d'évaluation *a priori* de cette forme de RSS afin de discuter de sa pertinence en contexte scolaire. Tester cette grille d'évaluation des SAR suppose la construction d'une situation éducative qui favorise l'émergence de cette forme de raisonnement et leur développement. Les enjeux de notre expérimentation reposent davantage sur la construction de cette situation éducative et son adaptation à partir des résultats observés suite à sa mise en œuvre avec les élèves/étudiants. La question de l'analyse **fine** des freins et

des appuis ne perd pas de sa pertinence mais n'apparaît plus centrale dans le traitement des données et dans la présentation des résultats.

Nous proposons de reformuler les QR6, QR8 comme suit :

QR6 : Comment évaluer la complexité des raisonnements produits afin de comparer les niveaux des élèves et des étudiants ?

QR8 : Quels sont les freins et les appuis à l'émergence et au développement de raisonnements adaptés ?

Les nouvelles questions de recherche sont les suivantes :

QR6' : Comment traduire dans la grille d'analyse et d'évaluation la complexité des RSS attendus ?

QR8' : Peut-on à partir du dispositif capter chez les élèves/étudiants des arguments exprimant des risques perçus et/ou en lien avec les conceptions des sciences, des scientifiques et du milieu biophysique ? Cette dernière dimension est importante à considérer dans le cadre d'innovations de rupture qui s'inscrivent dans une perspective agro-écologique.

Cet état de l'art sur les QSV/SSI nous amène à préciser l'état de la question en lien avec la perspective d'enseigner-apprendre à co-concevoir des systèmes de culture économes en pesticides. Nous précisons dans le chapitre qui suit comment la prescription prend en charge cette problématique et les problèmes que cela soulève selon nous. Nous complétons l'analyse socioépistémologique en produisant une démarche pour élaborer l'état des controverses sur l'utilisation des pesticides. Nous exposons le résultat de notre démarche sous la forme de deux cartographies datées. Les différentes mises en perspective dans ce chapitre nous permettent d'alimenter (i) la démarche de construction d'une situation éducative scolaire, (ii) la définition *a priori* des niveaux de complexité des raisonnements et (iii) des démarches de recueils et d'analyse des données pour discuter la grille et la situation éducative proposée.

Chapitre 4

Présentation de la démarche multi-strate de la recherche : des méthodologies de recueil et d'analyse de données

Nous avons problématisé les questionnements soulevés en termes d'enseignement-apprentissage générés par le changement de paradigme dans la protection des cultures induit par le plan Ecophyto et son inscription dans la transition agroécologique. Nous avons émis des hypothèses, posé et reformulé des questions de recherche qu'il convient de tester pour les premières et d'instruire pour les secondes.

Nous avons choisi de présenter de manière originale cette partie « démarche ». Elle aborde les différentes phases de la démarche pour recueillir les données et pour conduire ensuite leurs analyses. Les recueils de données et leurs analyses s'imbriquent les uns avec les autres dans notre travail de recherche. Afin d'accompagner le lecteur, nous avons opté pour une présentation en strates. Une strate comportera :

- une présentation des objectifs en termes de recherche (à quelles hypothèses ou questions de recherche les objectifs se rattachent-ils ?),
- la méthodologie de recueil et d'analyse des données avec des éclairages théoriques sous-jacents ;
- et enfin pour certaines une présentation des résultats qui sont des résultats intermédiaires mobilisés dans une autre strate. En effet, tout ou partie de ces résultats sont remobilisés dans les strates suivantes et intégrés soit dans la méthodologie de recueil de données soit dans la méthodologie d'analyse des résultats subséquentes.

Notre recherche a une visée descriptive et compréhensive ayant un horizon didactique : il s'agit de (i) proposer une modélisation des raisonnements informels construits pour envisager des systèmes économes en pesticides, (ii) d'identifier un corpus de savoirs agronomiques robustes (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013) pour penser et agir en situation et (iii) de définir *a priori* des niveaux de complexité de raisonnements SAR (Raisonnements Agro-écologiques et Socioéconomiques) pour en évaluer la qualité, (iv) proposer une situation éducative qui permet de faire émerger ses raisonnements pour tester la robustesse de la grille et enfin de voir si (iv) la configuration du scénario didactique et pédagogique permet de révéler des freins et des appuis à l'émergence de SAR adaptés.

Nous rappelons les questions de recherches et les hypothèses sous-tendues.

Hypothèse 1 : selon nous, l'argument santé humaine pourrait être un facteur décisif dans l'engagement à renoncer à l'usage systématique des pesticides en particulier chez les futurs agriculteurs en formation.

Hypothèse 2 : Selon nous, à la lumière de notre connaissance des référentiels de diplôme et notre expertise de formatrice, les élèves de Bac pro CGEA sont moins bien armés que des étudiants de BTS APV pour développer des raisonnements complexes informels afin d'aborder la réduction de l'usage des pesticides.

QR1 : Nous proposons d'explorer à partir d'une analyse socio-historique comment s'est construite cette dépendance pour préciser le contexte d'émergence du plan Ecophyto et quelles sont les racines de la fascination pour la chimie de l'agronomie.

QR2a : Quels sont les savoirs de référence pour envisager la construction de systèmes économes en pesticides dans le cadre de la transition agro-écologique souhaitée par le ministre en charge de l'agriculture ? QR2b Quels sont les états de la controverse à ce sujet ?

QR3 : Comment la DGER a-t-elle pris en charge les exigences en termes de réduction de l'emploi des pesticides et de sécurisation de leurs emplois dans l'enseignement agricole technique ?

QR4 : Quel dispositif didactique et pédagogique concevoir pour favoriser l'émergence et le développement de raisonnements complexes agro-écologiques et socioéconomiques qui amènent les apprenants à envisager des voies alternatives aux pesticides de synthèse pour gérer la protection des cultures tout en mobilisant des arguments agronomiques dans une perspective de durabilité ?

QR5 : Comment alors modéliser un raisonnement complexe agro-écologique et socioéconomique situé produit pour aborder la gestion d'un bioagresseur, tout en limitant le recours aux pesticides ?

QR6 reformulée : Comment traduire dans la grille d'analyse et d'évaluation la complexité des RSS attendus ?

QR7 : Peut-on identifier un corpus de savoirs robustes agronomiques nécessaires pour envisager des alternatives à l'usage des pesticides à l'échelle du système de culture ?

QR8 reformulée: Peut-on à partir du dispositif rendre compte d'aspects en lien avec les risques perçus et les conceptions des sciences, des scientifiques et du milieu biophysique par les élèves/étudiants, cette dernière dimension est importante à considérer dans le cadre d'innovations de rupture qui s'inscrivent dans une perspective agroécologique ?

Nous nous sommes fondée sur plusieurs cadres théoriques et avons mobilisé plusieurs méthodologies qui s'appuient sur des concepts dans différents courants scientifiques et différentes disciplines : des travaux de la recherche et du développement agronomique sur la gestion des bioagresseurs et en particulier concernant la gestion des adventices, des travaux en didactique curriculaire, en sociologie des sciences, en anthropologie des risques, des travaux sur l'argumentation en sciences et sur l'analyse qualitative des discours, des travaux en didactiques des QSV/SSI en particulier sur les raisonnements socioscientifiques, entre autres. Nous escomptons, *via* ce syncrétisme, être en mesure de proposer une grille de lecture de la complexité des raisonnements adaptés pour envisager des alternatives aux pesticides en agriculture, d'analyser la complexité des raisonnements produits dans le cadre d'une situation éducative qui pousse à envisager des alternatives aux pesticides et d'en déterminer la qualité (niveau de complexité), tout en identifiant les arguments agronomiques convoqués par les élèves et les étudiants impliqués dans notre expérimentation.

Nous avons structuré notre démarche de recherche en cinq strates annoncées sommairement dans le tableau n°12 et pour lesquelles nous indiquons les liens avec les autres étapes.

Tableau n°12 : Présentation synthétique de l'imbrication des strates dans la démarche de recherche

Strates et thème	Objectif principal et liens avec les autres étapes
Strate 1 [partie 4I ³⁹⁵] : analyse de la prise en compte de la réduction des emplois des pesticides et la sécurisation des usages dans deux référentiels professionnels : le Bac pro CGEA et le BTS APV	<p>Discuter la prise en charge de la réduction des usages et leur sécurisation dans l'enseignement agricole technique et en particulier analyser la prise en compte du changement de paradigme dans la protection des cultures dans deux référentiels</p> <p><u>Lien avec la strate 2 [partie 4II]</u> → Résultat : des analyses qui rendent compte des formes de rationalité suggérée dans le système d'enseignement agricole à discuter dans la cartographie des controverses</p> <p><u>Lien avec la strate 3 [partie 4III]</u> → Résultat : des points d'appui en lien avec la discipline agronomie pour construire la situation éducative et la scénarisation pédagogique</p>
Strate 2 [partie 4II] : définition d'une méthodologie de construction et d'analyse des états de la controverse et analyse de cartographies des controverses autour des usages des pesticides dans l'agriculture	<p>Produire des cartographies analysées sur les états de la controverse sur l'usage des pesticides dans l'agriculture entre deux dates pour compléter l'analyse socio-épistémologique</p> <p><u>Lien avec la strate 3 [partie 4III]</u> → Résultat : des critères pour choisir la diversité des sources dans le corpus de références documentaires de la situation-problème</p> <p><u>Lien avec la strate 5 [partie 4IV]</u> → Résultat : des portefeuilles de risques et une rhétorique argumentaire caractérisant des visions du monde chez les acteurs-réseaux à confronter aux argumentations des élèves et des étudiants lors de la résolution de la situation-problème</p>
Strate 3 [partie 4III] : proposition d'un modèle de situation éducative pour faire émerger des raisonnements informels complexes mobilisant des références/savoirs agronomiques et inscrits dans une perspective de développement durable et proposition d'un scénario pour le tester	<p>Produire un modèle de situation-problème pour favoriser l'émergence et le développement de raisonnements complexes agro-écologiques et socioéconomiques inscrits dans le développement durable</p> <p>Construire la scénarisation didactique et pédagogique pour tester le modèle de la situation problème</p>

³⁹⁵ Il faut comprendre première partie ou sous-chapitre I (ou partie I) du chapitre 4 qui en comprend quatre. Cela donne partie 4I.

<p>Strate 4 [partie 4IV] : proposition d'une grille d'analyse caractérisant des niveaux de complexité des raisonnements agroécologiques socioéconomiques.</p>	<p>Construire <i>a priori</i> une grille pour évaluer la complexité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques prenant appui sur des savoirs agronomiques pour co-concevoir un système économe en pesticides.</p>
<p>Strate 5 [partie 4V] : présentation des autres éléments de la méthodologie de recueil et d'analyse des données reposant sur la conduite de la situation-problème.</p>	<p>Construire les démarches d'analyse des argumentations produites lors de la résolution de la situation-problème pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - analyser les niveaux de complexité des SAR, - identifier des risques et/ou incertitudes exprimées lors de la résolution de la situation-problème - identifier des freins et/ou d'obstacles à la construction de SAR

Nous abordons dans la partie **4I** la démarche retenue pour conduire l'analyse curriculaire et le résultat de cette analyse sur les deux référentiels professionnels, le Bac pro CGEA et le BTS APV. La partie **4II** pose des éléments de démarche pour compléter l'analyse socioépistémologique pour faire l'état des controverses. Le résultat de cette analyse est présenté sous la forme de deux cartographies (1983 et 2007) et d'un texte de commentaires. La partie **4III** décrit la démarche de construction de la situation-problème et présente son contenu. La partie **4IV** développe les points d'ancrage pour définir les niveaux de complexité des SAR attendus et présente la grille que nous avons construite a priori. La partie **4V** développe la méthodologie de recueil d'un corpus de données liées à la production de SAR et la méthodologie d'analyse de ce corpus pour caractériser les niveaux de complexité des SAR, les risques/incertitudes exprimés lors du travail de résolution et des freins et appuis aux développement de SAR souhaitables.

Chapitre 4

Partie 4I- L'analyse curriculaire des référentiels Bac pro CGEA et BTS APV

Le plan Ecophyto et l'intégration de l'agroécologie dans la conduite et le pilotage des systèmes de culture économes en pesticides soulèvent de nombreuses questions tant sur le plan des savoirs que des apprentissages. L'agroécologie devient-elle le paradigme alternatif, concurrent du paradigme de la modernisation de l'agriculture ? Quelle est alors la place des sciences agronomiques ? Dans quelle mesure l'agronomie et son épistémologie sont-elles interrogées ? En quoi ces changements impactent-ils la façon d'enseigner et apprendre les sciences agronomiques dans les lycées agricoles ?

Le plan Ecophyto interpelle l'enseignement agricole de manière singulière en faisant mention explicite à la nécessité de contribuer à réduire la dépendance aux pesticides des systèmes de production par la formation des agriculteurs. L'enseignement agricole a été créé pour soutenir le développement de formes d'agriculture grâce à une professionnalisation des agriculteurs. Il a un positionnement original développant des projets « *à la charnière de la pédagogie et du développement des territoires, mis en œuvre par les établissements(...) et il (...) « accompagne les politiques publiques »* (DGER IEA, 2013, p. 11). Il contribue *via* son système de formation à la mise en œuvre de projets éducatifs favorisant l'adaptation des futurs professionnels et des professionnels à ces enjeux de réduction des pesticides. Par l'intermédiaire des exploitations agricoles constitutives des EPL, il est impliqué dans la mise en œuvre concrète de systèmes économes en pesticides durables et dans leur promotion.

Ainsi, la perspective de former de futurs agriculteurs pour qu'ils soient capables de concevoir, de piloter et de conduire des systèmes économes en pesticides nous amène à discuter les enseignements-apprentissages pertinents pour atteindre ces capacités dans la perspective de « produire autrement » : nos analyses portent sur deux diplômes professionnels, le Bac professionnel Conduite et Gestion de l'exploitation Agricole (Bac pro CGEA) et le Brevet de Technicien Supérieur Agronomie, Productions Végétales (BTS APV). Le Bac pro CGEA est un diplôme emblématique de l'enseignement agricole. Il correspond au niveau minimum requis par le biais de la formation initiale donnant accès à la capacité professionnelle. Cette dernière donne accès à des dotations de fonds publics pour s'installer en tant qu'agriculteur professionnel. Le BTS APV donne également la capacité professionnelle et permet d'accéder au métier de conseil en agriculture, entre autres. C'est à la fois pour conduire une analyse comparative et parce que nous avons vu le rôle joué par le développement dans l'accompagnement des mutations de l'agriculture dans le premier chapitre que nous avons choisi ce deuxième référentiel (prescription d'un conseil adossé à un usage des pesticides de synthèse pour protéger les cultures).

Dans une première partie, nous proposons de discuter en parallèle à quels changements les sciences agronomiques apparaissent confronter et les perspectives qui selon nous en découlent pour la conception et la mise en œuvre de situations d'enseignements-apprentissages en sciences et techniques agronomiques dans les lycées agricoles (ces derniers éléments figurent en grisé dans le texte après des points discutés sur les sciences agronomiques).

Notre recherche vise à mettre en lumière ce que la perspective d'enseigner-apprendre à concevoir, à conduire et à évaluer des systèmes économes en pesticides soulève comme questions sur le plan de la transposition didactique pour la discipline agronomie : quels sont les points d'appui dans le système pour intégrer le changement de paradigme dans la protection des cultures enclenché par le plan Ecophyto (dans les curricula, dans les notes de service, avec le réseau national d'appui dédié « agronomie Ecophyto ») ? Les controverses à ce sujet sont nombreuses. Des recherches dans le champ de la didactique des questions socialement vives ont mis en évidence des formes de résistance, des difficultés exprimées par des enseignants pour conduire la transposition didactique de sujets controversés. Des thèmes touchant de près la pratique de l'agriculture comme le développement durable (Simonneaux et Simonneaux, 2009), les biotechnologies « agricoles » (Simonneaux, 2000), le bien-être animal (Vidal et Simonneaux, 2014) ont mis en évidence des difficultés tant sur le plan épistémique- la prise en charge du passage des savoirs de référence aux savoirs à apprendre, que sur le plan axiologique- un positionnement difficile des acteurs de la situation didactique qui oscille entre neutralité et engagement (Kelly, 1986). Des recherches récentes ont révélé des résistances dans la transposition didactique chez des enseignants en agronomie intervenant en Bac pro CGEA et un décalage des risques perçus au sujet des pesticides chez les enseignants et leurs élèves (Frère, 2014).

Nous supposons que le curriculum du BTS APV permet de mieux préparer les futurs agriculteurs à l'atteinte des objectifs de réduction des pesticides recommandés par le plan Ecophyto dans une perspective agro-écologique. La deuxième partie aborde une présentation de l'enseignement agricole et analyse la façon dont le système d'enseignement agricole a accompagné et/ou pris en compte les évolutions de l'agriculture pour mettre en lumière des forces et des faiblesses. La troisième partie traite spécifiquement de la contribution de l'enseignement technique agricole à la sécurisation des usages des produits phytosanitaires et à la réduction de leurs emplois dans les systèmes de production à partir de l'analyse des référentiels deux diplômes professionnels, le Bac pro CGEA et BTS APV. La quatrième partie discute l'évolution des cadrages prescriptifs décidés par la Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche (notes de services, circulaires) et des appuis du système national d'appui en charge d'opérationnaliser l'action 16 du plan Ecophyto. La cinquième partie, à la lumière de nos analyses pose des points structurants pour construire une expérimentation en didactique des questions socialement vives (qui s'appuie sur le chapitre 1, 2, 3 et 4).

1. Ecophyto et la transition agro-écologique : une invitation à une reconfiguration de l'agronomie et à la façon de l'enseigner-l'apprendre dans les lycées agricoles.

Cette partie discute des implications pour le champ technoscientifique de référence agronomique et pour la discipline scolaire « agronomie » du changement de paradigme dans les stratégies de protection des cultures générées par le plan Ecophyto.

« Naturellement », les politiques, les professionnels de l'agriculture et les scientifiques eux-mêmes enjoignent les sciences agronomiques, considérées comme essentielles, à instruire les solutions pour les changements à opérer. L'agronomie est incontournable, en raison de sa (i)place singulière et (ii)d'un positionnement particulier dans la production des savoirs mobilisés pour la pratique de l'agriculture. Mais ce nouveau contexte d'exigences questionne son épistémologie. Nous situons notre discussion dans le cadre de l'agronomie défini *sensu stricto* et qui s'intéresse à la conduite des processus de production végétale à l'échelle de la

parcelle et du système de culture³⁹⁶. Selon nous, quatre points chauds sont au cœur des changements dans les approches en agronomie : (i)reconsidérer la complexité du vivant comme levier de gestion des systèmes économes en pesticides, (ii)considérer le milieu biophysique comme une entité agissante, (iii)considérer les acteurs de terrain comme des producteurs de savoirs à part entière et (iv)redonner une place centrale aux porteurs d'enjeux dans les solutions à découvrir ou à proposer. Toutefois, afin de mettre en évidence les changements pour l'agronomie qui s'opèrent, nous commençons par un rapide retour sur l'histoire récente de cette discipline scientifique.

Ces quatre considérations que nous développons interpellent en retour la façon dont l'agronomie est enseignée et apprise dans les lycées agricoles. Concevoir des systèmes économes en pesticides et les conduire sous tendent des changements profonds et difficiles tant sur le plan cognitif que sur le plan des actions des agriculteurs. La question des apprentissages est centrale et est à explorer : quelles connaissances (concepts, méthodologies, démarches) asseoir chez les futurs agriculteurs, en particulier dans le cadre des enseignements proposés en sciences et techniques agronomiques ? Quelles sont les pratiques et/ou les attitudes attendues chez les futurs agriculteurs favorisant la prise en compte du changement de paradigme dans la gestion de la protection des cultures en particulier leur permettant d'agir en situation incertaine³⁹⁷ ? Selon nous un des enjeux majeurs est de développer des formes de raisonnements complexes, fondant les prises de décision et les actions, dont nous allons discuter les différentes facettes. Nous posons ces éléments de discussion dans le texte en grisé.

1.1 Une construction diachronique du champ scientifique en tensions : entre théorie et pratiques, généricité et singularité

Les agronomes se sont peu penchés sur leur histoire et sur celle de l'agronomie (Denis, 2007). Cependant, l'histoire de la discipline scientifique se révèle jalonnée par une construction de savoirs variés, toujours en mouvement et en forte interaction avec les sociétés.

Un détour par l'histoire de l'agronomie

L'agronomie a (i)une place et (ii)un positionnement particuliers par rapport à l'agriculture.

(i) La pratique de l'agriculture et les problèmes qu'elle pose sont au cœur du questionnement agronomique, prenant appui sur trois objets d'étude : la parcelle (« champ ») cultivé, l'agriculteur et ses pratiques et le territoire³⁹⁸ (Doré *et al.*, 2006). Pour l'agronomie,

³⁹⁶ Rappelons que l'agronomie a un sens large et un sens restreint (Denis, 2007) et désigne un champ disciplinaire scientifique et technologique. Au sens large l'agronomie est définie comme la « science de l'agriculture », c'est-à-dire l'étude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles : les animaux domestiques et cultures sont des problématiques étudiées. Le sens restreint définit l'agronomie comme la « science qui s'intéresse aux peuplements cultivés et aux interactions de celui-ci avec le milieu et les techniques » (définition de l'agronomie dans les statuts de l'Association française d'agronomie) ou l'agronomie est « une approche diachronique et synchronique simultanée des relations au sein de l'ensemble constitué par le peuplement végétal, le climat, le sol et soumis à l'action de l'homme en vue d'une production » (Sebillotte, 1974).

³⁹⁷ Nous rappelons ici qu'un des points essentiels de rupture avec la façon de concevoir la gestion des systèmes de culture en agriculture conventionnelle. Les interventions humaines visaient à artificialiser les milieux pour les adapter aux exigences des espèces produites dans les « laboratoires », à proposer des prescriptions de pilotage des systèmes dans ce contexte au sein duquel les aléas avaient très atténués, à mobiliser les ressources comme si elles n'étaient pas finies sans toujours considérer l'horizon de leur renouvellement ou de leur épuisement.

³⁹⁸ En fait, ces trois objets d'étude ont été définis et formalisés progressivement à l'occasion d'un renouvellement de l'approche de l'agronomie en grande partie portée et promue par M. Sebillotte et ses collaborateurs. Cette théorisation repose sur la nécessité de comprendre ce qui se passe dans le champ cultivé,

l'agriculture est perçue comme « (...) lieu et condition de son application » (Sebillote, 1974, p. 5). La complexité de ces objets d'étude a imposé, de fait, une approche plurielle interdisciplinaire, nécessitant la contribution de plusieurs disciplines scientifiques. Cependant, c'est à l'agronomie qu'a été dévolu le rôle d'intégration des savoirs issus de différents champs disciplinaires (biologie, physiologique, climatologie, pédologie, malherbologie, etc) pour instruire les réponses aux questions posées par la pratique de l'agriculture. C'est pourquoi, le champ scientifique s'est longtemps cherché, en quête d'un processus qui vise à ordonner son développement, signifiant par-là une forme de distanciation vis-à-vis d'une acception de l'agronomie assimilée à un art. Elle a progressivement acquis des marques de scientificité, incarnées dans des concepts qui lui sont propres, des lois, des théories pour conceptualiser les questions et instruire les réponses. L'agronomie est originale car elle correspond à un corpus de savoirs scientifiques et technologiques très liés tout en faisant également référence à un ensemble de pratiques dites agronomiques. Les techniques dites agronomiques, techniques au sens de Haudricourt³⁹⁹ (1987) s'expriment dans des pratiques d'agriculteurs : ne dit-on pas faire de l'agronomie, c'est-à-dire mobiliser des pratiques régies par des principes reposant sur des savoirs et des démarches agronomiques... L'agronomie n'a de sens que si elle est confrontée au réel par le jeu incessant du va-et-vient théorie-pratique (Sebillote, 1974) faisant de l'agronomie une discipline définitivement tournée vers l'action : sa production scientifique vise à comprendre et à agir (« *l'agronomie ne peut que partir de la situation au champ que pour y revenir* » (*ibid.*, p. 5). Cependant, la place accordée à la mise au point de techniques dans les recherches a généré une tension entre recherche théorique et recherche appliquée.

(ii) Le positionnement particulier peut être expliqué par un affichage scientifique oscillant entre sciences dures et sciences du social et par leur contribution prescriptive dans les choix d'agriculture. Ses objets d'études ne permettent pas de rattacher exclusivement l'agronomie aux sciences biophysiques (parcelle et son fonctionnement), ni aux sciences humaines et sociales (l'agriculteur, ses pratiques et son modèle d'action). La discipline a été sollicitée à la fois comme juge et partie pour les questions agricoles. L'agronomie a joué un rôle-clé dans les évolutions de l'agriculture tant sur le plan de la production des savoirs nécessaires que sur celui de l'expertise. Elle a pris part aux décisions politiques pour définir des orientations scientifiques déclinées en grands chantiers de recherche pour l'agriculture. « *A la paille ou dans le champ d'expérimentation ou sur le terrain* », elle a œuvré à la production de savoirs, et par conséquent a promu certaines formes d'innovation et des façons de faire dans la recherche. Convoquée au titre des expertises, elle a pris part aux évaluations portant sur des questions agricoles. En fait, un agronome pouvait être à la fois dans les instances politiques de définition des orientations impliqué dans la mise en œuvre des programmes et également donner son avis dans les commissions d'évaluations de ces mêmes programmes. D'une certaine façon, la recherche agronomique a contribué à alimenter le verrouillage du système socio-technique.

Le plan Ecophyto bouscule le champ scientifique agronomique sans remettre en cause tout ce qui le caractérise, invitant les sciences agronomiques à dialoguer avec d'autres disciplines pour instruire les questions soulevées, en particulier avec l'écologie (comprendre des processus naturels pour suppléer les intrants chimiques externes) et les sciences humaines et sociales (intégrer et comprendre les dynamiques d'acteurs pour conduire les changements).

siège de multiples interactions pour y agir ensuite, amenant à concevoir une approche théorique compréhensive fondée sur une approche intégrée de la parcelle cultivée. Trois grandes étapes correspondent à la formalisation et à la prise en compte de ces objets : la parcelle cultivée à partir des années soixante-dix, l'agriculteur et ses pratiques à partir des années quatre-vingts et le territoire dès le début des années quatre-vingt-dix.

³⁹⁹ Pour Haudricourt (1987), la technique, c'est « *la connaissance des actes nécessaires à l'obtention du résultat recherché* » (p. 329).

Les sciences agronomiques se situent «à un point d'inflexion entre le passé, dominé par le modèle d'intensification agroindustriel, (...)» et de nouvelles approches qui s'appuient sur « (...) la prise en compte de la complexité du monde vivant.» (Petit et Clouvel, 2014, p. 266). Comme par le passé, la discipline vit des tensions permanentes entre la nécessité de contribuer au développement de formes d'agriculture et celle de fabriquer de l'agronomie en tant que science (Sebillotte et Papy, 2010).

Par essence, l'agronomie est une science du local puisque l'agriculture est l'activité privilégiée d'exercice de l'agronomie. Cependant, raliés à une conception positiviste de la science, des courants en agronomie ont visé la production de savoirs porteurs d'une grande genericité (Perret, 2005). Paradoxalement, cette science du local a été amenée à construire des savoirs qui ont contribué à gommer la singularité des situations. Selon Hubert (2010 ; 2012), l'agronomie a généré une « rupture épistémique concernant les savoirs sur le vivant » (Hubert, 2012, p. 126) : d'un côté des praticiens ont la connaissance du terrain et ajustent les actions en fonction du passé de la conduite et des réactions du milieu et de l'autre les chercheurs ont privilégié les travaux de laboratoires sur des objets de plus en plus spécialisés et déconnectés du monde réel avec la production de connaissances fondamentales dont la validité s'inscrit au-delà de tout contexte local⁴⁰⁰... Or un des enjeux aujourd'hui de la conception et du pilotage de systèmes économes en pesticides est de s'appuyer sur la fonction de régulation des écosystèmes et de profiter et/ou de favoriser les services de régulation biologique. Nous avons vu l'importance du concept d'agroécosystème. Il dépasse le concept d'agrosystème⁴⁰¹, familier pour les agronomes. L'agroécosystème est une unité fonctionnelle caractérisée par un fonctionnement reposant sur une communauté d'êtres vivants et un milieu. Cette unité est pilotée par l'homme à partir de la définition de stratégies de conduite des productions agricoles en vue d'atteindre des objectifs pour générer des résultats (produire des biens et des services, mais lesquels ?). L'agroécosystème est un système vivant caractérisé par des interactions multiples (biophysiques) et des mécanismes de régulation complexes conditionnant des flux de matières, d'êtres vivants et d'énergie. Cette unité fonctionnelle est un système ouvert en interaction avec d'autres écosystèmes, avec qui elle échange de la matière et de l'énergie. L'agroécosystème devient un objet d'étude à la fois pertinent pour les agronomes et les écologues à partir duquel on cherche :

- à comprendre les processus écologiques et les interactions biologiques impliquées,
- et à mobiliser ces interactions dans les processus de productions végétales (et animales).

Dans le cadre de la transition agro-écologique, les contours d'une agroécologie scientifique en construction au sein de la recherche agronomique en France semble émerger (Hubert, 2012). Les frontières de la discipline agronomie sont modulées par l'élargissement de ses objets d'étude. Les enjeux pour la recherche et pour les agriculteurs sont de décrire, de comprendre le fonctionnement de ces agroécosystèmes et dans la mesure du possible d'en déduire des principes opérant dans d'autres situations. En particulier, il devient crucial d'identifier et de caractériser les processus en jeu dans le fonctionnement des agroécosystèmes afin de comprendre les services écosystémiques qu'ils rendent. Des concepts sont empruntés à l'agronomie et à l'écologie. De nouveaux concepts émergent de ces approches scientifiques intégrées : en construction, ils ne sont pas stabilisés et sont en discussion. L'hybridation des

⁴⁰⁰ Cette rupture épistémique trouve une illustration dans les travaux visant à identifier les facteurs limitants de la production, révélant dans le même temps une tension entre un courant de recherche théorique et un courant de recherche appliquée. Une partie des recherches sur les facteurs limitants ont participé à la légitimation du recours aux techniques et aux intrants artificialisant les milieux pour les adapter aux conditions de culture : « la société incitait à développer une agriculture intensive, les agronomes ont développé les concepts et théories qui permettaient de faire face à cette demande sociale. Mais, à aucun moment, la science « agronomie » n'a considéré l'agriculture intensive et ses options comme la seule voie possible » (Sebillotte, 2010, p. 450).

⁴⁰¹ L'agrosystème désigne l'ensemble constitué par le sol, les plantes cultivées, les autres êtres vivants en interaction sur la parcelle, géré par l'homme, dans un contexte climatique.

deux disciplines favorise des approches plus intégratives afin d'appréhender la complexité du vivant et ce à plusieurs échelles : la notion de diversité fonctionnelle est importante. En cela, l'agronomie est amenée à revoir sa conception de la nature ou plutôt du milieu biophysique.

1.2. Quatre points-clés pour discuter les implications didactiques pour les sciences agronomiques enseignées-apprises dans les lycées agricoles

Comme mis en exergue en amont, le plan Ecophyto et la perspective de ne plus considérer les pesticides comme des facteurs-clés garants de la performance des systèmes agricoles conduisent à :

- construire un nouveau rapport à la complexité du vivant,
- considérer le milieu biophysique comme entité agissante,
- considérer les acteurs de terrain comme des producteurs de savoirs et de références à part entière,
- redonner une place centrale aux porteurs d'enjeux dans les solutions de voies alternatives aux pesticides.

Nous développons chacun de ces points et les perspectives qu'elles sous tendent pour les enseignements-apprentissages et/ou la discipline scolaire sciences et techniques agronomiques.

(i)Reconsidérer la complexité du vivant comme levier de gestion des systèmes économes en pesticides

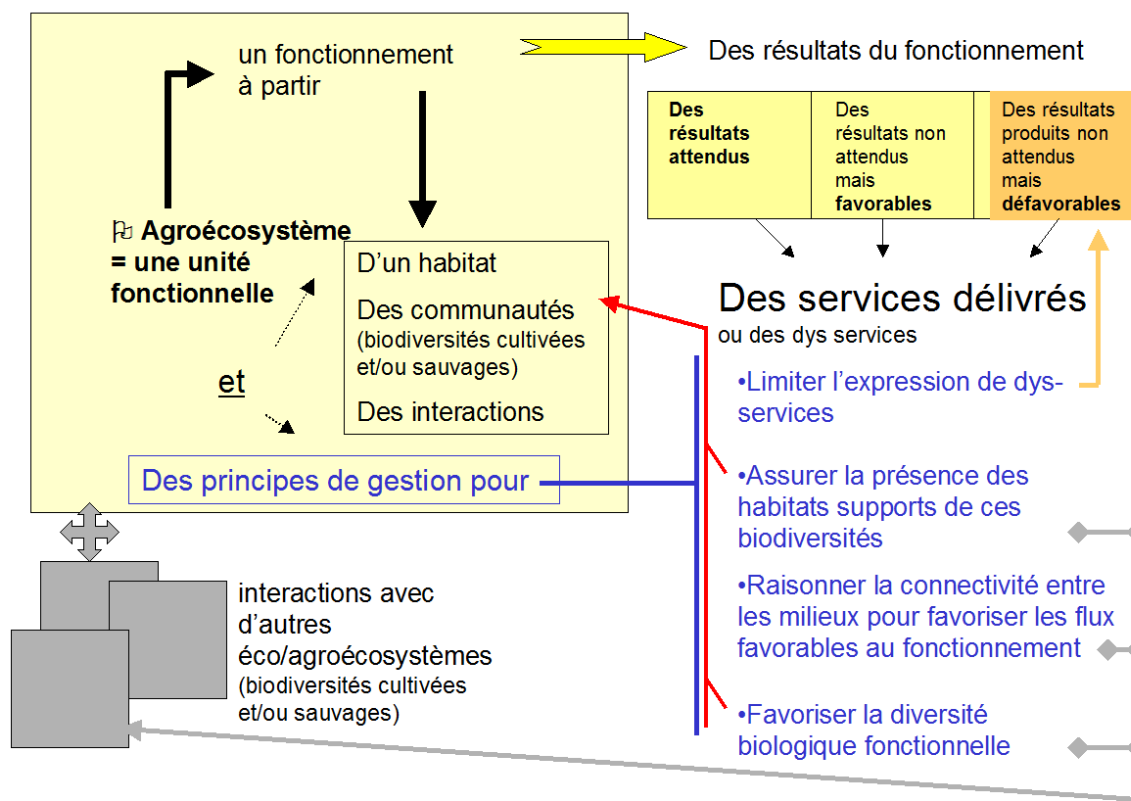
Les systèmes économes en pesticides sont divers, hétérogènes et par essence complexes. Ces systèmes biotechniques ne sont plus conçus pour fonctionner et être gérés dans des milieux dont la fonction de régulation est assurée par les pesticides. Au contraire, la conception de ces systèmes de culture repose sur la prise en compte de la diversité biologique et des fonctions que les êtres vivants assurent. La biodiversité fonctionnelle est une garantie du maintien du fonctionnement des écosystèmes, en particulier pour produire des services de régulation biologiques (MEA, 2005) mais également pour limiter les dys-services (services qui ne sont pas favorables). La parcelle cultivée et l'exploitation agricole sont intégrées dans des territoires considérés aussi comme des objets d'étude pertinents pour raisonner les processus de régulations biologiques et les conditions nécessaires pour que ces processus s'expriment. Les interactions en jeu sont nombreuses (relations multi-causales) et plus ou moins simultanées : cette configuration est à l'origine du caractère imprévisible des systèmes fondés sur des processus de régulation naturelle.

Une nouvelle approche paradigmatique de l'agronomie semble se construire. L'agronomie a cherché à adapter le milieu aux systèmes de productions en gommant la variabilité dont il était porteur. La nouvelle approche engage l'agronomie dans des démarches fondées sur la « Bio inspiration » (Griffon, 2013), au cœur de laquelle, la « nature » devient un modèle. Guillou *et al.* (2013) vont plus loin et envisagent même l'amplification des fonctionnalités des agroécosystèmes. Cette perspective doit amener à :

- raisonner la diversité biologique fonctionnelle,
- raisonner la structuration des espaces (cultivés ou non) pour assurer la présence des habitats supports de cette diversité,
- et raisonner les connectivités entre les milieux pour générer les flux nécessaires et favorables au fonctionnement de l'agroécosystème.

La figure n°37 propose une représentation simplifiée d'éléments à considérer dans la gestion des systèmes qui s'appuient sur la complexité du vivant du milieu.

Figure n°37 : La complexité du milieu vivant, un levier pour gérer les systèmes agroécosystèmes



Perspectives pour les enseignements-apprentissages et/ou la discipline scolaire sciences et techniques agricoles.

La littérature et les acteurs de terrain qui ont développé des alternatives soulignent la nécessité de revenir à l'agronomie et d'intégrer des concepts en écologie en lien avec l'approche fonctionnelle.

❶ Les stratégies d'enseignement-apprentissage doivent enrichir les raisonnements pour les choix de combinaisons de techniques agricoles qui vont contribuer à gérer les bioagresseurs. Si la justification agricole demeure (c'était vrai avant), ces combinaisons doivent également être réfléchies en termes de services à favoriser : définir leur contribution à la délivrance de services écosystémiques, tant sur le plan de la structure de l'agroécosystème que sur le plan des processus (approche fonctionnelle).

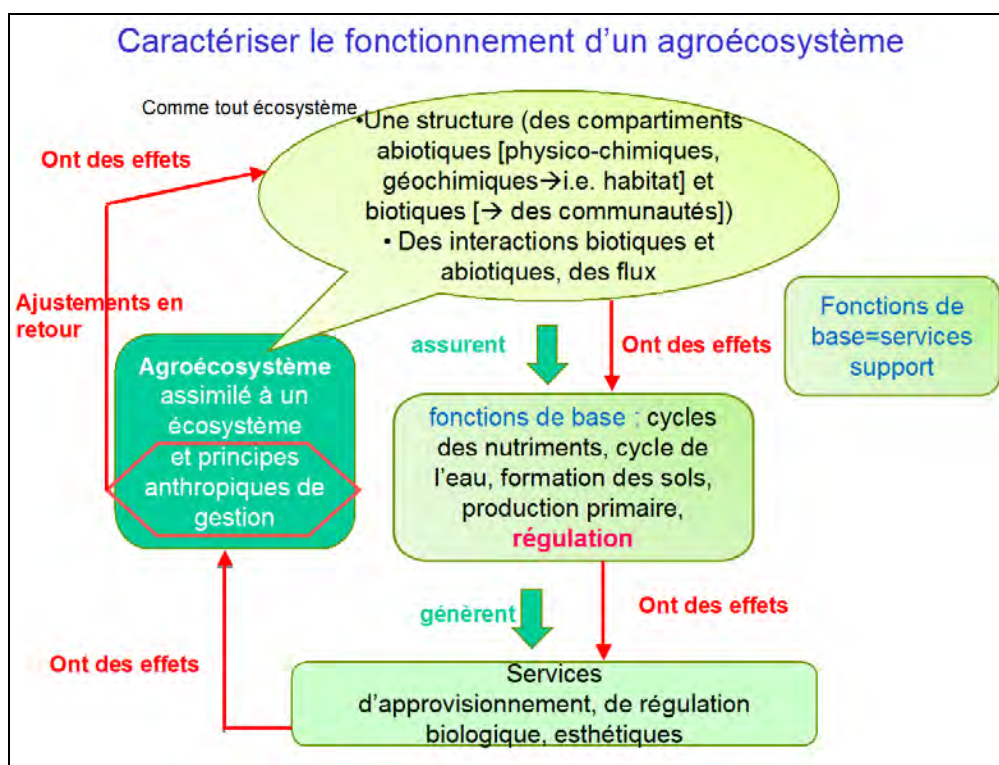
❷ L'approche système est à développer pour considérer la complexité des processus à différentes échelles en intégrant l'agencement des espaces cultivés, leurs abords et les infrastructures semi-naturelles dans la gestion des populations de bioagresseurs. Cette fois, le raisonnement des principes de gestion devrait amener les jeunes à se questionner sur le type d'habitats qu'il serait nécessaire de favoriser (et en retour les communautés associées), les types des flux et leurs intensités entre ces espaces.

❸ Les conséquences et les conditions des mesures retenues et/ou de leurs combinaisons devraient être travaillées lors des apprentissages.

(ii) Considérer le milieu biophysique comme une entité agissante

Les préoccupations liées à la protection de l'environnement (la ressource en eau en particulier) ont dénoncé les impacts négatifs sur le milieu des pratiques agricoles liées à la gestion de la protection des cultures par les pesticides. L'agronomie et les systèmes de production conventionnels ont considéré le milieu biophysique dans sa dimension restreinte de support de mise en œuvre des pratiques, milieu avec lequel il fallait composer : le milieu apparaissait un simple acteur « passif », subissant les aménagements et les effets non intentionnels des pratiques. Or la perspective de valoriser les services de régulation naturelle, impose aux praticiens et à la discipline agronomie de reconsidérer le milieu biophysique en termes d'entité agissante : l'état et les caractéristiques de ce milieu influent à leur tour sur le pilotage de l'agroécosystème (cf. figure n°38, flèches rouges dans la partie gauche).

Figure n°38 : Caractériser le fonctionnement d'un agroécosystème d'après Cancian et Magne (2015, non publié)



Perspectives pour les enseignements-apprentissages et/ou la discipline scolaire sciences et techniques agronomiques.

Les enseignements en agronomie envisagent les pratiques en termes d'impacts sur le milieu, surtout considérés sous l'angle négatif. Il devient nécessaire de discuter en quoi la configuration de l'agroécosystème est un levier pour l'expression de services de régulation ou en quoi il les perturbe.

④ Il s'agit de travailler avec les élèves de nouvelles pratiques afin de considérer le milieu biophysique comme partenaire et non en termes de domination : le milieu doit être appréhendé en termes de fragilité mais également en termes de contribution à la gestion des bioagresseurs des systèmes cultivés. C'est une véritable gageure car de nombreux enseignants évoquent leur difficulté à aborder avec leurs élèves/étudiants dans les filières professionnelles des aspects qui touchent à l'environnement qui est considéré comme une source de contraintes

et de remise en cause profonde de l'identité d'une profession. Les agriculteurs sont montrés du doigt considérés comme responsables de pollutions, à qui il serait refusé une possibilité de dialogue avec leurs détracteurs dans la société.

(iii) Considérer les acteurs de terrain comme des producteurs de savoirs à part entière

La notion de systèmes dits alternatifs cache une diversité de « mondes » et de visions du monde, avec des acteurs, des institutions et leurs soutiens, des connaissances empiriques, des conceptions sur la production des savoirs et sur ce qui fait science (Albaladejo, 2012). Des formes pionnières d'agricultures alternatives se sont appuyées sur des savoirs construits très souvent en marge des canons du schéma recherche/développement/monde professionnel/formation professionnelle pertinent pour le modèle dominant. L'agriculture biologique et l'agriculture de conservation sont emblématiques de cette configuration particulière. Les acteurs en quête de solutions à leurs problèmes se sont appuyés sur divers acteurs et ont hybridé des savoirs, en construisant de nouvelles combinaisons : ces combinaisons articulent des savoirs nouveaux, des savoirs produits dans d'autres contextes plus ou moins transformés et bien évidemment leurs propres savoirs d'expérience. Les agriculteurs ont créé des savoirs situés adaptés à la singularité de leur situation. Dans le cadre d'une d'innovation et de transition, ils deviennent des acteurs centraux dans la production de savoirs situés (Goulet, Pervanchon, Conteau et Cerf, 2008). Ils ont la connaissance du terrain (de son passé et des effets des pratiques), ils inscrivent leurs connaissances dans l'action (Doré, 2014), en mobilisant des connaissances techniques et pratiques pour l'action et dans l'action (Cerf, 1996). Cette production de connaissances repose sur la mise en réseaux des acteurs. Le réseau apparaît structurant à la fois comme creuset pour la construction des savoirs mais également comme le moyen de diffusion non hiérarchique de ces savoirs, générant des apprentissages individuels et collectifs. Ainsi, les acteurs de la recherche agronomique et du développement agricole ont davantage un rôle d'accompagnement dans le processus de transition contribuant à extraire et/ou à construire des savoirs, certes pour l'action tout en dépassant ce cadre, et à co produire également des savoirs d'action⁴⁰² (Cerf, Omon, Barbier, David, Delbos, Gagneur, Guillot, Lusson, Minas, Olry et Petit, 2012).

L'état de l'art sur les perspectives de réduction des produits phytosanitaires pour gérer les adventices dans les systèmes de grandes cultures révèle une complexité certaine et la dimension technique (la technique dite agronomique et sa maîtrise) est une dimension importante à considérer pour la mise à l'épreuve sur le terrain. Mais, le champ agronomique doit tirer des enseignements des expériences issues de l'agriculture conventionnelle et en agroécologie pour dépasser des obstacles. Selon nous, trois aspects méritent d'être discutés : (a) la place de la technique, (b) les démarches scientifiques à développer dans le champ émergent scientifique impliquant l'agronomie, (c) les formes d'interactions pour le questionnement scientifique.

- (a) Que ce soit pour les systèmes conventionnels ou pour des systèmes agroécologiques, la dimension technique a beaucoup d'importance pour les acteurs de terrain. La première dérive à dépasser est d'accorder une place hégémonique⁴⁰³ à des

⁴⁰² Cette perspective amène à reconsidérer les savoirs professionnels définis comme des savoirs pour l'action dont la validité serait directement liée au contexte de leur émergence (Sebillotte et Papy, 2010) pour les envisager aussi comme des savoirs qui permettent d'agir dans un ensemble de situations (Albaladejo, 2012).

⁴⁰³ Dans les systèmes conventionnels, les techniques dites de pointe, c'est-à-dire conformes aux critères d'intégration agro-industrielle de l'agriculture ont été survalorisées dans la recherche, dans le développement ensuite, au sein même de politiques agricoles, aux dépens de savoirs d'expérience des agriculteurs. Ces savoirs d'expérience avaient l'avantage d'être connectés à la connaissance de processus biophysiques à l'origine des états et des évolutions des milieux naturels mobilisés par des systèmes de productions agricoles. Ces savoirs ont été relégués au second plan. La place accordée à la technique (et aux combinaisons de techniques) et en fait à ces techniques de pointe par les courants agronomiques dans le raisonnement et dans la conduite des systèmes de

formes de pratiques dites alternatives, cette fois, considérées comme seules valides, en amenant les acteurs à adopter une attitude critique face à la diversité des possibles. L'agronomie peut aider. En effet, l'agriculture et les agriculteurs co évoluant avec leur contexte et leurs exigences ont été à l'origine d'un foisonnement de référentiels techniques plus ou moins alternatifs : les techniques conventionnelles sont polymorphes. Les courants en agronomie ont oscillé entre une logique d'approfondissement pour repérer et stabiliser des invariants dans les pratiques pour les faire adopter (débouchant sur la standardisation des pratiques) et « *une valorisation de singularité des contextes d'action* », s'opposant (Albadejo, 2012). Ces deux démarches sont nécessaires et à combiner car elles donnent accès à la fois à des savoirs d'actions et pour l'action : les bases d'une recherche articulant des savoirs scientifiques génériques sur les processus écologiques et les techniques agronomiques s'appuyant sur ces processus et des connaissances situées produites dans l'action et localement.

- (b) Le deuxième point amène à discuter la démarche scientifique de construction des savoirs « top-down » et les risques associés aux traductions⁴⁰⁴ successives (Callon, 1986 ; 2003). Même si les démarches de co construction associant des scientifiques et des acteurs de terrain, prenant la forme de recherches-actions, ne sont pas nouvelles en agronomie⁴⁰⁵ (Sebillotte et Papy, 2010), il y a un réel enjeu pour ce courant scientifique émergent fondé sur le décloisonnement disciplinaire agronomie/écologie/sciences humaines et sociales. Des démarches de recherche participatives devraient permettre de résoudre des problèmes liés à la conduite et à la gestion de ces systèmes complexes économes par une approche intégrée, en évitant les biais de la traduction évoquée par Callon : l'enjeu pour le collectif est de traiter le problème qui se pose aux acteurs sur le terrain et non l'interprétation de ce que les chercheurs en auront compris.

- (c) Enfin, un troisième point de discussion amène à reconsidérer les interactions entre la recherche en agronomie et les acteurs de terrain dans l'action. Nous avons évoqué une limite des approches agro-écologiques laissant le traitement des questionnements liés à la déclinaison pratique des principes de l'agroécologie aux seuls acteurs de terrain. Or, l'exercice pratique de l'agro-écologie soulève des questions sur le

culture, a eu un autre effet : elle a façonné des formes d'identités professionnelles du « main stream », favorisant la transition du paysan à l'exploitant agricole spécialisé. Dans le même temps, l'agriculture et les agriculteurs co évoluant avec leur contexte et leurs exigences ont été à l'origine d'un foisonnement des référentiels techniques plus ou moins alternatifs. Ceci a généré une tension au sein des courants de l'agronomie entre une logique d'approfondissement pour repérer et stabiliser des invariants dans les pratiques dans la perspective de les faire adopter (standardisation des pratiques) et « *une valorisation de singularité des contextes d'action* ».

⁴⁰⁴ Nous abordons dans la partie 4II du chapitre 4 le concept de *traduction* développée dans la théorie de l'acteur-réseau ou sociologie de la traduction (Callon, 1986 ; 2003 ; Latour, 1992). Afin d'aider le lecteur, nous précisons ici de manière synthétique ce que recouvre le concept de traduction : il décrit le régime de productions des connaissances scientifiques. Lorsqu'un problème se pose au monde dans lequel nous vivons, le chercheur peut être interpellé. Il instruit alors le questionnement scientifique avec ses outils (connaissances, un point de vue qui lui sont propres mais également des concepts, et les démarches spécifiques du champ scientifique dont il dépend). Il interprète donc le problème pour en extraire une partie à travailler dans son « laboratoire », au sens espace confiné pour décortiquer le problème : c'est une première traduction. Dans son laboratoire, il va construire une conceptualisation qui débouchera sur la production de savoirs : c'est la deuxième traduction, ce sont des réponses possibles au problème. Les savoirs produits sont ensuite médiatisés hors du « laboratoire » par exemple sous forme de publications, d'actions de développement, de savoirs vulgarisés pour que les acteurs initiaux concernés par le problème puisse le dépasser : c'est la troisième traduction. Ainsi trois traductions successives jalonnent les processus de construction de savoirs scientifiques.

⁴⁰⁵ Des démarches ont été initiées autour des problématiques liées à la préservation de la ressource en eau (courant des années quatre-vingt dix, gestion des nitrates et des pesticides évoquées dans le chapitre 1). Elles ont permis de finaliser la construction des principes de gestion collective impliquant des chercheurs, des agriculteurs, des collectivités, des agents de développement dans le questionnement et la résolution des problèmes soulevés.

terrain. L'agro-écologie scientifique et des formes d'agriculture agro-écologiques ont eu tendance à évoluer séparément : la première déléguant aux agents de développement la déclinaison pratique des principes. Or les problèmes émergeant sur le terrain doivent nourrir un questionnement pris en charge par la recherche sur les systèmes agro-écologiques : « *en posant parfois les connaissances empiriques des acteurs comme seule et unique source de production de référence technique pour l'agroécologie, peu de questionnements scientifiques sont finalement posés sur les connaissances à produire dans le domaine agronomique et en lien avec l'agroécologie* » (Goulet, Madga, Girard et Hernandez, 2012, p. 241). Cette perspective a sans doute privé l'agronomie d'un corpus de savoirs d'action pour l'agroécologie, en particulier en lien avec ce qui permettrait d'outiller le pilotage des systèmes économes en pesticides : ce sont des principes sur des modes de gestion de systèmes économes prenant appui sur la complexité du vivant et auxquels il faut associer une réflexion sur le système de connaissances pour piloter en situations d'incertitude. Albadejo (2012) va jusqu'à proposer de faire évoluer l'agronomie qu'il considère par certains aspects comme une forme d'« *ingénierie du contexte* » à une agronomie devenue une « *science du contexte* ».

Perspectives pour les enseignements-apprentissages et/ou la discipline scolaire sciences et techniques agronomiques.

Des termes-clés comme pluralité des savoirs, réseau, approche critique, posture accompagnateur émergent.

⑤ Dans la formation, les apprenants doivent être confrontés à la nécessité de considérer la pluralité des savoirs pour résoudre un problème qui se pose en des termes agronomiques avec une difficulté supplémentaire : les élèves/étudiants sont amenés à prendre en compte des savoirs non stabilisés et controversés et à les articuler éventuellement avec des savoirs considérés comme stabilisés. Sur le plan didactique, nous voyons plusieurs intérêts à concevoir des situations d'enseignement-apprentissage dans ce sens : les élèves/étudiants doivent reconsidérer les oppositions entre les savoirs scientifiques et savoirs d'expérience. Proposer des situations qui poussent les élèves/étudiants à discuter le contexte de construction des savoirs et à discuter les critères qui fondent leur validité pour en cerner la pertinence pour le problème à résoudre est une démarche qu'ils auront à mobiliser dans le futur professionnel. C'est une forme nécessaire de promotion de la démarche critique.

⑥ La culture du réseau est également à initier et à développer en formation. Le réseau est une force pour instruire le questionnement et les réponses aux questions : il s'agit déjà de révéler combien la mise en réseau « d'intelligences » permet d'avoir accès à plus de ressources cognitives tout en développant une démarche critique. Une autre perspective intéressante offerte par le travail en réseau s'ouvre pour les enseignants comme pour leurs élèves/étudiants. S'impliquer dans des réseaux qui abordent ces questions de reconception de systèmes donne accès à une forme concrète accessible des savoirs liés au contexte en lien avec les processus écologiques. Les établissements d'enseignement agricoles techniques sont investis dans des projets d'innovation en partenariat avec des agriculteurs, la recherche et le développement. L'action 16 du plan Ecophyto⁴⁰⁶ est très intéressante sur ce plan et le réseau thématique « agronomie et Ecophyto » du système national d'appui (SNA) pour l'enseignement agricole s'intéresse en particulier aux formes de valorisation pédagogiques des ressources qui sont produites dans le cadre de cette action⁴⁰⁷.

⁴⁰⁶ Nous avons abordé dans le chapitre 1 ce que recouvre l'action 16 du plan Ecophyto.

⁴⁰⁷ Nous abordons dans la suite du texte avec plus de précision ce que recouvre ce SNA et la place et la contribution de l'action 16 dans ce système d'appui.

(iv) Redonner une place centrale aux porteurs d'enjeux dans les solutions à découvrir ou à proposer.

Les systèmes de culture économes en pesticides sont dits innovants car ils répondent à des objectifs renouvelés orientés vers des enjeux émergents : protection de la santé, qualité sanitaire des aliments, préservation de la biodiversité en particulier des abeilles (les enjeux en termes de protection des ressources « eau et sols » ne sont pas nouveaux et demeurent des demandes sociétales fortes). Les processus d'innovation sous-tendus consistent soit à construire de nouvelles combinaisons de techniques et/ou de cultures par rapport à l'existant, soit à introduire des techniques et/ou des cultures nouvelles (Meynard, 2012a) et/ou soit à retirer des techniques comme notre thème de travail (ce sont alors des innovations par retrait (Goulet, 2008)). Les systèmes de culture alternatifs doivent être critiqués et évalués en termes de contribution au développement durable. Cependant, cette question de l'évaluation amène aussi à changer les comportements : ces systèmes doivent être évalués en considérant les porteurs d'enjeux pour qui et avec qui l'on conçoit (agriculteurs, acteurs filières, citoyens, gouvernance territoriale,...) et selon leurs priorités. Les porteurs d'enjeux sont incontournables et à intégrer dans le processus d'évaluation.

Perspectives pour les enseignements-apprentissages et/ou la discipline scolaire sciences et techniques agronomiques.

S'appuyer sur les points de vue, les objectifs et les résultats attendus par les porteurs d'enjeux (les agriculteurs, des citoyens, des consommateurs, des collectivités, des politiques, etc.), quels qu'ils soient, est important à considérer dans la construction des raisonnements à favoriser et à développer chez les élèves/étudiants. La prise en compte de ces porteurs d'enjeux sous tend également que la construction d'une solution ne se fonde pas sur une démonstration car il n'y a pas une seule issue possible mais des solutions, résultat d'un compromis entre plusieurs perspectives et points de vue.

⑦ Sur le plan didactique, former à la construction d'argumentation est un enjeu de formation important, en proposant des ingénieries qui mettent en scène des enjeux de société tout en amenant les élèves/étudiants à considérer différents point de vue (et/ou aller les recueillir). Ces situations amènent à élargir le cadre des références des savoirs et des critères d'évaluation pour trouver une solution pertinente pour les questions soulevées par l'économie de pesticides au-delà « des savoirs ou des pratiques socioprofessionnelles identifiées » (Simonneaux et Cancian, 2013) et des seuls critères technico-économiques. La solution apparaît comme un compromis : il est nécessaire de gérer des fonctionnalités des agroécosystèmes en s'appuyant sur le vivant tout en considérant l'interdépendance avec des facteurs socio-économiques et culturels pour raisonner la délivrance des services écosystémiques⁴⁰⁸.

⑧ Le résultat de cette négociation est fondé sur la construction d'arguments en agronomie entre autres pour proposer des alternatives aux pesticides : des situations d'enseignement-apprentissage pourraient amener les élèves/étudiants à aller approfondir des connaissances sur l'approche fonctionnelle des agroécosystèmes en lien avec des techniques dites agronomiques mais également à discuter les valeurs⁴⁰⁹ à promouvoir dans les solutions proposées. ⑨ C'est un nouvel exercice pour penser des formes d'interactions dans l'agroécosystème en lien avec un socio-système qui mobilise l'approche système de manière plus intégrative, cette fois.

⑩ Enfin, des apprentissages sont à développer sur l'évaluation des « coûts » des solutions sur différents plans environnementaux, sociaux, économiques, écologiques, éthiques,...

⁴⁰⁸ Les services écosystémiques sont des services écologiques auxquels les acteurs attribuent une valeur.

⁴⁰⁹ Des valeurs peuvent s'exprimer en termes de justice sociale, d'éthique, de modèle économique à défendre pour une forme d'agriculture, etc.

2. Un panorama général illustrant la contribution de l'enseignement agricole technique à la formation de futurs acteurs de l'agriculture

Cette partie aborde la contribution générale de l'enseignement agricole technique à la formation de futurs agriculteurs et de futurs acteurs du monde rural. Nous ne développons pas l'analyse spécifique de la manière dont la réduction des emplois et la sécurisation des usages des pesticides ont été prises en charge par ce système éducatif. Ce sera l'objet de la partie suivante. Nous dressons ici un panorama rapide du système enseignement technique agricole pour que le lecteur saisisse le contexte dans lequel les problématiques « pesticides » peuvent s'inscrire. Nous présentons dans une première partie l'enseignement agricole, composante du service public d'éducation et de formation. Nous précisons ensuite dans une deuxième partie comment s'est construit le rôle traditionnel de l'enseignement agricole dans l'accompagnement des mutations de l'agriculture⁴¹⁰ en mettant en exergue des forces et des faiblesses.

2.1. Présentation des missions de l'enseignement agricole « technique » et de quelques chiffres-clés

Différentes structures d'établissements publics et privés proposent des formations agricoles de l'enseignement technique. Elles diffèrent par leur statut. Nous nous intéresserons ici à l'enseignement technique agricole public.

2.1.1. Les missions de l'enseignement agricole public

L'enseignement agricole public le deuxième système éducatif public⁴¹¹ en France. Il est spécifique et complémentaire de ce qui se fait à l'Education Nationale : la parité avec l'Education Nationale a été inscrite dans les lois de modernisation agricole de 1962 pour les diplômes, les voies de formation et le statut des personnels. Il est sous la tutelle du ministre en charge de l'agriculture qui définit les politiques de formation. Celles-ci sont mises en œuvre par la Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche (DGER). Les missions de l'enseignement agricole sont « *définies dans le livre VIII du code rural et de la pêche maritime qui est consacré à l'enseignement, à la formation professionnelle et au développement agricole ainsi qu'à la recherche agronomique* »⁴¹². La partie du code rural dédiée précise les dispositions spécifiques à l'enseignement supérieur agricole et vétérinaire public aux établissements d'enseignement agricole privés sous contrat et à l'enseignement et à la formation professionnelle publics aux métiers de l'agriculture, de la forêt, de la nature et des territoires⁴¹³. Nous limitons la présentation des missions à ce dernier système d'enseignement et de formation qui est au cœur de notre recherche et pour simplifier notre propos, nous le désignons par « enseignement technique agricole ». L'enseignement technique agricole prépare aux métiers de la production, de la transformation, de la commercialisation, de la protection des milieux et des services.

Il assure 5 missions définies par la loi d'orientation agricole du 9 juillet 1999. Maintenues dans la loi d'orientation agricole de 2006, les cinq missions sont les suivantes :

⁴¹⁰ L'enseignement agricole a certes œuvré à former les futurs « travailleurs de l'agriculture » et mais il a aussi formé « ceux qu'il fallait aider à quitter l'agriculture » (Ferat, 2008 in Marshall, 2008, p. 22).

⁴¹¹ Il s'inscrit dans les réformes du système éducatif (rénovation de la voie professionnelle en 2008, réformes des lycées en 2010, réforme LMD en 201...)

⁴¹² Extrait du site www.chlorofil.fr/

⁴¹³ La loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche du 28 juillet 2010 a proposé une nouvelle dénomination de l'enseignement agricole plus en phase avec la diversité des métiers auxquels il forme : « l'enseignement et la formation professionnelle aux métiers de l'agriculture, de la forêt, de la nature et des territoires ».

- la mission formation initiale et professionnelle (formation générale, technologique et professionnelle, initiale et continue). Les formations associent un socle d'enseignements généraux, technologiques et/ou professionnels, spécifiquement déclinés dans le cadre de la politique éducative définie par le Ministre de l'Agriculture. Les établissements agricoles offrent une palette étendue de filières allant du second degré au supérieur court, du collège aux licences professionnelles : des formations de quatrième et troisième de l'enseignement agricole, des secondes d'enseignement général, des secondes professionnelles, un baccalauréat scientifique S, des baccalauréats technologiques, professionnels, des brevets de techniciens supérieurs agricoles, quelques classes de préparation aux grandes écoles, des licences professionnelles en partenariat cette fois avec des établissements de l'enseignement supérieur. Le diplôme baccalauréat professionnel Conduite et Gestion de l'Exploitation Agricole est emblématique car il prépare en formation initiale au métier d'agriculteur (système de productions végétales grandes cultures et/ou fourrages et en productions animales) ;
- la mission d'animation et de développement des territoires. Les établissements agricoles sur leur site disposent pour un grand nombre d'entre eux de halls technologiques et surtout d'exploitations agricoles. Ce sont des supports privilégiés pour cette mission ;
- la mission d'insertion scolaire, sociale et professionnelle des jeunes et à l'insertion sociale et professionnelle des adultes ;
- la mission de développement, d'expérimentation et d'innovation agricoles et agroalimentaires ;
- la mission de coopération internationale (accueil et échanges d'élèves, d'apprentis, d'étudiants, stagiaires (inscrits en formation professionnelle) et d'enseignants).

2.1.2. L'enseignement agricole en quelques chiffres

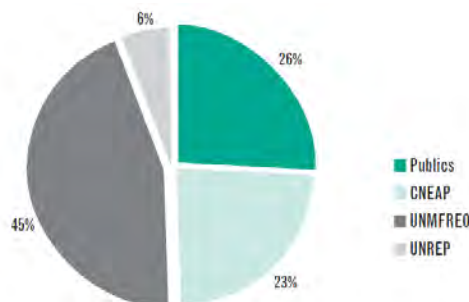
Pour présenter les effectifs⁴¹⁴ et pour avoir une idée de la taille de l'enseignement agricole technique, on utilise souvent l'image d'une grosse académie de l'Education Nationale... A la rentrée 2011, l'enseignement agricole comptait 174 104 élèves dans le second degré dont 26 007 étudiants (97.3% correspondent à des classes de BTS), 34 763 apprentis et 187 819 stagiaires en formation pour adulte, scolarisés dans 815 établissements d'enseignement technique⁴¹⁵. Le maillage des établissements couvre tout le territoire national (métropole, départements et communautés d'Outre-mer⁴¹⁶). Sur l'ensemble des cycles secondaires et du cycle supérieur court, l'enseignement public reste minoritaire avec 26 % des effectifs totaux (cf. figure n°39). On dénombre 216 établissements pour le public et 599 pour le privé.

⁴¹⁴ Un même individu peut être compté plusieurs fois (apprentis et stagiaires).

⁴¹⁵ On compte 838 établissements à la rentrée 2014.

⁴¹⁶ Pour plus de détails en ayant accès à la carte du maillage des établissements publics, activez le lien http://sigea.educagri.fr/fileadmin/user_upload/doc_prof/guerreiro/Theorie/xEAP/EA2014/public/EAP_FR2014R_EG.pdf

Figure n°39 : Répartition en pourcentage du nombre d'établissements du second degré et de l'enseignement supérieur court par statut (public, CNEAP, UNMFREO, UNREP) à la rentrée 2011 (DGER, 2012)



(1) Dont en 1990, 29 CFPAJ et en 1995, 2 CFPAJ.
 (2) L'ENTIAA de Nantes n'est pas comptabilisée.
 (3) Les établissements non affiliés ne sont pas représentés sur le graphique car trop peu nombreux.

Cette prégnance du privé s'explique par le fort taux de scolarisation dans ce type de structures des élèves/apprentis pour l'enseignement secondaire, avec près de 60% des effectifs. Cependant, pour les filières BTS, l'enseignement public domine avec 64 % des étudiants. Dans le public, le nombre des établissements a beaucoup baissé depuis 1990, se stabilisant depuis 2000. On compte en moyenne 212 élèves/étudiants/apprentis par EPL (294.5 dans le public et 182.2 dans le privé) : on évoque à juste titre des structures à taille humaine pour l'enseignement agricole technique. Les filières du secteur production représentent 35.8% des effectifs (la filière service est aujourd'hui plus attractive avec 35.8% des effectifs). On trouve sur un même site une diversité de publics (formation initiale par voie scolaire et apprentissage, formation continue ; enseignement général, technologique, professionnel). Les élèves/étudiants ne sont plus majoritairement issus du milieu agricole : en moyenne 80% d'entre eux n'en sont pas issus (Ministère de l'Agriculture, 2012).

En 2011, on dénombre 189 exploitations agricoles ce qui correspond à environ une exploitation par établissement public local. Elles sont majoritairement tournées vers la production de grandes cultures, de fourrages et les productions animales (148/190 sous la dénomination « agriculture ») et représentent de 18 105 hectares cultivés.

La formation agricole publique est délivrée dans les établissements publics structurés en Etablissements Publics Locaux d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricoles. Ces établissements peuvent comprendre plusieurs centres constitutifs : le LEGTA (lycée d'enseignement général et technologique agricole) ou le LPA (lycée professionnel agricole), le CFA (centre de formation d'apprentis), le CFPPA (centre de formation professionnelle et de promotion agricole) et/ou l'exploitation agricole et/ou l'atelier/hall technologique⁴¹⁷. Nous reviendrons sur la contribution du centre constitutif « exploitation agricole » aux dynamiques de changement des systèmes de productions en agriculture dans une autre partie.

⁴¹⁷ Près de 90% des établissements publics locaux (enseignement secondaires et supérieurs courts) disposent du centre constitutif qu'est l'exploitation agricole (il en est fait mention dans livre VIII du code rural et de la pêche dans l'article Article L811-8 alinea I3).

2.2. L'enseignement agricole : des forces et des faiblesses

Dans le monde de l'éducation français, l'enseignement agricole a été souvent positionné comme « *un laboratoire avancé de recherche* »⁴¹⁸, où des innovations ont vu le jour avant qu'elles n'émergent dans l'Education Nationale. Les rénovations successives ont été à l'origine de la mise en place d'enseignements spécifiques et singuliers. Nous proposons dans cette partie une réflexion sur le cheminement de l'enseignement agricole technique, lui conférant des forces mais révélant aussi des faiblesses. Nous avons retenu trois points : (i) l'enseignement agricole a toujours été un acteur-clé dans l'accompagnement des changements de l'agriculture française. Incontournable et efficient, il est néanmoins porteur d'un paradoxe : (ii) il a conduit au fil des années à des ruptures et a entretenu des malentendus entre sociétés et agricultures⁴¹⁹ (Marshall, 2006b). (iii) Mais fort d'une identité fondée sur ses spécificités, il a des atouts et une légitimité pour accompagner l'évolution des rapports entre agricultures et sociétés.

2.2.1. Un rôle d'accompagnement des évolutions de l'agriculture

Comme nous l'avons déjà précisé, l'enseignement agricole a joué et joue un rôle d'accompagnement des changements que traverse l'agriculture⁴²⁰. Par la formation et l'enseignement, il permet l'adaptation des connaissances et le développement des compétences des futurs agriculteurs en phase avec l'évolution du métier et participe à l'émergence de pratiques et/ou attitudes pour faire face aux changements de nos sociétés pour que les élèves/étudiants s'y insèrent activement. Pour preuve, dès sa création en 1848, l'enseignement agricole a été conçu comme un dispositif complet de formation pour les futurs acteurs de l'agriculture sous la responsabilité de l'Etat avec 3 degrés complémentaires : des fermes-écoles, des écoles régionales et l'institut national agronomique. Il devait permettre de décliner concrètement les grandes orientations des politiques agricoles en proposant une formation adaptée et de qualité aux agriculteurs et futurs agriculteurs, mais également des formations destinées aux ouvriers et aux cadres de l'agriculture. Les lois d'orientation agricole ont chacune réservé un chapitre aux orientations stratégiques d'une politique éducative pour l'enseignement agricole. La formation a été considérée comme « (...) *l'une des clés du développement* » par l'état et par la profession agricole (Marshall, 2006b). Les grands objectifs de la formation ont été inspirés par un projet d'agriculture, calqué sur le modèle anglo-saxon (cf. chapitre 1). La loi d'orientation agricole (LOA) de 1960 et son complément en 1962 ont posé les fondations de l'enseignement agricole « moderne » pour promouvoir une agriculture très productive. Cette agriculture moderne associée à un projet de forte intégration agro-industrielle se devait d'être conduite par des ouvriers et des agriculteurs compétents maîtrisant bien les techniques de l'intensification. Il s'agissait de mettre en place rapidement un enseignement de masse destiné d'abord à un public d'origine agricole issu du milieu rural. L'exigence à satisfaire l'enjeu national d'accroissement de la production agricole partout en France s'est traduite par la mise en place d'une politique éducative nationale quasi identiquement déclinée dans les territoires. Elle était fondée sur un enseignement et une formation guidée par le souci de rationaliser des pratiques agricoles, de diffuser les « bonnes pratiques », priorisant le développement de filières performantes au détriment de la diversité

⁴¹⁸ Source : <http://www.educagri.fr/lenseignement-agricole-public/pedagogie.html>

⁴¹⁹ Nous utilisons les termes « sociétés » et « agricultures » au pluriel afin de mettre en exergue un point que nous considérons comme essentiel. Au sein des groupes sociaux contemporains, la diversité des aspirations, des valeurs et des perceptions des risques entre autres expliquent les divergences de vues et l'émergence des controverses sur les projets qui engagent de larges collectifs : comme le choix de formes d'agriculture ou les formes de contribution au développement durable.

⁴²⁰ L'enseignement agricole a certes œuvré à former les futurs « travailleurs de l'agriculture » et mais il a aussi formé « ceux qu'il fallait aider à quitter l'agriculture » (Ferat, 2008 in Marshall, 2012, p. 22)

locale : le blé devait pouvoir être produit au Nord comme au Sud à partir de techniques rationnelles et efficaces. A partir des années quatre-vingt-dix, la nécessité d'infléchir une trajectoire de l'agriculture qui montrait une forme d'épuisement du modèle intensif de référence s'est matérialisée dans la LOA de 1999. Cette dernière a souligné les mutations de l'agriculture et du monde rural. Elle a reconnu la multifonctionnalité de l'agriculture et la nécessité d'un fort ancrage territorial de la pratique de l'agriculture. Elle a souligné l'exigence de prendre en compte les évolutions du métier avec le développement de la pluriactivité. Enfin, elle a affirmé l'inscription des actions dans le développement durable posant les jalons d'une agriculture durable. Cette loi traduit le souhait de rapprocher société et agricultures⁴²¹. Les retombées sur l'enseignement agricole ont été importantes : « *la loi d'orientation agricole conduit à passer, dans l'enseignement d'un modèle bipolaire à un modèle multipolaire où se croisent la production, l'environnement, l'aliment et le territoire (...). Les nouveaux enjeux appellent plutôt à une recomposition et une reconstruction de ces savoirs en les reliant ou en les intégrant mieux au sein d'objets complexes (...). Les enjeux de la LOA renforcent la nécessité de l'accès au sens de ce que l'on enseigne* » (Marshall, 2002, p. 16).

A la fois sensible aux évolutions du contexte, sous le coup d'objectifs de politique générale⁴²², le dispositif éducatif de l'enseignement agricole a su faire preuve d'une certaine réactivité « chemin faisant », inscrivant dans ses prérogatives des demandes sociétales encore peu affirmées et il a conçu progressivement un accompagnement de ses publics qui dépasse aujourd'hui le strict cadre des métiers de l'agriculture. Les ajustements n'ont pas été le seul fait des lois d'orientation : un ensemble de cadrages plus ou moins prescriptifs ont modelé les projets de l'enseignement agricole favorisant l'émergence d'innovations dans les établissements. Nous en donnons quelques exemples chronologiques : les lois Rocard, les actions de développement durable dans les exploitations des « lycées ».

Les lois Rocard en 1984 ont fortement marqué l'enseignement agricole. Elles ont défini un ensemble de missions à assurer en plus de celle de l'enseignement et de la formation⁴²³. Dans le cadre des lois sur la décentralisation, les lois Rocard ont conféré aux établissements le statut d'établissement public local (EPL) accroissant par-là leur autonomie administrative, financière et pédagogique : l'établissement peut organiser une partie de l'examen *via* le contrôle continu, peut choisir d'adapter ses enseignements en fonction des contextes et il affirme son ancrage territorial avec un conseil d'administration ouvert aux personnalités extérieures locales (prémises d'une gouvernance élargie)⁴²⁴. Les espaces ruraux ayant été le théâtre de profondes mutations, l'EPL est alors devenu un élément incontournable et central du système éducatif avec la possibilité d'adapter les formations aux contextes locaux. Ces lois Rocard ont marqué une rupture avec le modèle vertical d'éducation : c'était en quelque sorte prendre le contre pied des lois de 1960 et 1962. Les lois Rocard ont rénové les référentiels avec la réécriture des programmes sous la forme de modules d'enseignement pluridisciplinaire,

⁴²¹ Le Contrat Territorial d'exploitation issu de la LOA en est une illustration. Le concept même de contrat est novateur et précise les points de l'engagement pour une reconquête de la confiance entre société et agriculteurs.

⁴²² On entend par politique générale, des politiques éducatives (exemple : la réforme du baccalauréat professionnel), politique nationale de développement durable (ex : mise en place d'Agenda 21, engagement des lycées dans des démarches d'agriculture durable), politique environnementale (contribution à la préservation des ressources comme l'eau et la biodiversité), politique alimentaire (socle commun autour de l'aliment, la nutrition et la santé dans les formations), politique de développement de l'espace rural.

⁴²³ Les quatre missions de l'enseignement agricole en 1984 étaient les suivantes : assurer une formation technologique et scientifique initiale et une formation professionnelle continue ; participer à l'animation du milieu rural et de contribuer à la liaison entre les activités de développement ; s'engager dans l'expérimentation et la recherche agricole et para agricole ; participer à des actions de coopération internationale. En 1999, la LOA a doté l'enseignement agricole d'une cinquième mission : la mission d'insertion scolaire, sociale et professionnelle des jeunes et d'insertion sociale et professionnelle des adultes.

⁴²⁴ En particulier, le président du conseil d'administration est une personnalité extérieure, souvent un représentant de la profession agricole.

signifiant le caractère complexe de la pratique de l'agriculture à la fois dans sa dimension technique, économique et sociale⁴²⁵. L'inscription de l'agriculture dans le développement durable a débuté avant la LOA de 1999. A partir de 1993, le ministère de l'agriculture a promu un ensemble de projets sur les exploitations des « lycées » destinés à mettre en œuvre concrètement le développement durable dans des activités de la ferme de l'EPL pour en améliorer la durabilité. Les projets devaient aussi présenter une dimension éducative invitant les équipes pédagogiques à s'impliquer afin de construire des actions éducatives déclinant concrètement le développement durable.

Aujourd'hui, des appels à projets favorisent l'implication des établissements, de leurs équipes éducatives et des élèves/étudiants dans des projets visant à réfléchir à l'amélioration de la contribution des agricultures au développement durable. Ces projets conduisent à concevoir concrètement des actions dans ce sens et à les mettre en œuvre⁴²⁶. La problématique de réduction de l'emploi des produits phytosanitaires fait partie de ces appels projets dans le cadre de l'action 16.

2.2.2. Des ruptures vécues par l'enseignement agricole technique, formes de faiblesses à dépasser

Au cours de son histoire récente, l'enseignement agricole a été traversé par trois ruptures. Il a généré la première (en lien avec la segmentation des champs professionnels des différentes filières d'enseignement), mais a subi les deux autres (rupture épistémique amenant à survaloriser dans les formations les savoirs issus de la recherche et du développement, enseignement technique et professionnel fondé sur l'appropriation d'un paquet technique normalisé). Par souci légitime de bien insérer professionnellement des jeunes formés⁴²⁷, l'enseignement agricole a proposé des enseignements dans une logique sectorielle propre à chacun des grands secteurs pour répondre au plus vite et au mieux aux besoins des professionnels⁴²⁸. « *Des ruptures de continuité entre savoirs et compétences* », entre « *la production et l'alimentation* », « *l'agriculture et la nature* » ou l'environnement, « *la*

⁴²⁵ Le brevet de technicien agricole est rénové. C'est un diplôme emblématique car ce niveau de formation professionnelle donnait la capacité professionnelle (nécessaire pour s'installer en agriculture et ouvre des droits à des aides de l'état). Les modules rédigés de manière pluridisciplinaire et des démarches et le module « connaissances et pratiques sociales » dont introduits pour cerner la relation de l'homme à son environnement.

⁴²⁶ De nombreux appels à projets concourent à ces visées avec des entrées toutefois différentes. Les exploitations des lycées sont en première ligne car les actions font partie de la mission de démonstration et d'expérimentation des EPLFPA : la « ferme » représente un des lieux où les références professionnelles peuvent se construire en interaction avec des publics divers comme les professionnels, la recherche, le développement et l'équipe éducative et enfin les élèves et les étudiants. La circulaire du 27 juin 2008 (circulaire DGER/SDRIDCI/C2008-2009) fait encore référence aujourd'hui pour envisager la transition agroécologique souhaitée par le ministre en charge de l'agriculture (projet agro-écologique pour la France » présenté par le Ministre le 18 décembre 2012, consultable en ligne : <http://agriculture.gouv.fr/Produisons-autrement>). Cette circulation aborde l'« *émergence et diffusion de pratiques agricoles durables : stratégie de l'enseignement agricole* ». Elle présente un cadre global d'actions définissant des thématiques prioritaires d'intervention afin de faire émerger des pratiques agricoles innovantes sur les fermes des lycées pour préserver la biodiversité [biodiVEA], pour réduire les intrants [dont Ecophyto], pour engager une transition énergétique, pour mettre en œuvre des systèmes agrobiologiques, pour préserver les ressources en eau, pour mettre en conformité les structures avec les normes Haute Valeur Environnementale. Notre recherche s'intéresse plus spécifiquement aux contributions alimentant le « produire autrement » dont l'entrée affichée est la réduction et la sécurisation des usages des pesticides.

⁴²⁷ Le taux d'insertion des jeunes diplômés est très élevé. En 2011 le taux net d'emploi à 45/33 mois est de 87,8 % pour l'enseignement technique agricole avec 93,4% pour les baccalauréats professionnels (Bac Pro) et 93,9% et pour les brevets de technicien supérieur agricole (BTSA). Le taux net d'emploi (TNE) correspond à : « individus en emplois / (individus en emplois + individus en recherche d'emploi) » (DGER, 2012).

⁴²⁸ En effet, pour définir les contours du métier, les référentiels de diplôme des filières professionnelles comportent un référentiel professionnel co défini par l'administration et les partenaires professionnels. Ces derniers expriment des attentes en terme d'activités, de savoirs et des savoir-faire.

production et services » (Marshall, 2006a, p. 4) se sont progressivement installées en raison de la juxtaposition des cursus visant des familles de métiers. Une autre forme de rupture, que nous avons évoquée en amont a été vécue par le monde professionnel agricole ; elle n'a pas épargné l'enseignement agricole technique. Elle concerne la rupture entre les savoirs scientifiques, technologiques et les compétences promues pour soutenir des agricultures intensives dépendantes des intrants « chimiques », et les savoirs et les compétences pour composer avec la complexité du vivant et les incertitudes du contexte. Bonneuil (2006) et Hubert (2010) parlent de « *rupture épistémique concernant les savoirs sur le vivant (animaux d'élevage, cultures végétales et ressources naturelles)* » (p. 94). Les savoirs et les compétences estimés nécessaires à la gestion et à la conduite des systèmes de production ont été très orientés par le souci de rationaliser la production dans des contextes biophysiques volontairement transformés pour réduire la complexité du vivant. Les raisonnements afférents se sont complexifiés sur des effets des techniques à court terme et sont devenus dans le même temps moins complexes sur la gestion du vivant. Dans les formes d'agriculture dites modernes, les savoirs construits par des agriculteurs praticiens pour la conduite des processus de production dans un contexte qu'ils connaissaient ont été supplantés par les savoirs construits dans les laboratoires et les parcelles d'expérimentation dont la portée était plus fondamentale (enseignement de masse techniciste). Les savoirs considérés comme valides et délivrés par l'école étaient d'abord fondés sur les savoirs académiques laissant peu de place aux savoirs locaux et aux savoirs d'usage des agriculteurs (Bonneuil, 2006). Mais ce type de rupture épistémique peut aussi trouver son origine dans la structure même des référentiels de formation⁴²⁹ des diplômes avant 1998. Les « programmes » d'enseignement-apprentissage étaient rédigés en se fondant sur la pédagogie par objectifs déclinant dans chacun des modules les objectifs à atteindre pour satisfaire l'objectif général, tout en donnant une cohérence interne, facilitant la progressivité des apprentissages. Cette forme pédagogique est moins bien adaptée aux traitements des thèmes ne répondant pas à une logique disciplinaire, qui par essence se nourrissent d'un ensemble de disciplines et qui reposent aussi sur l'expression de valeurs, la prise en compte de la perception des risques et des incertitudes des acteurs. Ces éléments caractérisent les sujets de société qui sont complexes et difficiles à appréhender. La question de la contribution au développement durable illustre parfaitement la problématique et la difficulté à la surmonter pour conduire les enseignements-apprentissages.

Enfin, la dernière rupture concerne l'évolution de l'acceptabilité des risques chez les agriculteurs et les futurs agriculteurs. L'enseignement a contribué à diffuser un paquet technique⁴³⁰ donnant l'illusion de maîtriser une grande partie des sources d'aléas : climat, hétérogénéité des milieux, bioagresseurs. Les enseignements techniques et professionnels ont œuvré à l'appropriation d'un paquet technique normalisé par les élèves/étudiants. Ce paquet technique avait pour finalité la réduction des aléas. Il a permis de sécuriser le processus de production donnant l'illusion de faire reculer les facteurs limitants. A ce titre, l'exploitation des lycées agricoles a joué un rôle singulier dans cette évolution : intégrée dans des actions pédagogiques, elle contribue à la formation des jeunes et des adultes. Tout en étant un support d'apprentissage professionnel, « la ferme » se devait de concilier la performance économique pour des systèmes de production proches de la réalité professionnelle du territoire : elle devait « (...) être crédible à la fois vis à vis des élèves et vis à vis des agriculteurs »

⁴²⁹ Nous développerons dans le paragraphe n° 3.3. l'architecture d'un référentiel de diplôme professionnel. Le référentiel de formation correspond au programme des enseignements-apprentissages : les contenus disciplinaires et pluridisciplinaires organisés en modules d'enseignement (unité d'enseignement cohérente).

⁴³⁰ Pour simplifier, le paquet technique comporte des démarches et des techniques pour simplifier le milieu, pour en améliorer « les aptitudes » tout limitant les sources d'hétérogénéité, des informations assez standardisées pour la conduite des productions suivant le paradigme de la modernisation agricole. L'évaluation de la performance du système repose sur un nombre réduit de critères (surtout liés au niveau de rendement). A en parallèle, le contexte socioéconomique laisse à l'agriculteur peu de prise sur le marché et ses processus de régulation.

(Marshall, *ibid.*, 2006), contribuant à révéler et à promouvoir une forme d'excellence dans l'agriculture. Or, les systèmes alternatifs trop en rupture avec le contexte socio professionnel de référence des apprenants génèrent des remises en question porteuses d'incertitudes sur le plan des connaissances et des valeurs aussi bien auprès des publics en formation qu'auprès des professionnels qui participent à la mise en œuvre des formations (maîtres de stage et président du conseil d'administration). Le positionnement en termes d'excellence professionnelle de l'exploitation support hérité de prérogatives liées à l'intensification a entre autres contribué à rendre plus difficilement acceptables des voies alternatives perçues comme plus risquées et/ou davantage porteuses d'incertitudes dans certains contextes.

L'identité professionnelle des enseignants de sciences et techniques a été façonnée par la nécessité de contribuer à promouvoir des principes et des techniques de l'intensification, considérée comme une forme d'excellence en agriculture (Simonneaux, 2000). La rationalité techniciste des enseignements délivrés en agronomie ont visé une maîtrise des raisonnements autour de l'usage d'un paquet technique (optimisation de l'usage des intrants chimiques poste par poste entre autres à partir des savoirs technoscientifiques) et la maîtrise des techniques professionnelles conformes à cette forme d'intensification. Ce type de rationalité est encore perçue par les enseignants et par leurs élèves comme l'expression d'une forme de compétence chez l'enseignant de sciences et techniques agronomiques : il se doit d'être d'abord un bon technicien et faire référence au genre professionnel exploitant intensif, face à des élèves en filière production pour être crédible. Les enseignants expriment également une autre rationalité que Simonneaux (*ibid.*) définit comme une rationalité critique. Cette autre rationalité ouvre la voie à des enseignements-apprentissages d'alternatives au modèle productiviste dominant décrié, ne répondant plus aux exigences de la durabilité. Aujourd'hui, comme nous le préciserons plus loin, les enseignants vivent une tension, voire « un mal-être » liés à la superposition de ces deux formes de rationalité : « (...)une crise identitaire est apparue du fait du décalage entre leur culture disciplinaire et les nouvelles demandes sociales » (Simonneaux, 2000, p. 47). La difficulté à aborder des sujets controversés est en partie expliquée par une culture disciplinaire qui :

- pose la primauté des savoirs technoscientifiques,
- bride l'expression des doutes au sujet des innovations issues de la recherche,
- et qui pose la neutralité du point de vue comme une éthique professionnelle. Les enseignants en formation expriment également les mêmes difficultés- conduisant parfois à un enfermement disciplinaire : par exemple sur l'usage des biotechnologies en agriculture (Simonneaux, 2000) ou sur l'impact de la réintroduction de l'ours ou la réapparition du loup en France (Simonneaux et Simonneaux, 2009). Les problématiques liées à la conception de systèmes économes en pesticides permettent de révéler également ce type de conflit entre une rationalité technique et une rationalité critique (Frère, 2014). Nous approfondissons cet aspect plus loin dans le texte.

Paradoxalement, dans le même temps, l'enseignement agricole a su ajuster les contenus de ses formations et les filières aux besoins émergents.

2.2.3. Une légitimité et des atouts pour aborder des questions agricoles et des questions de société qui dépassent le cadre agricole

La légitimité de l'enseignement agricole technique à traiter des questions agricoles repose en partie sur le fait que son offre de formation professionnelle propose des *curricula* qui mettent l'acte de production agricole au cœur de la formation. L'architecture des référentiels et les dotations enseignantes permettent de construire des ingénieries pédagogiques qui se fondent sur la nécessité à faire vivre la complexité aux apprenants, à la fois en termes de complexité du vivant mais aussi en termes de complexité de l'action. Les atouts reposent sur la diversité des projets conduits dans les établissements et les projets éducatifs. Ils offrent la perspective

d'amener les élèves/étudiants à construire une opinion éclairée (Simonneaux, 2010), à considérer les impacts des pratiques agricoles à différentes échelles spatio-temporelles, à questionner les choix de société en termes de systèmes d'alimentation et de leurs conséquences. En retour, ils sont incités à se questionner eux-mêmes sur leur positionnement et leur implication dans le développement durable.

Des actions éducatives qui confrontent les élèves/étudiants à la complexité du vivant et de l'action et à celle de maintenir un lien au vivant

Dès 1960, l'enseignement agricole a intégré la nécessaire approche de la complexité des systèmes vivants et de l'action. Les stages collectifs d'étude du milieu en sont un exemple. Ils ont posé la nécessité du décloisonnement disciplinaire pour appréhender les objets complexes : les jalons de l'approche interdisciplinaire ont été initiés dès la naissance de l'enseignement agricole « moderne ».

Plus tard, dès la classe de seconde des enseignements pluridisciplinaires ont sensibilisé tôt les élèves/étudiants à la complexité des situations concrètes, à leur caractère pluridisciplinaire, mais aussi à la tension entre les enjeux à concilier à différentes échelles pour le développement local (échelle nationale versus échelle locale). Ces approches ont été développées dans les enseignements de l'EATC, puis EATDD⁴³¹ (Chollet, Fleury, Le Clanche et Petermann, 2001). L'exploitation agricole a joué un rôle singulier dans la mise en œuvre concrète de l'étude des objets complexes et des actions avec la démarche de l'approche globale de l'exploitation agricole (Bonneviale, Jussiau et Marshall, 1989⁴³²).

La conduite d'activités sur l'exploitation des lycées ou les ateliers/halls technologiques, les modules d'étude du fonctionnement des exploitations agricoles ou d'entreprises, les stages individuels et/ou collectifs en milieu professionnel ont entretenu le contact avec les réalités de la conduite des systèmes vivants, permettant ainsi aux élèves et aux étudiants d'enrichir leurs représentations de la complexité du vivant et de l'action, en tension dans des dynamiques territoriales.

La nécessité d'aider à construire une opinion éclairée sur différents sujets de société

L'éducation socioculturelle (ESC) introduite dès 1960 dans les référentiels de formation visait à concevoir des activités à caractère culturel ouvertes sur la société et le monde auprès d'un public essentiellement interne dans les établissements scolaires. Les enseignements se fondent sur des démarches et des activités pour favoriser le développement des attitudes critiques et la participation aux débats. Cette discipline a contribué à développer une forme d'éducation à la citoyenneté. Dans le bac STAV (Sciences et Technologies de l'Agronomie et du Vivant), l'ESC intervient conjointement avec d'autres disciplines dans un module d'enseignement pour débattre de questions éthiques et des questions de société⁴³³. Les questions socialement vives entrent officiellement dans les *curricula* comme objet de formation et d'éducation et face à cela les enseignants se révèlent démunis. Ils éprouvent des difficultés à exprimer leur point de vue devant leurs élèves face aux controverses, hésitant entre la neutralité, la partialité

⁴³¹ Le module EACT (Ecologie, Agronomie, Territoire, Citoyenneté - note de service DGER/POFEGTP/N99-2077 du 02 Juillet 1999) a été mis en place à la rentrée 1999. Il a été modifié et remplacé par le module EATDD en 2010 (Ecologie, Agronomie, Développement Durable- Note de service DGER/SDPOFE/N2010-2111 du 30 août 2010) exprimant plus fortement l'ancrage des enseignements dans une perspective de développement durable.

⁴³² Cette méthodologie a la particularité d'associer les sciences humaines et sociales et les sciences biotechniques pour caractériser la complexité dans une ferme en mobilisant l'approche systémique.

⁴³³ En 2006, dans le baccalauréat technologique STAV, la matière M8 « Gestion du vivant et des ressources », un objectif traite des « Enjeux liés au vivant et aux ressources : développer des attitudes responsables » implique l'éducation socioculturelle, la philosophie et les sciences du vivant.

et des variantes (Kelly, 2006), à conduire les débats, à prendre appui sur des savoirs en partie non stabilisés (Simonneaux, 2006).

La mission de coopération internationale permet à des élèves/étudiants de participer à des séjours à l'étranger et offre l'opportunité de réaliser une partie de son cursus à l'étranger. Ces actions invitent les apprenants à s'ouvrir sur d'autres cultures et à prendre du recul, tout en signifiant qu'ils sont aussi des citoyens du monde. A ce titre, les débats concernant les relations nord-sud alimentent la construction de leur identité citoyenne et devraient alimenter le questionnement sur le développement durable

Un ensemble de mesure pour aider les élèves/étudiants à prendre conscience des effets des pratiques sur les milieux et à évaluer la durabilité des systèmes de production

- L'introduction de l'écologie et la filière BTSA « Gestion et protection de la nature »

En 1971, dans un contexte agricole investi dans l'amélioration de la production, les enseignements d'écologie sont introduits dans des *curricula*⁴³⁴ et la filière BTSA « Gestion et protection de la nature » a été créée et mise en place pour former des gestionnaires des espaces. La naissance de cette filière souligne la clairvoyance de l'enseignement agricole dans la nécessité de prévenir les impacts négatifs sur l'environnement de l'intensification agricole, connus mais peu médiatisés.

- La création du baccalauréat technologique Sciences et Technologie de l'Agronomie et de l'Environnement (STAE)

En 1993, la création du baccalauréat technologique Sciences et Technologie de l'Agronomie et de l'Environnement (STAE) propose des enseignements fondés sur une approche intégrée pluridisciplinaire des agrosystèmes à différentes échelles afin de souligner les effets des pratiques sur le temps long et à des échelles dépassant la parcelle cultivée.

- Des enseignements et des supports pour questionner la durabilité des systèmes de production

En 1996, la création du bac professionnel Conduite et Gestion de l'Exploitation Agricole (CGEA) invite à discuter la durabilité de la conduite des processus de production à l'échelle de l'exploitation agricole et en termes d'impacts sur les milieux : la durabilité des activités est en question. C'est pourquoi, en 1998, un exemple de voie alternative au modèle dominant, l'agriculture biologique plébiscitée par les consommateurs, fait explicitement partie du référentiel de bac pro CGEA. Ce n'est pas le « catalogue des techniques » qui sera retenu mais au contraire l'approche critique comparative. La question de la limitation des usages des pesticides et la sécurisation de leur emploi fait également l'objet de demandes d'orientations pédagogiques et des prescriptions de la DGER, ce que nous aborderons spécifiquement dans le paragraphe n°3.

- Les implications dans la mission « démonstration et expérimentation »

Les actions de démonstration, d'expérimentation et de participation à l'innovation agricole associent des partenaires venant de la recherche, du développement, du monde professionnel et de l'enseignement. En particulier des actions insérées dans des réseaux sont destinées à tester et évaluer la mise en œuvre de techniques plus douces sur l'environnement sont testées sur les parcelles de la ferme. La DGER a incité les établissements et ses équipes éducatives à favoriser ce type de synergies dans le cadre d'innovations entre la recherche, le développement, les professionnels et l'enseignement technique dans le but d'améliorer la construction des connaissances en lien avec la compréhension et la gestion de la complexité par des élèves/étudiants impliqués.

⁴³⁴ A partir de 1971, un enseignement d'écologie est introduit dans le cursus qui conduit au baccalauréat d'enseignement général D' (sciences agronomiques et techniques) proposé dans l'enseignement agricole sous tutelle de l'Education Nationale et dans le brevet de technicien agricole (BTA).

L'éducation au développement durable, des démarches pour alimenter la nécessité de discuter des choix

En 2000, un enseignement en bac S « agronomie-territoire-citoyenneté » fait explicitement référence à la citoyenneté, introduite dans la note de service DGER/POFEGTP/N2000-2072 du 18 juillet 2000. Cet enseignement doit amener les jeunes à « *une réflexion dialectique sur l'importance et la gravité des périls que les activités humaines font courir quotidiennement et inconsidérément à la biosphère. Ils prendront conscience qu'une telle réflexion débouche nécessairement sur des exigences éthiques qui les concernent directement, en opposition absolue avec une conception anthropocentrique de l'exploitation des ressources naturelles. C'est ainsi par exemple que le concept de « développement durable », inscrit dans la loi d'orientation de juillet 99, a émergé de cette réalité* » p. 1 note de la note de service citée plus haut). Le bac technologique STAE rénové en 2006 pour devenir le bac technologique STAV fait un écho particulier aux préoccupations des citoyens, à la fois consommateurs et contribuables, en lien avec la sécurité sanitaire et la qualité des aliments et la qualité de l'environnement. Ce diplôme insiste davantage sur la durabilité et a introduit le fait alimentaire dans le socle commun, véritable élément de « (...) *culture commune aux différents niveaux de formation et à faire de l'aliment un objet intégrateur des savoirs parcellisé : par l'appréhension globale de la chaîne alimentaire, par la comparaison des systèmes alimentaires au niveau international, et par la clarification des exigences contradictoires et des représentations qui entourent l'aliment (qualité, sécurité sanitaire, plaisir, santé, coût)* » (Marshall, 2006). A partir de problématiques liées aux modes d'alimentation, les élèves sont amenés à explorer la complexité des facteurs à considérer et les interrelations pour retracer le système alimentaire : l'entrée par les modes d'alimentation et leurs répercussions à différents niveaux pose d'une autre manière la question du développement durable.

Enfin en 2007, l'éducation au développement durable s'invite dans les *curricula*⁴³⁵ visant à la fois des enjeux d'éducation pour les futurs citoyens et de formation de professionnels responsables. Il s'agit entre autres de « *proposer des démarches permettant à chacun de se positionner dans le débat et comme acteur* » (DGER-IEA, 2009, p. 68). D'autres « éducations à » ont par la suite émergé dans les référentiels.

2.3. Conclusion

Comme le précisait Marshall (2006b), « *il n'est jamais très simple de présenter l'enseignement agricole, que ce soit à celles et ceux qui, en France, ne le connaissent pas ou à des étrangers* » (p. 1). L'enseignement agricole a des atouts indéniables pour préparer les élèves/étudiants à aborder les enjeux de sociétés connectés à la pratique de l'agriculture, pour surmonter et dépasser les ruptures qui le traverse. Ses forces reposent « *dans la nature de sa pédagogie, dans la nature des compétences auxquelles il prépare, dans la nature de ses supports et de ses méthodes* » (*ibid.*, 2006b, p. 7). Les enseignements et la formation, sous la tutelle du Ministère en charge de l'Agriculture, sont par conséquent directement en prise avec les orientations des politiques agricoles. L'enseignement agricole est en mesure de les accompagner et nous l'avons précisé, il a même devancé des changements. Les établissements agricoles sont à taille humaine, bien insérés dans les dynamiques territoriales, ce qui leur confère des atouts pour voir des projets initiés se concrétiser. La diversité des origines socio professionnelles des élèves/étudiants/apprentis/adultes qu'il forme reflète la diversité sociale porteuse des enjeux et des débats de la société. Nous l'avons déjà évoqué mais un peu plus de

⁴³⁵ Il s'agit de la circulaire C2007-2015 12 septembre 2007 « Éducation en vue du développement durable dans les établissements d'enseignement et de formation professionnelle agricoles et dans les établissements d'enseignement supérieur agronomique, agroalimentaire, vétérinaire et paysager, publics et privés sous contrat avec l'État »

80%⁴³⁶ des élèves et des étudiants des établissements de l'enseignement agricole technique public ne sont pas issus du milieu agricole (MAAF-DGER, 2012). La grande diversité des métiers auxquels il prépare, de l'ouvrier qualifié au cadre de l'accompagnement ou de l'ingénierie de projets, dans des secteurs aussi variés que la protection de la nature, la gestion des ressources en eau, la conduite des processus de production, l'aménagement de l'espace, les services en milieu rural, la transformation, la commercialisation lui permet d'aborder un ensemble de thèmes débattus dans la société : l'environnement, l'alimentation, la biodiversité, les agricultures alternatives, le développement local, le développement durable, les équilibres nord-sud. L'enseignement agricole est un acteur-clé du système éducatif français pour renouer le dialogue entre agricultures et sociétés et il a potentiellement les ressources pour « *traiter de questions qui sont devenues des questions de société et non des questions strictement agricoles* » (*ibid.*, p. 7).

Des atouts indéniables, mais...

La relation au territoire est inscrite dans une de ses missions de l'enseignement agricole. En particulier, les exploitations agricoles des établissements sont engagées dans des actions de démonstrations, d'expérimentations, le cursus de formation prévoit des stages dans le territoire. Ces implications ne mettent pas le système à l'abri de tensions entre ce qui se fait dans l'école, ce qui est promu par la tutelle et ce que font les professionnels au dehors systémique de la complexité à partir de cas concrets confrontent les enseignants et les élèves à la diversité des références et peuvent générer des conflits socio cognitifs (Doise, Mugny et Perret-Clermont, 1975) : que retenir comme savoirs ou comme références à institutionnaliser ? Les enseignants se trouvent démunis pour prendre en charge la transposition des savoirs émergents non stabilisés injectés dans les programmes et/ou les controverses qui traversent le monde agricole : Simonneaux et Simonneaux (2009) l'ont en particulier montré chez des enseignants en agronomie et en zootechnie abordant des sujets en lien avec l'alimentation et l'agriculture.

3. Comment l'enseignement agricole technique contribue-t-il ou peut-il à alimenter la question de la réduction de la dépendance des systèmes de production aux pesticides et la sécurisation de leurs emplois ?

Cette partie aborde spécifiquement comment l'enseignement agricole technique *via* les deux référentiels de diplômes, le Bac pro CGEA et le BTS APV, contribue ou peut contribuer en termes de formation aux prérogatives posées par le plan Ecophyto en lien avec la réduction de la dépendance aux pesticides des systèmes de production et à la sécurisation des usages. Notre étude porte sur l'approche curriculaire et les perspectives didactiques qu'elles permettent ou suggèrent. Dans une première partie, nous présentons les points d'appui qui justifient la démarche que nous avons suivie pour analyser la prise en compte des exigences en termes de réduction des usages des pesticides et de sécurisation de leurs emplois dans l'enseignement agricole technique. Dans une deuxième partie, nous précisons le contexte de la réforme de la voie professionnelle. Dans une troisième partie, la contribution de l'enseignement agricole à la réduction de l'usage des produits phytosanitaires à partir de l'analyse comparée de deux référentiels, le Bac pro CGEA et BTS APV est présentée. Dans une quatrième partie, nous avons analysé la contribution à cette problématique *via* les circulaires/notes de services et dans la cinquième partie *via* l'action 16 du plan Ecophyto et le système national d'appui [SNA] avec le réseau « Agronomie-Ecophyto ».

⁴³⁶ Sur la base de données de 2011. La proportion est similaire pour les établissements du privé.

3.1. Définition d'une méthodologie pour conduire l'analyse curriculaire

Nous avons mobilisé le concept de curriculum et emprunté un cadre d'analyse à la didactique curriculaire pour construire la méthodologie d'analyse curriculaire du Bac Pro CGEA et du BTS APV.

- *Le concept de curriculum : des visées définitives différentes*

Le concept de curriculum est l'objet de définitions variées et des courants anglophones et francophones européens proposent des approches différentes : « *il existe de nombreuses définitions du curriculum. Impossible par conséquent d'être exhaustif. Toutefois, par l'examen de quelques-unes, il est possible de faire émerger un noyau mais aussi des volutes conceptuelles au travers desquelles se dessinent des divergences plus ou moins profondes* » (Crahay, Audigier et Dolz, 2008, p. 8 in Jonnaert, Ettayebi et Defise, 2009, p. 27).

Pour conduire notre analyse curriculaire, nous nous sommes appuyée sur les approches complémentaires que les courants offrent (Jonnaert, 2007) plutôt que sur leurs oppositions (Jonnaert, Ettayebi et Defise, 2009). Nous nous sommes appuyée sur le courant anglo-saxon et nord américain pour la vision large du curriculum très en amont des programmes de formation qui servent à dispenser les enseignements-apprentissages, et pour la dimension formation des acteurs de la situation didactique (les enseignants) qu'il intègre. Le curriculum désigne alors « (...) *un ensemble d'actions planifiées pour susciter l'instruction : il comprend la définition des objectifs de l'enseignement, les contenus, les méthodes (y compris l'évaluation), les matériels (y compris les manuels scolaires) et les dispositions relatives à la formation adéquate des enseignants* » (de Landsheere, 1979, p. 65). Nous avons aussi mobilisé les approches du courant francophone européen parce qu'il offre un ensemble de cadres pour l'étude fine des contenus des programmes d'enseignement-apprentissage. Dans ce courant, le concept de curriculum « (...) *désigne la programmation des contenus d'enseignement tout au long de la scolarité* » (Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre, Lahanier-Reuter, 2007 in Jonnaert, 2011, p. 136). Il s'agit d'un programme d'études qui représente « *l'organisation des contenus éducatifs, disciplinaires ou non disciplinaires, prescrits dans les instructions et les programmes officiels, mais aussi les choix et les décisions des enseignants pour construire un projet d'enseignement (...)* » (Fortin, Lasson, et Coquidé, 2013, p. 38). Dans son acception anglophone, le curriculum oriente l'action éducative dans un système éducatif et propose un horizon. Dans ses acceptions européennes, le curriculum permet de définir avec précision « *les contenus des apprentissages et des formations pour que les enseignants puissent mettre en application les orientations du curriculum dans leur salle de classe* » (Jonnaert, 2011, p. 137). Quel que soit le courant, une idée est partagée : les curricula ont une inscription dans le temps et dans l'espace et ne peuvent être discutés qu'en lien avec ce contexte daté (de Landsheere, 1979).

- *Un contexte daté pour les curricula*

Les versions de curricula de Bac pro CGEA et de BTS APV s'inscrivent dans un contexte daté, c'est pourquoi nous avons présenté le système éducatif « enseignement agricole » afin de mettre en exergue les évolutions en lien les attentes professionnelles et sociétales vis-à-vis de l'agriculture : nous avons mis en évidence des points forts et des faiblesses qui vont contribuer à définir notre dispositif de recherche.

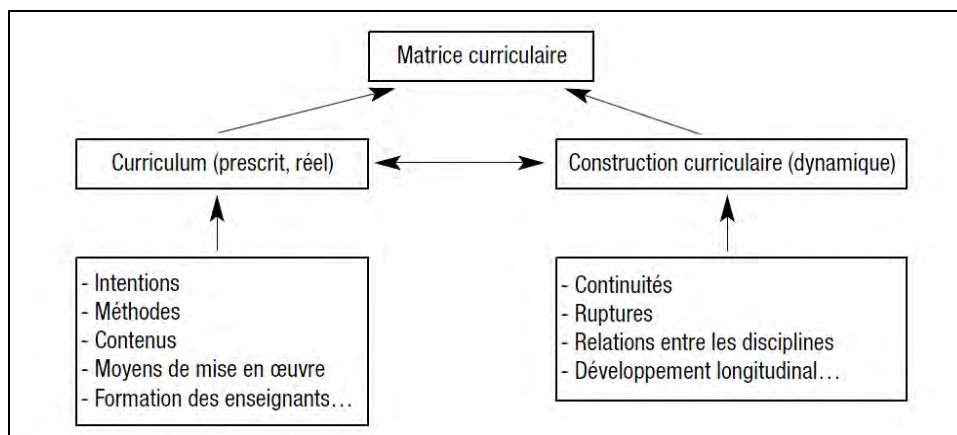
- *Quatre déclinaisons du curriculum : le curriculum prescrit, le curriculum potentiel, le curriculum co produit, le curriculum réel*

L'approche curriculaire ne peut pas être déconnectée du concept de transposition didactique (cf. chapitre 3). Quatre niveaux sont ainsi distingués dans la construction curriculaire (Martinand, 2003 ; Coquidé, Fortin et Lasson, 2010) : le curriculum *réfèrent, prescrit* ou *normé*, le curriculum *potentiel*, le curriculum *co-produit* et le curriculum *effectif* ou *réel*. Le curriculum prescrit ou normé correspond aux contenus prescrits par l'institution scolaire. Le curriculum potentiel est le résultat de choix collectifs des enseignants pour leur projet pédagogique. Il résulte des discussions et de négociations entre enseignants. Le curriculum co produit représente la traduction concrète d'un référentiel potentiel en un ensemble organisé et finalisé de séquences d'enseignement (définition d'objectifs pédagogiques et d'activités pour apprendre) défini par un ensemble d'enseignants ou d'acteurs parties prenantes des enseignements-apprentissages. Le curriculum effectif ou réel matérialise la prise en charge individuelle par l'enseignant du curriculum co produit avec ses élèves : ce que l'enseignant fait dans « sa » classe avec son groupe d'élèves. Cependant le passage d'un niveau de curriculum à un autre n'est pas automatique et n'est pas synonyme de continuités : les interactions sont ponctuelles, les acteurs sont différents et les lieux des transactions multiples. Ces considérations peuvent générer des incompréhensions voire des résistances. Pour le cas de la réduction des pesticides, Frère (2014) a montré différentes formes de résistances chez des enseignants de Bac pro CGEA (curriculum réel) et chez leurs élèves.

- *Des appuis sur le référentiel de formation, les documents d'accompagnement des référentiels, le référentiel professionnel et le réseau national thématique d'appui*

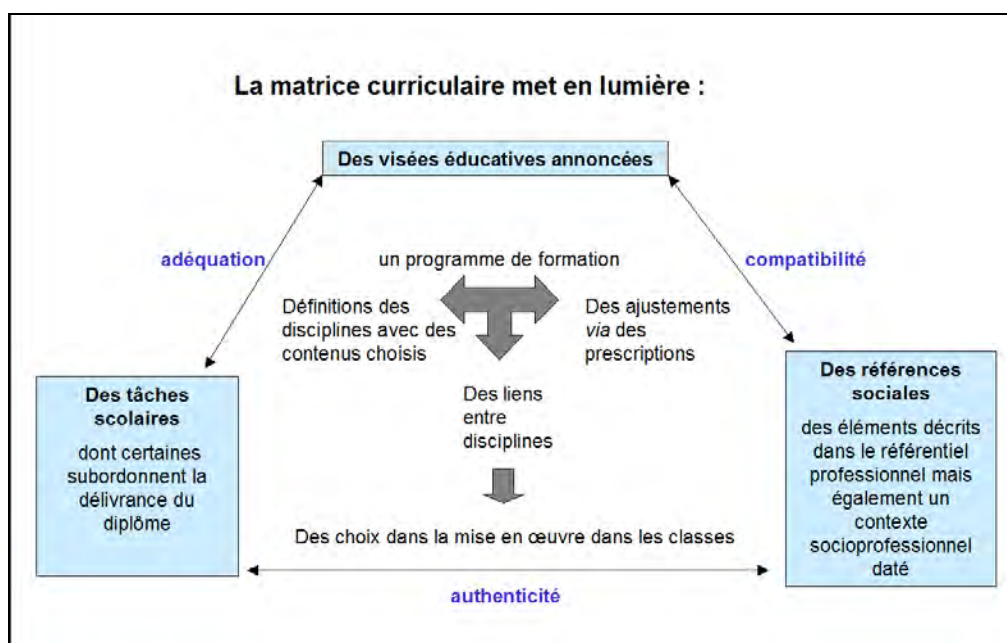
Le paragraphe 3.3.3. ci-après aborde les *curricula* prescrits du Bac pro CGEA et du BTS APV (la partie référentiel de formation). Nous analysons ensuite des formes du curriculum potentiel en prenant en considération (i) les documents d'accompagnement des référentiels produits sous la responsabilité de l'inspection pédagogique. Des résultats d'un dispositif d'appui spécifique de l'enseignement agricole technique décrit plus loin en détail (le Réseau « Agronomie-Ecophyto ») nous révèle également un aspect du curriculum co-produit. Dans la perspective d'approfondir la façon dont est prise en compte la question des pesticides, nous nous sommes appuyée sur le cadre de la didactique curriculaire selon Lebeaume (1999). Lebeaume reprend l'idée de la matrice disciplinaire introduite par Develay (1993) et envisage la notion de « matrice curriculaire » qui permet de considérer un curriculum dans son intégralité tout en l'inscrivant et dans une perspective dynamique (cf. figure n°40).

Figure n°40 : Structure de la matrice curriculaire (Lange et Victor, 2006, p. 88)



La construction curriculaire permet de comprendre le fonctionnement des disciplines dans l'enseignement et d'analyser la cohérence d'ensemble entre des tâches scolaires, des visées éducatives et des références sociales. La matrice curriculaire permet de discuter l'adéquation entre les tâches scolaires et les visées éducatives, l'authenticité entre les tâches scolaires et les références sociales et enfin la compatibilité entre les visées éducatives et les références sociales (figure n°41). Cette approche a été mobilisée dans le cadre d'étude curriculaire pour l'éducation au développement durable. Elle permet alors de discuter de curriculum pour des thèmes ayant « *des formes scolaires disciplinaires ou non disciplinaires dans leurs particularités* » (Lange et Martinand, 2010, p. 120), en phase avec le fait que des problématiques en lien avec les pesticides exigent un décloisonnement disciplinaire pour être appréhendées dans leur complexité.

Figure n°41 : Une première représentation de la matrice curriculaire



La matrice curriculaire aide également à analyser la cohérence ou les ruptures entre les différents enseignements et les niveaux des *curricula*. Elle offre un cadre pour dépasser l'approche disciplinaire en considérant, l'ensemble des disciplines d'un programme de formation et par conséquent les complémentarités, les décroissements disciplinaires voire les oppositions.

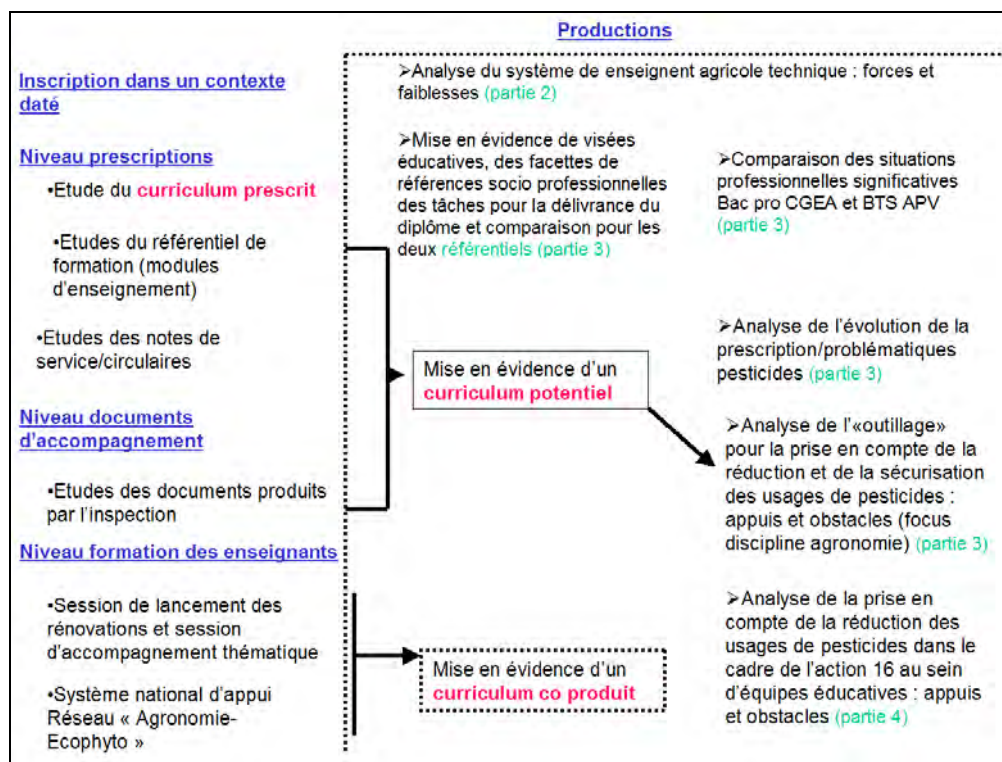
Pour construire des enseignements-apprentissages, comme pour la discipline technologie au collège (Martinand, 2003), la discipline « agronomie » ne peut pas seulement prendre appui sur la seule référence au savoir savant. D'autres références comme les pratiques sociales et professionnelles de référence sont nécessaires à intégrer : ce sont des activités sociales, professionnelles qui servent de référence aux activités scolaires, elles donnent un sens aux actions en les inscrivant dans un contexte socio-professionnel. La pratique sociale devient un «*outil pour penser les propositions d'enseignement dans leur nature et leur signification sociale*» (Lebaume, 2001, p. 136).

Ainsi, afin de repérer et de discuter la place des pesticides et le(s) paradigme(s) sous tendu(s) dans les enseignements qui permettent d'aborder la protection des cultures, nous avons analysé et comparé les modules d'enseignements dans lesquels la discipline « agronomie » est prégnante, pilotant les enseignements-apprentissages, mais également nous avons ouvert notre analyse à d'autres modules qui permettent de discuter la place des pesticides. Pour tenir compte des spécificités de la discipline apparentée aux disciplines technologiques, nous avons examiné le référentiel professionnel du référentiel de diplôme et comparé les visées et des situations professionnelles-clés révélatrices de la compétence d'un futur professionnel (Situation Professionnelle Significative notée SPS). Afin de saisir les évolutions de la prescription, nous avons étudié des notes service et les circulaires qui ont anticipé les changements vis-à-vis de la place des pesticides dans le référentiel de diplôme avant la réécriture des deux référentiels et celles qui ont mis en avant certains aspects après la réécriture des deux référentiels. Enfin, inspirée par la vision anglo-saxonne du curriculum, nous avons présenté des éléments épars du dispositif qui participe à la formation des enseignants (des sessions de lancement des rénovations, des actions dans un réseau thématique d'appui (SNA) et des actions de formations thématiques (AAT)).

Synthèse des éléments retenus pour produire la comparaison

La figure n°42 ci-après récapitule les points d'appui pour construire l'analyse curriculaire visant à mettre en évidence comment sont prises en charge des questions en lien avec les problématiques « pesticides ».

Figure n°42 : Des éléments de la démarche retenue pour l'analyse de la prise en compte des problématiques en lien avec les pesticides dans le Bac pro CGEA et le dans le BTS APV



Ce schéma synthétique précise les niveaux d'analyse et/ou sources (mentionnés en bleu à gauche), ce que l'étude bibliographique et l'analyse des référentiels nous a permis de construire (colonne « Productions »). Trois formes du curriculum ont été mises en lumière (mentionnées en rouge): le curriculum prescrit, un curriculum potentiel, un curriculum co produit (présenté dans une autre partie qui décrit le système national d'appui). Dans cette partie, nous abordons de manière systémique les évolutions du « système enseignement agricole technique » afin de mettre en évidence comment la sécurisation des usages des produits phytosanitaires et la réduction de leurs emplois dans les systèmes de production ont été prises en charge. Nous présentons un ensemble de « mesures » sensées prendre en compte la problématique des pesticides depuis 1998 et celles plus récentes que nous pouvons directement relier au plan Ecophyto. Nous avons considéré les évolutions des référentiels de diplôme (les grandes lignes des rénovations des référentiels de diplôme de la voie professionnelle), des cadrages réglementaires au fil de l'eau, l'action 16 et la mobilisation du système national d'appui⁴³⁷ (SNA). D'une manière générale, les évolutions de la prescription contribuent à adapter le système aux contextes pour tenir compte des évolutions de l'agriculture, des demandes sociétales, des grands changements écologiques, des dynamiques internationales et des choix de politique nationale. L'adaptation des diplômes de l'enseignement agricole a pris deux formes différentes :

- la redéfinition des référentiels de diplôme pour faire évoluer la sécurisation des emplois des pesticides et pour promouvoir leurs alternatives,
- l'évolution de la prescription *via* des notes de services et des circulaires dans ce sens.

⁴³⁷ Le SNA est le Système National d'Appui. Nous présentons sa contribution dans un paragraphe spécifique ci-après dans le texte.

Nous présentons dans une première partie comment la réécriture des référentiels de Bac pro CGEA et de BTS APV contribue à alimenter des objectifs du plan Ecophyto. Les nouvelles normes d'écriture des référentiels de diplôme sont présentées dans un premier point. Au vu du statut particulier du Bac pro CGEA (diplôme de référence pour l'installation professionnelle en agriculture), il apparaît donc important de cerner comment ce référentiel permet ou ne permet pas à ces futurs exploitants agricoles d'être capables de s'adapter à ce contexte renouvelé d'attentes vis-à-vis des professionnels de l'agriculture. C'est pourquoi dans un deuxième point, nous avons analysé ce référentiel afin de cerner en quoi il contribue à satisfaire les ambitions du plan. Dans un troisième point, nous avons analysé le BTS APV qui nous apparaît *a priori* mieux adapté pour former à ces exigences renouvelées en matière de pesticides. Nous terminons par une approche comparée des deux référentiels (quatrième point). Dans une deuxième partie, nous présentons comment depuis 1998, des notes de service et des circulaires ont également orienté le travail des équipes pour intégrer les évolutions du contexte en matière de contribution de l'agriculture à la réduction de la dépendance aux pesticides.

3.2. Le contexte de la réforme de la voie professionnelle et conséquence sur l'écriture des référentiels de diplôme

3.2.1. Le contexte d'une nouvelle norme d'écriture et introduction de la notion de compétence

Depuis 2007, la DGER impose une forme normalisée pour l'écriture ou la réécriture de tous les référentiels de diplôme de l'enseignement agricole technique. Cette démarche s'inscrit dans un contexte global de questionnement des systèmes de formation à l'échelle européenne et mondiale au cœur duquel apparaît la définition de compétences-clés pour l'exercice des métiers, mais également pour l'insertion sociale et l'implication citoyenne.

Le *modus operandi* retenu par la DGER pour la réécriture des référentiels de diplôme est en phase avec la stratégie dite de Lisbonne⁴³⁸ définie en 2000. La stratégie de Lisbonne pose un cadre européen à la formation visant l'acquisition des compétences-clés pour les futurs citoyens et professionnels européens, garantie de l'insertion socioprofessionnelle et d'aptitudes d'adaptation aux changements. Ces perspectives passent par la définition d'un cadre pour l'acquisition, l'évaluation et la certification de ces compétences structurantes. La stratégie de Lisbonne invite donc à harmoniser la façon dont les référentiels sont rédigés et présentés pour :

- les rendre plus accessibles et compréhensibles aux utilisateurs (enseignants/formateurs, apprenants, candidats à la validation des acquis),
- permettre une formation tout au long de la vie avec des cursus clairement définis et de manière synthétique,

⁴³⁸Pour plus de détails voir le site [europa.fr http://europa.eu/legislation_summaries/education_training_youth/general_framework/index_fr.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/education_training_youth/general_framework/index_fr.htm) consulté en janvier 2015. Au niveau européen, la mise en place d'une communauté économique d'échanges s'est accompagnée d'une volonté politique de coopération sur le plan de l'éducation. Le livret blanc de l'éducation pose la nécessité de considérer la définition de compétences-clés, partagées par les différents citoyens européens et ce pour pallier l'hétérogénéité des systèmes de formation dans les pays membres. Ces compétences pourraient être acquises par la formation initiale ou tout au long de la vie par la formation continue. Cette perspective suppose mise en place de dispositif d'acquisition, d'évaluation et de certification de ces compétences. La stratégie dite de Lisbonne promue par le parlement européen en 2000 pose les principes d'une économie reposant sur la connaissance (les ressources humaines étaient une richesse-clé de l'union européenne) qui améliorerait l'employabilité et l'adaptation aux changements des sociétés. Les recommandations du parlement et du Conseil européen ont conduit à la définition de compétences-clés pour l'éducation et la formation tout au long de la vie : les compétences clés sont celles qui contribuent à l'épanouissement personnel, l'insertion sociale, l'implication citoyenne et à l'emploi.

- offrir la possibilité de poursuivre des formations et la validation de cursus sur la base d'ECTS dans différents diplômes en France et en Europe.

Le processus de Bologne⁴³⁹ (1999) quant-à lui et les enjeux de la mondialisation de la formation ont imposé de « *dresser une organisation des compétences requises dans les différentes branches de métiers* » (Cros et Raisky, 2010, p. 108). Ceci renvoie à la construction de référentiels.

La notion de compétence est une notion qui sert d'interface entre le monde du travail, le monde de la formation et la société. Devant la diversité des acceptions, selon le champ considéré, nous mobilisons les définitions proposées par la DGER qui en a cerné les contours lors de la rénovation des référentiels de diplôme : « *une compétence est une capacité reconnue et validée à mobiliser et à combiner des ressources (savoirs, savoir faire, comportements) pour répondre de façon pertinente à une situation professionnelle. Elle est le produit par lequel une personne produit régulièrement une performance adaptée au contexte* » (DGER, 2009, p. 8). Une autre formulation est également proposée, extraite du glossaire de la DGER (DGER, 2010). Elle fait apparaître la notion de réponse « *pertinente à une situation professionnelle normale ou dégradée* » et le fait qu'« *elle ne se reproduit jamais de la même manière, il est donc difficile de la « figer » sur un document et de la formuler simplement* » (DGER, 2010, p. 2), insistant sur l'exercice de la compétence pour une famille de situations révélatrices des exercices du métier, normales ou dégradées impliquant une mobilisation intégrée des connaissances, d'attitudes et des comportements en situation. Enfin, pour appréhender la compétence d'un individu, on « *(...) peut tout au mieux repérer à un moment donné des éléments constitutifs de la compétence dans l'exercice d'activités données* (DGER, 2010) ». Ce dernier point a toute son importance dans la définition d'une des parties du référentiel de diplôme (le référentiel professionnel et les situations professionnelles significatives).

3.2.2. Une nouvelle forme d'écriture des référentiels de diplôme

Structure d'un référentiel de diplôme

Un référentiel de diplôme est « *un système de références construit à partir de l'analyse du métier et des situations professionnelles qui le composent* » (Jacquin et Tatin, 2013, p. 104). Il résulte d'un processus de négociation sociale qui débouche sur un consensus. Les enjeux de la formation professionnelle et la définition des cadres pour les cursus de formation ont mobilisé des champs scientifiques comme l'ergonomie, la psychologie, la sociologie et la didactique professionnelle. Les travaux ont mis en évidence la nécessité d'analyser finement les facettes des métiers. Ils ont permis de révéler la complexité des métiers, soulignant ainsi le processus complexe de leur apprentissage. Définir des référentiels pour conduire la formation suppose que l'on s'intéresse aux compétences mobilisées en situation de travail.

La rénovation des référentiels a bénéficié de ces travaux conduits dans le cadre de la formation professionnelle, expliquant que le processus de construction du référentiel de diplôme débute par l'appréhension des métiers auxquels il prépare. La certification des compétences devient alors le cœur du référentiel de diplôme, renouvelant les habitudes de fonctionnement des équipes éducatives (au moins en formation initiale).

Nous n'avons pas retenu une présentation détaillée de la façon dont un référentiel se construit (pas de description détaillée des acteurs impliqués, ni du fin cheminement réglementaire pour instruire la validation des diplômes). Nous ne présentons que les points qui nous apparaissent

⁴³⁹ Le processus de Bologne a pour objectif la création d'un espace européen de l'enseignement supérieur, notamment en facilitant la convergence et l'harmonisation des systèmes d'enseignement supérieur vers des systèmes plus lisibles et sur la base de trois cycles (LMD): licence/baccalauréat/master/doctorat.

importants pour discuter les contours de la contribution à notre thème de recherche de cette forme de normalisation de l'écriture des référentiels.

Les changements portent sur (i) la présentation du référentiel de diplôme dans l'arrêté, sur (ii) les parties qui le constitue et sur la forme et le contenu de celles-ci et (iii) sur les documents complémentaires qui les accompagnent (documents d'accompagnement). Nous présentons d'abord les différentes parties du référentiel de diplôme puis les différents documents d'accompagnement. Ces derniers n'ont pas de valeur prescriptive réglementaire.

- *L'intérêt de cette nouvelle écriture*

Avec la rénovation de ses diplômes, la DGER a :

- favorisé l'actualisation des contenus des référentiels de diplôme, des référentiels de formation,
- facilité une contextualisation de l'enseignement en fonction des conditions locales
- fait du référentiel de certification l'élément central pour la délivrance du diplôme
- mieux prendre en compte les différents publics en formation

- *(i) Le référentiel de diplôme est une annexe de l'arrêté*

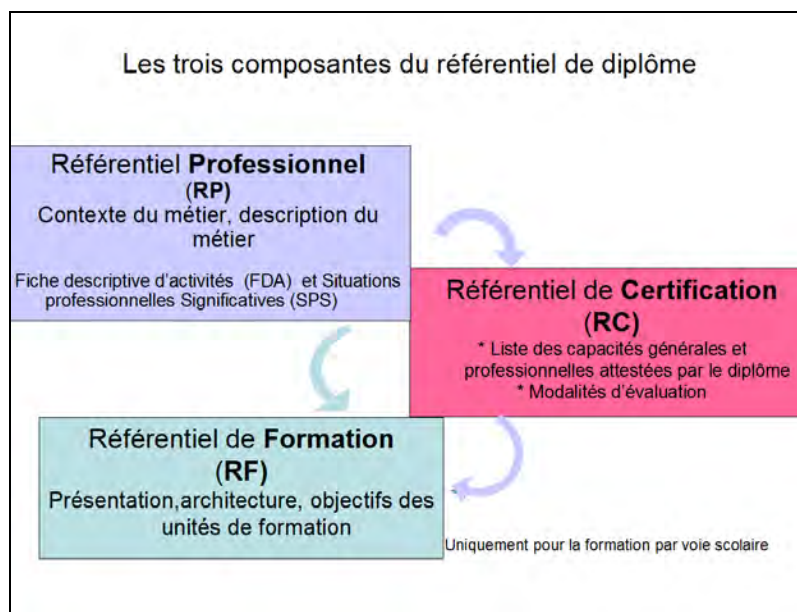
Contrairement à l'architecture antérieure du référentiel de diplôme où il constituait une partie du corps de l'arrêté, le référentiel de diplôme devient une annexe de l'arrêté de création. Il conserve donc une valeur réglementaire prescriptive et une référence juridique en cas de litige. L'extraction du corps de l'arrêté allège considérablement la procédure des réécritures du diplôme, même s'il est conçu pour avoir une certaine permanence dans le temps. Rédigé de manière synthétique, la nouvelle normalisation de l'écriture lui confère un format allégé (environ 50 pages). Il rassemble les éléments incontournables qui font sens dans le diplôme pour la famille de métiers à laquelle il prépare. Les termes employés sont accessibles aux usagers (parents, élèves, professionnels). Le référentiel de diplôme est à l'interface entre un monde de l'école (le dedans) et une société (le dehors) : il représente ainsi un outil de communication.

- *(ii) Les différentes parties du référentiel de diplôme*

Un référentiel de diplôme est composé de trois sous référentiels : le référentiel professionnel, le référentiel de certification, pièce nouvelle apparue lors de la réécriture et le référentiel de formation.

La figure n°43 reprend les différentes parties qui constituent un référentiel de diplôme.

Figure n°43 : Les trois composantes du référentiel de diplôme



Le référentiel professionnel

Le référentiel est produit à partir d'un travail d'ingénierie sous la responsabilité des DRIF (Délégué régional d'ingénierie de formation)⁴⁴⁰ en amont sur la base d'enquêtes sur les emplois et les métiers dans leurs contextes visés par le diplôme. Les DIRF exercent également leur expertise pour « explorer les évolutions qui préfigurent l'avenir » (Jacquin et Tatin, 2013, p.108) pour les intégrer dans le référentiel professionnel. Le référentiel professionnel est composé de quatre parties :

- une présentation du contexte socio-économique et des emplois visés par le diplôme,
- la fiche des activités décrit de manière exhaustive activités et fonctions qu'un titulaire de diplôme peut exercer après plusieurs années de pratique professionnelle. Elle a un rôle informatif ouvert à tout public, résume la diversité des situations et des contextes d'exercice du « métier ».- la liste des Situations Professionnelles Significatives (SPS) est construite par approche par compétence. Les SPS sont des situations professionnelles-clés au cœur du métier. Si elles sont maîtrisées, elles sont reconnues comme révélatrices de la compétence du professionnel au travail. Elles sont organisées par champs de compétences (regroupement logique des SPS en rubriques pour rendre compte des différentes composantes de l'emploi) et elles sont précisées par des finalités de travail. Elles font l'objet d'une description détaillée dans un document complémentaire, le référentiel de compétences.

Le référentiel de certification

Il est constitué par :

- la liste des capacités générales et des capacités professionnelles exigées pour certifier de l'obtention du diplôme. Elles sont en nombre limité (environ une quinzaine en moyenne) et sont déclinées en sous-capacités. Une capacité « exprime le potentiel d'un individu en termes de combinatoire de connaissances, savoir faire, aptitudes, comportements ou attitudes dans la réalisation d'une action donnée » (DGER, 2009, p. 11). Les capacités générales ne sont pas

⁴⁴⁰ Plus loin dans le texte, nous évoquons également le rôle des DRIF dans le SNA. Les DIRF (Délégués Régionaux, chargés d'Ingénierie de la Formation) sont en poste dans les DRAAF ou les DAAF, les DRIF exercent la compétence d'expertise en termes de définition de la qualification et de la formations des actifs pour un ensemble de métiers directement ou indirectement liés à l'exercice de l'agriculture.

spécifiquement attachées à un métier. Elles rendent compte de visées éducatives au-delà de la formation d'un professionnel. Elles « *sont mobilisées principalement dans des situations de la vie sociale ou citoyenne* » (DGER, 2009, p. 11). Cependant ces capacités générales sont communes à toutes les options ou spécialités d'un même diplôme. Les capacités professionnelles visent la maîtrise de situations professionnelles du métier.

- une description des épreuves fondées sur la mobilisation de capacités spécifiques (contrôle en cours de formation ou épreuve terminale) pour l'obtention du diplôme et des indications sur les modalités de leur réalisation. Cette description constitue le règlement de l'examen.

Le référentiel de formation

Ce document est destiné à l'organisation la formation initiale modulaire (le diplôme en formation continue n'en dispose pas).

Il est élaboré à partir du référentiel professionnel par des enseignants et des inspecteurs pédagogiques qui en ont la responsabilité. Le produit traduit un processus « (...) *traduction en objectifs de formation des capacités à attester, présentées dans le référentiel de certification* » (DGER, 2009, p. 15). Il présente les attendus du métier et est enrichi selon les choix institutionnels en termes de visées éducatives, tout en tenant compte des exigences réglementaires propres au diplôme. Il apparaît sous une forme très synthétique et présente différents volets :

- l'architecture de la formation organisée sous forme de modules d'enseignements généraux et de modules d'enseignements professionnels (pour certains communs à un champ professionnel et d'autres spécifiques aux options de formation⁴⁴¹). Pour chaque module sont précisés les objectifs de formation (objectif général et sous-objectifs), les disciplines concernées, les volumes horaires. Les modules sont eux-mêmes rédigés de manière très synthétique (*i.e.* 2 à 3 pages pour « résumer » un volume horaire de 175h).

- une liste d'activités à conduire en pluridisciplinarité (thème, discipline et horaires),

- une description des stages en milieu professionnel (nombre de semaines, modalités (collectif ou individuel, durée minimale, ...),

- de courtes indications sur les enseignements à l'initiative des établissements.

La grille horaire qui permet de mettre en œuvre cette architecture modulaire fait le plus souvent l'objet d'un arrêté spécifique.

Ce référentiel de formation est un document qui permet de contractualiser la mise en œuvre de la formation dans les établissements (lien entre référentiel, équipe enseignante, équipe de direction).

Le changement est important si on prend comme repère les pratiques antérieures. Cette nouvelle configuration vise à favoriser l'autonomie des équipes enseignantes et éducatives en laissant assez de latitude pour l'interprétation du référentiel de formation et son adaptation au contexte de l'établissement. Elle facilite également l'individualisation et la personnalisation des parcours des apprenants.

- *(iii) Les documents d'accompagnement le référentiel de diplôme*

Les référentiels de diplôme sont accompagnés par une série de documents complémentaires. Ils donnent des éclairages sur les modalités de conduite des enseignements-apprentissages et sur les évaluations. Ils facilitent en quelque sorte le travail d'ingénierie didactique et pédagogique des équipes éducatives. Ils présentent l'intérêt d'être facilement actualisables, mais ils n'ont pas de valeur réglementaire, ils relèvent du registre des « recommandations » sans caractère prescriptif, sauf pour la note de service cadrant l'évaluation des épreuves du diplôme (voir *infra*). Parmi ces documents figurent deux séries de productions : les documents

⁴⁴¹ Par exemple pour le bac pro CGEA, il y a des modules spécifiques à l'option 'conduite des systèmes à dominante cultures' « grandes cultures et fourrages » et des modules spécifiques à l'option 'vigne et vin'.

construits avant le lancement de la rénovation et/ou ajustés juste après et ceux qui sont produits à la suite de sessions de formation dans le cadre des AAT [Action d'Appui Thématique] (année n+1 ou n+2).

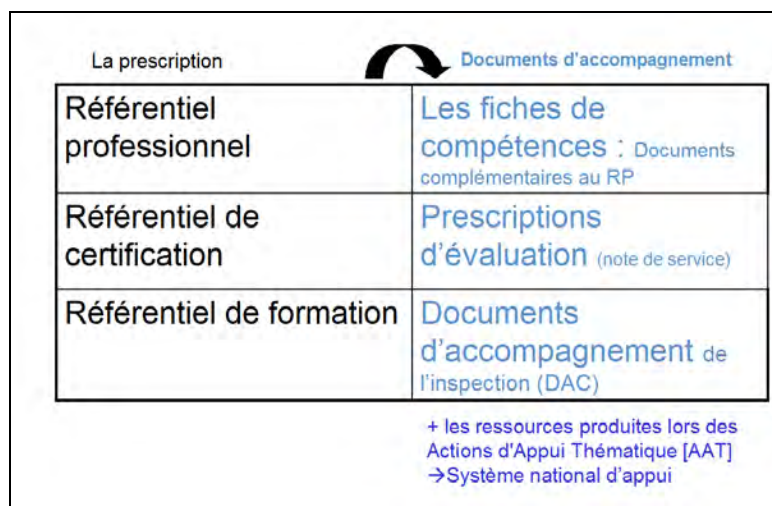
Dans le premier groupe de documents figurent :

- les recommandations pédagogiques produites par l'inspection pour chacun des modules, constituant le document d'accompagnement,
- le référentiel de compétences rassemblant des fiches de compétences (où sont précisées les SPS d'appui, les finalités, la responsabilité/autonomie, l'environnement de travail et les indicateurs de réussite),
- une note de service relative à la mise en œuvre concrète des épreuves, elle précise le référentiel d'évaluation du diplôme. Contrairement aux deux autres documents cités plus haut, cette note de service a valeur de prescription réglementaire : elle est très utile pour définir concrètement le plan d'évaluation dans les établissements et l'organisation des jurys lors des examens.

Le deuxième groupe de documents est produit lors des sessions autour de thématiques qui ont émergé à la suite de la mise en œuvre du référentiel pour lesquels le système d'appui⁴⁴² (SNA) est mobilisé pour aider les équipes à surmonter les difficultés. Si les documents sont souvent co produits par l'inspection, les participants et des acteurs du SNA sont mis à la disposition de la communauté éducative, au-delà des participants des AAT, ils sont l'objet d'un processus de validation⁴⁴³ (DGER/inspection de l'enseignant agricole).

La figure n°44 présente de manière schématique les différentes parties du référentiel de diplôme et certains documents complémentaires (source diaporama DGER, lancement du BTS APV 2010).

Figure n°44 : Les parties du référentiel de diplôme professionnel et les documents complémentaires correspondants



⁴⁴² Nous abordons le SNA dans un paragraphe spécifique plus loin.

⁴⁴³ La DGER a adopté une stratégie de capitalisation et de diffusion des ressources produites : le site chorofil <http://www.chlorofil.fr/> met en ligne ces productions.

Un accompagnement nécessaire par des sessions institutionnelles de lancement

A partir de 2008, avec la rénovation du Bac pro CGEA, la DGER a renouvelé les modalités d'accompagnement de la rénovation des référentiels, en raison des profondes modifications apportées par la normalisation de l'écriture. Les enseignants des filières concernées sont invités par note de service à s'inscrire aux sessions de lancement. Au cours de cette phase de lancement institutionnel, des représentants de la DGER, de l'inspection pédagogique, des agents du SNA soulignent les grands enjeux de la rénovation, apportent des précisions sur le cadrage des évaluations pour l'examen et discutent des nouveautés dans les approches en termes de contenus et/ou démarches. Des travaux sont également conduits en ateliers débouchant sur la co construction de ressources qui pourront être validées et servir d'appui aux équipes.

3.2.3. Un cursus de baccalauréat professionnel en 3 ans

La mise en place du nouveau référentiel de diplôme Bac pro CGEA a lancé la réforme dite de « la voie professionnelle ». Depuis la rentrée scolaire 2009, en cohérence avec la dynamique enclenchée à l'Education Nationale, les cursus baccalauréat se déroulent sur 3 années afin de respecter la parité entre les différents baccalauréats (enseignement général, technologique et maintenant professionnel) : une seconde et un cycle terminal avec une année de première de baccalauréat et une année de terminale. C'est une nouveauté pour le Bac pro, les élèves entraient dans le cursus Bac pro souvent après avoir suivi un BEPA (2 années)⁴⁴⁴. Avec la réforme de la voie professionnelle, des secondes professionnelles ont été créées spécifiques d'un champ professionnel : nous nous intéressons au champ professionnel de la production. La seconde professionnelle constitue une année de découverte du champ professionnel dans lequel l'élève veut s'insérer. Deux secondes professionnelles permettent d'entrer en Bac pro CGEA : la seconde professionnelle « productions végétales et agroéquipements » et la seconde « productions animales ». Pour le premier cursus, les enseignements débouchent sur le bac pro CGEA option « système à dominante cultures » et option « vigne et vin et pour l'autre elle permet d'accéder à l'option « système à dominante d'élevage » (cf. tableau n°13) Bac pro en 3 ans. Le cursus qui nous intéresse est encadré en rouge dans le tableau.

⁴⁴⁴ Le BEPA (Brevet d'Etudes Professionnelles Agricoles) est un diplôme de niveau V donnant la qualification d'ouvrier qualifié.

Tableau n°13 : Possibilité d'orientation à la fin de la seconde professionnelle- Orientation de droit à l'issue de la seconde professionnelle

Seconde professionnelle	Spécialité (EP3)	Spécialité du Baccalauréat professionnel
Nature-Jardins-Paysage-Forêt	Travaux paysagers	Aménagements paysagers
	Travaux forestiers	Gestion et conduite des chantiers forestiers
	Travaux de gestion des espaces naturels et ruraux	« Nature » (dénomination provisoire)
Productions animales	Systèmes d'élevage	Conduite et gestion de l'exploitation agricole/ Systèmes à dominante élevage
	Elevage canin et félin	Conduite et gestion de l'exploitation agricole/ Elevage et valorisation du cheval
	Aquaculture	Conduite et gestion de l'élevage canin et félin
Productions végétales – agroéquipement	Horticulture	Production Aquacole
	Vigne et vin	Productions horticoles / productions florales et légumières / productions fruitières / pépinières
	Conduite de cultures	Conduite et gestion de l'exploitation agricole/ Vigne et vin
	Agroéquipements	Conduite et gestion de l'exploitation agricole/ Systèmes à dominante cultures
Conseil - vente	Agroéquipements	Agroéquipements
	Animaux de compagnie et produits d'animalerie	Technicien conseil vente animalerie
	Produits alimentaires	Technicien vente et conseil qualité produits alimentaires
Alimentation – bio industries- Laboratoire	Produits de jardin	Technicien vente et conseil qualité vins et spiritueux
	Produits de bio industrie	Technicien conseil vente produits horticoles et de jardinage
	Contrôles en agriculture, environnement et bio industrie	Bio Industries de Transformation
		«Laboratoire» (dénomination provisoire)

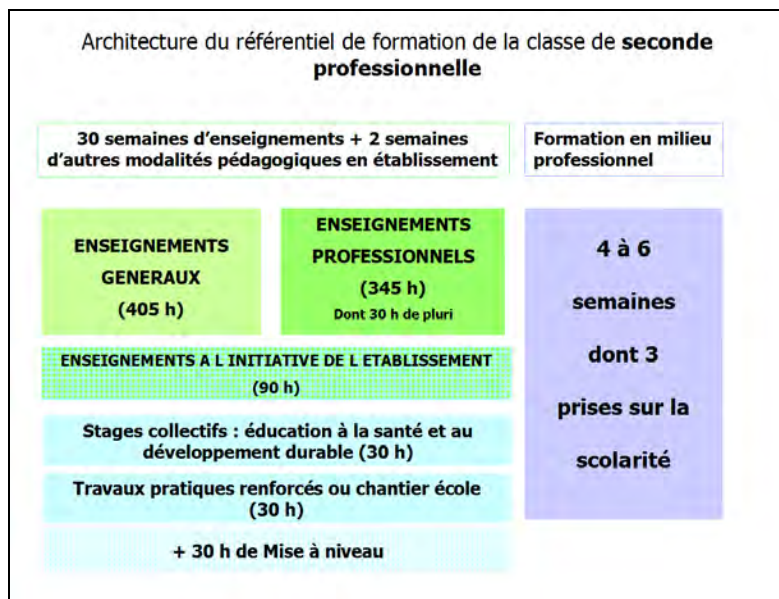
Source : Annexe 1 de la note de service DGER/SDPOFE/N2009-2053 du 07 mai 2009
Objet : Modalités d'intégration particulières en classe de 1ère Baccalauréat Professionnel ou 2ème année du Baccalauréat Professionnel par apprentissage

La seconde professionnelle constitue la première année du cycle de 3 ans pour préparer une ou plusieurs spécialités du baccalauréat professionnel du même champ, mais également s'avère être une première année de BEPA⁴⁴⁵. L'architecture présentée dans la figure n°45 montre :

- un socle d'enseignements généraux,
- des enseignements professionnels auxquels l'agronomie contribue,
- des enseignements à l'initiative de l'établissement (horaire affecté ne fléchissant pas de discipline spécifique pour laisser à l'établissement le choix de son projet pédagogique),
- des activités de travaux pratiques renforcés pour mettre des élèves en situation réelle de chantier,
- des semaines de formation en milieu professionnel.

⁴⁴⁵ Il est possible de préparer le diplôme BEPA à partir du cursus de seconde pro et bac pro. La certification du BEPA intervenant avant la fin de la première de Bac pro. Le diplôme BEPA n'a plus de référentiel de formation, seuls demeurent le référentiel professionnel et le référentiel de certification.

Figure n°45 : Architecture du référentiel de seconde professionnelle



La seconde est une classe de pré détermination professionnelle, à la fin de laquelle, l'élève aura :

- acquis des savoir-faire pratiques nécessaires à la conduite d'un processus de production végétale en toute sécurité, dans le respect de l'environnement : conduite du tracteur seul, attelage et maintenance simple des outils, conduite avec outils pour réaliser des interventions culturales simples saisonnières (les chantiers d'implantation et de protection de la culture sont des exemples-clés pour l'intégration des connaissances) ;
- acquis le vocabulaire de base nécessaire pour décrire et se repérer dans les différents champs professionnels de la production végétale ;
- mis en œuvre à différentes échelles, à partir de situations concrètes, des démarches comme l'observation des contextes de l'exercice, l'analyse et l'approche systémique (l'échelle de la parcelle est capitale, même si les niveaux « filière, exploitation, système de culture » sont abordés) ;
- acquis une représentation des cycles de culture en productions végétales en interaction avec leurs milieux (grandes cultures et fourrages, horticulture et viticulture).

3.3. La redéfinition du référentiel de diplôme Bac pro CGEA et du BTS APV

Nous présentons les points saillants de l'analyse des deux référentiels (le Bac pro CGEA puis le BTS APV). Nous avons pour cela étudié les différentes parties de chacun des référentiels de diplôme afin :

- d'en dégager les finalités pour préciser ce qui est attendu du futur professionnel,
- de repérer des points en lien avec les usages et/ou la sécurisation des emplois de pesticides,
- de préciser sous quel angle est abordée (ou est suggérée d'être abordée) la problématique des pesticides (débat d'opinions sur le sujet, argumentation d'un point de vue, outillage conceptuel et méthodologique en lien avec des pratiques professionnelles pour gérer la protection des cultures et la santé des plantes, etc.).

A la lumière de ces analyses, nous avons comparé les deux référentiels et mis en perspective l'espace des possibles sur le plan de la formation et de l'éducation avec les attendus annoncés.

Le référentiel Bac pro CGEA appliqué à la rentrée 1996 remplaçant le BTA (brevet de technicien 1984) n'a été réécrit et rénové de manière significative qu'en 2008. Des ajustements ont été produits en 2010⁴⁴⁶ et c'est sur cette version que nous avons conduit nos travaux. Le référentiel de BTS Technologies Végétales en application depuis 1991 quant-à lui a été rénové 2010, remplacé par le BTS APV. Depuis quelques années, le rythme des réécritures des référentiels (rénovations) s'est accéléré : le délai entre deux versions d'un même référentiel est d'environ 6 ans. Le Bac Pro CGEA va entrer dans une nouvelle phase de réécriture afin d'intégrer au plus près les préoccupations liées au plan « enseigner à produire autrement ».

3.3.1. L'analyse du curriculum Bac pro CGEA et du BTS APV : le curriculum prescrit et un curriculum potentiel

Pour avoir une idée rapide de la structure du référentiel, nous expliquons dans un premier point, le choix du Bac pro CGEA système à dominante culture puis nous présentons l'architecture du référentiel de formation et l'architecture modulaire avec les intitulés des différents modules. Dans une deuxième partie, nous avons analysé dans le détail les différents modules à partir du curriculum prescrit et des documents d'accompagnement produits par l'inspection afin de repérer des points qui contribuent à alimenter des problématiques en lien avec la réduction des pesticides et à la sécurisation de leurs emplois. Deux modules professionnels dans lesquels l'agronomie est la discipline pilote sont plus finement explorés (MP41 et MP42⁴⁴⁷).

(i) Le Bac pro CGEA système à dominante cultures et son architecture générale

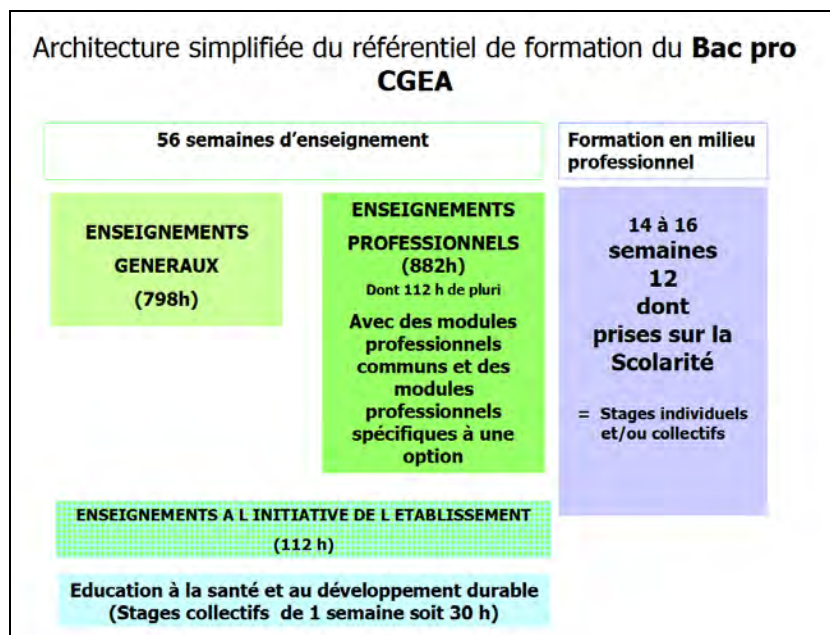
L'architecture du référentiel de formation du Bac pro CGEA est définie selon les principes retenus pour tous les diplômes professionnels de l'enseignement technique agricole : un pool d'enseignements généraux, des modules professionnels communs à un champ professionnel, des modules spécifiques à une option et une partie de la formation réalisée en milieu professionnel sous la forme de stages individuels et/ou collectifs. Nous avons retenu l'analyse du Bac pro CGEA système à dominante cultures (noté dans la suite sdc). Ce parcours aborde particulièrement les productions de grandes cultures et dans une certaine mesure des cultures fourragères⁴⁴⁸. La figure n°46 présente schématiquement l'architecture du Bac pro CGEA.

⁴⁴⁶ Les documents sont en ligne, consultables et téléchargeables sur le site de Chlorofil à l'adresse : <http://www.chlorofil.fr/diplomes-et-referentiels.html>

⁴⁴⁷ MP41 : Bases scientifiques et techniques pour la conduite de systèmes à dominante cultures et MP42 : MP42 : Mise en œuvre des systèmes de culture dans une perspective de durabilité

⁴⁴⁸ Les systèmes de culture type « grandes cultures » (comme définis dans la fiche Bac Pro RNCP (Répertoire National des Certifications Professionnelles) les grandes cultures désignent les systèmes à base decéréales, d'oléagineux, de protéagineux, de betteraves à sucre, de pommes de terre et de fourrage) couvrent plus de 68% de la SAU et représentent plus des deux tiers des dépenses totales en pesticides soit 2,3 milliards d'euros en 2006 (source). La pression de pesticides à l'hectare représente un coût modéré comparé à d'autres systèmes de culture (le coût de la pression de pesticides à l'hectare est de 134€/ha pour les grandes cultures contre 5340€/ha en production fruitière. Toutes productions confondues, le coût moyen est estimé à 91€/ha (Bultault *et al.*, 2010). Il nous est apparu judicieux de nous focaliser sur le système de culture « grandes cultures » au regard de leur importance dans l'agriculture française : on peut supposer que tout changement dans l'usage des pesticides a et aura des répercussions significatives à l'échelle nationale et locale.

Figure n°46 : Architecture du bac pro CGEA rénové (version 2010).



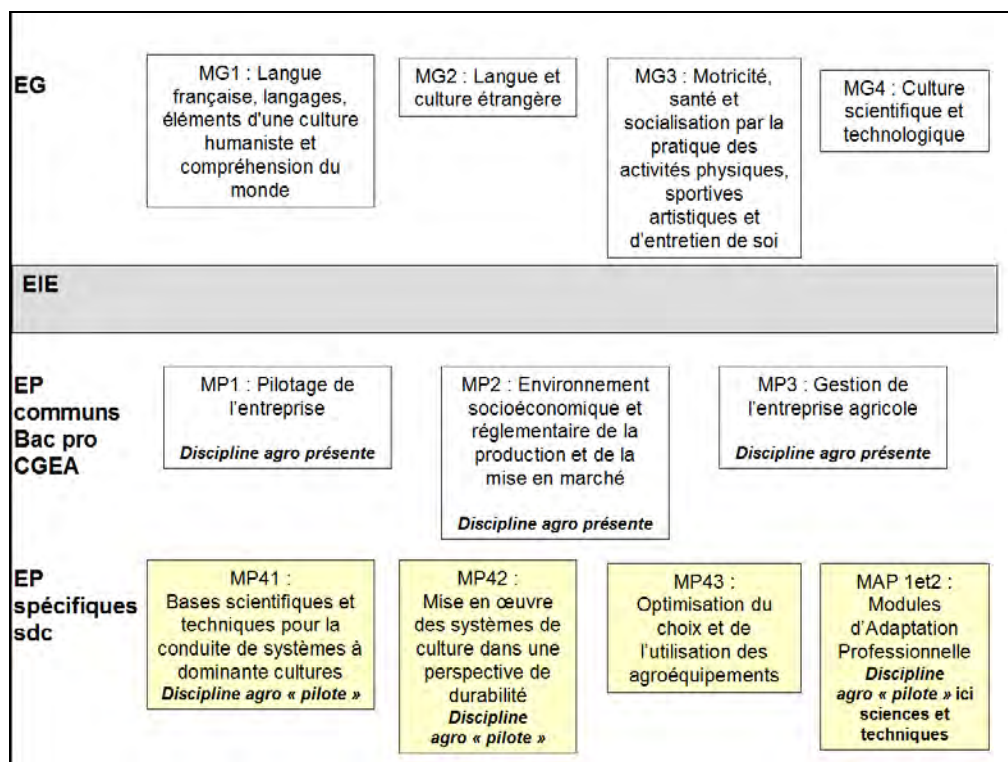
(ii) Définition des contours d'un curriculum potentiel à partir de l'architecture modulaire de la formation et curriculum prescrit

En prenant appui sur le canevas proposé pour étudier la matrice curriculaire, nous avons analysé le référentiel de formation en détail. Les questions soulevées par des problématiques en lien avec la sécurisation et la réduction des emplois des pesticides ne se posent pas trivialement en termes de résolution d'un problème technique pris en charge exclusivement par la discipline agronomie : nous avons étudié tous les modules. La figure n°47 présente l'architecture modulaire du référentiel de formation avec les modules d'enseignement général, l'enseignement à l'initiative de l'établissement et les modules professionnels. Afin d'avoir une idée rapide du contenu de la formation, pour chacun des modules, nous avons :

- précisé les intitulés des modules,
- mentionné si l'agronomie y contribuait (mention en italique).

Figure n°47 : Architecture modulaire du référentiel de formation du Bac pro CGEA spécialité système à dominante cultures (sdc)

Légende des sigles sur les figures : EG = enseignement général ; MG = module général ; EIE = enseignement à l'initiative de l'établissement ; EP = enseignement professionnel ; MP = module professionnel ; sdc = système à dominante cultures, en jaune les modules spécifiques à l'option sdc



Nous avons ensuite identifié dans les différents modules des points qui nous interpellent dans le cadre de notre recherche en lien avec la problématique des pesticides (usages pesticides et protection des cultures). Pour cela, nous avons complété notre analyse du référentiel de formation par l'étude des documents d'accompagnement de l'inspection pédagogique (notés Dac). Ces derniers donnent des orientations, des compléments pour la mise en œuvre des modules. La construction des Dac sont sous la responsabilité de l'inspection pédagogique : des inspecteurs et des enseignants mobilisés pour la réécriture du référentiel de formation produisent en fait une forme du curriculum potentiel. Les Dac de ce Bac pro précisent également que « *Les mots clés indiquent des notions essentielles et incontournables qui représentent des contenus spécifiques à l'objectif* »⁴⁴⁹.

A partir de ces sources (référentiel de formation et Dac), les éléments extraits sont des démarches et des connaissances utiles pour le futur citoyen et des contenus et des méthodes à visées professionnelles, directement liés à la discipline agronomie pour conduire des processus de productions végétales. Nous avons davantage détaillé des modules-clés (MP41 et MP42) de l'option système à dominante cultures (noté sdc dans la suite) (cf. figures n° 46 et 47). L'annexe n°1 présente de manière très simplifiée le cadre de ces deux modules (intitulé, volume horaire, disciplines contributrices, et objectifs).

⁴⁴⁹ Extrait du document d'accompagnement du bac pro CGEA consultable en ligne sur chlorofil

Les figures rassemblent les éléments pertinents pour aborder la diversité des problématiques en lien avec la question des pesticides et de la protection des cultures :

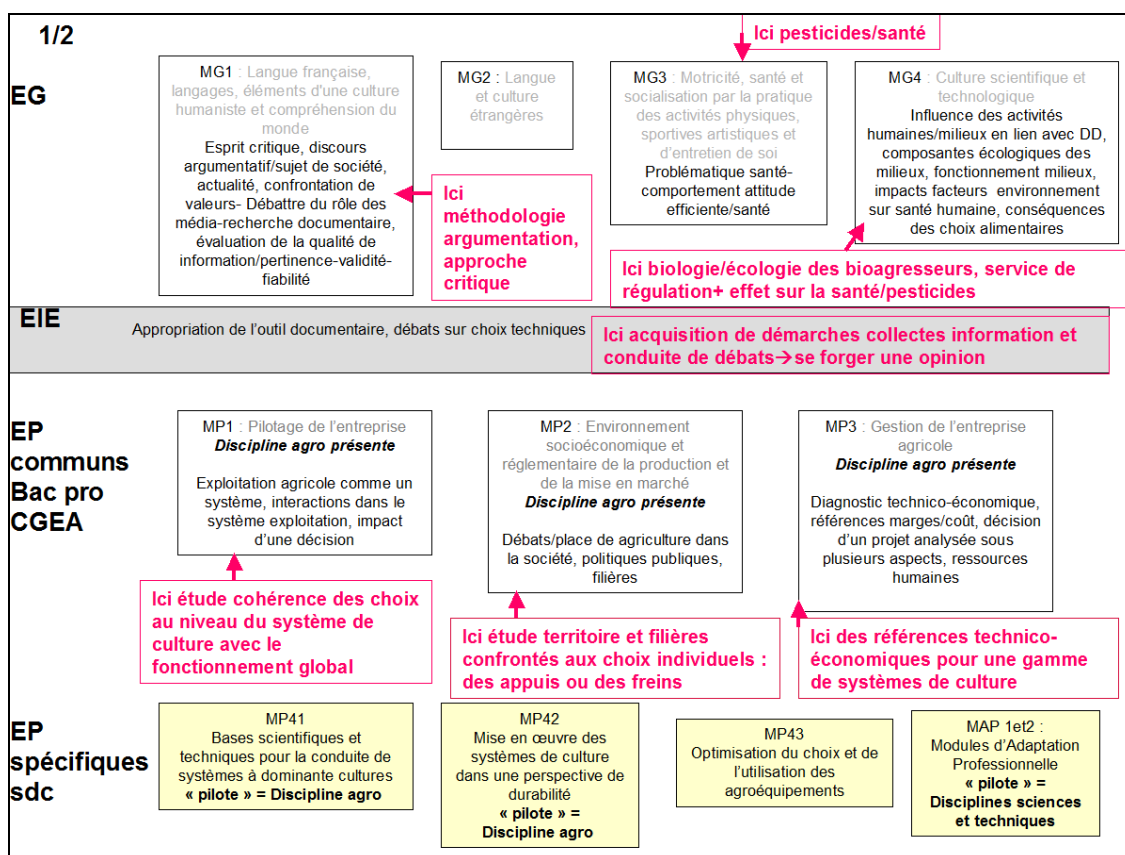
- la figure n°48 présente les modules d'enseignements généraux et les modules professionnels communs,

- la figure n°49 zoome sur les modules d'enseignements professionnels de l'option sdc.

Les encadrés en rouge synthétisent les points saillants. Ces panoramas simplifiés mettent en évidence ce que permet potentiellement le curriculum prescrit (curriculum potentiel) dans la perspective d'appréhender la complexité des questions générées par l'usage ou « pesticides » ou la réduction de leurs emplois.

Figure n°48 : Synthèse de l'analyse des modules de l'enseignement général (EG) et les modules professionnels communs (EP communs) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel

Légende des sigles sur les figures : EG = enseignement général ; MG = module général ; EIE = enseignement à l'initiative de l'établissement ; EP = enseignement professionnel ; MP = module professionnel ; sdc = système à dominante cultures, en jaune les modules spécifiques à l'option sdc



Les enseignements généraux contribuent à faire acquérir aux élèves des capacités transversales qui ne sont pas attachées à un champ disciplinaire. Ce sont :

- des démarches pour construire des argumentations, pour s'engager dans des débats de société afin d'exprimer et de confronter les points de vue des élèves, afin de développer leur esprit critique (santé des consommateurs, des utilisateurs/pesticides) pour fonder une opinion éclairée (Simonneaux, 2010),

- des démarches pour collecter, trier et organiser de l'information,

- des concepts et des démarches permettant d'appréhender la biologie des bioagresseurs, les services de régulation biologique en lien avec le fonctionnement des écosystèmes.

L'enseignement à l'initiative de l'établissement peut être l'occasion :

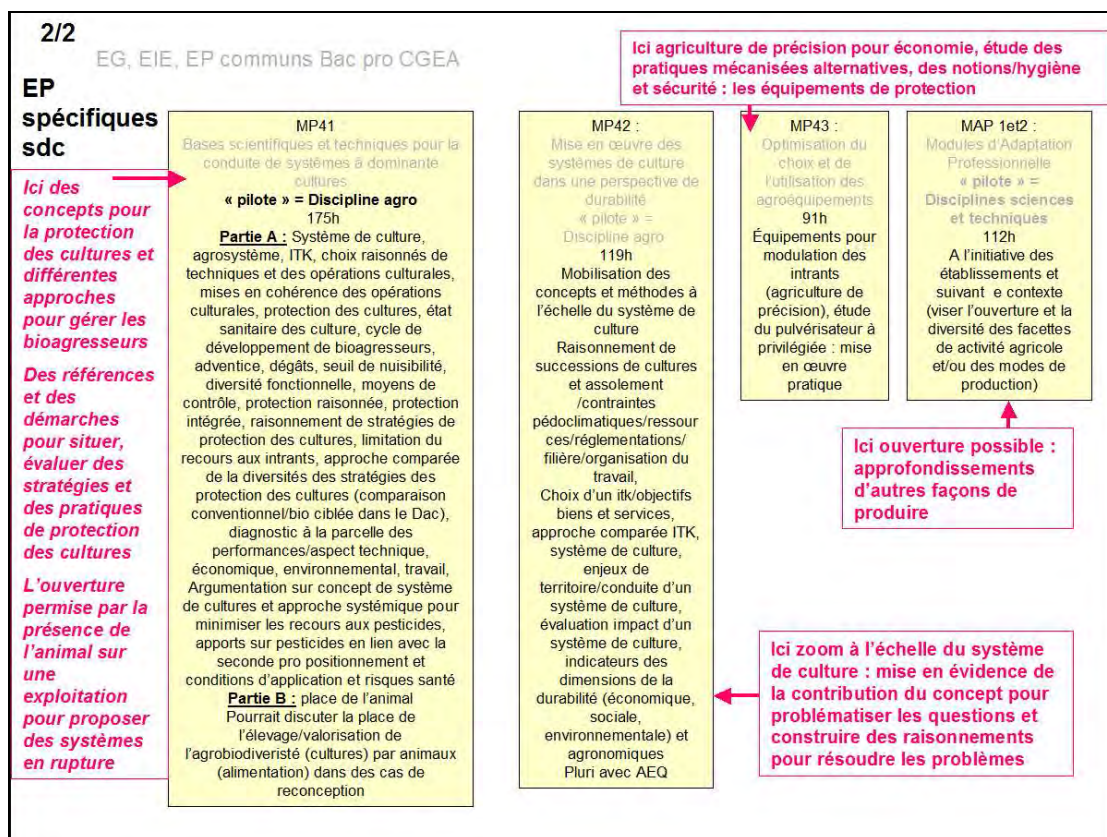
- de développer des aspects des problématiques en lien avec les usages des pesticides ou les systèmes économes dans le cadre des débats sur les choix techniques,
- d'aller explorer les controverses sur le sujet en travaillant des méthodologies d'appropriation de l'outil documentaire et aider ainsi les élèves à se forger une opinion informée et raisonnée (Lange et Victor, 2006).

Les enseignements professionnels communs au Bac pro CGEA sdc permettent de constituer une « boîte à outils » pour que l'élève soit en mesure de discuter la cohérence des choix (techniques) à différentes échelles (de la parcelle au système d'exploitation). Les modules visent à :

- acquérir des connaissances et des références sur les contextes d'exercice d'une exploitation agricole comme les filières, de discuter la place de l'agriculture dans la société, aidant ainsi l'élève à construire des choix individuels,
- se construire un portefeuille de références technico-économiques sur des systèmes de culture plus ou moins dépendants des pesticides.

Les modules professionnels spécifiques à l'option système à dominante cultures (MP41, MP42, MP43, MAP 1 et 2) abordent l'outillage méthodologique, conceptuel et pratique pour co concevoir, conduire et évaluer des processus de productions végétales à l'échelle de la campagne de culture et de la succession culturale. Nous avons davantage détaillé les modules-clés MP41 et MP42 à partir desquels nous avons extrait des points directement en lien avec la gestion de la protection des cultures (apparaissant grisés dans le texte de commentaire des figures qui suit).

Figure n°49 : Synthèse de l'analyse des modules (MP) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel



Les modules MP41 et MP42 permettent de comprendre les facteurs en jeu dans un processus de production végétale à partir des interactions entre les techniques, les états du milieu, les peuplements cultivés (et les pratiques, non mentionnées de manière explicite dans les objectifs). Des démarches communes sont recommandées dans chacun des modules : l'approche système (à des échelles différentes), l'approche comparée (conventionnel/bio et autres modes de production), l'observation, le diagnostic agronomique, les études de cas concrets. L'objectif pédagogique général du MP1 est « *Mobiliser les connaissances scientifiques et techniques nécessaires pour conduire des systèmes à dominante cultures* ». Ce module propose une vision large des éléments à considérer dans un processus de production et vise à faire comprendre les interactions en jeu et comment se construisent les différents principes de gestion. L'objectif général du MP42 est « *Organiser, mettre en œuvre et évaluer des systèmes de culture* ». Il a une visée opératoire afin de confronter les élèves à la réalité de la mise en œuvre des principes appréhendés dans le module MP41 : confrontation au réel et aux ajustements à construire à court terme et sur le plus long terme en fonction de ce qui se fait. Les deux modules devraient être articulés pour ne pas séparer les approches fondées sur des principes structurants et les applications en situation. Deux concepts structurants pour les décisions et les actions qui en découlent sont mobilisés dans les deux modules : l'itinéraire technique et le système de culture (Sebillotte, 1978 ; 1990). Ils donnent accès à une vision intégrée du champ cultivé et sont respectivement pertinents pour le raisonnement de la protection des cultures :

- à l'échelle de la campagne de culture pour des adaptations tactiques (ajustement des traitements phytosanitaires, ajustement des autres techniques de contrôle (découvertes en seconde et approfondies en Bac pro) ;
- et à l'échelle de la rotation pour définir des stratégies de protection des cultures (choix d'un mode de contrôle des bioagresseurs, choix des successions des cultures et de leur répartition spatiale, évaluation de la contribution des interactions biotiques dans la protection des cultures entre autres).

Le module MP41 s'appuie sur des disciplines comme la biologie/écologie, les sciences et techniques des équipements (STE) et la discipline pilote « agronomie ».

Pour la gestion de la protection des cultures, la démarche d'observation initiée en seconde est à renforcer dans la perspective de repérer et d'évaluer des indicateurs de l'état biologique afin de construire des diagnostics sanitaires en culture. Dans le MP41, des concepts/notions sont développés en lien avec :

- la biologie des bioagresseurs (cycle de développement de bioagresseurs, adventice),
- les interactions peuplement/bioagresseurs/milieu (dégâts, diversité fonctionnelle),
- les principes de gestion (seuil de nuisibilité, moyens de contrôle, protection raisonnée, protection intégrée, comparaison conventionnel/bio ciblée dans le Dac, diagnostic à la parcelle des performances/aspect technique, économique, environnemental, travail)
- les conditions d'application en « sécurité » des produits phytosanitaires (reliés aux aspects déjà développés en seconde pro).

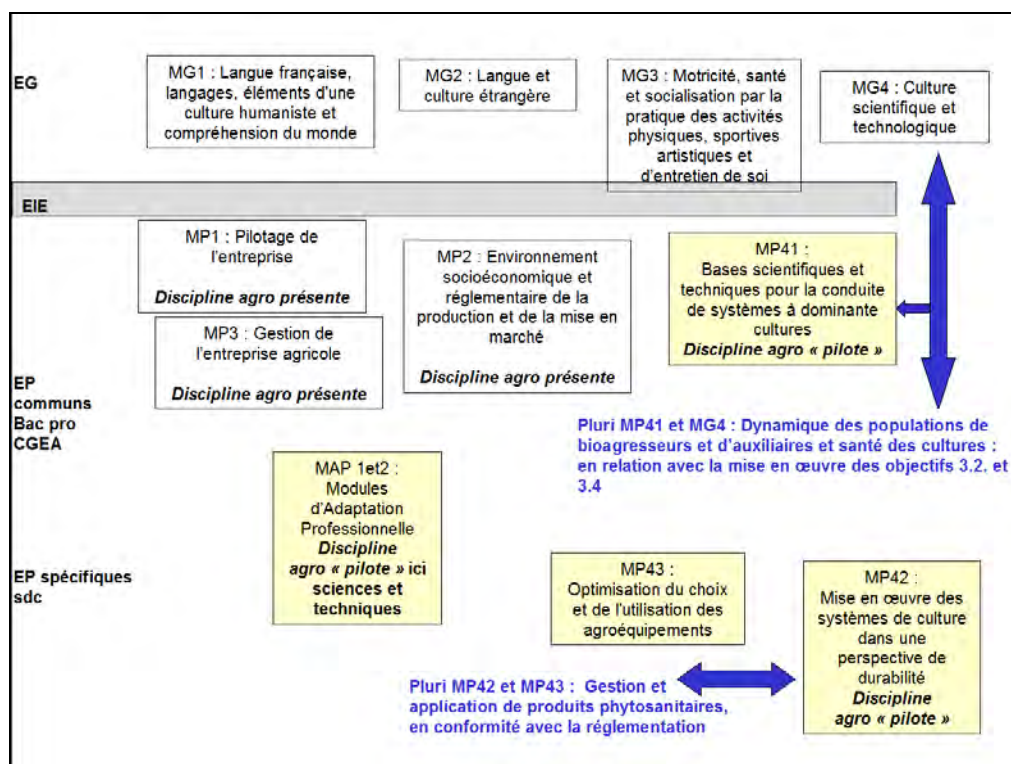
Le référentiel de formation aborde le raisonnement de stratégies de conduite des cultures et spécifiquement celles en lien avec la protection des cultures. :

- le sous-objectif 3.2. « *Caractériser la composante biologique du milieu cultivé et porter un jugement sur l'état biologique du milieu* »,
- le sous-objectif 4 « *Raisonnement des principales interventions sur le milieu cultivé* »,
- et le sous-objectif 4.2. « *Identifier et hiérarchiser les moyens d'actions sur les états biologiques du milieu et décider de leur mise en œuvre* » (MAAP-DGER, 2010h, p. 74).

Le Dac pose le concept de système de cultures pour conduire une approche systémique pour minimiser les recours aux pesticides et insiste sur le raisonnement de la protection des cultures pour limiter le recours aux pesticides « (...)raisonner une stratégie de maîtrise des

populations de bioagresseurs, en tenant compte des objectifs de production, de la réglementation, de l'hygiène, de la sécurité de l'applicateur et du consommateur et dans un souci de respect de l'environnement. L'approche systémique d'un problème sanitaire est indispensable. Montrer que le recours aux pesticides ne doit pas être systématique mais réalisé dans le cadre d'une stratégie de lutte » (MAAP-DGER, 2010i, p. 6). Il est également suggéré d'aborder les différents moyens de gestion des bioagresseurs en raisonnant la cohérence globale : « la complémentarité des moyens de lutte et les conditions d'une mise en œuvre cohérente de stratégies de protection » (MAAP-DGER, 2010i, p.7). Enfin, la partie abordant la place de l'animal dans un système de culture (partie B) peut permettre d'abaisser le niveau de contraintes dans le choix des cultures de la rotation grâce à la valorisation par les animaux tout en s'affranchissant des filières (la rotation est un levier principal pour gérer les adventices). Une activité pluridisciplinaire est proposée et cible la protection des cultures (« Dynamique des populations de bioagresseurs et d'auxiliaires et santé des cultures (...) » associant l'agronomie et les sciences et techniques des agroéquipements (cf. figure n°50). Tous les niveaux du cadre ESR peuvent être abordés dans ce module pour discuter le niveau de dépendance aux pesticides des solutions travaillées avec les élèves.

Figure n°50 : Deux activités pluridisciplinaires en lien avec la protection des cultures



Le module MP42 s'appuie essentiellement sur l'agronomie et les STE. Il est fondé sur une approche compréhensive à différentes échelles de ce qui se fait à partir de situations réelles (de la placette au territoire). Le MP42 outille les élèves de Bac pro pour :

- raisonner des successions de cultures et des assolements dans un cadre de contraintes pédoclimatiques/ressources/réglementations/ filière/organisation du travail,
- faire une évaluation multicritère à l'échelle du système de culture sur les dimensions économique, sociale, environnementales et agronomique.

La problématique du recours des pesticides n'est pas spécifiquement fléchée, elle est à considérer dans le cadre d'une approche systémique en relation avec les autres éléments à intégrer dans la conduite des processus de production. Cependant il est mentionné qu'il est

possible selon les problématiques locales d'« *approfondir un cas en fonction des opportunités* » (MAAP-DGER, 2010j, p. 4) pour la conduite des cultures en fonction d'enjeux territoriaux : les problématiques en lien avec les pesticides peuvent être traitées dans ce cadre. Une activité pluridisciplinaire est proposée et cible la protection des cultures « Gestion et application des produits phytosanitaires, en conformité avec la réglementation » associant l'agronomie et les sciences et techniques des agroéquipements (cf. figure n°50). Tous les niveaux du cadre ESR peuvent être abordés dans ce module pour discuter le niveau de dépendance aux pesticides des solutions travaillées avec les élèves.

Les MAP 1 et 2 offrent l'opportunité d'approfondir spécifiquement des modes de conduite des cultures en particulier économes en pesticides (MAP 1 et 2) dans le cadre d'une ouverture par rapport aux références locales des élèves (niveau possible E, S ou R du cadre ESR). Le module MP43 aborde la protection des cultures sous l'angle des agroéquipements. Ils vont permettre de moduler l'emploi des intrants *via* l'agriculture de précision, à partir de principes et de savoir-faire pratiques autour du pulvérisateur tout en respectant des bonnes pratiques (hygiène, sécurité et réglementation) : l'approche est plutôt normative et vise à améliorer l'efficacité des produits phytosanitaires (niveau E du cadre ESR). Les techniques de travaux de sol sont également abordées et peuvent être discutées dans le cadre de pratiques alternatives au désherbage chimique, sans mention explicite dans les documents (niveau S du cadre ESR).*Synthèse*

L'analyse fine du référentiel révèle un curriculum potentiel fondé sur une complémentarité d'approches méthodologiques et conceptuelles entre les enseignements généraux, les enseignements à l'initiative de l'établissement et les enseignements professionnels : ces modules visent l'éducation du citoyen et du consommateur responsable et du professionnel acteur de territoire et promoteur d'une forme d'agriculture. Les modules professionnels MP41 et MP42 délivrent un outillage conceptuel, notionnel et méthodologique dans le but d'amener les futurs professionnels à piloter de manière responsable les processus de production sur leur exploitation dans une perspective de développement durable. Les activités conduites visent à enrichir chez les élèves le portefeuille de références techniques et technico-économiques et sociales en lien avec la conduite des cultures et accordant une place plus ou moins importante à la définition de principes de gestion pour la protection des cultures. Les modules MP41 et MP42 permettent d'envisager tous les niveaux du cadre ESR sans pour autant insister sur l'aspect de conception qui est le niveau le plus complexe. Le cadre conceptuel n'est pas introduit dans les documents d'accompagnement et la problématique des adventices n'est pas fléchée de manière explicite dans le MP42. Dans le cadre de l'approche fonctionnelle suggérée, ce sont surtout les effets des pratiques sur le milieu qui sont analysées et évaluées. Les aspects liés au fonctionnement de l'agroécosystème influençant le système pratiqué en retour apparaissent peu explorés à la lecture des documents. Le volet reconnaissance des bioagresseurs et auxiliaires est cependant développé. L'approche de diagnostic est prégnante.

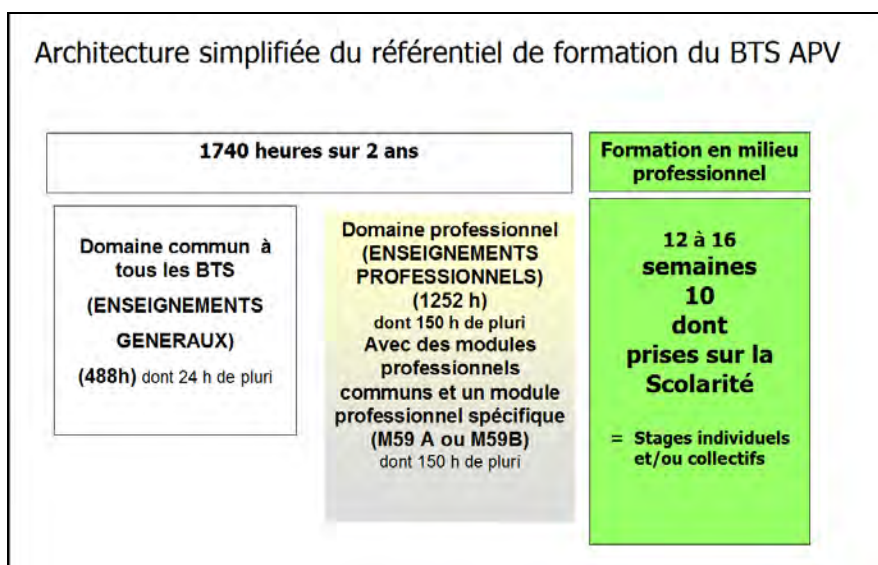
3.3.2. L'analyse du curriculum BTS APV : le curriculum prescrit et un curriculum potentiel

Nous avons utilisé la même démarche pour conduire l'analyse de ce référentiel de diplôme. Nous avons également conduit des analyses plus détaillées de trois modules professionnels dans lesquels l'agronomie est une discipline-clé (soit pilote, soit associée) : le M55, le M58 et le M59.⁴⁵⁰

(i) Le curriculum prescrit du BTS APV et son architecture générale

L'architecture du diplôme repose sur le même principe de construction que le Bac Pro. Le référentiel de formation comprend des modules d'enseignements généraux et une part nettement plus importante d'enseignements professionnels (72 % des 1740h) (cf. figure n°51).

Figure n°51 : Architecture simplifiée du référentiel de formation du BTS APV

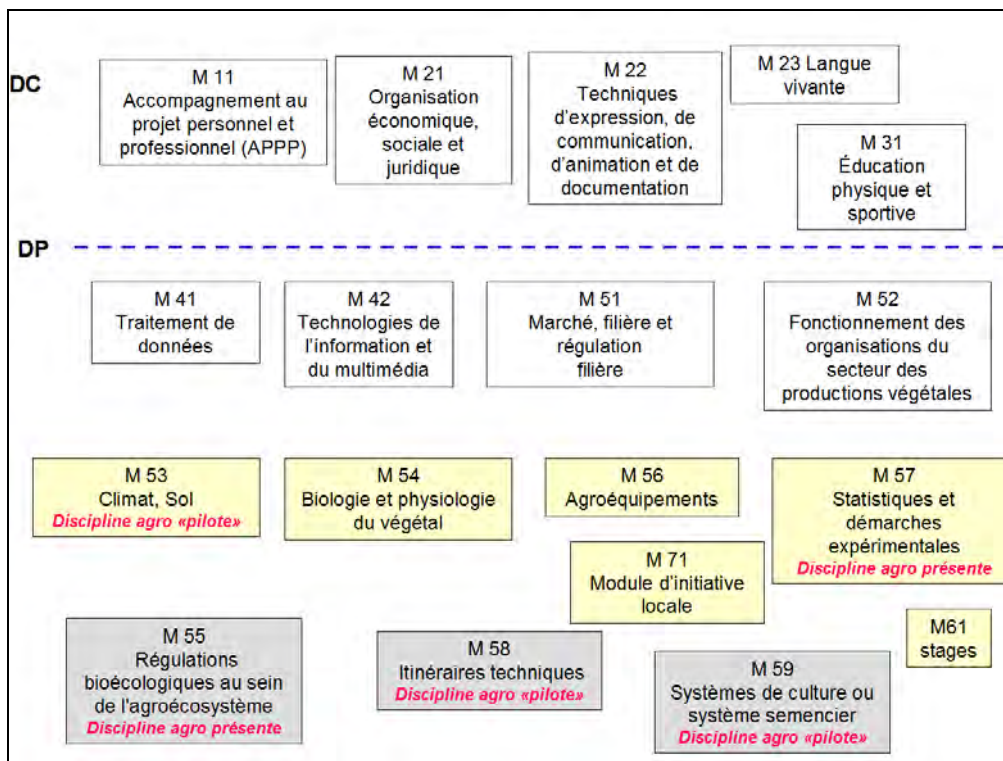


Le référentiel nous apparaît plus adapté pour appréhender spécifiquement le changement de paradigme dans la protection des cultures pour les raisons que nous exposons ci-après. Dans le référentiel professionnel du BTS APV, il est fait une mention explicite au plan Ecophyto comme faisant partie intégrante du contexte professionnel d'exercice du futur technicien. Comme pour le Bac pro CGEA option sdc, les enseignements généraux délivrent une boîte à outils pour appréhender les contextes de l'exercice du métier et s'y insérer en tant que citoyen et professionnel. La figure n°52 propose un schéma de l'architecture simplifiée de l'ensemble du référentiel de formation et met en évidence la diversité des disciplines qui interviennent dans le domaine professionnel.

⁴⁵⁰ M 55 : Régulations bioécologiques au sein de l'agroécosystème, M 58 : Itinéraires techniques, M 59 A : Systèmes de culture (SdC) ou système semencier

Figure n°52 : Architecture simplifiée du référentiel de formation BTS APV

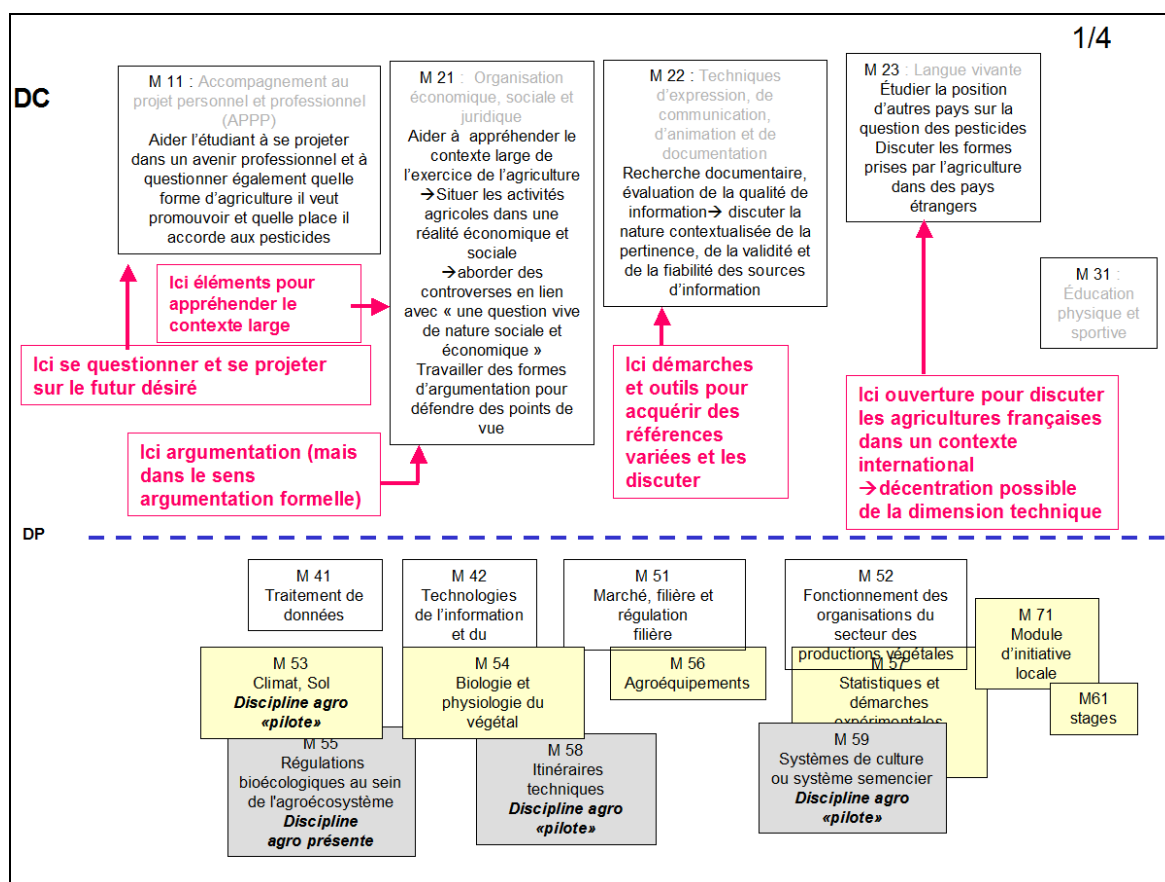
Légende des sigles sur les figures : DC = domaine commun ; M = module; DP = domaine professionnel ; en couleur les modules professionnels (en gris ceux repérés comme centraux pour aborder la protection des cultures)



(ii) Définition des contours d'un curriculum potentiel à partir de l'architecture modulaire de la formation et curriculum prescrit

La figure n°53 présente les points saillants de l'analyse des modules du domaine commun en lien avec des problématiques « pesticides » (nous avons appliqué la même démarche que pour le Bac pro : en italique les notions-clés connectées aux problématiques et en rouge encadré la synthèse des points-clés).

Figure n°53 : Synthèse de l'analyse des modules du domaine commun (DC) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel



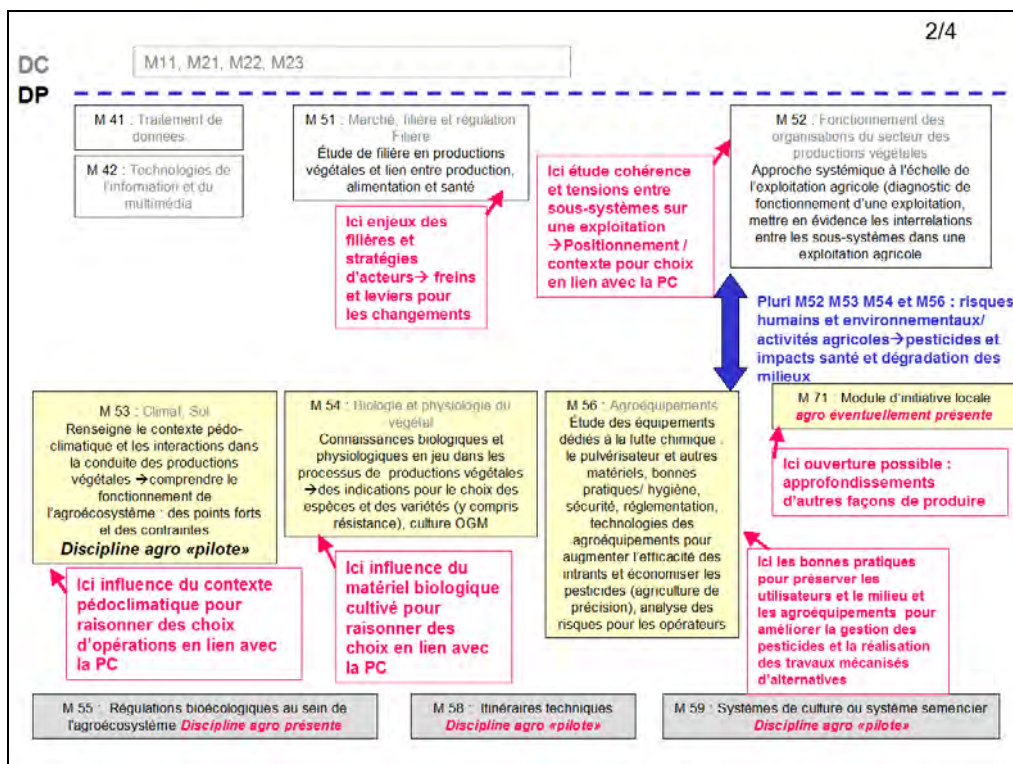
Les modules M11, M21 et M23 offrent un espace pour se questionner et se projeter dans un futur que l'étudiant participe à construire (il y peut ainsi questionner sa position par rapport à l'usage des pesticides) tout en considérant les demandes des contextes. En particulier le M21 propose de travailler la démarche d'argumentation. Mais l'acception retenue est celle de l'argumentation formelle : développer une thèse dont le but principal est de convaincre d'autres parties prenantes. Nous verrons dans la partie didactique abordant les enjeux d'apprentissage autour de l'argumentation sur les questions socialement vives que les processus d'argumentation revêtent d'autres aspects. Le M22 permet d'appréhender les références mobilisables dans la conduite des processus de production sous l'angle qualité et diversité des sources dans un contexte daté. Le M23 en entrant par des aspects de communication en langues étrangères et à l'occasion d'action de coopération internationale peut permettre d'entrer par les problématiques en lien avec les pesticides en se décentrant dans un premier temps de la dimension technique.

Les modules professionnels éclairent de manière plus précise des enjeux en termes de conduite des cultures dans une perspective de développement durable, en particulier en veillant à limiter les impacts négatifs sur l'environnement, entendu dans le sens « milieu biophysique ». Il est d'ailleurs fait mention dans le référentiel professionnel que « (...) les activités du technicien supérieur en Agronomie : Productions végétales est principalement orientée par les aspects environnementaux » (MAAP-DGER, 2010d, p. 10) et la gestion des

bioagresseurs est citée comme un objectif « *central dans la formation du technicien supérieur* » (MAAP- DGER, 2010e, p. 4).

La figure n°54 expose de manière synthétique les traits saillants de l'analyse.

Figure n°54 : Synthèse de l'analyse des modules du domaine professionnel (DP) avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel



Le module M51 donne des éléments pour comprendre et se repérer dans les filières de productions végétales dans la perspective de choisir et de commercialiser des produits végétaux. A partir de la mise en œuvre de la démarche systémique, le M52 pose les bases d'une démarche qui permet à partir d'un diagnostic de fonctionnement de discuter la cohérence des choix pour la protection des cultures et leurs conséquences sur le fonctionnement global d'une exploitation. Dans un système de production végétal, l'allongement de la rotation est un levier pour contrôler les adventices mais la question des débouchés pour diversifier les cultures sur une exploitation se pose souvent en terme de freins (Meynard, Messéan, Charlier, Charrier, Fares, Le Bail, Magrini, et Savini, 2013). Le remplacement des pesticides par des combinaisons de moyens alternatifs soulève également des questions en termes d'organisation dans une exploitation.

Le M53 permet de considérer l'influence du contexte pédo-climatique pour raisonner des choix d'opérations et en particulier celles en lien avec la protection des cultures. En particulier le climat moyen peut permettre ou rendre risquées certaines pratiques comme le décalage des dates de semis (levier principal pour gérer les adventices).

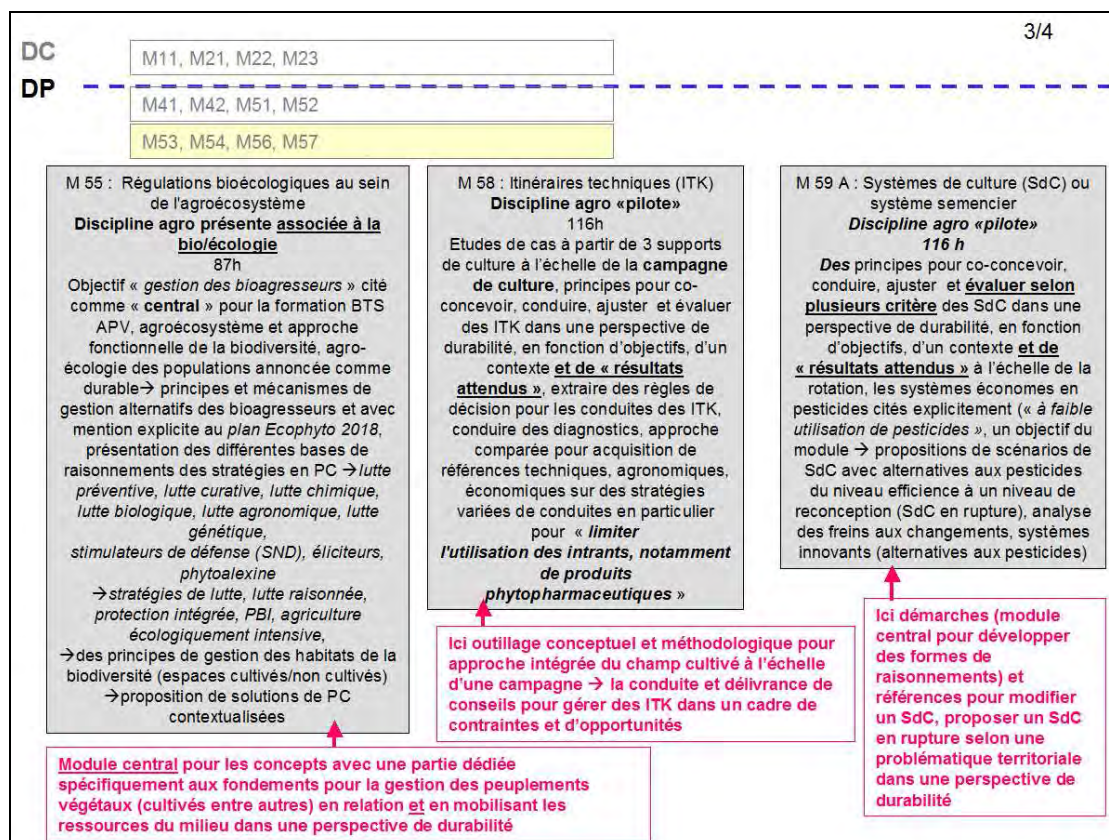
Le M54 s'intéresse au matériel biologique et permet d'avoir des références et des connaissances pour choisir des supports végétaux adaptés à des contextes de réduction d'intrants, en particulier en lien avec des stratégies de protection des cultures économes.

Le M56 développe des aspects en lien avec les bonnes pratiques pour préserver la santé des utilisateurs et la qualité des milieux. En particulier, sont abordés les agroéquipements pour améliorer la gestion des pesticides et la réalisation des travaux mécanisés d'alternatives. Une activité pluridisciplinaire prenant appui sur le M52, M53, M54 et M56 est dédiée aux questions de protection des cultures. Elle aborde des risques humains et environnementaux liés aux activités agricoles : les pesticides et leurs impacts sur la santé humaine et dégradation des milieux sont visés.

Le M71 (module d'initiative locale) permet une ouverture à un ensemble de systèmes de productions économes en intrants, plus ou moins en rupture avec le modèle conventionnel. Il permet d'étudier à partir de cas concrets les ressources mobilisées par les acteurs pour concevoir et gérer ces systèmes et d'aller explorer les formes de raisonnements mobilisés. Ces supports sont également intéressants pour discuter les freins et les obstacles au développement des alternatives aux pesticides.

La figure n°55 aborde spécifiquement l'analyse des modules qui nous apparaissent centraux pour la définition de stratégies de protection des cultures.

Figure n°55 : Synthèse de l'analyse des modules du domaine professionnel (DP) centraux pour la protection des cultures avec mise en évidence d'éléments du curriculum potentiel



Les trois modules M55 (Régulations bioécologiques au sein de l'agroécosystème), M58 (Itinéraires techniques) et M59 (Systèmes de culture (SdC) ou système semencier) nous apparaissent au cœur des enseignements-apprentissages en lien avec les pratiques professionnelles à mobiliser pour concevoir, gérer (dont protéger) et évaluer des systèmes de culture économes en pesticides.

Le module M55 est une nouveauté. Il est construit comme une unité d'enseignements à part entière tout en étant central pour aborder des concepts en lien avec le changement de

paradigme pour la protection des cultures : les pesticides ne sont plus au cœur des raisonnements et la biodiversité devient pourvoyeuse de services régulation biologique au sein des agroécosystèmes gérés dans ce sens. Il propose une approche compréhensive de l'agroécosystème pour mettre en lumière des interactions et des flux qui le caractérisent et ce à plusieurs échelles (de la placette au paysage). Le dernier objectif du module (objectif 4 : « gérer les populations de bioagresseurs dans l'agrosystème ») vise l'intégration et l'articulation des fondements et des principes qui permettent de raisonner la gestion de la santé des peuplements cultivés et les populations de bioagresseurs dans une perspective de développement durable. Une mention explicite au plan Ecophyto invite à définir les stratégies de protection en phase avec les recommandations : « (...) *une méthode de protection des cultures adaptées à une situation, en prenant en compte les recommandations du plan écophyto 2018* » (MAAP-DGER, 2010e, p. 5).

Le module M58 vise l'outillage conceptuel et méthodologique des étudiants pour qu'ils développent une approche intégrée du champ cultivé à l'échelle d'une campagne. L'intérêt est de dégager avec les apprenants un ensemble de règles de décision qui leur permettront de conduire et de proposer des ITK dans un cadre de contraintes et d'opportunités. Ils devront également être en mesure de délivrer des conseils pour gérer de ces ITK .

Le module est l'occasion d'enrichir leurs portefeuilles de références techniques, agronomiques, économiques sur des stratégies variées de conduites en particulier pour « *limiter l'utilisation des intrants, notamment de produits phytopharmaceutiques* » (MAAP-DGER, 2010f, p. 1). Tous les niveaux de dépendance aux pesticides du cadre ESR peuvent être abordés, mais il n'y a pas de mention explicite au système dit en rupture.

Le M59 est un autre module « outil » pour co-concevoir, conduire, ajuster et évaluer des SdC dans une perspective de durabilité, en fonction d'objectifs, d'un contexte et de « résultats attendus » à l'échelle de la rotation. En particulier des enjeux liés aux systèmes alimentaires et aux problématiques de nutrition sont les thèmes d'une activité pluridisciplinaire entre les modules M51 et M59 « alimentation, nutrition et productions végétales ». Le M59 introduit une nouveauté qui a déstabilisé les enseignants lors de la rénovation en 2010⁴⁵¹ : il propose d'aborder avec les étudiants des démarches et d'apporter des références pour conduire une analyse multicritère des systèmes de culture dans la perspective de les modifier et d'en proposer des formes en rupture selon une problématique territoriale dans une perspective de durabilité. Le concept de système de culture est au cœur des enseignements-apprentissages, mais il semble davantage mobilisé pour la conduite de diagnostic et « *rarement dans une optique d'opérationnalité et de co-conception* » (Auricoste, Colombo, Gailleton, Moronval, Pervanchon, Robert et Rousval, 2012, p. 139)

A de nombreuses reprises et dans les quatre objectifs du M59, un point fait au moins référence aux pesticides (systèmes économes en pesticides, indicateurs de risques pesticides, indicateurs d'impact agro-environnemental pesticides, plan Ecophyto). Deux activités pluridisciplinaires impliquant le module M59 permettent d'élargir le cadre des références techniques (cf. figure n°54) :

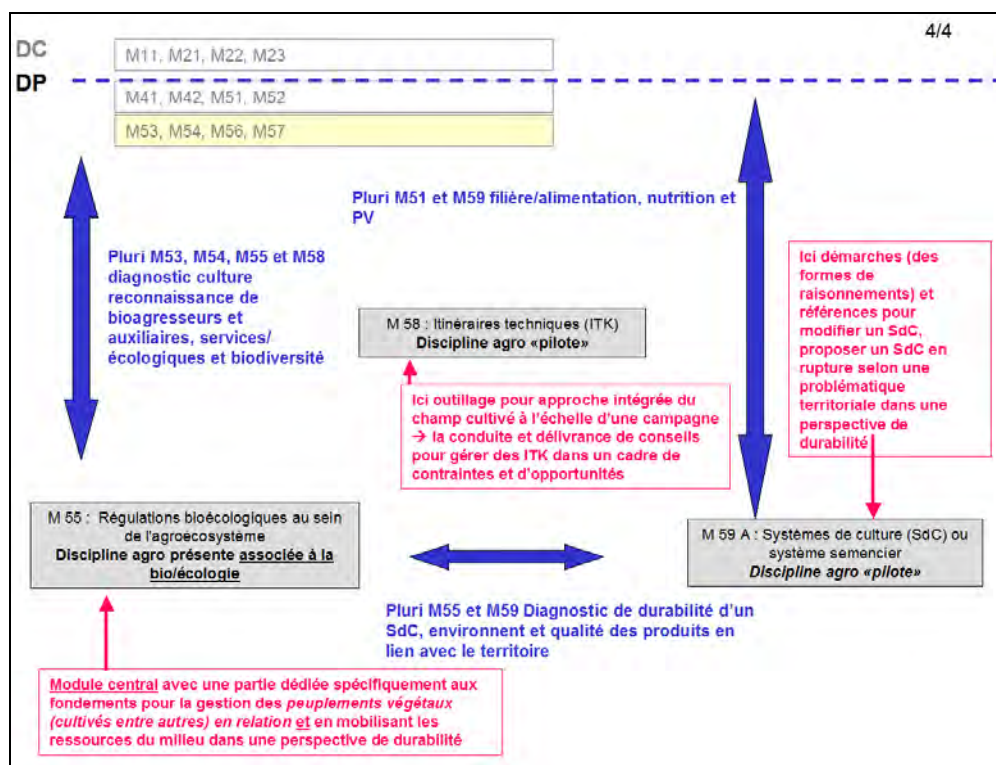
- la pluri M51 et M59 « filière/alimentation, nutrition et PV » aborde le choix de systèmes de production en lien avec des questions de nutrition,
- la pluri M55 et M59 « Diagnostic de durabilité d'un SdC, environnement et qualité des produits en lien avec le territoire » permet de discuter de la définition de la qualité dans des systèmes alimentaires territorialisés.

⁴⁵¹Présente lors des sessions de lancement et impliquée, nous avons été témoin de nombreuses inquiétudes des enseignants tant sur les outils pour aborder sur le plan didactique ces systèmes de culture en rupture que sur le niveau d'exigence (jusqu'où aller dans la reconception pour bien cerner ce qui relève du BTS et non d'un niveau ingénieur ?).

Les usages des pesticides impactent directement les systèmes alimentaires et leur qualité. Dans ce module M59, l'accent est vraiment mis sur la définition d'indicateurs pertinents pour les problèmes à résoudre et sur leur mobilisation concrète en situation : l'exploitation agricole de l'établissement est citée comme support pour enseigner-apprendre notamment dans le cadre de son éventuelle implication dans le plan Ecophyto (action 16). Le niveau R du cadre ESR est évoqué à partir de la notion « système innovant »⁴⁵² et les systèmes économes en pesticides sont explicitement cités « à faible utilisation de pesticide » MAAP-DGER, 2010g, p. 2) comme supports d'étude. Des travaux sont cités en référence pour servir d'appui pour la conception d'enseignements-apprentissages :

- les travaux conduits par le Réseau Mixte Technologique « Système de culture innovants » dont nous avons décrit l'implication dans l'évaluation du réseau de ferme Dephy,
- le guide STEPHY,
- et les travaux en lien avec la gestion de la flore d'adventices.

Selon nous, ce module est central pour développer des formes de raisonnements complexes informels pour réduire la dépendance aux pesticides et il permet de travailler concrètement des facettes de la complexité du changement de paradigme pour protéger les cultures (cf figure n°56 commentaires en rouge). **Figure n°56: Activités pluridisciplinaires en lien avec le module M59 dans le BTS APV**



3.3.3. Des appuis dans le curriculum potentiel pour aborder la diversité des problématiques en lien avec les pesticides et des démarches qu'il faudrait favoriser

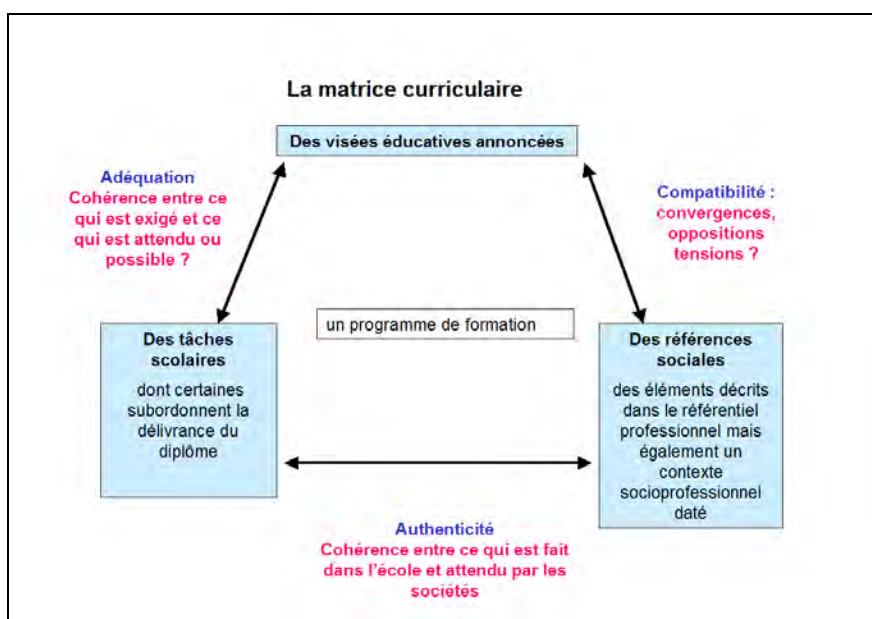
A partir de l'analyse de chacun des référentiels Bac pro CGEA option sdc et BTS APV (étude du curriculum prescrit et d'une forme du curriculum potentiel⁴⁵³), nous proposons une

⁴⁵² « Un « système de culture innovant » tel que défini dans le RMT, c'est un système de culture conçu en vue d'atteindre des objectifs renouvelés, orientés vers des enjeux émergents et évalués sur les priorités des agriculteurs, des filières et de la société » (Meynard, 2012, p. 143).

⁴⁵³ Nous avons analysé et comparé les référentiels professionnels, les capacités à évaluer, les situations professionnelles significatives, les référentiels de formation et des documents d'accompagnement de l'inspection de chacun des deux référentiels de diplôme.

synthèse critique des référentiels en termes de visées éducatives, des références et de tâches à réaliser par les élèves ou les étudiants (les annexes n°2, n°3 et n°4 rassemblent de manière plus précise les points saillants présentés ici). Nous avons extrait les tâches proposées pour valider l'obtention du diplôme en lien avec des problématiques «pesticides». Nous discutons la cohérence de la matrice curriculaire à partir des notions d'adéquation, de compatibilité et d'authenticité (adéquation [Cohérence entre ce qui est exigé et ce qui est attendu ou possible ?], compatibilité [convergences, oppositions tensions entre l'énoncé des visées éducatives et des références retenues dans les référentiels étudiés] et authenticité [Cohérence entre ce qui est fait dans l'école et attendu par les sociétés]- cf. figure n°57.

Figure n°57: Points d'ancrage de l'analyse curriculaire critique du Bac pro CGEA option sdc et du BTS APV



Les tâches scolaires retenues pour la certification des diplômes sont rappelées dans le tableau n°4 en annexe. La partie commentaires met en lumière les points d'appui pour la discussion autour des visées éducatives et les références.

Les visées éducatives pour les deux référentiels sont présentées ci-après de manière très synthétique à partir de notre analyse :

- Former des professionnels responsables pour promouvoir des agricultures performantes (multifonctionnelles) qui préservent l'environnement, délivrant des services marchands et non marchands en phase avec des demandes sociétales,
- Former aux risques et/ou incertitudes sur la santé humaine concernant des usages de pesticides,
- Faire acquérir des références sur la diversité des modes de conduite pour en extraire des principes d'action pour soi ou pour un groupe,
- Discuter la validité et la diversité des sources d'appui pour appréhender un problème en lien avec les usages de pesticides : soit en tant que citoyen ou à titre professionnel et contribuer au développement durable,
- Former à la définition des indicateurs simples pertinents pour soi ou pour un groupe pour conduire des systèmes de productions économes performants à la fois sur le plan économique et environnemental, en évaluer la performance et les piloter dans une perspective de durabilité,

- Former **aux règles de décision** pour piloter des systèmes de production selon les ressources du milieu en composant avec la complexité du vivant pour profiter voire amplifier les services délivrés par le fonctionnement de l'agroécosystème. Cette approche est plus affirmée et apparaît plus structurée dans le BTS APV (un module dédié le M55 et un module d'application le M59).
- Former aux prises de décisions prenant appui sur les réalités de terrain avec un accent mis dans les deux cursus sur l'observation et les diagnostics à différentes échelles (parcelle et système de culture).

Ce que nous interprétons « en creux »

Il apparaît une tension dans les visées éducatives entre la nécessité de s'extraire d'une approche normative pour la conduite des productions (appui explicite sur l'agriculture raisonnée et sur l'agriculture biologique) et la nécessité d'ouverture vers d'autres formes d'agricultures sans en souligner les conditions. Pour ce faire, la construction de solutions alternatives aux pesticides amène les enseignants et leurs élèves/étudiants :

- à se confronter à la diversité des producteurs de savoirs et des types de savoirs qu'il convient d'articuler. Les organismes scientifiques et de développement ne sont pas les seuls pourvoyeurs de références ou de principes pour agir. Les agriculteurs engagés dans des systèmes alternatifs ont également construit des formes de savoirs pour l'action et dans l'action : le danger est de les cantonner à des exemples sans aller travailler la validité et la portabilité des solutions développées en contexte. Les pratiques ne sont pas les seules références pour l'action, mais des savoirs hybrides agro-écologiques en construction émergents sont également à intégrer dans les raisonnements tout en les articulant à des concepts-clés structurants stabilisés agronomiques ;
- à dépasser la vision d'un environnement biophysique pourvoyeur de contraintes en termes d'aptitudes culturelles (Boiffin et Sebillotte, 1982) mais également en termes de respect de la réglementation (conditionnalité des aides de la PAC) ;
- à se confronter à des savoirs non stabilisés qui ont une validité en contexte. Ces savoirs ne portent pas seulement sur le volet conduite et gestion des productions, mais également sur les risques et/ou incertitudes sur des effets des pesticides pour la santé humaine, sur l'implication de choix collectifs à l'échelle du système alimentaire (nutrition et régime alimentaire par exemple).

L'agronomie est à repositionner au cœur des raisonnements pour concevoir et gérer les systèmes de production végétale en BTS. Les raisonnements que les élèves/étudiants sont amenés à construire sont surtout déployés sur les dimensions techniques et économiques et un peu sur la dimension sociale. La dimension environnementale est questionnée sous l'angle des impacts négatifs des pratiques (effets et conséquences). La parcelle est centrale pour le niveau Bac pro et le système de culture est davantage exploré en BTS. Si le concept de système de culture est annoncé comme un concept central, organisateur des enseignements-apprentissages pour problématiser les questions soulevées par de nouvelles perspectives de conduite, il est mal maîtrisé par les enseignants et par les apprenants (Gailleton et Moronval, 2013 ; Cancian, Bousquet et Magne, 2013). Ce constat rejoint l'analyse faite sur les fragilités du réseau de ferme DEPHY (action 14 du plan Ecophyto) dans le premier chapitre : le concept est difficile à appréhender et ne semble pas être porteur d'une dimension opératoire pour les agriculteurs. De plus, dans les référentiels, si le concept de système de culture est mobilisé, c'est « *rarement dans une optique d'opérationnalité et de co-conception* » (Auricoste *et al.*, p. 139)

Les références exprimées pour les deux référentiels sont présentées ci-après de manière synthétique :

- les titulaires des deux diplômes conduisent des activités professionnelles (installation ou appui) dans le cadre de référence des formes d'agriculture « raisonnée intensive » et agriculture biologique pour le bac pro et agriculture à haute valeur environnementale pour le BTS,

- la relation au vivant est prégnante avec deux facettes : simplificateur de la complexité du vivant ou promoteur de l'agrobiodiversité, la deuxième devrait prendre le pas sur la première,

- les systèmes de production doivent fonctionner avec **moins de pesticides**. Le plan Ecophyto et la perspective d'être contraint de réduire à terme le recours aux pesticides fait partie de l'horizon du BTS, les notes de service et les circulaires (dans la partie suivante) l'indiquent pour tous les référentiels y compris pour le Bac pro CGEA,

Cependant dans le curriculum potentiel, il **n'est pas fait mention de la diversité des références en train de se construire** (savoirs non stabilisés, distribués et pluriels) sur les systèmes alternatifs émergents comme les systèmes économes en pesticides et la nécessité de les combiner aux références considérées comme stabilisées pour trouver une solution au problème posé. Le pilotage en situation d'incertitude et la nécessité d'outiller pour conduire des ajustements chemin faisant ne sont pas assez affirmés et pourraient laisser penser que le raisonnement agronomique pourrait résoudre de nombreuses questions soulevées par le choix et la mise en œuvre des alternatives aux pesticides. Il nous apparaît nécessaire d'élargir de manière plus tranchée le cadre des références dans les raisonnements pour le niveau Bac pro CGEA. La dimension controversée des enjeux à considérer pour définir des objectifs et des résultats attendus pour concevoir des systèmes de culture alternatifs n'est pas assez mise en avant dans le cadre des activités à caractère pluridisciplinaire : les élèves et les étudiants ont peu d'espaces pour exprimer et réfléchir collectivement aux valeurs sous tendus par les choix individuels et collectifs et les risques perçus en tant que citoyen et professionnel de l'agriculture. Face à ces enjeux renouvelés pour les systèmes de cultures économes en pesticides, le travail de co-conception est plus efficace en groupes en interaction (comme l'exemple du réseau Dephy) (Auricoste *et al.*, 2012).

4. Les évolutions de la prescription *via* les notes de service et/ou circulaires et la contribution du système national d'appui.

Nous nous sommes appuyée sur des notes de service et des circulaires de la DGER depuis 1998 qui permettent de jalonner l'évolution de la prise en compte des problématiques de la réduction des pesticides et de la sécurisation de leur emploi. L'analyse diachronique a permis de mettre en évidence quelques points saillants concernant ces sujets. Nous nous sommes également intéressée au Système National d'Appui qui a contribué à mettre en place l'action 16 du plan Ecophyto. Ces deux aspects de la contribution à la réduction des usages sont respectivement abordés.

4.1. Les évolutions de la prescription *via* les notes de service et/ou les circulaires de la DGER

Nous nous intéressons plus particulièrement aux textes qui impactent le référentiel Bac pro CGEA et le BTS APV. Les notes prescriptives étudiées viennent en appui des référentiels de diplôme. En effet, ces derniers ne sont pas réécrits chaque année pour au moins trois raisons essentielles : (i) le cadre conçu est pensé pour tenir compte des enjeux du moment et intègre dans le même temps une vision prospective anticipant des enjeux émergents, (ii) la lourdeur administrative et le coût de l'instruction d'une rénovation en sont deux autres.

Les « notes de cadrage » prescriptives visent à intégrer et/ou anticiper des enjeux socioprofessionnels afin de mettre en cohérence les évolutions du contexte et la prescription

du référentiel de diplôme. Par exemple au début des années 2000, en pleine tourmente sur la vache folle, la presse avait pointé du doigt l'obsolescence des diplômes de l'enseignement agricole technique, attaque adressée à l'inspection pédagogique responsable de l'actualisation des contenus de la formation. Réactive, la DGER *via* son inspection pédagogique a diffusé un communiqué de presse en réponse et elle a modifié ses programmes en zootechnie par note de service en cours d'année (à situation de crise exceptionnelle, mesure extraordinaire). Même si depuis quelques années, la durée entre deux versions de référentiels est d'environ 6 ans, les notes de service et/ou de cadrage continuent à permettre les ajustements et à préparer les nouvelles orientations. La question de l'agriculture durable et de la gestion des intrants en agriculture fait partie des thèmes qui ont fait l'objet d'ajustements de la prescription au fil de l'eau afin d'inscrire les enseignements-apprentissages et les projets dans les lycées agricoles dans les réalités socioprofessionnelles qui se reconfigurent.

Nous livrons ci-dessous, une synthèse construite à partir de l'analyse diachronique de sept notes de cadrages. Nous n'avons pas retenu un cheminement chronologique, préférant rassembler des prescriptions selon qu'elles mettent ou non en avant une problématique sur les pesticides. Le tableau n°13 dresse un panorama synthétique de l'analyse conduite et permet de mettre en exergue les points qui nous interpellent dans le cadre de notre recherche.

Les pesticides : une problématique en arrière-plan dans l'enseignement

Les contenus des cadrages n'abordent pas directement la question des pesticides avant 2008. La gestion des pesticides (sécurité et usages) est évoquée dans les référentiels de diplôme Bac pro et BTS sous l'angle « impacts des pratiques sur le milieu » à côté de toutes les autres pratiques et sous l'angle respect de la réglementation en vigueur pour la préservation de l'environnement et des règles d'hygiène et de sécurité dans le cadre du travail avec des substances dangereuses.

- *L'agriculture biologique comme point d'ancrage pour discuter les usages des pesticides*

En 1998, l'agriculture biologique et les systèmes agrobiologiques doivent être obligatoirement abordés en Bac pro CGEA (NS DGER/POFEGTP/N98-2090). Trois points sont mis en relief :

- (i) l'aspect économie des intrants en se fondant sur une approche système pour gérer la fertilité (recyclage de la matière organique et complémentarité des productions) ;
- (ii) l'aspect « respect du cahier des charges » avec interdiction d'intrants chimiques. Par une approche comparée, l'angle des techniques est pointé avec plutôt la notion de substitution (niveau S du cadre ESR) : le désherbage mécanique pour gérer les adventices à la place d'un herbicide,
- (iii) comme cité plus haut, une technique de substitution de l'usage des pesticides est clairement soulignée avec le désherbage.

En 2008, la note de service DGER/SDPOFE/N2008-2081 complète et renforce la circulaire de 1998 et impose de considérer l'agriculture biologique dans toutes les filières de l'enseignement agricole technique. Cette fois, cette prescription mentionne explicitement des attentes sociétales en termes « *de qualité et de sécurité sanitaire et alimentaire* » (p. 2). Pour les filières productions, des recommandations spécifiques évoquent :

- la protection des cultures dans le cadre d'une dynamique générale de réduction des intrants pour contribuer au développement durable,

- les techniques utilisées en agriculture biologiques pour envisager des substitutions dans les systèmes conventionnels et le désherbage mécanique (et thermique) est encore pris comme exemple.

Les recommandations soulignent aussi la nécessité de développer des raisonnements complexes à différentes échelles et dans lesquels sont imbriquées des disciplines comme l'écologie, l'agronomie, l'économie, entre autres.

- *Le développement durable : une mise en perspective en termes d'éducation et de pratiques professionnelles*

En 2007, avec la circulaire sur l'éducation au développement durable (EDD, DGER/SDRIC/C2007-2015), la question de la gestion des ressources, des choix d'agriculture et des choix citoyens permet d'aborder indirectement les usages des pesticides dans l'agriculture à la fois sous l'aspect professionnel, « l'agriculteur responsable » et sous l'aspect éducation citoyenne dans les actions du quotidien (choix et réflexion sur les conséquences). La note de cadrage vise à confronter les élèves/étudiants à des questions problématisées et authentiques, dans la mesure du possible. Cette circulaire à visée éducative introduit la nécessité de bien considérer les questions qui se posent dans leur contexte pour en révéler la complexité et les imbrications. Une des recommandations interpelle notre recherche car elle introduit en particulier la notion de « *raisonnements sociaux, territoriaux et environnementaux en lien avec les raisonnements techniques et économiques habituellement privilégiés* » (p. 11). Valeurs et risques perçus sont convoqués dans les raisonnements. La question des pesticides n'est pas ciblée pour elle-même faisant l'objet d'actions spécifiques : les équipes éducatives peuvent l'aborder selon le contexte.

A partir de 2008, les questions de la sécurisation des usages et les emplois des pesticides enfin mis en lumière

2008 est une année charnière : la problématique « pesticides » est mise en lumière pour elle-même et les prescriptions accélèrent l'application des prérogatives du plan Ecophyto. Ces dernières font même le lien avec le volet « formation » de la directive européenne sur l'usage durable des pesticides (Directive 2009/128/CE et son annexe 1.)

En 2008, la circulaire « Emergence » (DGER/SDRIDCI/C2008-2009) a pour cadre d'application les exploitations supports. Elle impose à ces exploitations de contribuer à (i) l'émergence de pratiques innovantes **et** durables et à (ii) leur diffusion *via* la mission « expérimentation, démonstration ». Des thématiques sont prioritaires et la réduction des pesticides en lien avec le plan Ecophyto en fait partie : « *la réduction de l'usage des pesticides en lien avec le plan Ecophyto 2018 et la réflexion sur les itinéraires techniques bas-intrants, notamment via l'introduction de légumineuses dans les rotations* » (p. 3). Cette perspective souligne la nécessité d'une approche intégrée de la question de la réduction des emplois des pesticides dans les systèmes de production. La circulaire met également en exergue la l'intérêt de se rapprocher des collectivités locales, des acteurs de la recherche, du développement et des filières professionnelles dans les projets afin d'avoir une vision de la pluralité des enjeux et de la diversité des ressources mobilisables pour trouver des solutions. En 2014, la note de service DGER/SDRICI/2014-237 complète la circulaire « Emergence » et précise les exigences à l'échelle régionale, réaffirme la contribution des exploitations supports et des ateliers technologiques à l'effort national sur le plan technique et pédagogique en vue de la réduction de la dépendance aux pesticides. La note de service souligne la nécessité de généraliser à toutes les exploitations supports ou aux ateliers technologiques, les activités innovantes en lien avec les plans du projet agro-écologique à l'horizon de 2018. La note de service précise également la nécessité d'amener les acteurs de l'EPL à construire une solution concertée et « *partagée et portée par les acteurs institutionnels et économiques de ce territoire* » (p. 4).

En 2008, la circulaire DGER/SDPOEF/C2008-2003 remplacée en 2013 par la note de service DGER/SDPOFE/N2013-2143 s'intéresse de manière spécifique et exclusive à la question des

« pesticides » et c'est la première fois depuis 1998. Le terme « pesticides » est même inclus dans la liste des mots-clés en 2008. La circulaire pose des recommandations pédagogiques spécifiques concernant les usages des pesticides pour toutes les filières qui de près ou de loin sont amenés à aborder le sujet et ce « *Dans l'attente de l'actualisation progressive des référentiels des diplômes concernés délivrés par le Ministère chargé de l'agriculture, le renforcement de l'enseignement dispensé à propos des pesticides et de leur utilisation est recadré par les présentes recommandations pédagogiques* » (p. 1). La note de cadrage préconise la promotion des alternatives et la sécurisation des emplois. Les démarches pédagogiques doivent favoriser la compréhension des phénomènes, l'approche système. Les notions de « protection intégrée », « d'écosystème géré » et de « démarches agroécologiques » sont évoquées. Des recommandations pédagogiques visent également à développer en BTS des démarches de diagnostics et de raisonnements à différentes échelles. Deux points interpellent notre recherche : (i) dans les raisonnements, la dimension agronomique est sous entendue et (ii) la notion de « questions vives » (p. 4) est associée au recours des pesticides. Depuis 2013, la note de service remplace la circulaire « pesticides sécurisation et usages ». Sur la base de la comparaison des deux textes, nous constatons que les contenus sont très proches, mais les deux prescriptions se distinguent par :

- le terme « pesticide » remplacé en 2013 par la terminologie plus professionnelle (cf. chapitre 1) « produits phytopharmaceutiques »,
- l'introduction de la problématique de gestion des stocks de pesticides conditionnée par le « *retrait de l'autorisation de mise en marché* », (p. 6) en lien avec les engagements du Grenelle,
- la mention explicite du concept de système de culture pour conduire des diagnostics, en plus des autres échelles,
- la question de la gestion complémentaire des espaces productifs et des espaces non productifs,
- la notion de performance qui figure à côté de la notion de « systèmes économes »,
- la mention explicite de conduite des activités pédagogiques sans mise en contact des apprenants avec les substances dangereuses pesticides « *en respectant le principe d'évitement (utilisation d'un produit neutre)* » (p. 9).

La note de service recommande l'implication des apprenants dans des activités concrètes menées dans les projets de démonstration et/ou d'expérimentation sur l'exploitation support. Les équipes pédagogiques sont également invitées à s'impliquer dans des réseaux et à émarger à des projets sur ces thématiques : « *les appels à projets et l'intégration dans des réseaux professionnels et territoriaux constituent des opportunités pédagogiques dont les équipes doivent se saisir* » (p. 8). Ces recommandations suggèrent de contribuer à reconfigurer le système de transfert en agriculture (une conception horizontale du transfert remplaçant une conception verticale).

Synthèse des points saillants et des singularités de prescriptions analysées

Le tableau n°14 propose une synthèse des points qui nous sont apparus saillants et mettent en exergue des singularités qui nous interpellent dans le cadre de notre recherche. Ces éléments ont étayé notre réflexion pour construire notre expérimentation présentée dans le chapitre 5.

Tableau n°14 : Quelques points saillants de l'analyse diachronique de prescriptions

	Référence du document d'appui (NS = Note de service ; Circ = Circulaire)	Points saillants	Particularités/pesticides (mot-clés, intentions, injonctions, ...)
1	NS DGER/POFEGTP/N98-2090 du 23/09/98 « Recommandations pédagogiques pour la prise en compte de l'agrobiologie »	Cible particulièrement la prise en compte de l'agrobiologie dans le référentiel Bac pro CGEA	Entrée par les systèmes agrobiologiques → Question des pesticides abordée de manière détournée (arrière-plan) <i>via</i> économie des intrants Approche comparée des techniques Technique de substitution des intrants → niveau S du cadre (ESR)
2	Circ DGER/SDRIC/C2007-2015 du 12/09/07 « Education au Développement Durable » (EDD)	Introduit des questionnements autour du développement durable → dimension « responsabilité » professionnelle → dimension citoyenne	Question des pesticides abordée de manière détournée (arrière-plan) → complexité des questions de société/choix d'agricultures → « raisonnements sociaux, territoriaux et environnementaux en lien avec les raisonnements techniques et économiques habituellement privilégiés »
3	Circ DGER/SDPOEF/C2008-2003 du 23/01/08 « Recommandations pédagogiques concernant le renforcement de l'enseignement relatif aux produits phytosanitaires »	Fait le lien en termes de formation des agents du changement entre le plan Ecophyto et directive européenne (Directive 2009/128/CE) et les filières de l'enseignement agricole	Lien direct dans le titre de la circulaire → terme pesticide employé - Sécurisation des usages visée en premier lieu et réduction des emplois → intégration des exigences du plan Ecophyto sans attendre les réécritures des référentiels → promotion des alternatives aux pesticides Apparition des concepts de protection intégrée, d'écosystème géré, de démarches agroécologiques → mobilisation des processus agroécologiques pour gérer les systèmes de production → raisonnements à plusieurs échelles spatio-temporelles (dimension agronomique sousentendue) Notion de « questions vives » reliée aux pesticides
4	NS DGER/SDPOFE/N2008-2081 du 27/06/08 Complète la note de	Etend la prise en compte de l'agrobiologie à toutes les filières de l'enseignement agricole	Question des pesticides abordée de manière détournée (arrière-plan) <i>via</i> les systèmes agrobiologiques Intérêt des systèmes agrobiologiques

	<p>service DGER/POFEGTP/N98-2090 du 23 septembre 1998 pour l'ensemble des diplômes et formations de l'enseignement agricole Objet : Prise en compte de l'agriculture biologique</p>	<p>dont BTS TV et Bac Pro CGEA</p>	<p>→ démarche de raisonnements à plusieurs échelles en croisant les disciplines à mobiliser dans l'enseignement</p>
5	<p>Cir DGER/SDRIDCI/C2008-2009 du 27/06/08 « Emergence pratiques durables »</p>	<p>Cadre de l'application : exploitations supports et ateliers technologiques</p>	<p>Action de démonstration et expérimentation de systèmes innovants et durables sur EPL → support pour enseigner-apprendre → plan Ecophyto = thématique prioritaire à travailler → approche intégrée de la réduction des pesticides en lien avec les autres facteurs de production</p>
6	<p>NS DGER/SDPOFE/N2013-2143 du 13/11/13 Remplace : circ DGER/SDPOEF/C2008-2003 du 23/01/08 « Recommandations pédagogiques concernant l'enseignement relatif aux produits phytopharmaceutiques » Attention seule en vigueur aujourd'hui</p>	<p>Contenus textuels très proches de la Circ DGER/SDPOEF/C2008-2003 du 23/01/08 (citée en n°3) NS concerne directement le Bac pro CGEA et le BTS APV</p>	<p>Terme « pesticide » remplacé par produit phytopharmaceutique Formation comme levier de changement → mention de l'axe formation du plan Ecophyto (implicitement l'axe n°4 du plan) Mention du changement de paradigme dans la protection des cultures → « changer de stratégies vis-à-vis des produits phytopharmaceutiques » « Questions vives » et pesticides encore liées Recommandation d'implication des équipes dans des projets de systèmes alternatifs sur les exploitations supports à des fins pédagogiques Travail en réseau pour croiser les approches et les ressources</p>
7	<p>NS DGER/SDRICI/2014-237 du 27/03/2014 « Transition agro-écologique »</p>	<p>Visé les exploitations supports pour application et NS qui complète et renforce certains points la circ. « Emergence » Inscription dans le plan « enseigner à produire autrement » [transition agro-écologique] Généralisation des contributions aux objectifs des plans d'action du projet agro-écologique à toutes les exploitations des EPL 2018 = une échéance</p>	<p>Co conception de systèmes économes en pesticides Aspect conception d'une solution concertée et « <i>partagée et portée par les acteurs institutionnels et économiques de ce territoire</i> » p. 4/18 → Prise en compte des considérations des porteurs d'enjeux (solution située)</p>

4.2. Le système national d'appui et l'action 16

Pour la thématique de réduction de l'usage des pesticides dans les systèmes de production agricole, un certain nombre d'actions ont été mises en place dans l'enseignement agricole. Ces actions s'avèrent très imbriquées les unes avec les autres. L'exploitation des EPLEFPA apparaît au cœur d'une volonté du ministère de tutelle visant l'émergence et la promotion de pratiques agricoles durables. L'action 16 du plan Ecophyto y contribue. Un réseau national d'acteurs (le réseau « Agronomie-Ecophyto ») a pris en charge la mise en œuvre de cette action et assure le lien avec la DGER. Cependant, malgré un ensemble de ressources pour promouvoir des formes de changement, le passage d'un système construit à partir de références fondées et stabilisées sur le recours aux pesticides vers d'autres types d'agricultures, reposant sur de nouvelles connaissances, des savoirs en construction controversés et des rationalités moins technocentrées, n'est pas automatique. Cette transformation peut rencontrer des résistances et ce à tous les niveaux du système (Frère, 2014 ; Olry *et al.*⁴⁵⁴, 2014). Le cas de la conversion à l'agriculture biologique en est un exemple emblématique. Ces transitions reposent sur la mobilisation d'autres formes de raisonnement et de rationalité.

L'affichage de la volonté de promouvoir des systèmes durables via l'implication des fermes des établissements agricoles

L'enseignement agricole veut montrer son implication et son investissement dans le développement durable en mobilisant ses exploitations agricoles et son système éducatif sur différentes thématiques (*i.e.* la qualité des produits, le maintien des ressources naturelles). Il a une « triple responsabilité :

- *contribuer à l'innovation par l'insertion dans les réseaux de développement agricole et de recherche finalisée,*
- *participer activement au transfert des connaissances scientifiques et des pratiques innovantes,*
- *assurer un rôle démonstratif qui doit inciter, par l'exemple, à l'appropriation de toute bonne pratique par les exploitants agricoles* » (Chazelle et Pecqueux, 2013, p. 3). La circulaire sur l'«*Émergence et diffusion de pratiques agricoles durables : stratégie de l'enseignement agricole* » (DGER / SDRIDCI / C2008-2009 - du 27 juin 2008) précise la contribution des exploitations des établissements à l'émergence et à la diffusion de pratiques agricoles durables. Pour la mise en œuvre de cette circulaire de 2008, des objectifs ont été quantifiés dont un porte sur le fait que sur chaque exploitation des EPLEFPA soit mis en œuvre un projet en lien avec la réduction des intrants⁴⁵⁵. Parmi les thématiques prioritaires figure la réduction de l'usage des pesticides en lien avec le plan Ecophyto. Cette thématique apparaît au troisième rang après l'agriculture biologique et la stratégie nationale biodiversité⁴⁵⁶.

Le système national d'appui

Le système national d'appui (SNA) a une portée nationale. Il est conçu pour venir en appui à la mise en œuvre des différentes missions de l'enseignement agricole technique depuis

⁴⁵⁴ (Olry, Prévost, Cancian, Simonneaux, Métral, David et Frère, 2014)

⁴⁵⁵ Les autres objectifs à satisfaire sont : la conversion à l'agriculture biologique d'au moins une exploitation par région et si cela n'est pas possible la mise en place dans chaque EPLEFPA d'ateliers complémentaires conduits en agriculture biologique (productions animales et/ou végétales), la mise en place dans chaque région d'un projet d'autonomie énergétique sur une exploitation d'EPLEFPA.

⁴⁵⁶ Les autres thématiques considérées comme prioritaires sont la performance énergétique des exploitations agricoles, la certification haute valeur environnementale en agriculture, le développement de l'agriculture biologique, la prise en compte de la biodiversité dans les ITK, la gestion quantitative et qualitative de l'eau.

2004⁴⁵⁷. Le SNA est sous la responsabilité de la DGER qui définit le cadre des orientations en lien avec les politiques du ministère en charge de l'agriculture. Le SNA regroupe « *un ensemble de ressources et de personnes mises à disposition de l'enseignement agricole pour impulser son évolution et accompagner son adaptation aux changements éducatifs, sociaux, économiques ou technique* »⁴⁵⁸. Il fournit « *des cadres de réflexion, des procédures et des outils indispensables à la mise en œuvre de l'innovation* »⁴⁵⁹ et ses travaux contribuent pour certains à alimenter de manière spécifique des missions. Plusieurs thématiques⁴⁶⁰ de travail ont été définies par la DGER et trois catégories d'acteurs interviennent dans le SNA :

- des établissements nationaux d'appui ayant des missions nationales d'appui autour d'objets⁴⁶¹,
- des réseaux thématiques nationaux (11 réseaux) intervenant dans le cadre de la mission spécifique d'animation des territoires et des réseaux géographiques contribuant à la mission coopération internationale,
- des acteurs régionaux dans les services déconcentrés au niveau des DRAAF ou DAAF⁴⁶² et/ou des EPLFPA : les DRIF⁴⁶³ au titre de leur expertise sur les évolutions des métiers et des emplois et les DR-TIC⁴⁶⁴ (Délégué régional aux technologies de l'information et de la communication) au titre d'une expertise sur les TIC.

Dans un contexte en perpétuel changement, la vocation première du système d'appui est d'abonder la capacité d'adaptation des établissements afin de garantir des enseignements (aussi bien sur le plan des savoirs que sur le plan des compétences/attitudes) en phase avec les évolutions de l'agriculture et de la société. Parmi les acteurs du SNA, le réseau « Agronomie-Ecophyto » apporte une contribution concrète et directe à la mise en œuvre de l'action 16 du plan Ecophyto. La figure n°58 positionne les différents intervenants du SNA et met en évidence la place du réseau thématique qui nous intéresse.

⁴⁵⁷ Extrait de la note de service définissant le cadre d'intervention du Système National d'Appui : Note de service DGER/MSSI/N2009-2032 du 17 mars 2009 (PDF, 188 Ko)

⁴⁵⁸ Extrait de la note de service définissant le cadre d'intervention du Système National d'Appui.

⁴⁵⁹ source chlorofil.fr

⁴⁶⁰ Les dix thématiques ciblées par la note de service sur le SNA **sont** : alimentation, qualité et sécurité des aliments/ Animation et développement des territoires/ Coopération internationale/Edition/ Education au développement durable/ Établissement, organisation et projets/ Formation, certification prospective métiers/ Insertion et vie scolaire/ Pratiques pédagogiques et modes d'apprentissage/ Systèmes d'information.

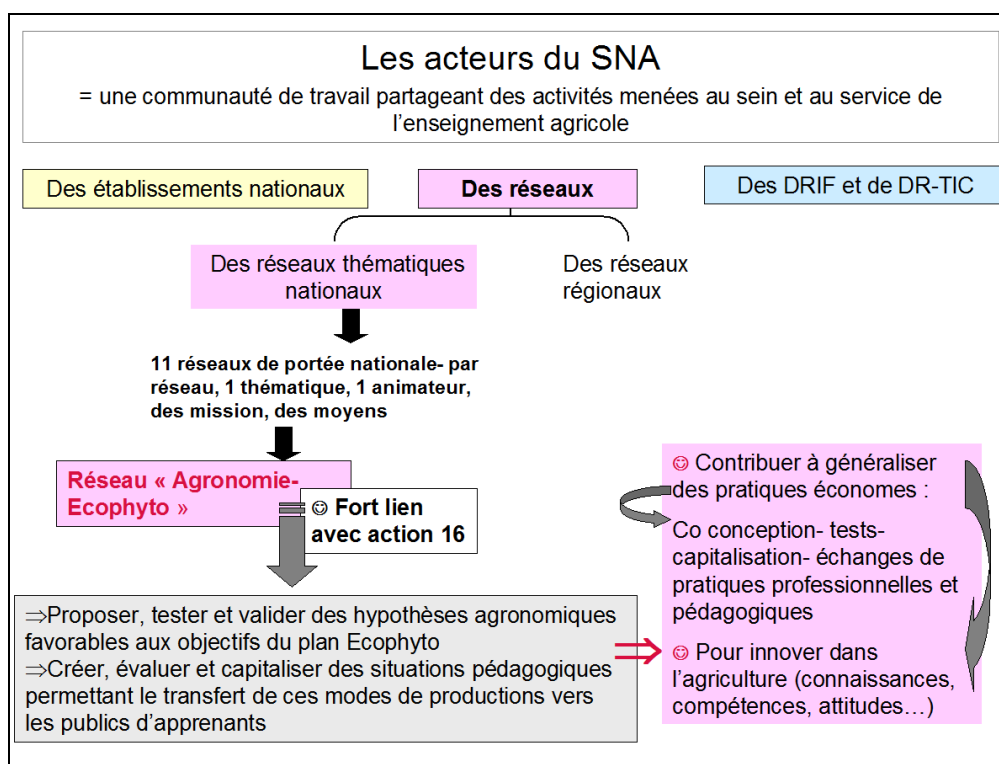
⁴⁶¹ L'accompagnement des rénovations est un exemple d'objet. Pour ce qui concerne le thème réduction de notre étude la réduction de l'emploi des pesticides, l'animation du réseau action 16 est un autre objet.

⁴⁶² DRAAF : Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt ou son équivalent dans les DOM-COM, DAAF : Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt

⁴⁶³ Les DRIF exercent leur expertise dans l'analyse de poste, l'élaboration de système de formation et la rédaction de cahier des charges en lien avec les métiers. Il font le lien entre « *le service public de formation et l'activité économique et participent à la modernisation des missions du service de « formation et développement »* ». Leur expertise couvre les métiers en lien avec la production agricole, avec la transformations des produits agricoles et les services en milieu rural. Les DRIF contribuent la définition des référentiels professionnels des diplômes professionnels dans l'enseignement agricole secondaire technique (cf. paragraphe sur la structure d'un référentiel de diplôme).

⁴⁶⁴ Les DR-TIC exercent la fonction de conseil et d'expertise pour des choix d'équipements et de logiciels en lien avec les technologies de l'information et de la communication (TIC). Les DR-TIC ont un rôle d'interface entre ces technologies et la pédagogie pour faciliter et permettre l'intégration des dans les formations initiales. Ils contribuent ainsi des expérimentations ou des actions d'animation au sein du service régional « formation et développement » et des établissements publics locaux de la région.

Figure n°58 : Les acteurs du SNA



Nous complétons la présentation de l'action 16 proposée dans le premier chapitre.

L'action 16, son intérêt pour le système éducatif

Cette action a pour objectif d'engager les exploitations des EPLEFPA et du développement agricole à jouer un rôle moteur dans la généralisation des itinéraires techniques et des systèmes de culture innovants répondants aux objectifs du plan Ecophyto (plus particulièrement en termes d'alternatives aux pesticides de synthèse et de systèmes économes en pesticides).

L'action s'appuie sur les exploitations des établissements agricoles poursuivant deux objectifs : l'un avec une dimension « technique » et l'autre avec une dimension pédagogique. Un objectif est centré sur la conception et l'expérimentation, la démonstration de pratiques agricoles économes et le deuxième a une visée pédagogique pour valoriser les résultats des projets en termes de transfert pour la formation et l'enseignement des publics de l'EPLEFPA et de la communauté de l'enseignement agricole. L'action 16 contribue :

- à accompagner des exploitations des EPLEFPA dans la dynamique de réduction de l'usage des produits phytosanitaires : les directeurs d'exploitation ne sont plus seuls, ils peuvent compter sur un réseau qui peut les aider à résoudre des problèmes rencontrés par la transformation des systèmes de culture ;

- à participer à la formation des enseignants et des directeurs d'exploitation à des démarches et des concepts mobilisés par la recherche agronomique et le développement dans le cadre du développement des systèmes innovants. Les travaux conduits dans le cadre du RMT Système de culture innovant présentés dans le chapitre 2 ont été très largement valorisés dans le réseau. Nous rappelons que ce RMT a été très impliqué dans les premières années de lancement du suivi des fermes Dephy (action 14 du plan Ecophyto). En particulier la démarche de description, de caractérisation, le concept de schéma décisionnel, une démarche de diagnostic agro écologique et une méthode d'évaluation de la durabilité ont fait l'objet d'apports lors

des réunions du réseau et ont été concrètement mobilisés pour structurer les livrables à la tutelle ;

- à abonder les ressources disponibles pour former les apprenants à produire autrement. En particulier, des scénarios pédagogiques ont été discutés dans le cadre du réseau « Agronomie Ecophyto » donnant lieu à des formes de *curricula* co construits. Les vertus de ce réseau sont supposées en termes de transformation par l'action : learning by doing : les élèves/étudiants impliqués seraient alors plus enclins à s'engager dans de telles démarches et auraient déjà une connaissance d'un réseau d'appui ;

- et enfin à décliner et à atteindre les objectifs du plan Ecophyto sur les plans local, régional et national.

Le réseau « Agronomie-Ecophyto » est le principal acteur pour la mise en œuvre de cette action 16. Il joue un rôle-clé d'interface entre les différents partenaires : la DGER représentant le ministère en charge de l'agriculture, les acteurs dans les l'EPLEFPA aussi bien les directeurs d'exploitations que les enseignants/formateurs, les acteurs du territoire (les professionnels, les chercheurs et les agents du développement).

Le réseau thématique « Agronomie-Ecophyto » et son intérêt pour notre recherche

Pour le réseau thématique « Agronomie-Ecophyto », les objectifs ont été reformulés en ces termes :

- proposer, tester et valider des hypothèses agronomiques en vraie grandeur prenant appui sur les objectifs du plan Ecophyto ;

- et créer, évaluer et capitaliser des situations pédagogiques permettant le transfert de ces modes de productions vers les publics d'apprenants (Chazelle et Pecqueux, 2013).

Les travaux conduits pour l'action 16 dans le réseau thématique contribuent à satisfaire les enjeux de la circulaire sur l'« *Émergence et diffusion de pratiques agricoles durables : stratégie de l'enseignement agricole* » (DGER / SDRIDCI / C2008-2009 - Date: 27 juin 2008). Plus récemment, en mars 2014, la note de service relative au « produire autrement » précise la mobilisation concrète de l'enseignement agricole à la transition agro-écologique de l'agriculture. Elle impose la définition des objectifs à atteindre, des actions, d'un calendrier et des indicateurs de suivis et de résultats (DGER/SDRICI/2014-237 27/03/2014) à l'échelle régionale en faveur de la promotion de l'agro-écologie dans les fermes des l'EPLEFPA, tout en impliquant les enseignants et les apprenants. Dans chaque établissement, un animateur référant en agro-écologie aura pour mission d'impulser, d'animer les activités dans ce sens faisant le lien entre les acteurs de l'EPLEFPA et les autres établissements de la région.

Afin de couvrir la diversité des productions agricoles, 42 établissements⁴⁶⁵ (publics et privés) répartis dans 22 régions françaises émergent à l'action 16 et sont dans le réseau thématique. Les fermes de ces établissements sont porteuses de projets singuliers de réduction des produits phytosanitaires. Le ministère en charge de l'agriculture marque aussi sa volonté de contribution au plan Ecophyto en favorisant l'inscription de certaines exploitations à la fois au titre de l'action 16 et de l'action 14 dans le cadre du réseau DEPHY. Les changements générés par la mise en œuvre de l'action 16 s'observent à la fois sur le plan technique (pratiques agronomiques) mais également sur le plan des pratiques pédagogiques. L'action 16 s'intéresse aux innovations agronomiques émergeant dans des systèmes de culture des exploitations supports pour réduire le recours aux pesticides. Pour atteindre les objectifs visés par le plan Ecophyto, les acteurs impliqués dans l'action 16 au sein du réseau se sont en particulier appuyés sur les travaux conduits dans le cadre du RMT système de culture innovant (RMT sdc) (Petit *et al.*, 2012b). Le réseau thématique a également veillé au transfert d'expériences vers la formation et l'enseignement.

⁴⁶⁵ Un petit nombre d'établissements de l'enseignement supérieur sont dans le réseau.

Un premier bilan des actions conduites entre 2009 et 2012 a été présenté lors d'un séminaire organisé par la DGER en novembre 2013 à Paris. Les résultats sont encourageants :

- l'objectif de réduction de 50% de l'usage des produits phytosanitaires par rapport à l'IFTréf⁴⁶⁶ a été atteint pour des systèmes en grandes cultures avec des performances économiques intéressantes, de bons résultats exprimés sur le plan de la durabilité et agro-écologique (bons diagnostics IDEA et Dialecte⁴⁶⁷) ;
- l'implication des personnels a été soulignée. Les directeurs des exploitations sont en première ligne, et 250 enseignants et 5800 élèves ont également participé à l'action 16 (MAAF-DGER, 2013b).

Le réseau « Agronomie-Ecophyto » a joué un rôle-clé dans la mise en réseau organisant et favorisant les échanges au sein de l'enseignement technique (directeur de l'exploitation et autres agents de l'EPLEFPA, entre EPLEFPA), mais aussi entre l'enseignement technique, la recherche agronomique, le développement et l'enseignement supérieur.

Sur le plan pédagogique, l'action 16 a contribué à la mission de démonstration, donnant à voir des alternatives aux pesticides : Montrer un possible et rendre accessible le processus qui débouche sur les résultats aussi bien aux enseignants chargés des enseignements en agronomie qu'aux élèves/étudiants pour peu qu'ils soient parties prenantes. L'action 16 a permis de faire le lien entre la recherche et la formation en particulier *via* les interactions avec le RMT sdc. Au bout de 3 années d'expérience une amélioration de l'appropriation des enseignants et des directeurs d'exploitation du concept-clé de système de culture semble être partagée : il offre une perspective pour se questionner la conduite économe des systèmes en productions végétales et les leviers pour y parvenir. C'est encourageant certes mais les acquis sont encore fragiles. Nous avons souligné dans le premier chapitre la difficulté liée à ce concept chez des agriculteurs. Dans le cadre de la formation, la difficulté s'explique, comme nous l'avons souligné, par le fait que dans les curricula, le concept de système de culture est certes abordé, mais « rarement dans une optique d'opérationnalité et de co-conception » (Auricoste *et al.*, p. 139).

Le rôle de soutien et d'accompagnement concret de ce réseau pour les enseignants impliqués et leurs élèves/étudiants dans la déclinaison des exigences du plan Ecophyto nous intéresse dans le cadre de notre recherche. Cela nous amène à supposer qu'engagés dans un tel réseau, les acteurs de la situation didactique seront plus à même de co concevoir des alternatives aux pesticides tout en inscrivant leurs propositions dans le cadre de réflexions en lien avec le « produire autrement » et le développement durable. Les enseignants seraient plus enclins à construire des situations d'enseignements-apprentissages amenant à produire autrement avec moins de pesticides (des apports sur les concepts, sur des démarches, un collectif avec des ressources partagées). De plus, les caractéristiques de certains systèmes alternatifs conçus sur les exploitations support inscrites dans l'action 16 permettent de discuter les résultats dans notre expérimentation présentés dans le chapitre : nous confrontons certains de ces résultats techniques concernant les propositions des systèmes de culture innovants aux propositions concrètes de solutions proposées par les élèves/étudiants de notre expérimentation.

⁴⁶⁶ Au niveau national, sur le même pas de temps les progrès ont été de l'ordre de 30%.

⁴⁶⁷ La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles) propose une démarche pédagogique, pour aider les équipes pédagogiques dans la mise en œuvre d'enseignements-apprentissages en lien avec l'évaluation de la durabilité à l'échelle de l'exploitation agricole (Briquel, Vilain, Bourdais, Girardin, Mouchet et Viaux, 2001). Elle permet de calculer concrètement ces indicateurs. L'outil dialecte a été mis au point par Solagro (1994). Il permet de faire un diagnostic agroenvironnemental à l'échelle de l'exploitation de l'impact des pratiques sur la préservation des ressources eau et sol, biodiversité, efficacité énergétique.

Deux autres points du bilan nous intéressent particulièrement dans le cadre de notre recherche en didactique :

- (i) remettre en cause des conduites dans les exploitations supports des EPLEFPA pour réduire les pesticides amène enseignants et apprenants à considérer les controverses inhérentes au thème tant sur le plan des savoirs, des risques perçus que des valeurs. Ces expériences autour de la thématique controversée de réduction des produits phytosanitaires révèlent également un questionnement en lien avec une particularité de l'enseignement agricole caractérisée par la « *double influence du champ de l'éducation et de celui de la formation professionnelle* » (MAAF-DGER, 2013a, p. 47) : quels contours entre former, enseigner et éduquer ? Quelles sont les références d'appui ?

- (ii) malgré des succès, des résistances observées également par ailleurs hors du système éducatif chez des professionnels (Meynard, 2012b) se manifestent dans le système d'enseignement. Elles interpellent les compétences et les savoirs nécessaires pour faire face aux enjeux de la conception de systèmes innovants⁴⁶⁸ économes en pesticides et mettent en relief les risques perçus associés. Des débats sur les choix à opérer dans la conception et la conduite des systèmes de cultures innovants économes en pesticides partagent les équipes techniques et pédagogiques. Il s'agit de questions « *comme la baisse de productivité, la perte de qualité à la récolte, la baisse de revenu, l'état visuel des cultures moins propre et d'autres tensions liées aux ajustements de main-d'œuvre* » (Cousinié, 2014, p. 17) mais également le fait que les problématiques liées aux pesticides exigent d'être appréhendées de manière systémique et non parcellisées : « *Les postures de tous les acteurs de l'agriculture : agriculteurs, conseillers, enseignants, apprenants vont donc devoir évoluer pour servir les approches systémiques et multifonctionnelles* » (Cousinié, *ibid.*, p. 19).

Comme le souligne Meynard, les difficultés rencontrées sur le terrain résident dans le fait que « *les moteurs de l'évolution des systèmes de culture sont nombreux, et souvent en tension les uns avec les autres* (Meynard, 2008) » (Meynard, *ibid.*, p. 143). Les tensions sont plurielles et se superposent parfois, compliquant des situations déjà complexes. Trois niveaux de tensions, explicités plus bas, ont été repérées dans la littérature agronomique qui aborde les processus sociotechniques de reconception (Butault *et al.*, 2010 ; Meynard, 2012b). Un autre niveau de tension ne fait pas l'objet d'explicitations aussi approfondies. La prise en compte de la perception des risques/incertitudes et des risques perçus apparaît très important à considérer dans le cadre de sujets controversés qui sont objets d'enseignement (Legardez et Simonneaux, 2006 ; Kolstø, 2001). Cette tension apparaît capitale dans le processus d'enseignement-apprentissage (Simonneaux et Legardez, 2011) et la didactique des questions socialement vives leur accorde une place importante dans la conception de dispositifs didactiques. Les quatre niveaux de tension identifiés sont discutés ci-dessous :

- des tensions entre enjeux économiques et environnementaux. Ce sont les premières qui viennent à l'esprit tant elles ont été le fer de lance de revendications d'une frange (majoritaire) de la profession agricole et ce sont celles que les élèves/étudiants mettent en avant pour expliquer le rejet en classe de la prise en compte de l'environnement et aujourd'hui de l'agro-écologie toujours perçus comme un frein pour agir et pour produire⁴⁶⁹ ;

- des tensions entre les enjeux environnementaux et sociaux. La prise en compte de la complexité du vivant alourdit la charge de travail (temps pour des tâches de surveillance ou

⁴⁶⁸ Nous rappelons au lecteur la définition que nous avons retenue pour définir un système innovant : « *Un «système de culture innovant» tel que défini dans le RMT, c'est un système de culture conçu en vue d'atteindre des objectifs renouvelés, orientés vers des enjeux émergents et évalués sur les priorités des agriculteurs, des filières et de la société* » (Meynard, 2012, p. 143).

⁴⁶⁹ Ce constat repose sur mon expérience personnelle et professionnelle en tant qu'enseignante en agronomie dans des filières productions dans des lycées agricoles et dans des licences et master en lien avec l'agriculture et en tant que formatrices d'enseignants en agronomie de lycées agricoles.

pour des opérations culturales alternatives aux pesticides) sans pour autant dégager assez de revenus pour permettre une embauche. Les nouvelles activités découlant de la réorientation des systèmes peuvent désorienter les agriculteurs car les principes d'actions reposent sur des apprentissages nouveaux qu'ils ne maîtrisent pas. Dans le même ordre d'idées, une action peut être considérée comme un progrès pour des citoyens (esthétisme du regain des flores messicoles, moins de désherbages avec des pesticides ou des retraits de substances actives dangereuses) et une difficulté voire une régression pour des agriculteurs (en corolaire, un salissement des parcelles pour le professionnel, un travail plus compliqué à organiser, absence de produits équivalents en efficacité sur le marché et/ou présence de produits beaucoup plus chers) ;

- des tensions entre des logiques individuelles d'agriculteurs et des logiques territoriales. Les choix des cultures et des assolements peuvent reposer sur les mêmes critères pour un groupe d'agriculteurs dans un territoire (opportunité de filières locales valorisantes, projections sur des cours de prix agricoles favorables, etc.) et poser des problèmes d'uniformisation des cultivars, facteurs de risques lors des épidémies ;
- des tensions liées à la difficulté à se projeter face à l'incertitude sur l'avenir et/ou face aux risques/incertitudes dont les solutions sont porteuses. Cette dimension risques/incertitudes peut expliquer la difficulté des acteurs à se positionner et/ou à se projeter et à prendre des décisions.

4. Synthèse : des points d'appui pour conduire l'expérimentation de recherche

Cette partie pose des jalons pour structurer un dispositif expérimental que nous allons affiner dans la suite. Dans un premier point, nous proposons des enjeux didactiques en lien avec des situations d'enseignements-apprentissages qui abordent une problématique de conception de systèmes de culture innovants économes en pesticides. Dans un deuxième point, nous avançons les premiers jalons d'un dispositif de recherche à conduire dans des classes de Bac pro CGEA et de BTS APV dans des lycées agricoles volontaires.

4.1. Des enjeux didactiques en lien avec des situations de classe reposant sur la conception de système innovant

Les processus d'innovation en jeu dans la conception et la gestion de systèmes économes en pesticides amènent à introduire et à ne pas négliger un travail didactique avec les enseignants et avec leurs élèves/étudiants autour :

- des finalités des systèmes à concevoir : « *les priorités ne sont pas les mêmes pour tous (...elles ne sont pas les mêmes partout (...)* » (Meynard, *ibid.*, p. 144). Des agriculteurs en situation d'innovation se distinguent par les ressources qu'ils mobilisent mais également dans la manière de les combiner, de les adapter (Chantre, 2011) : ce qui importe c'est de « *travailler à aider chacun à trouver sa propre solution* » (Meynard, *ibid.*, p. 144) en fonction des ressources possibles. Il est donc important de travailler en situation d'apprentissage sur la hiérarchie des priorités des acteurs directement impliqués pour garantir la dynamique d'ajustement chemin faisant des solutions (expression d'une forme de résilience montrant que le système est capable de trouver les ressources pour se pérenniser).
- des ressources mobilisables et à mobiliser pour mener le travail de reconception et la définition de principes de gestion (aussi bien en termes de « savoirs » que de réseaux d'acteurs). L'idée de développer une forme de bibliothèque de ressources est intéressante (Meynard, 2012a, Guichard, Ballot, Halska, Lambert, Meynard, Minette, Petit, Reau, et Soullignac, 2015) : elle rassemble des résultats de solutions innovantes et une évaluation

multicritère des performances, veillant à expliciter des limites⁴⁷⁰. Alimentée au fil de l'eau, elle serait mise à la disposition des agriculteurs et des autres acteurs impliqués dans les processus de conception. Reviennent alors aux parties prenantes le choix des leviers pertinents et le choix de les articuler ensuite et d'en vérifier la validité en situation. C'est à ce niveau que le renouvellement des approches en didactique s'avère pertinent pour dépasser le cadre des démarches de diagnostics promus dans les curricula étudiés en prenant en compte ;

- des compétences-clés et ce que Mayen appelle des savoirs robustes (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013) pour faire face à ces situations inédites. Comme « *La diversité des acteurs, des avenir possibles et des situations locales multiplient ainsi à l'infini le besoin d'innovation* » (Meynard, 2012b, p. 144), les activités de formation ne doivent pas reposer sur des approches normatives, imposant soit un mode d'agriculture (*i.e.* généralisation de l'agriculture biologique ou intégrée) soit des démarches qui n'accordent qu'une place déterminante aux raisonnements des choix techniques sur les dimensions économiques et agronomiques. Les dispositifs didactiques doivent concéder un espace où s'exprime l'expression des points de vue et se structure l'argumentation des solutions retenues tant sur le plan technique que sur des dimensions qui apparaissent engageantes pour les acteurs.

- les risques/incertitudes. Ils se révèlent être des obstacles pour conduire les enseignements et pour construire les apprentissages : d'un côté des enseignants sont confrontés aux risques d'enseigner (sujets trop impliquants, de l'autre, leurs élèves au risque d'apprendre (des sujets en trop grande contradiction avec leur rationalité et/ou leurs repères⁴⁷¹) (Frère, 2014). Ainsi, les tensions peuvent générer des contradictions, parfois difficilement conciliables, et perturbent les choix et les actions. Elles conduisent à des blocages et/ou dans les situations favorables à définir des compromis instables.

La formation permet de définir à partir de prescriptions, des *curricula* potentiels co construits et/ou réels amenant à « *faire évoluer de manière cohérente les connaissances, les méthodes et les modes de pensée* » (Meynard, *ibid.*, p. 149 ; Auricoste *et al.*, 2012). Pour ce qui concerne des outils didactiques pour enseigner–apprendre les méthodes de conception des systèmes, L'enseignement agricole dispose de peu de ressources pour co-concevoir des systèmes innovants. Les outils/démarches de la recherche exigent un travail conséquent sur le plan didactique. Les travaux dans le cadre du RMT sdcj sont à ce titre intéressants car à partir de produits de la recherche, les membres du RMT, chercheurs, agents du développement et bien-sûr enseignants de lycées et directeurs d'exploitation ont travaillé collectivement à la construction de ressources pédagogiques (*curricula* co-construits). Nous souhaitons proposer un cadre didactique qui permette de concevoir des situations de classe autour de la conception de systèmes de culture innovants. Nous avons choisi d'entrer dans le sujet par le questionnement de la discipline agronomie soulevé par le changement de paradigme dans la protection des cultures : Quelle forme pourrait prendre un curriculum potentiel dans la perspective d'apprendre et d'enseigner en Bac pro CGEA et en BTS APV pour produire autrement avec moins de pesticides ? Il nous importe d'entrer par des enseignements-apprentissages de la discipline agronomie tout en confrontant les élèves/étudiants aux savoirs pluriels, non stabilisés pour certains, émergents et aux controverses. Ces dernières sont génératrices de risques perçus et de doutes sur les voies et les enjeux de la réduction et de la sécurisation des usages des pesticides dans les systèmes de production agricole.

Le courant de la didactique des questions socialement vives (Legardez et Simonneaux, 2006) et son voisin anglo-saxon des Socio Scientific Issues (Sadler, Chambers et Zeidler, 2004) ont étudié l'intérêt des apprentissages des raisonnements informels complexes pour appréhender

⁴⁷⁰ AgroPEPS (Guichard *et al.*, 2015) déjà évoquée est construite sur cette base.

⁴⁷¹ Les élèves éprouvent le risque de s'investir dans un apprentissage qui peut remettre en cause leur façon de considérer les innovations ou qui leur semble éloigné de la forme scolaire telle qu'ils la perçoivent ou des pratiques coutumières de leur environnement social.

la complexité de sujets controversés et la contribution de l'argumentation dans la construction des connaissances scientifiques et techniques chez les élèves. Les raisonnements informels invitent à considérer la pluralité des savoirs en jeu et les conséquences sociales des applications des sciences et des techniques dans la perspective de prendre des décisions et d'agir. Ces résultats en sciences de l'éducation s'avèrent particulièrement pertinents pour les perspectives didactiques qui nous intéressent.

4.2. De premiers jalons pour un dispositif de recherche en didactique des questions socialement vives.

Nous avons repris les perspectives en termes d'enseignement-apprentissage que nous avons déduites de l'analyse des savoirs de référence en agronomie (en grisé dans le tableau) suite aux recommandations du plan Ecophyto dans le cadre de la transition agroécologique. Nous les avons confrontées aux résultats de l'analyse des *curricula* prescrits et potentiels du Bac pro CGEA et du BTS APV. Nous en avons déduit des jalons pour construire le cadre d'une expérimentation dans des classes de Bac pro CGEA et de BTS APV dans des lycées agricoles (ils sont énumérés dans le tableau et repérés par une lettre capitale A, B...etc. et en rouge). Le tableau n°15 ci-après précise notre argumentation.

Tableau n°15 : Points d'ancrage pour construire une expérimentation en didactique pour amener les élèves/étudiants à concevoir des alternatives aux pesticides

Perspectives en termes d'enseignement-apprentissage générées par l'analyse des savoirs de référence en agronomie /recommandations du plan Ecophyto	Visées éducatives et de formation du Bac pro CGEA	Visées éducatives et de formation du BTS APV
(i)Reconsidérer la complexité du vivant comme levier de gestion des systèmes économes en pesticides		
Les acteurs de terrain qui ont développé des alternatives et la littérature afférente soulignent la nécessité de revenir à l'agronomie et d'intégrer des concepts en écologie en lien avec l'approche fonctionnelle.		
❶ Les stratégies d'enseignement-apprentissage doivent enrichir les raisonnements pour les choix de combinaisons de techniques agronomiques qui vont contribuer à gérer les bioagresseurs. Si la justification agronomique demeure (c'était vrai avant), ces combinaisons doivent également être réfléchies en termes de services à favoriser : définir leur contribution à la délivrance de services écosystémiques, tant sur le plan de la structure de l'agroécosystème que sur le plan des processus (approche fonctionnelle).	La notion de service est moins mise en évidence dans le curriculum prescrit et potentiel.	Le module M55 facilite cette nouvelle façon d'approche des pratiques agronomiques, mais la dimension impact des pratiques est prévalente sur le fonctionnement de l'agroécosystème.
<p style="color: red;">A. Point sur le dispositif : Proposer un dispositif impliquant des élèves et des étudiants qui permet d'avoir accès à des facettes du raisonnement lors de la résolution d'un problème qui exige de proposer des solutions alternatives aux pesticides afin de voir quelles sont les connaissances mobilisées : quelles sont les notions en agronomie mobilisées ? Quelles en sont les justifications ? Est-ce que les leviers agronomiques sont également étudiés sous l'angle de l'approche fonctionnelle ? Est-ce que le concept de service écosystémique est convoqué ? Peut-on identifier un corpus de savoirs et de savoir-faire robustes⁴⁷² (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013) qui permettraient d'outiller pour comprendre et pour agir en situation tout en permettant d'intégrer des savoirs nouveaux ? Nous supposons que le niveau BTS prépare mieux à l'exercice.</p>		
❷ L'approche système est à développer pour considérer la complexité des processus à différentes échelles en intégrant l'agencement des espaces cultivés, leurs abords et les infrastructures semi-naturelles dans la gestion des populations de bioagresseurs. Cette fois, le raisonnement des	Même constat sur la notion de service	Même remarque sur l'impact des pratiques sur le fonctionnement de l'agroécosystème

⁴⁷² Nous revenons sur cette notion dans la partie qui décrit la situation-problème de notre expérimentation (partie 4III).

principes de gestion devrait amener les jeunes à se questionner sur le type d'habitats qu'il serait nécessaire de favoriser (et en retour les communautés associées), les types des flux et leurs intensités entre ces espaces.		
③ Les conséquences et les conditions des mesures retenues et/ou de leurs combinaisons devraient être travaillées lors des apprentissages.	Surtout impact des pratiques sur la dimension agronomique, économique et sociale (gestion des ressources humaines)	Même constat sur les dimensions concernées
<p>B. Point sur le dispositif : Proposer aux élèves/étudiants un dispositif dans lequel ils doivent alimenter le registre des conditions et des conséquences de ce qu'ils proposent pour limiter le recours aux pesticides : Par exemple par des questions du type « A quelles conditions et quelles en sont les conséquences ? »</p>		
<p>(ii) Considérer le milieu biophysique comme une entité agissante</p>		
Les enseignements en agronomie envisagent les pratiques en termes d'impacts sur le milieu, surtout considérés sous l'angle négatif. Il devient nécessaire de discuter en quoi la configuration de l'agroécosystème est un levier pour l'expression de services de régulation ou en quoi il les perturbe.	Constat déjà révélé plus haut	Le M55 pourrait être le module pour cela.
④ Il s'agit de travailler avec les élèves de nouvelles pratiques afin de considérer le milieu biophysique comme partenaire et non en termes de domination : le milieu doit être appréhendé en termes de fragilité mais également en termes de contribution à la gestion des bioagresseurs des systèmes cultivés. C'est une véritable gageure car de nombreux enseignants évoquent leur difficulté à aborder avec leurs élèves/étudiants dans les filières professionnelles des aspects qui touchent à l'environnement qui est considéré comme une source de contraintes et de remise en cause profonde de l'identité d'une profession. Les agriculteurs sont montrés du doigt considérés comme responsables de pollutions, à qui il serait refusé une possibilité de dialogue avec leurs détracteurs dans la société.	La dimension pilotage en situation d'incertitudes est peu développée dans les référentiels.	L'aspect règle de décision pour planifier un certain nombre d'activités et raisonner les interactions est davantage saillant en BTS.
<p>C. Point sur le dispositif : Etre en mesure dans le dispositif d'avoir accès aux risques perçus et aux argumentations sur des freins aux solutions que les élèves/étudiants proposent afin de discuter leur rationalité vis-à-vis de l'environnement dans les raisonnements</p>		

(iii) Considérer les acteurs de terrain comme des producteurs de savoirs à part entière		
Des termes-clés comme pluralité des savoirs, réseau, approche critique, posture accompagnateur émergent.		
<p>⑤ Dans la formation, les apprenants doivent être confrontés à la nécessité de considérer la pluralité des savoirs pour résoudre un problème qui se pose en des termes agronomiques avec une difficulté supplémentaire : les élèves/étudiants sont amenés à prendre en compte des savoirs non stabilisés et controversés et à les articuler éventuellement avec des savoirs considérés comme stabilisés. Sur le plan didactique, nous voyons plusieurs intérêts à concevoir des situations d'enseignement-apprentissage dans ce sens : les élèves/étudiants doivent reconsidérer les oppositions entre les savoirs scientifiques et savoirs d'expérience. Proposer des situations qui poussent les élèves/étudiants à discuter le contexte de construction des savoirs et à discuter les critères qui fondent leur validité pour en cerner la pertinence pour le problème à résoudre est une démarche qu'ils auront à mobiliser dans le futur professionnel. C'est une forme nécessaire de promotion de la démarche critique</p>	<p>Il n'est pas fait mention de la diversité des références en train de se construire (savoirs non stabilisés, distribués et pluriels). Les systèmes alternatifs retenus comme supports pour comprendre et apprendre des démarches et acquérir des références. Mais ne sont pas assez mises en avant les démarches mobilisées par les acteurs eux-mêmes dans les systèmes alternatifs, tout comme les types de savoirs et les apprentissages en jeu.</p> <p>Pas de mention claire de la pluralité des savoirs (y compris ceux des agriculteurs innovants) et de principes pour agir. Dimension critères de validité discutée sur les dimensions de la durabilité</p> <p>La dimension agro-écologique n'est pas nette. Les controverses ne sont pas appréhendées dans le Bac pro CGEA, le curriculum potentiel le permet.</p>	<p>Les controverses sur des sujets de société font explicitement partie du référentiel de diplôme.</p>
<p>D. Point sur le dispositif : le dispositif doit proposer des références d'appui diverses sur les performances de systèmes sur les dimensions de la durabilité (économiques, environnementales, sociales) et bien sûr agronomiques. Les sources doivent être plurielles pour rendre compte de la distribution des savoirs afin de voir quelles sont celles qui sont mobilisées. Les élèves/étudiants doivent être confrontés à l'aspect controversé des références et des savoirs comme ils le sont dans la « vraie vie ». Le dispositif doit permettre d'accéder à des moments de discussion entre élèves/étudiants sur la validité des sources qu'ils retiennent et/ou écartent : quels sont les risques évoqués et/ou la rationalité des élèves/étudiants ? Nous considérons alors que les références retenues sont pertinentes et considérées valides par les élèves/étudiants qui les mobiliseront. Dans le dispositif, la diversité des sources est un moyen pour introduire de la controverse.</p>		
⑥ La culture du réseau est également à initier et à développer en formation. Le réseau est une force pour	Aspect pas assez mis en avant et pas de recommandations pour des travaux collaboratifs pour conduire des études de cas, aspect qui nous apparaît très important.	

<p>instruire le questionnement et les réponses aux questions : il s'agit déjà de révéler combien la mise en réseau « d'intelligences » permet d'avoir accès à plus de ressources cognitives tout en développant une démarche critique. Une autre perspective intéressante offerte par le travail en réseau s'ouvre pour les enseignants comme pour leurs élèves/étudiants. S'impliquer dans des réseaux qui abordent ces questions de reconception de systèmes donne accès à une forme concrète accessible des savoirs liés au contexte en lien avec les processus écologiques. Les établissements d'enseignement agricoles techniques sont investis dans des projets d'innovation en partenariat avec des agriculteurs, la recherche et le développement. L'action 16 du plan Ecophyto⁴⁷³ est très intéressante sur ce plan et le réseau thématique « agronomie et Ecophyto » du système national d'appui (SNA) pour l'enseignement agricole s'intéresse en particulier aux formes de valorisation pédagogiques des ressources qui sont produites dans le cadre de cette action⁴⁷⁴.</p>	<p>La formation au travail en réseau est une nécessité dans ce contexte d'enjeux renouvelés.</p>	
<p>E. Proposer un dispositif qui met les élèves/étudiants en situation de réseau collaboratif en imposant une résolution collective</p>		
<p>(iv) Redonner une place centrale aux porteurs d'enjeux dans les solutions à découvrir ou à proposer.</p>		
<p>S'appuyer sur les points de vue, les objectifs et les résultats attendus par les porteurs d'enjeux (les agriculteurs, des citoyens, des consommateurs, des collectivités, des politiques, etc.), quels qu'ils soient, est important à considérer dans la construction des raisonnements à favoriser et à développer chez les élèves/étudiants. La prise en compte de ces porteurs d'enjeux sous tend également que la construction d'une</p>	<p>La place de l'agriculteur est centrale dans la conduite des études de cas et dans certaines évaluations.</p>	<p>Cet aspect est plus net en BTS avec un module qui pose un objectif de modification de système existant (dans le M59)</p>

⁴⁷³ Nous avons abordé dans le chapitre 1 ce que recouvre l'action 16 du plan Ecophyto.

⁴⁷⁴ Nous abordons dans la suite du texte avec plus de précision ce que recouvre ce SNA et la place et la contribution de l'action 16 dans ce système d'appui.

<p>solution ne se fonde pas sur une démonstration car il n'y a pas une seule issue possible mais des solutions, résultat d'un compromis entre plusieurs perspectives et points de vue.</p>		
<p>⑦ Sur le plan didactique, former à la construction d'argumentation est un enjeu de formation important, en proposant des ingénieries qui mettent en scène des enjeux de société tout en amenant les élèves/étudiants à considérer différents point de vue (et/ou aller les recueillir). Ces situations amènent à élargir le cadre des références des savoirs et des critères d'évaluation pour trouver une solution pertinente pour les questions soulevées par l'économie de pesticides au-delà « des savoirs ou des pratiques socioprofessionnelles identifiées » (Simonneaux et Cancian, 2013) et des seuls critères technico-économiques. La solution apparaît comme un compromis : il est nécessaire de gérer des fonctionnalités des agroécosystèmes en s'appuyant sur le vivant tout en considérant l'interdépendance avec des facteurs socio-économiques et culturels pour raisonner la délivrance des services écosystémiques⁴⁷⁵.</p>	<p>Pas de référence précise à la notion d'argumentation dans les modules professionnels où l'agronomie est pilote</p>	
<p>⑧ Le résultat de cette négociation est fondé sur la construction d'arguments en agronomie entre autres pour proposer des alternatives aux pesticides : des situations d'enseignement-apprentissage pourraient amener les élèves/étudiants à aller approfondir des connaissances sur l'approche fonctionnelle des agroécosystèmes en lien avec des techniques dites agronomiques mais également à discuter les valeurs à promouvoir dans les solutions proposées. ⑨ C'est un</p>		<p>Aspect plus net en BTS APV</p>

⁴⁷⁵ Les services écosystémiques sont des services écologiques auxquels les acteurs attribuent une valeur.

nouvel exercice pour penser des formes d'interactions dans l'agroécosystème en lien avec un socio-système qui mobilise l'approche système de manière plus intégrative, cette fois.		
F. Point sur le dispositif : Le dispositif didactique doit mettre les élèves/étudiants en position de construire la solution collective sur la base d'argumentations et de négociations.		
⑩ Enfin, des apprentissages sont à développer sur l'évaluation des « coûts » des solutions sur différents plans environnementaux, sociaux, économiques, écologiques, éthiques,...	Démarches de diagnostic et d'évaluation de la durabilité à plusieurs échelles : exploitation et parcelle sont privilégiées.	
		échelle système de culture mieux explorée
G. Point sur le dispositif : Proposer une étude de cas où des enjeux de plusieurs natures (économiques, professionnels environnementaux, réglementaires, santé, etc.) sont énoncés à différentes échelles (territoire, une exploitation agricole, système de culture). Le dispositif doit pousser les élèves/étudiants à exprimer leurs points de vue et à les argumenter (travail en sous-groupes avec des avis sur les questions d'usage des pesticides supposés différents).		

La didactique des questions socialement comme cadre théorique d'ancrage

Favoriser l'émergence et le développement de raisonnements complexes chez des élèves/étudiants dans le but de proposer des solutions alternatives aux pesticides inscrites dans une perspective de développement durable et prenant appui sur des savoirs de la discipline agronomie est au cœur de notre recherche. Un des enjeux éducatifs de notre recherche est également de confronter les élèves/étudiants à la pluralité des savoirs dont certains sont émergents non stabilisés et controversés. Le cadre de la didactique des questions socialement vives a creusé les questions d'enseignements-apprentissages en lien avec la construction des connaissances et des habilités pour décider et pour agir dans les sociétés autour de questions impliquantes pour les acteurs des sociétés (les apprenants compris) et controversées : « *L'enseignement des QSV non seulement contribue à la culture scientifique, mais il peut aussi favoriser une culture politique des élèves/étudiants en incluant l'analyse des risques, l'analyse des modes de gouvernance politique et économique ainsi que la prise de décision et l'action* ». (Simonneaux et Simonneaux, 2014b, p. 61).

Nous proposons donc de préciser des éléments du cadre théorique d'ancrage de notre recherche dans la partie suivante afin de préciser le dispositif de notre expérimentation de recherche.

Chapitre 4

Partie 4II : Conduire l'analyse des états de la controverse

Afin de conduire l'analyse socio-épistémologique, il convient de faire l'état de l'art sur les savoirs de référence de la question objet d'enseignement-apprentissage et de dresser des états de la controverse : pour étudier une question socialement vive, « *il convient de mettre en œuvre l'incontournable détour de l'analyse socio-épistémologique des savoirs impliqués*, (Legardez et Simonneaux, 2006), *c'est-à-dire de brosser la cartographie des controverses, pour reprendre l'expression de Latour (...)* (in Legardez, Simonneaux, 2011, p. 21) ». Le chapitre 2 a contribué à faire le point sur un état des savoirs de référence pour appréhender le changement de paradigme dans la protection des cultures généré par la perspective de réduire l'usage des pesticides. Nous complétons ici l'enquête socio-épistémologique en proposant cette fois l'analyse des controverses.

Dans le chapitre 1, l'étude socio-historique a mis en évidence des facteurs qui ont conduit à privilégier l'usage des pesticides pour protéger les cultures dans une forme d'agriculture intensive devenue dominante. Nous avons perçu dans l'approche socio historique une évolution des thèmes qui sont mis en débat dans la société. Les arguments en faveur de la protection de l'environnement ont été d'abord à l'origine de la remise en cause du modèle d'agriculture dépendante des pesticides. Mais malgré les affaires médiatisées sur les effets délétères des pesticides, le système a résisté aux critiques (Lamine *et al.*, 2008 ; Lamine *et al.*, 2010a et 2010b). Récemment, les problèmes liés à la santé des consommateurs, des personnes fragiles et des professionnels ont été davantage médiatisés. L'annonce des mesures du plan Ecophyto 2018 (2008) fait écho à certaines demandes de citoyens, d'ONG, de professionnels, de politiques et de scientifiques juste après le Grenelle Environnement et le plan consacre clairement un axe à la santé. Il semble que les états de la controverse aient évolué au fil du temps et qu'avec eux les risques considérés. L'objectif de cette partie est d'instruire la question de recherche (QR) suivante annoncée dans la problématique : **QR2b Quels sont les états de la controverse sur l'usage des pesticides dans l'agriculture ?** Nous proposons par reformulations successives de préciser la question de recherche.

Quels sont les sujets objets de débats ? (sous QR21b) Quels sont les arguments en faveur ou contre le recours des pesticides dans l'agriculture et qui sont les parties prenantes en présence et leurs liens ? (sous QR22b)

Nous supposons que les effets des pesticides sur la santé peuvent être des arguments de « poids » dans les débats ». **Parmi les arguments déployés par les parties prenante quels sont ceux qui expriment des risques ? (sous QR23b)**

L'inscription du plan Ecophyto dans le projet agroécologique pour la France souligne le nécessaire changement de paradigme dans la protection des cultures. Les savoirs

agronomiques sont apparus centraux et l'appui de la recherche est incontournable. L'état sur les savoirs de référence a révélé deux ruptures dans les fondements des raisonnements pour définir des stratégies de protection des cultures : l'une porte sur la pluralité des savoirs d'appui (ceux de la recherche mais aussi ceux de l'expérience de terrain) et l'autre sur la prise en compte du milieu biophysique, terme que nous préférons à « nature », comme entité agissante incontournable pour co-concevoir et gérer des systèmes économes en pesticides (chapitre 2). L'analyse curriculaire a mis en lumière la nécessité d'insister sur le changement de paradigme dans la protection des cultures en intégrant l'approche fonctionnelle de la biodiversité pour piloter les systèmes cultivés. Dans la définition des états de la controverse, il serait intéressant de pouvoir caractériser des formes de rationalité des parties prenantes en lien avec les risques exprimés à l'égard du recours aux pesticides et leur conception du milieu biophysique. Ce faisceau de considérations nous amène à rechercher un cadre théorique qui aborde les risques en particulier en discutant un rapport à la nature et le rapport aux savoirs technoscientifiques (en lien avec la question des savoirs distribués). La littérature abordant le concept de risque est abondante. La polysémie du terme complique le choix d'un ancrage théorique pour discuter les arguments mis en avant en termes de risques au sujet des usages des pesticides par les parties prenantes. La conception du milieu biophysique (au sens de nature) nous apparaît centrale et doit retenir particulièrement notre attention dans le choix d'un cadre conceptuel.

Nous souhaitons remobiliser cette production cartographique pour discuter la rationalité des élèves et des étudiants retenus dans notre expérimentation.

Sous quelle forme représenter les controverses pour mettre en évidence les parties prenantes, les interactions, des arguments ? (sous QR24b) Quelles sont les rationalités révélées en lien avec la perception des sciences et du milieu biophysique ? (sous QR25b)

Comment construire les cartographies pour visualiser des reconfigurations des controverses ? (QR26b)

Dans une première partie, nous présentons nos ancrages théoriques contribuant à définir notre cadre conceptuel pour conduire cette partie de l'analyse socio-épistémologique sous la forme de cartographies des controverses. Dans un premier point, nous avons pris appui sur les travaux de l'équipe de Latour qui ont exploré l'aspect « production de cartographies » pour appréhender les controverses en mobilisant la théorie de l'acteur-réseau. Dans un deuxième point, nous abordons le concept de risque et la notion d'incertitudes pour retenir un cadre d'analyse des arguments exprimant risques/incertitudes dans l'analyse des controverses. En effet, comme nous l'avons signalé en amont, les débats en lien avec la réduction de l'usage des pesticides sont indissociables de la question des risques et/ou des incertitudes que les parties prenantes envisagent pour plébisciter ou pour rejeter le recours aux produits phytosanitaires. Nous retenons la théorie des biais culturels et la Théorie Culturelle des risques (Douglas, 1978 ; Douglas et Wildavsky, 1983 ; Schwarz et Thompson, 1990). Nous justifions le choix de ce cadre théorique par l'approche proposée pour appréhender des perceptions des risques et/ou incertitudes exprimées chez par les individus en lien avec les perceptions des sciences et des technologies (technosciences)⁴⁷⁶ et de la nature⁴⁷⁷. Dans une

⁴⁷⁶ Nous préférons utiliser le terme « technosciences » pour souligner l'imbrication et les interactions entre les sciences, les technologies et les techniques. Les sciences comme les chercheurs ne se déploient pas dans un vide social, à l'abri des interactions avec les sociétés. La recherche s'inspire parfois des techniques et les technologies et les techniques sont enrichies par les sciences ou en sont des formes de traductions (au sens de Callon et Latour). Le néologisme a été attribué à tort à Latour dans les années 80 qui largement contribué à sa diffusion. Nous adhérons à la justification proposée par Latour : « *un paquet fabriqué par certains chercheurs pour résoudre des problèmes de priorité, de préséance, de responsabilité et d'étiquette, pour exclure le travail de ceux qui ne portent pas de blouse blanche et pour couronner quelques lauréats du prix Nobel* » (Latour, 1987, p.

deuxième partie, nous présentons la méthodologie originale de construction et d'analyses des cartographies des controverses puisqu'il n'existe pas de méthodologie préconstruite et représente un résultat de recherche à part entière. Dans une troisième partie, nous présentons l'analyse des cartographies des controverses et nous précisons les indicateurs retenus pour alimenter la grille d'analyse de la complexité des raisonnements qui seront produits lors de la résolution de la situation-problème par les élèves/étudiants. Les deux dernières parties se fondent en partie sur le texte des publications suivantes (Cancian et Simonneaux, 2013 ; Cancian et Simonneaux, 2012).

Pour résumer dans cette partie, ce sont quatre objectifs que nous visons :

- compléter l'analyse socio-épistémologique pour mettre en lumière les controverses, les acteurs en présence, leurs interrelations, les thèmes de controverses et des stratégies argumentatives associées ;
- révéler les arguments liés aux risques exprimés par les parties prenantes des controverses. La production des cartographies doit nous permettre d'analyser des argumentations sur les risques et/ou les incertitudes exprimées par des acteurs pour justifier le recours aux pesticides ou à leurs alternatives et celles pour les écarter : De quoi ont-ils peur ? Quelles sont les menaces identifiées qui justifient leur positionnement ? Ces argumentations sur les risques et les incertitudes rendent compte selon nous d'une forme de rationalité des acteurs (rationalité scientifique ou rationalité critique (Beck, 1986 ; 2001)).
- poser des jalons pour construire la situation éducative, support de notre expérimentation dans les classes ;
- extraire des indicateurs à partir des éléments révélés par l'analyse des cartographies pour contribuer à alimenter la grille d'analyse des raisonnements produits par les élèves/étudiants lors de la résolution de la situation-problème de notre expérimentation. En lien avec les processus d'enseignement-apprentissage, la didactique des questions socialement vives pose également comme incontournable l'approche critique des risques et des incertitudes dont sont porteurs des objets d'enseignement controversés. Nous souhaitons discuter le type de risques et/ou d'incertitudes qu'ils envisagent : ces considérations révèlent-elles des freins ou des appuis pour le développement de raisonnements complexes visant la réduction des pesticides dans les systèmes de production ?

1. Ancrages théoriques pour produire les cartographies des controverses sur l'usage des pesticides en agriculture et les analyser

Dans une première partie, nous abordons la théorie de l'acteur-réseau ou sociologie de la traduction. Dans une deuxième partie, nous abordons les deux approches de conceptions théoriques du risque : le risque défini comme une grandeur quantitative, le risque défini comme le résultat d'une perception subjective.

282). Si le terme a été introduit après la seconde guerre mondiale bien avant Hottois (1977) et Latour, il a été repris de nombreuses fois dans des champs aussi divers que les sciences de l'ingénieur, l'écologie politique, la sociologie des sciences. Il convient donc de préciser ce que l'on entend par « technoscience ». (Dominique Raynaud (2015) propose une approche documentée de la naissance du terme à l'adresse : <https://upmf-grenoble.academia.edu/dominiqueraynaud/Papers:-Hist-Epist-Sociology>).

⁴⁷⁷ Il nous apparaît plus opportun afin de lever des ambiguïtés de sens auprès du public en formation. Les élèves/étudiants qui poursuivent une formation agricole dans le champ de la production végétale sont davantage marqués par des repères en phase avec le secteur production agricole. C'est la raison pour laquelle nous appelons « milieu biophysique », l'ensemble des ressources eau, sols, air et êtres vivants. Cette sémantique fait référence à l'agrosystème ou l'agroécosystème en fonction du degré d'anthropisation et/ou du paradigme considéré.

1.1. La théorie de l'acteur-réseau ou la sociologie de la traduction

Inspirée du courant des *Science and Technology Studies* (STS) (Bijker, Hughes et Pinch, 1987), la sociologie de la traduction⁴⁷⁸ (Callon, 1986) ou la « théorie de l'acteur-réseau (Akrich, Callon et Latour, 2006) ou encore l'« Actor-Network Theory) (ANT) (Law et Hassard, 1999 ; Latour, 2005) émerge au cours des années 80. L'approche⁴⁷⁹ s'est modelée au fil du temps et le statut de théorie lui est souvent reproché⁴⁸⁰. Elle développe un champ original de la sociologie des sciences en se fondant sur des démarches empruntées à l'ethnopsychologie et à l'anthropologie. Elle a pour projet de « suivre les associations » (Latour, 2006). L'ANT propose à la fois un cadre conceptuel et une approche méthodologique qui renouvelle les études en sociologie du processus d'innovations⁴⁸¹ scientifiques et techniques en élargissant son champ d'étude aux « objets » ou aux « artefacts⁴⁸² ». La théorie accorde une place particulière aux controverses : elles sont inévitablement générées par la naissance d'une innovation, par l'occurrence d'un changement. Il est parfois difficile de positionner la sociologie de la traduction ou l'ANT entre théorie et démarche. Latour laisse lui-même volontiers planer l'ambiguïté et l'entretien⁴⁸³ (Latour, 2004).

Nous présentons dans un premier point quatre concepts-clés (réseau, actant, symétrie et traduction) et des contours de l'approche méthodologique proposés par ses auteurs (agnosticisme et pragmatisme, symétrie généralisée, principe d'association et d'irréduction). Dans une deuxième partie, nous abordons des controverses/critiques adressées à l'ANT dans sa « forme latourienne⁴⁸⁴ » et nous indiquons et justifions des points d'appui pour construire notre méthodologie dans une troisième partie. Dans une quatrième partie, nous complétons nos points d'appui méthodologiques à partir (i) d'une présentation synthétique de l'exercice pédagogique de cartographie des controverses proposée par Latour et son équipe dans des grandes écoles d'ingénieurs et (ii) de recherches en lien avec les cartographies des controverses. Dans une cinquième partie, nous récapitulons des points saillants d'appui pour notre recherche.

⁴⁷⁸ La sociologie de la traduction a encore d'autres dénominations comme « *ontologie de l'actant-rhizome* », « *sociologie de l'innovation* » (Latour, 2006). Dans la suite de notre manuscrit, nous utilisons l'acronyme « ANT ».

⁴⁷⁹ Un courant anglo-saxon initié par John Law et un courant français à l'instigation de Bruno Latour, Michel Callon, Madeleine Akrich avec le centre de sociologie de l'innovation (CNRS- Les Mines Paris) se sont développés. Nous nous appuyons sur le courant français. Latour (2006) propose des textes fondateurs (Callon et Latour (1981) discutant le Léviathan, Latour (2001) abordant Pasteur et les microbes, Callon (1986) avec les coquilles St-Jacques et Law (1986) évoquant la navigation portugaise vers les Indes.

⁴⁸⁰ Nous abordons cet aspect de la critique un peu plus loin dans le texte.

⁴⁸¹ Alter (2002) distingue invention et innovation. L'invention précède l'innovation et cette dernière serait une invention qui aurait « trouver » son public L'invention « *représente une nouvelle donne, la création d'une nouveauté technique ou organisationnelle, concernant des biens, des services ou des dispositifs, alors que l'innovation représente l'ensemble du processus social et économique amenant l'invention à être finalement utilisée ou pas* » (Alter, 2002, p. 16).

⁴⁸² Un artefact est un ensemble d'éléments structurés qui a pour origine une action humaine pour remplir une fonction : rapport écrit, un objet, un dispositif.

⁴⁸³ Nous l'abordons dans la suite du texte dans la partie critique de l'ANT.

⁴⁸⁴ Nous justifions ce positionnement par le fait que Latour a proposé des exercices pédagogiques de cartographie des controverses. Nous nous inspirons de cette mise à l'épreuve des concepts et les principes méthodologiques de l'ANT auprès d'un public d'étudiants de Grandes Ecoles (les Mines Paris entre autres) pour préciser notre démarche de cartographie des controverses sur les pesticides.

1.1.1. Approche conceptuelle et méthodologique fondant la théorie de l'acteur-réseau

L'approche conceptuelle

L'ANT se fonde sur quatre concepts-clés : (i) le réseau (socio-technique), (ii) les actants, (iii) la symétrie et (iv) le processus de traduction.

L'ANT propose une alternative critique à la conception du modèle de création et de diffusion des innovations qui reposerait sur deux étapes distinctes dans le temps⁴⁸⁵. La théorie prend le contrepied de cette conception sur quatre points (la notion de réseau, d'actant, de symétrie et de traduction). Selon l'ANT, la production des faits scientifiques fait écho à l'approche prônée par Dewey (1915, 2005) qui rejette « *toute autonomie du savoir scientifique, en particulier à l'égard de ses conditions sociales de production* » (Dewey, 2005, p. 86).

(i) La constitution de réseaux est une forme d'explication du monde du laboratoire et du monde social qui n'existent que par les imbrications qui les caractérisent (les chercheurs ne cherchent pas sans intégrer dans le processus de création les interactions sociales dont ils sont eux-mêmes un produit). Callon (1986), Latour et Woolgar (1979, 1988) renouvellent l'approche de la notion de contexte en ne le considérant pas comme un cadre figé *a priori* et posant le champ des actions possibles. Le contexte se crée et se déforme au gré des interactions entre les hommes, entre les hommes et les objets ou autres artefacts : c'est un produit du processus. C'est pourquoi les processus de construction des savoirs et leur diffusion doivent être appréhendés à partir de réseaux sociotechniques qui rendent compte de ce qui se construit, « *unifiant ce qui est fragmenté, totalisant ce qui est dispersé, collectivisant ce qui est individuel* » (Truc, 2005, p. 86). Les sociétés apparaissent donc davantage comme des réseaux parce qu'elles sont faites de constituants hétérogènes et ce sont les propriétés d'assemblages qui structurent et font tenir les réseaux. Les parties prenantes n'existent que dans et par un réseau fondé sur des interrelations : ce sont des acteurs-réseaux⁴⁸⁶.

(ii) L'ANT vise à apporter des réponses à la question « *comment les choses agissent-elles ?* » (Callon et Ferrary, 2006, p. 40). Ainsi, les hommes ne sont pas les seuls acteurs mués d'une puissance motrice dans les processus d'innovations scientifiques et techniques. Les acteurs non humains comme les humains sont des parties prenantes dès lors qu'ils contribuent au processus. La terminologie d'« acteur-réseau » ou d'« actant » a ainsi été proposée pour désigner cette configuration : « *je propose d'appeler actants tous ceux, humains ou non-humains, qui sont représentés afin d'éviter le mot d'acteur trop anthropomorphique* » (Latour, 1989, p. 131). Trois conséquences en découlent. (a) Un acteur n'a d'existence que par sa place et son rôle. (b) Le réseau sociotechnique est un hybride et il est, selon les termes de Latour, « *un tissu sans couture* »⁴⁸⁷ : Les faits techniques et sociaux sont intimement liés en interactions permanentes et sans déterminisme. (c) L'action est de fait distribuée dans le réseau.

⁴⁸⁵ Dans une première phase d'un côté, les chercheurs cherchent et trouvent dans leurs laboratoires dans un univers pour un temps extrait du monde social des inventions. Puis dans une deuxième phase, cette invention sort du laboratoire et progressivement les individus convaincus par les intérêts de cette invention, l'adoptent et elle devient innovation (modèle de diffusion).

⁴⁸⁶ Acteur-réseau est volontairement pensé comme un « *oxymore* » (Callon et Ferrary, 2006, p. 41 ; Law, 1999). Ce serait un terme « *malheureux* » mais intrinsèquement porteur de sens : « (...) *je vous accorde que ce terme est absurde (...)* » (Latour, 2004, p.156).

⁴⁸⁷ Hughes (1983) a introduit quant-à lui l'assertion « *seamless web* » pour rompre la distinction entre techniques et société afin de remettre en cause la conception déterministe des sciences sur les techniques.

(iii) La théorie est attachée à un principe de symétrie⁴⁸⁸ (Callon, 1986 ; Latour, 2006) : qu'elles aient pu percer ou non hors du laboratoire, les innovations sont étudiées car elles reposent sur la mise en place des mêmes processus. Le concept de symétrie impose de considérer de manière équivalente les parties-prenantes (dans les premiers travaux, ce sont les humains, les artefacts non-humains, les gagnants et les perdants, puis les considérations se sont étendues à la nature et à la culture, au rationnel et non rationnel). En particulier, le concept de symétrie donne une « puissance motrice » aux objets (Latour, 2006) qui participent à la dynamique des controverses : « *les choses peuvent autoriser, rendre possible, encourager, mettre à portée, permettre, suggérer, influencer, faire obstacle, interdire, et ainsi de suite* » (Latour, 2006, p.103-104). Il implique de considérer également les perdants et les gagnants dans ce qui est en train de se jouer, soulignant la nécessité de prendre en compte la pluralité des points de vue.

(iv) Le concept de traduction a été introduit par Callon (1986) et son succès a surpris l'auteur. Il a été produit sur la base d'observations d'un collectif de chercheurs et de pêcheurs préoccupés par la probable disparition des coquilles St-Jacques dans la baie de St-Brieuc (*ibid.*) : comment alors trouver des solutions à leur maintien ? La nouveauté de l'approche scientifique introduite par Callon réside dans le fait de considérer et de décrire la place et les rôles d'« acteurs » dans un collectif élargi. Dans le processus de création des savoirs pour solutionner le problème de reproduction des coquillages, il met en lumière, certes la contribution des acteurs humains (des chercheurs et des marins pêcheurs), mais sur la base des configurations d'interrelations il fait également intervenir des acteurs non humains, les coquilles St Jacques **et** leurs interrelations avec les humains et les discours produits (*ibid.*, 1986). Les artefacts ne sont plus effacés devant le primat du déterminisme des actions humaines pour comprendre le cours des événements : ils jouent un rôle et ont un rôle dès lors qu'ils interagissent dans le processus. Callon montre à partir de cette étude comment s'élaborent et se diffusent conjointement des connaissances scientifiques à partir d'un processus de *traduction*⁴⁸⁹. Dans le sens commun, la traduction permet la compréhension de l'énoncé initial par un tiers : elle rend intelligible un message. Akrich, Callon et Latour (2006) définissent la traduction comme « *l'ensemble des négociations, des intrigues, des actes de persuasion, des calculs, des violences grâce à quoi un acteur ou une force se permet ou se fait attribuer l'autorité de parler ou d'agir au nom d'un autre acteur ou d'une autre force* » (*ibid.*, 2006, p. 12-13). La traduction rend compte des déformations successives d'un énoncé suite à des réinterprétations du problème à résoudre, des solutions et du rôle de chacun dans le processus. Latour (2004) utilise une métaphore pour « traduire » la notion : « *une vitre transparente, qui ferait passer sans déformation l'information sur ce que vous étudiez. Il n'y a jamais d'information mais seulement de la transformation, ou de la traduction (...)* » (*ibid.*, p. 163). Quatre moments⁴⁹⁰ sont distingués : (a) la problématisation, (b) l'intéressement, (c) l'enrôlement et (d) la mobilisation.

(a) La *problématisation* correspond à la mise en discours d'un sujet pour définir les contours du problème et les voies pour le résoudre. Cette « *mise en mots* » (Latour, 1992) est une étape-clé. Elle est sous la responsabilité de parties prenantes particulières, le traducteur, qui définit la problématique de telle sorte qu'il se définit une place à jouer, un rôle à tenir pour se rendre indispensable : « *il s'érige, au terme de controverses et de débats avec ses collègues*

⁴⁸⁸ Le concept de symétrie a été emprunté à Bloor (1976) qui permet de considérer en des termes équivalents tous les participants à un processus de création d'innovation sans tenir compte de son issue.

⁴⁸⁹ Callon a emprunté le concept à Serres (1974).

⁴⁹⁰ Callon (1986) prend soin de faire la distinction entre « moment » et « étape » dans le processus de traduction. Le terme « moment » exclut l'idée d'une chronologie entre les quatre phases, elles peuvent tout aussi bien se succéder comme s'imbriquer.

(*c'est le fond de son métier*) en *Porte-parole légitime et incontestable de ces entités* » (Callon, 1999, p.66). Les traducteurs désignent « des points de passages obligés » pour solutionner le problème. Cette phase de problématisation définit également les dispositifs de l'intéressement afin de sceller les alliances et l'enrôlement des parties prenantes. Les solutions aux problèmes identifiées vont se construire à partir de ces « connections » mettant en exergue le rôle des relations dans la construction et la circulation des savoirs.

(b) L'*intéressement*⁴⁹¹ vise à intéresser des acteurs-réseaux, c'est-à-dire les rallier à la cause définie par les traducteurs. Plus leur nombre est important, plus la voie pressentie va se concrétiser ou le point de vue problématisé s'imposer. L'intéressement consiste *via* des actions de persuasion et des jeux d'influence à modifier des liens entre actants afin que la nouvelle configuration du réseau soit conforme aux buts définis durant la phase de problématisation. Le réseau a donc une « *configuration dynamique résultant d'un incessant travail d'intéressement et de traduction* » (Licoppe, 2008, p. 294).

(c) L'*enrôlement* est un processus durant lequel des rôles sont définis (ils sont acceptés), coordonnés et stabilisés pour organiser les alliances : les parties prenantes définissent leur position en fonction de la position des autres et par rapport à l'innovation ou la controverse. Callon lie très fortement l'enrôlement à l'intéressement car selon lui, « *l'enrôlement est un intéressement réussi* » (Callon, 1986, p. 189).

(d) La *mobilisation* correspond à une phase où le porte-parole est sélectionné. Celui-ci va parler au nom des alliés : il est alors crucial de déterminer qui et qui représente qui. Les controverses apparaissent alors comme des ruptures d'alliance qui vont faire émerger des oppositions, des formes de trahison. Les nœuds dans le réseau sont des points de contrôle du pouvoir et c'est là qu'émergent les controverses : les actants se disputent à propos d'un monde qu'ils souhaiteraient. Les controverses sont des moments-clés de la mise en discours : « (...) *ils (actants) n'arrêtent pas de proposer des comptes rendus contradictoires pour rendre compte de leur action et de celle des autres* » (Latour, 2005 [2006], p.68), permettant de donner accès à leur vision du monde.

L'approche méthodologique de l'ANT

Akrich, Callon et Latour (2006) définissent l'ANT non pas comme une théorie sociale, mais comme une « *théorie sur l'enquête en science sociale* » (Latour, 2004, p. 155) « *qui porte sur la façon d'étudier les choses* » (Latour, 2004, p. 144) au cœur de laquelle est examinée la construction des savoirs et leurs « *traductions* ». Au début des années 80 dès la première approche, elle se pose en termes de renouvellement de la sociologie des sciences (Latour et Woolgar, 1979) : la focale de l'étude est la construction des faits scientifiques ou comment les scientifiques construisent la science et comment ensuite ces inventions sont propulsées hors du laboratoire pour devenir des innovations ou comment elles s'éteignent. Les contours des objets d'étude ont évolué au cours de définitions successives de la théorie. L'ANT s'est ensuite déployée sous la forme d'une théorie de l'innovation avec la sociologie de la traduction (Callon, 1986). Enfin, c'est sous la forme d'une sociologie générale avec la théorie de l'acteur-réseau qu'elle est aujourd'hui mobilisée (Akrich, Callon et Latour, *ibid.*) : les principes et concepts construits au fil des approches sont remobilisés et intégrés. Des principes méthodologiques (nous en présentons trois) et un principe épistémologique fort la caractérise.

⁴⁹¹ Callon (1986) rappelle l'étymologie du terme « intéressement » : « *intéresser c'est se placer entre (inter-esse), s'interposer* » (*ibid.*, 1986, p.185).

- *Trois principes méthodologiques*

Agnosticisme méthodologique et pragmatisme

Selon ses auteurs (Akrich, Callon et Latour, 2006), la théorie de l'ANT précise des lignes pour conduire l'enquête car elle ne constitue pas vraiment une théorie, ne posant pas un cadre rigide, pas vraiment une méthodologie non plus car elle ne donne pas de *modus operandi* formaté. Elle se fonde sur une approche descriptive à visée compréhensive s'intéressant davantage au processus qu'au résultat de ce processus. L'enquête doit débiter sans pré-supposé et sans attribuer des faits à des causes sans les avoir révélés en menant les recherches qui seules peuvent accréditer de la tournure de construction des faits, en particulier les faits scientifiques : « *prendre acte et non filtrer, décrire et non discipliner* » (Latour, 2006⁴⁹², p. 80), « *Décrivez simplement l'état de fait sous la main* » (Latour, 2004, p. 157).

Le pragmatisme est un des principes méthodologiques de l'ANT parce que l'ANT s'intéresse à la « *science en train de se faire* » et non la « *science faite* » : « (...) *la condition de vérification des connaissances scientifiques réside dans les traits extra-scientifiques de l'expérience, (...) et pour cela, il faut aller « (...) au contact de la réalité la plus prosaïque (...) »* » (Truc, 2005, p. 85). Comme Dewey (1975⁴⁹³) le prône, l'ANT considère un monde en mouvement en train de se faire. C'est ainsi si que « *l'action fait l'acteur, l'intéressement fait l'intérêt, la relation fait l'objet et non l'inverse* » (Hennion, 2013, p. 2). La théorie n'invite pas à décrire le réseau hybride révélé, mais pose l'approche du réseau comme le moyen de décrire les phénomènes. Il représente le processus d'innovation réussi ou ayant échoué. Le réseau se révèle plus ou moins puissant avec des relations, des connexions entre les hommes et les « objets/instruments ». Cette entrée dans l'étude révèle une posture qui tient pour fondement que « *la science est l'affaire de tous* » et admet que « *l'expérience scientifique trouve ainsi ses conditions de possibilité dans une expérience qui n'est pas ordinairement tenue pour scientifique* » (Truc, 2005, p. 85).

La description doit être construite de manière à mettre l'accent sur l'action, sur ce qui entraîne le mouvement, sur ce qui fait bouger les positions. Il est alors pertinent de s'intéresser aux « (...) *controverses qui président à leur naissance, leur définition, leur évolution, avant qu'ils ne disparaissent dans le silence de l'évidence au point que nous ne les entendions ni ne les voyions plus* » (Dumez, 2011, p. 31).

Le principe de symétrie généralisée

L'ANT propose de voir comment les acteurs construisent leur monde, comme ils le définissent, comment ils s'associent, comment ils négocient et comment ils se disputent à propos d'un monde qu'ils souhaiteraient. Dès lors, il apparaît nécessaire de (i) « *suivre les acteurs eux-mêmes* » (Latour, 2006, p. 327) dans des collectifs qui se font et/ou se défont et (ii) de « *respecter leur parole* » (Latour, 2006) : ce sont les actants qui définissent la situation (d'où l'importance de prendre appui sur les discours) et non l'observateur extérieur qui mène l'enquête. En particulier, Latour (1995) invite à suivre les acteurs dans les controverses car ce sont des phases de mises en discours révélatrices de visions de monde. En effet, résoudre les

⁴⁹² Cette posture révèle une remise en cause du principe de « coupure épistémologique » (Bachelard, 1977). Bachelard pose comme nécessaire de se distancier de l'observation première et de sa riche description fondée pour l'interpréter au prime de l'opinion. Cette approche première générerait des connaissances « mal faites » qu'il faut dépasser pour apprendre du réel.

⁴⁹³ L'ANT puise son approche chez Dewey qui a proposé une théorie pour expliquer comment le social se construit et se maintient.

controverses est un point de passage obligé de la coopération dans les réseaux sociotechniques dans le but de satisfaire des intérêts.

Pour accéder aux paroles des actants, Latour a élargi les contours du principe de symétrie pour définir la symétrie généralisée⁴⁹⁴ qui implique de considérer **également** les humains et les non-humains, la nature et la technique, les perdants et les gagnants dans ce qui est en train de se jouer: « *La réussite et l'échec doivent se traiter symétriquement* » (Latour, 1992, p. 71-72). Il souligne ainsi la nécessité de prendre en compte la pluralité des points de vue et d'accéder à l'objectivité de second rang⁴⁹⁵. Cette considération est d'autant plus importante que la théorie rejette la perspective de hiérarchie dans les échelles d'approche du monde. L'ANT invite à revoir la division classique en sociologie en niveaux micro, méso et macro, un niveau n'a pas plus d'importance qu'un autre⁴⁹⁶. Le monde social apparaît « plat » : les parties-prenantes s'affrontent et/ou s'allient sur le même plan, celui du réseau (Callon, Law et Rip, 1985). L'importance ou le pouvoir d'un acteur-réseau se joue et se déconstruit selon le nombre d'interconnexions entre actants et selon la longueur des chaînes d'interactions. : « *l'action humaine est distribuée, relayée, et comment son contenu dépend des assemblages qui la prennent en charge et la façonnent* » (Callon et Ferrary, 2006, p. 44 ; Latour, 2006). Enfin, à partir du moment où les acteurs sont suivis, le travail d'enquête suppose une inscription temporelle du réseau : les parties prenantes sont mises en lumière dans « leur contexte », structuré comme un réseau de facteurs humains et non-humains.

Les principes d'association et d'irréduction

Le processus d'innovation n'est pas linéaire et n'est pas non plus prédéfini. L'ANT considère le principe de liberté d'association et de mouvement des actants dans le réseau : le processus de changement ou d'innovation surprend par les bifurcations qu'il peut emprunter, même les associations que l'enquêteur pourrait qualifier d'improbables ont du sens dans le réseau hybride. Les alliances se font et se défont et les actants peuvent mobiliser des arguments qui sont en apparence incompatibles, mais il s'agit de leur parole et l'ANT pose comme principe de la respecter. C'est pourquoi la description doit être conduite de sorte à « (...) laisser aux acteurs un certain espace pour s'exprimer » (Latour, 2004, p. 155).

Latour (1984) pose le principe méthodologique d'*irréduction* : « *Aucune chose n'est de soi-même réductible ou irréductible à aucune autre- jamais de soi-même mais toujours par une autre* » (p. 243). Il entend par là « *que la seule stratégie d'écriture légitime consiste dans la description touffue de contextes locaux et non dans l'agrégation d'éléments dans de grandes catégories par rapport auxquelles ces descriptions pourraient se réduire* » Cette perspective peut compliquer la mise en œuvre pratique de la théorie (Bernard de Raymond, Israël, Jimenez, Mallard, et Revillard, 2004, p. 173-174). Ce principe invite à la prudence, soulignant deux dérives. En cherchant à rendre simple une description de situation complexe, le chercheur ou l'observateur qui pense avoir compris voudra :

- (i) rendre accessible « sa » description en la simplifiant au risque de la dévoyer : « (...) *méfiance par rapport à l'ensemble des « mots » qui mènent quasi automatiquement à la tentation d'expliquer en réduisant (...)* » (Stengers, 2010, p. 26) ;

⁴⁹⁴ En fait, il s'agit d'une conception des sciences et des techniques qui rejette le dualisme 'homme' *versus* 'technique', 'social' *versus* 'technique'.

⁴⁹⁵ Une cartographie des controverses doit mettre en lumière l'ensemble des points de vue de la question objet de discussions. Une objectivité construite grâce à la connaissance de la multiplicité des points de vue, mêmes minoritaires, désigne ce que Latour définit comme l'objectivité de second rang, « *c'est-à-dire une impartialité qui passe par la multiplication des points de vue partiels* » (Venturini, 2008, p. 5).

⁴⁹⁶ Le principe d'inclusion respective des niveaux « macro, méso, micro » est dans le même temps remis en cause.

- (ii) proposer des raccourcis ou des métaphores pour expliquer ce qu'il a compris : « (...) *le passage de « ceci est cela » à « ceci n'est pas que cela », ou « est seulement cela »* ». (Stengers, *ibid.*, p. 26)

Annoncée comme une forme renouvelée de la sociologie, l'ANT n'est pas restée confinée à un cercle d'initiés en raison de l'abondance des écrits en langue anglaise et française de son principal promoteur Bruno Latour. Elle n'a pas manqué d'être la cible de critiques tant sur le plan conceptuel que méthodologique, générant des controverses. La partie qui suit aborde des critiques et les réponses visant à argumenter le positionnement épistémologique et/ou contribuant à lever des malentendus. Les intérêts de l'ANT sont ensuite précisés pour en tirer des principes dans la perspective de conduire la cartographie des controverses sur l'usage des pesticides.

1.1.2. Les critiques/controverses et des réponses

S'agit-il de controverses, critiques et/ou malentendus opposant les tenants et les détracteurs de l'ANT ?

La théorie a évolué au fil du temps et des « traductions » au sens de l'ANT déstabilisant des acteurs de la communauté scientifique : « (...) *si le statut exact de cette approche du social paraît encore assez fluctuant – théorie ou méthodologie, méthodologie ou théorie, Latour semble hésiter dans chacun des chapitres – lorsqu'elle se donne comme méthodologie elle semble rencontrer des difficultés lors des tentatives de transposition au « terrain » (sur ce point précis, cf. S. Martin, « La sociologie de la traduction et ses normes. Apports et limites de la neutralité axiologique », congrès AFS Bordeaux, septembre 2006)* » (Dubois, 2007, p. 138). Callon et Ferrary reconnaissent que « (...) *ce qui a été fait dans le cadre de l'« actor-network theory » nous a en grande partie échappé. Le meilleur et le pire* » (Callon et Ferrary, 2006, p. 43). Les détracteurs reprochent le caractère parfois hermétique, flou des principes et de certains concepts amenant à être confronté à des difficultés méthodologiques pour l'appliquer. L'approche sociale prônée comme novatrice est également contestée : la théorie contribue « (...) *à la confusion qui règne dans le répertoire des sciences sociales* » (Grossetti, 2006, p. 3). Latour en joue : « *Puisque personne ici n'a l'air de comprendre l'ANT, vous devriez écrire un guide.* » (Latour, 2004, p. 174). Les points suivants ont été au cœur des critiques et des controverses :

- la posture ethnographique annoncée,
- le principe de symétrie (Collins et Yearley, 1992 ; Grossetti, 2006),
- le relativisme,
- l'approche constructiviste non revendiquée complètement (Boudon et Clavelin, 1994 ; Bourdieu, 2001),
- le peu d'importance accordée en apparence à la valeur de la connaissance scientifique dans l'étude de la science en train de se faire (Delcambre et Marquis, 2013), ne proposant qu'une « *vision uniquement politique de la science* » (Latour, 2001, p. 139).

La posture latourienne ethno-méthodologique est souvent influencée voire « *parasitée* » « *par des considérations d'un niveau beaucoup plus abstrait* », se détachant alors de la description de ce qui se joue (Delcambre et Marquis, 2013, p. 14). En réponse aux remarques et aux controverses, Latour admet que des critiques portent parfois sur des malentendus que l'auteur a cherché à clarifier. L'ANT (1991) assume un « *relativisme relativiste* » (Latour, 1991) et invite à « *apprendre à nager dans le relativisme* » (Latour, 2006). Mais, Latour refuse d'être associé à un constructivisme **social** dans le sens que les faits ne sont pas que des construits sociaux, mais ils résultent d'interactions entre humains et non humains (Latour, 2006). Mais pour Cazal (2007), le malentendu reposerait davantage sur la polysémie du concept : « *Le*

constructivisme, qui est une marque de fabrique de la maison et qui a donné lieu à de nombreux malentendus, est ici reformulé de façon utile et précise, loin de la vulgate qui prétend que les choses sont « dans nos têtes » et qu'elles sont d'autant moins réelles, d'autant moins vraies qu'elles sont construites » (Delchambre et Marquis, 2013, p. 2). Au reproche de « (...) montrer dans les faits scientifiques qu'une grossière fiction imposée par les puissants sur les faibles», Latour oppose sa vision des choses, «Y penser toujours, n'en parler jamais » et accuse ses détracteurs d'« En parler toujours, n'y penser jamais! » (Latour, 2001, p.139-140). Enfin, la conception même d'un réseau plat pose problème : « Le réseau, privé de toute dimension structurelle, n'est alors guère plus qu'une collection de relations centrées sur un point, le principal intérêt résidant dans la caractérisation fine des intérêts en jeu dans les relations » (Grossetti, 2006, p. 6).

Les problèmes méthodologiques reposent sur la difficulté pratique à suivre les acteurs et leurs traces avivée par la crainte de ne pas capter les « entités invisibles » (Latour, 2004, p. 165). C'est mettre en œuvre le fameux principe d'irréduction afin de définir le réseau et ses limites (puisque même les signaux faibles doivent être considérés) qui confronte au dilemme « quand et où s'arrêter dans la description ? ». Ces considérations sont cruciales dans les analyses de controverses : qui décident que la controverse est close ? Enfin, une autre source de difficultés réside dans le fait que le travail d'enquête à conduire dans l'ANT et son résultat reposent « (...)sur le partage entre la réalité et sa représentation (qu'elle soit le fait de l'acteur ou du chercheur) » (Delchambre et Marquis, 2013, p. 3). Il faudrait « pour rendre ce cadre théorique convaincant, (...) des qualités d'écriture exceptionnelles, (...)en jouant sur de multiples métaphores et analogies, (...) mais dont les limites apparaissent très vite lorsque des auteurs moins talentueux essaient de s'en inspirer » (Grossetti, 2006, p. 8).

1.1.3. Des intérêts pour notre recherche, l'ANT comme base conceptuelle et méthodologie pour une approche singulière des controverses autour de l'usage des pesticides

Dans un dialogue fictif entre un enseignant et un doctorant en sociologie qui vient lui demander conseil, l'enseignant déclare que l'ANT est « utile mais seulement si elle ne s'applique pas à quelque chose » (Latour, 2004, p. 154). Latour (*ibid.*) invite à regarder de plus près les fondements et les contributions de la théorie de l'ANT. Des utilisations dans des domaines très divers comme les sciences de gestion, l'économie, l'anthropologie médicale, les sciences politiques et bien évidemment en sociologie des sciences et des techniques laissent transparaître une certaine robustesse de la théorie. Elle permet selon ses auteurs et ses adeptes de rendre intelligibles des processus de toute nature : « ce que j'essaye de faire, c'est d'expliquer comment des activités et des comportements que les acteurs et les sciences sociales qualifient d'économiques, de politiques ou de moraux en viennent à exister et à s'imposer. » (Callon et Ferrary, 2006, p. 43).

Pour notre recherche certains aspects conceptuels et méthodologiques sont particulièrement intéressants pour aborder les controverses sur la réduction de l'usage des pesticides et le recours à leurs alternatives. Nous avons retenu trois points saillants (la place des controverses, des principes à respecter sans cadre méthodologique, rendre compte d'un monde à plat).

La place des controverses dans l'ANT

L'ANT accorde une place singulière à l'étude des controverses qui apparaissent des moments-clés dans les processus de construction des savoirs et leur diffusion et nous sommes particulièrement intéressée par la compréhension de ces processus dans le cas des pesticides, de leurs alternatives et de leur diffusion. C'est en décrivant comment les moments de remise en cause du recours aux pesticides contribuent au « mouvement » que l'on peut accéder en partie aux visions du monde des parties prenantes. Il « suffit » de suivre les paroles des actants. Ainsi, les discours produits par les actants dans les controverses éclairent les jeux

d'alliance et de pouvoir et représentent une forme de matérialisation de la circulation des savoirs dans un réseau sociotechnique, par traductions successives. Les processus de traduction permettent de révéler la transformation des messages au cours de processus d'intéressement et d'enrôlement, mettant en exergue le rôle des relations dans la construction des savoirs et la production des références. Repérer les porte-parole permet d'accéder aux points de vue : les traducteurs qui se posent en porte-parole ont un rôle central car ils ont « la force » de relier des éléments hétérogènes. Les controverses représentent donc des points d'entrée dans le réseau car elles se fondent sur des processus d'agrégation et de démantèlement de groupes (Latour, 2006) sur la base d'échanges d'arguments « (...) *en termes d'opérations, de stratégies et d'associations* » (Quéré, 1989, p. 100). En second lieu, au nom du principe de symétrie, la théorie donne une place à la « *masse manquante* » des non-humains : ici les pesticides, leurs alternatives, les nombreuses mises en discours de leur promotion ou de leur « procès » qui se révèlent être des porte-parole. L'analyse socio-historique a montré l'importance de formes de discours validées par le ministère en charge de l'agriculture, des scientifiques et des agents du développement agricole officiels faisant la promotion de modèle d'agriculture dépendant des pesticides. Le concept de réseau intrinsèquement hybride permet « *d'étudier très rigoureusement les phénomènes de « path dependency* » » (et donne des « *explications très convaincantes des phénomènes de « lock-in», de verrouillage sociotechnique* » (Callon et Ferrary, 2006, p. 38). L'approche permet de cerner en quoi des processus s'enlisent dans une voie et « *s'irréversibilisent* », *au moins pour un certain temps* » (*ibid.*).

Des principes à respecter dans la perspective de la construction d'une démarche originale de cartographie

Nous avons signalé le verrouillage du système sociotechnique sur l'usage des pesticides générant des difficultés à déployer les stratégies alternatives dans le premier chapitre. Nous avons évoqué la mise en invisibilité de certains acteurs dans les problématiques sur l'usage des pesticides. Or l'ANT ouvre une perspective intéressante en termes de démarche pour mettre en lumière ses « actants » en apparence absents. La « *preuve de leur présence* » peut « *être indirecte, exigeante, compliquée* » (Latour, 2004, p. 165) : mais « *Si vos acteurs n'agissent pas, ils ne laisseront pas de trace* » (Latour, 2004, p. 165). Nous pouvons rechercher des traces indirectes de mise en mots (des publications secondaires, des rapports d'ONG, par exemple).

La théorie ne donne pas de grille ou de cadre précis de construction, puisqu'il y a pas de « *ready-to-apply research guidelines* » (Venturini, 2010, p. 259), mais elle pose des principes méthodologiques pour conduire la démarche d'enquête. Cette perspective nous intéresse car l'ANT nous apparaît comme un « guide de lecture » pour approcher la controverse sur l'usage des pesticides et/ou le recours à leurs alternatives. L'ANT s'intéresse à la dynamique et à la circulation des savoirs et des informations en particulier au cours des processus de « traductions ». Il s'agit de mettre à l'épreuve des principes de l'ANT (« *performing it* » (Law, 1999, p. 1)) en la traduisant à notre tour, c'est-à-dire en l'adaptant (Law, *ibid.*) : le chercheur ou l'observation est libre de construire sa démarche à la condition expresse de respecter les principes-clés (pragmatisme, symétrie, libre association et irréduction). La démarche doit « tracer » le réseau d'interconnexions et des relations entre actants, tout en prenant appui sur leur discours et/ou des mises en mots de leurs actions. L'enquête devrait permettre de révéler les traces de voies alternatives aux pesticides ou des voies contestataires (la pluralité des points de vue), fussent-elles difficilement visibles dans les débats. En effet, Latour propose d'enquêter sur quatre points pour rendre compte du mouvement généré par la controverse (Latour, 2006) :

- rechercher les formes d'existence des controverses (des traces des comptes rendus, au sens littéral c'est-à-dire les mises en mots qui rendent des comptes aux tenants des autres thèses) ;
- repérer et identifier les figurations particulières, c'est-à-dire les actants (les controverses sont mises en scène par des porte-parole qui problématisent l'objet des débats, jouant un rôle-clé dans le processus de traduction) ;
- repérer dans les comptes rendus ce qui est reproché aux parties adverses voire ce qui les disqualifie ;
- repérer dans les comptes rendus l'expression des principes pour agir et solutionner la controverse.

Rendre compte du « monde » plat

L'ANT propose également d'aborder sous la forme d'un réseau plat cet enchevêtrement de connections. Prise au sens premier (notre *traduction*), cette perspective nous séduit car elle permet (i) de montrer dans un format intelligible à l'œil comment « *l'action humaine est distribuée, relayée, et comment son contenu dépend des assemblages qui la prennent en charge et la façonnent.* » (Callon et Ferrary, 2006, p.44) et (ii) d'embrasser une certaine complexité dans un support plan en construisant concrètement une carte de la ou des controverses sur l'usage des pesticides. Cette représentation plane des controverses nous permet également d'y faire figurer les arguments (au sens de « comptes rendus »). Cette mise en forme sera le support pour construire notre description tout en veillant à circonscrire l'écueil suivant : « *si votre description a besoin d'une explication, ce n'est pas une bonne description, voilà tout* » (Latour, 2004, p. 161). En nous appuyant sur les recherches de l'équipe de Latour, nous voyons plus loin comment nous contournons cette difficulté.

Les points que nous venons de discuter posent des jalons pour notre démarche de construction et d'analyse des cartographies des controverses. Lors de diverses présentations de notre démarche, et ce, de manière récurrente, nous avons été amenée à préciser ce qui nous rapproche de l'exercice proposé par Latour et ce qui vous en distingue ? Pour être en mesure d'éclairer les éléments de réponse, nous proposons de préciser quelques points saillants de l'exercice pédagogique initié par Bruno Latour dans des écoles d'ingénieurs et dans d'autres établissements de l'enseignement supérieur. Nous pourrions alors discuter des choix méthodologiques que nous avons retenus pour conduire l'analyse socio-épistémologique sous forme de cartographies des controverses.

1.1.4. De l'exercice de cartographies des controverses initié par Bruno Latour aux projets de recherche cartographiques

L'exercice pédagogique de cartographie des controverses selon Latour

L'exercice de cartographie des controverses a été initié il y a une quinzaine d'années par Bruno Latour à l'école des Mines de Paris⁴⁹⁷ et il représente une forme de confrontation aux données réelles, de mise à l'épreuve de la théorie de l'acteur-réseau, sous la forme de « *educational version of Actor-Network Theory (ANT)* » (Venturini, p. 258, 2010). L'exercice conduit a l'avantage de contourner les difficultés conceptuelles de l'ANT (« *Unlike ANT, it avoids conceptual complications and is thereby more accessible to students* » Venturini, 2010, p. 258). Aujourd'hui, le module d'enseignement a fait des émules et il est intégré dans le cursus de nombreuses autres écoles et universités en France, en Europe et en Amérique du Nord et du Sud⁴⁹⁸. Si « Cartographe des controverses » a été conçu comme un exercice pour

⁴⁹⁷ Aujourd'hui Mines-ParisTech

⁴⁹⁸ La liste des « écoles » qui ont introduit un module d'enseignement fondé sur la cartographie des controverses n'est pas exhaustive : Sciences Po, les universités de Copenhague, Milan, Manchester, Amsterdam, Liège, Lausanne, Dublin, Oslo, Padoue, Trente, Cambridge, Massachussets (MIT), São Paulo, Rio de Janeiro, Buenos

conduire des enseignements-apprentissages dans l'enseignement supérieur (sous la forme proposée par Latour), aujourd'hui, la cartographie des controverses est également devenue une méthode de recherche mobilisée dans un ensemble de projets scientifiques⁴⁹⁹.

- *Les objectifs de l'exercice pédagogique*

L'objectif pédagogique affiché « *est d'entraîner les étudiants à la navigation dans l'univers des débats technoscientifiques par l'utilisation créative d'outils numériques d'analyse et représentation* » pour les amener à observer et décrire des controverses sociotechniques⁵⁰⁰ (Venturini, Ricci, Mauri, Kimbell, Meunier, 2015). Les activités conduites visent à « *comprendre l'articulation entre science et société, l'observer au travers du cas concret d'une controverse au choix, et en restituer l'analyse au public* » ; l'exercice propose une approche concrète du courant STS. Suivant un cadre de travail bien établi, les étudiants choisissent une controverse sociotechnique, la suivent en temps réel et en produisent des cartographies qui seront publiées dans un site Web. Les controverses ainsi décortiquées seront accessibles à un large public. Les objectifs de l'exercice sont multiples :

- confronter les futurs ingénieurs, eux-mêmes citoyens, à la complexité de controverses technoscientifiques. Les controverses sont par essence embrouillées, complexes et les arguments mis en scène ne vont pas tous dans le même sens. La multiplication des sources d'informations dans nos sociétés de la communication ajoute encore un peu plus de confusion. Il est alors difficile de trier les arguments, de distinguer les arguments fallacieux de ceux qui ne le sont pas, de rassembler des arguments pour trancher afin de se faire une opinion comme tout citoyen. L'exercice vise à se saisir du potentiel de l'outil Web. Paradoxalement, il inonde d'informations disparates au risque de nous noyer *dans un magma* de données (Venturini, 2010) et offre l'opportunité « *d'inventer des outils qui permettent de naviguer, de s'y retrouver, de rendre visible la diversité des positions* » (Latour, 2011, p. 76) pour repérer les positions en présence et les arguments, les *producteurs de faits* (scientiométrie et décisions politiques) et les *producteurs de rumeurs ou d'opinion* (blog) ;
- préparer les futurs ingénieurs destinés à des postes à responsabilités, à accepter que la hiérarchie des expertises qui a structuré le cursus de leur formation ne soit pas automatiquement respectée dans l'espace public. Il s'agit de faire saisir à ces futurs acteurs qu'ils doivent écarter la perspective tentante, façonnée par la dérive des approches déterministes des sciences dures, de faire correspondre à chaque problème une bonne solution (one best solution). Ces futures « élites » doivent au contraire apprendre à « *faire des arbitrages dans une gamme de solutions possibles, en anticipant les réactions sociales, morales, économiques, organisationnelles qu'elles peuvent entraîner*⁵⁰¹ ». Pour cela, il est nécessaire que les étudiants soient confrontés à « *manier une science et une technique en situation d'incertitude, dans un monde aux responsabilités redistribuées*⁵⁰² ». L'exercice

Aires, ... Le projet Forecast (FORmation par la Cartographie des Controverses à l'Analyse des Sciences et Techniques) vise la promotion d'enseignements qui sensibilisent les étudiants et les élèves aux usages originaux des outils numériques pour cartographier des controverses. Fait novateur et remarquable, des lycées sont impliqués dans le projet.

⁴⁹⁹ MACOSPOL (mappingcontroversies.net), MEDEA (projetmedea.hypotheses.org), EMAPS (emapsproject.com, forccast.hypotheses.org) sont des projets scientifiques internationaux fondés sur les cartographies des controverses, nous présentons MACOSPOL et EMAPS un peu plus loin dans le texte.

⁵⁰⁰ Latour définit lui-même la controverse sociotechnique comme « *un débat qui engage des connaissances scientifiques ou techniques non stabilisées et qui conduit à des affaires embrouillées, mêlant des considérations juridiques, morales, économiques et sociales* ». Extrait du site de présentation du « module » de cartographies des controverses des Mines-ParisTech <http://controverses.ensmp.fr/presentation> consulté le 30 août 2014

⁵⁰¹ Extrait du site de présentation du « module » de cartographies des controverses des Mines-ParisTech <http://controverses.ensmp.fr/presentation> consulté le 30 août 2014

⁵⁰² Extrait du site de présentation du « module » de cartographies des controverses des Mines-ParisTech <http://controverses.ensmp.fr/presentation> consulté le 30 août 2014

pédagogique représente une voie originale de sensibilisation à la crise de confiance envers les experts de nos sociétés ;

- les initier à construire ce que Latour nomme l'*objectivité de second rang*. Cette objectivité n'est pas révélée en prenant « *la position d'expert, mais celle de cartographe* » (Latour., 2011, p. 78). Il s'agit de représenter les différentes positions des parties prenantes, même celles qui sont marginales ou qui ont été invalidées mais qui font encore controverse. L'intérêt est d'amener les « cartographes » à organiser les différentes positions « *sur un même espace qui sera celui de la discussion publique* » (*ibid.*, p. 78), ce qui ne signifie pas qu'elles soient mises sur un même plan. L'objectivité de second rang renvoie aussi à la nécessité de multiplier les représentations de la controverse étudiée.

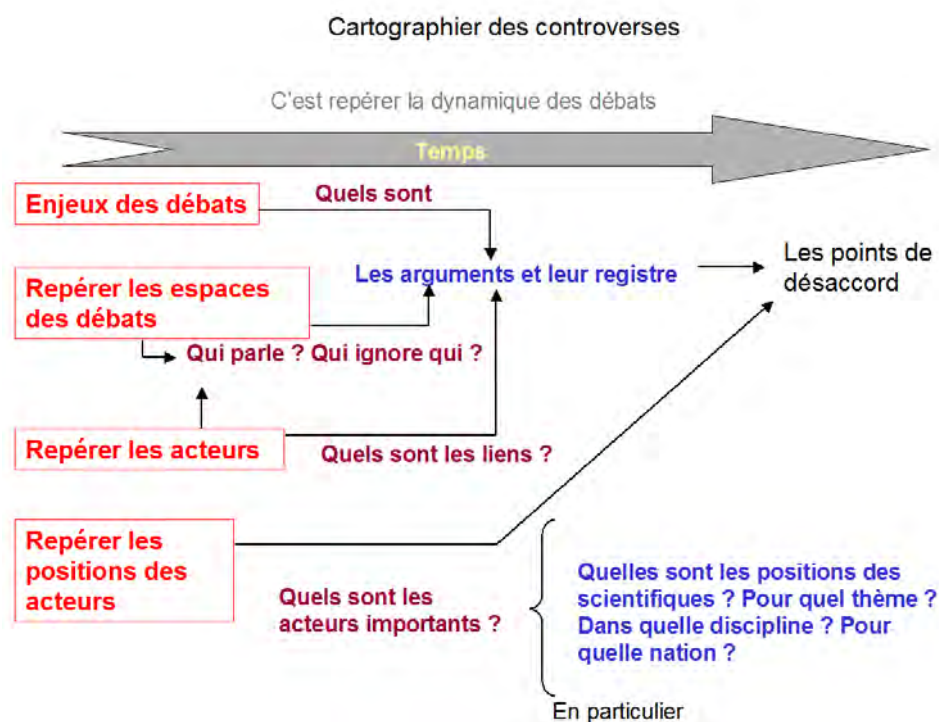
- les initier à construire des représentations révélant suffisamment de la complexité du sujet pour que le public puisse se saisir de la controverse étudiée et soit en mesure ensuite de se forger une opinion. Ces cartographies doivent contribuer à construire une démocratie participative impliquée dans les débats pour des choix de société.

- *Un groupe d'étudiant organisé pour explorer la controverse*

La conduite de l'exercice repose sur la constitution d'un groupe de travail dans lequel chaque membre a un rôle dévolu. Sur la base d'alternance de séances de cours, de débats, de mise en œuvre de la démarche expérimentale proposée, les étudiants constituent un corpus traitant du sujet, le plus complet possible, prenant appui sur différentes sources d'informations : de l'interview d'experts réalisés par les étudiants, en passant par les publications scientifiques, les revues de vulgarisation, les blogs, etc. : on retrouve ici l'enquête autour des mises en mots et des traces d'existence de la controverse évoquée par Latour. Les étudiants doivent être en mesure d'alimenter les réponses à : Qui sont les acteurs ? Quels sont leurs arguments ? Quel est le registre des arguments ? Quels sont les enjeux ? Quelle est la position des acteurs ? Quels sont les points de désaccord ? Quelles sont les positions des scientifiques ? Pour quel thème ? Quelle discipline ? Pour quelle nation ? Quelle est la dynamique des débats ?

La figure n°59 récapitule des traits saillants de la démarche à conduire.

Figure n°59 : Cartographier des controverses



Le tableau n°16 présente synthétiquement, les rôles dans le groupe des étudiants, la mission de chacun et des éléments sur la production attendue.

Tableau n°16 : La distribution des rôles pour cartographier des controverses

Différents rôles dans le groupe Définis en termes de responsabilité et non de la réalisation complète des tâches.	Mission	Productions attendues
Coordinateur-enquêteur	Coordinateur des tâches dans le groupe et garant respect du planning	Cartographier, c'est... Repérer les acteurs, les enjeux, les nœuds et les sujets de désaccord Identifier les différents arguments, leur registre, leur lien avec les différents acteurs impliqués Mettre en évidence la dynamique de la controverse (évolution arguments, des jeux des acteurs du réseau (alliance, opposition), arrivée/départ de nouveaux acteurs dans le réseau
Webmaitre-enquêteur	Responsable du site et de sa mise en scène	

Documentaliste-enquêteur	Responsable de la constitution du corpus documentaire et du respect de la pluralité des sources	
Quantificateur-enquêteur	Responsable de la production de représentations des données quantitatives : frise chronologique, analyses issues du Web, représentation cartographiques	
Rédacteur-enquêteur	Garant de la cohérence et de la qualité des écrits produits et à la rigueur de la bibliographie source	
« Cartographeur » reposer sur d'une démarche expérimentale pour se confronter à la complexité à plusieurs dimensions , fondée sur références éparpillées, hétérogènes .		

- *Les méthodologies mobilisées*

La construction de cartographies des controverses mobilise des méthodes à la fois qualitative (*i.e.* étude des argumentations des parties prenantes) et quantitatives (*i.e.* nombre de publications scientifiques sur le thème). Latour met l'accent sur « *l'utilisation créative des technologies numériques* » dans l'exercice de cartographie, technologies désignées « méthodes digitales » (« *digital methods* »). Des outils⁵⁰³ permettent le traitement et la mise en forme de données en masse (des publications scientifiques à l'échelle internationale, des thèmes de consultation des moteurs de recherche (centre d'intérêt à un instant t), des ouvrages numérisés sur le Web, des publications de la presse, entre autres). Selon Latour, les apprentissages se fondent sur des méthodes de la sociologie des technosciences comme « *l'étude de l'argumentation scientifique, l'analyse des médias ainsi que les nouvelles méthodes de scientométrie* » et de *géographie virtuelle (...)*⁵⁰⁴ » développées de plus en plus sur internet. L'exercice conduit doit cependant préserver les concepteurs d'une dérive : la cartographie ne doit pas refléter le point de vue du groupe et encore moins être la formulation de l'expertise de ceux qui ont exploré la controverse⁵⁰⁵. La cartographie doit au contraire restituer les positions des différentes parties prenantes (« respecter leur parole », cf. *supra*), la dynamique des débats, les arguments échangés, la façon dont ils sont repris dans les différents médias. La cartographie révèle un réseau hybride d'acteurs humains et non humains, des jeux d'alliance et de trahison, l'expression de la pluralité des points de vue, les évolutions de la controverse et la circulation des savoirs dans le réseau. Venturini (2010) pose l'intérêt de s'appuyer sur la théorie de l'acteur-réseau pour mettre en lumière la complexité et la richesse des controverses.

Cartographeur des controverses au cœur de deux projets de recherche, MACOSPOL et EMAPS

L'exercice pédagogique original initié par Bruno Latour a considérablement évolué depuis son introduction dans le cursus de l'école des Mines de Paris : il a été adapté au contexte des écoles et des universités qui l'ont mis en œuvre. Il est également devenu un enjeu au cœur de projets scientifiques (Venturini *et al.*, 2015). Lors de leur lancement, des projets scientifiques de cartographie des controverses contemporaines (MACOSPOL, MEDEA et EMAPS entre autres) visaient à répondre à « *comment exploiter les outils pratiques pour renouveler la représentation des controverses sociotechniques afin d'outiller le public et de transformer*

⁵⁰³ Certains sont libres de droit et d'une prise en main aisée. Ils facilitent le débroussaillage du sujet.

⁵⁰⁴ Se reporter au site <http://www.bruno-latour.fr/fr/node/31>

⁵⁰⁵ En fait, les étudiants ne doivent pas s'interdire de le faire mais il est nécessaire que cette opinion ou l'avis soient bien distincts et clairement énoncés comme tel dans la restitution de l'étude la controverse.

l'espace public en une réelle arène représentative ? »⁵⁰⁶). Un des buts affichés des travaux était d'explorer et de visualiser les controverses sans pour autant s'immiscer dans la controverse (Venturini *et al.*, 2015). Or comme le souligne Venturini (2010), chaque représentation d'une controverse n'est pas neutre : ce serait donc fallacieux d'imaginer ne pas intervenir dans la *traduction* de ce qui se joue et que l'on étudie. Ainsi, aujourd'hui les travaux se sont réorientés et visent à cerner sur la base de mise à disposition de cartographies construites par les outils de la recherche comment le public se saisit de ces nouveaux outils et en quoi les cartographies peuvent améliorer la teneur des débats sur les sciences et les technologies dans la société. Venturini *et al.* (2015) proposent une analyse intéressante des questionnements de recherche qui ont jalonné l'avancée dans le projet MACOSPOL et EMAPS. A partir de résultats de l'analyse des itérations pour caler la démarche conçue par les chercheurs impliqués, nous en tirons des points d'appui pour notre méthodologie de construction des cartographies sur l'usage des pesticides en agriculture. Nous débutons par de brèves présentations des deux projets et nous mettons en exergue les points d'appui pour notre recherche.

- *Brève présentation du projet MACOSPOL (2007-2009)*

Le projet MACOSPOL

Le projet MACOSPOL a été développé au Medialab de Sciences Po par Bruno Latour et Tommaso Venturini. Son objectif est de favoriser un nouveau dialogue entre les technosciences et la société dans la perspective d'aider le citoyen, le politique, le professionnel à faire des choix à partir d'une forme de démocratie numérique. Pour cela, des mises en scène innovantes de cartographies des controverses sociotechniques sont mises à disposition sur une plateforme d'échanges du Web. MACOSPOL mobilise des outils du Web pour traiter en masse des données qu'il produit, aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif, et des méthodes plus traditionnelles de collectes et de traitements des données. Le projet vise le repérage et l'évaluation de *l'offre mondiale d'outils de cartographie des controverses*, le recensement *des études de cas de cartographie des controverses à différents stades d'élaboration*, l'identification *des forces et faiblesses de chaque outil recensé*⁵⁰⁷ (coût, propriété, compatibilité, ergonomie interface, entre autres). Les auteurs partent du principe que le flux de données transitant par le net est considérable, délivrant de manière liée opinions et informations.

Le projet EMAPS (Electronic Maps to Assist Public Science) (2011-2014)

Il s'agit là encore d'une étude sur la contribution des outils du Web (2.0) dans la dynamique des débats publics. EMAPS est un projet de recherche *interdisciplinaire* qui aborde deux problématiques : l'adaptation au changement climatique et le vieillissement de la population. Il « *vise à étudier les potentialités et les risques liés à l'essor des outils de communication en ligne (comme le Web 2.0), en vue de développer une communication participative entre scientifiques et autres publics* »⁵⁰⁸ afin de proposer des solutions à l'échelle européenne aux questions soulevées par le changement climatique et le vieillissement de la population. Le projet se fonde sur l'utilisation de plateformes numériques interactives conçues par les chercheurs qui mettent en scène des controverses liées aux deux problématiques ciblées. Les

⁵⁰⁶ Traduction libre de l'auteur d'un extrait de la version du 05/11/2007, p. 8 du projet MACOSPOL : "How to explore the practical tools to represent in a new ways scientific and technical controversies so as to equip the potential public and turn it into a real representative arena?"

⁵⁰⁷ Objectifs définis sur le site de présentation dédié au projet : <http://forccast.hypotheses.org/projets-connexes/macospol-2> consulté en 20 octobre 2014

⁵⁰⁸ Source : <http://forccast.hypotheses.org/projets-connexes/emaps>. EMAPS = Electronic Maps to Assist Public Science

actants dont les positions et les dynamiques contradictoires ont été cartographiées *via* des méthodes digitales, sont amenés à débattre en « vraie grandeur » : c'est une expérimentation à « ciel ouvert ». Ce dispositif doit permettre de prendre de la distance par rapport à *l'imbroglia permanent entre production d'opinions par les médias et production de faits par les scientifiques*⁵⁰⁹ : c'est un présupposé du projet. La posture de recherche se fonde sur le principe que des acteurs du réseau cartographié sont de potentiels acteurs de la construction scientifique : c'est une conception de la science en train de se faire, représentant une autre façon de débattre pour construire des connaissances.

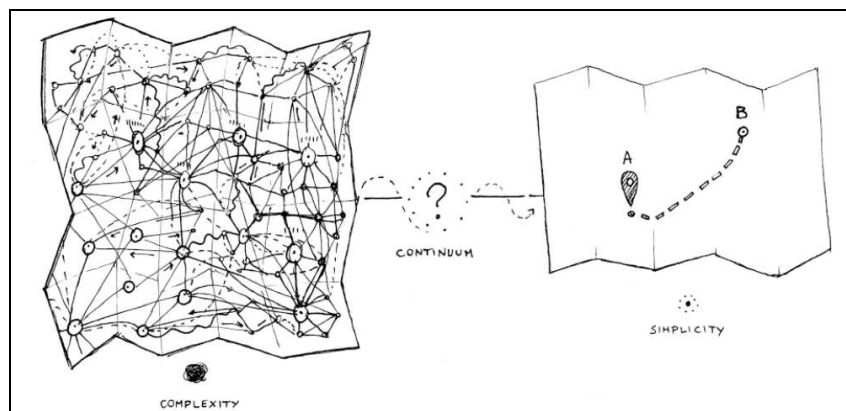
- *Ce que nous retenons :*

Nous signalons par un surlignage grisé ce que nous retenons au fil du texte et nous proposons une récapitulation à la fin de ce paragraphe.

Des résultats du projet de recherche MACOSPOL et EMAPS

Selon Venturini *et al.* (2015), les méthodes complètement qualitatives ou complètement quantitatives à partir des outils du Web ne sont pas tout à fait satisfaisantes pour étudier des controverses. Les outils du numérique « ont révélé aussi la relative immaturité des méthodes du numérique » (Venturini et Latour, 2010, p. 6). En particulier, face aux flux de données, les chercheurs ont été très vite confrontés au choix du degré de complexité des représentations qu'ils pouvaient générer : le dosage de la complexité apparaissait un nœud de la recherche. La figure n°60 illustre la difficulté et les exigences à concilier.

Figure n°60: Trop complexe ou trop simpliste : deux cartographies qui ne servent pas les desseins de la cartographie des controverses (Venturini *et al.*, 2015)



Trop complexes (figure de gauche), les cartographies sont trop difficiles à s'approprier et trop simples (figure de droite), elles perdent leur intérêt pour le public. L'arbitrage en la matière s'avère une difficulté majeure dans la représentation des cartographies et la question à résoudre se pose en ces termes « (...) where we should stand in the legibility/complexity continuum » (Venturini *et al.*, 2015). En fait il est vain de rechercher cet « impossible equilibrium ». Les chercheurs admettent qu'une représentation ne peut pas embrasser toute la complexité d'une controverse pour rester compréhensible.

Dans la continuité de MACOSPOL, les explorations conduites dans le projet de recherche impliquant l'équipe de Latour (EMAPS) ont permis de se repositionner pour formuler la question de recherche. D'une part le nœud du problème résiderait peut-être dans la façon d'entrer dans la controverse et de concevoir sa représentation : il faudrait prendre appui sur la

⁵⁰⁹ source : à partir du site http://medialab.sciences-po.fr/site_medialab_2009_2013/index.php?page=alias consulté le 10 septembre 2014

discipline qui apparaît vraisemblablement la plus concernée par la controverse et à la place d'une représentation, c'est de modélisation qu'il serait question. Les chercheurs du projet ont supposé qu'une controverse représentée sous plusieurs angles devrait aider les acteurs à y voir plus clair dans ce qui se joue dans les débats. Mais il est apparu que considérer le public comme une entité homogène, pré-supposé fort, pose problème. En effet, le public rassemble des individus divers dont les intérêts pour les sujets ne sont pas les mêmes. Ainsi, la complexité des représentations que le public est prêt à s'approprier, est elle-aussi variable. En fait, la question de départ posée ne semblait pas être la bonne « *we realize that we might have been asking the wrong question all along* » (Venturini *et al.*, 2015). La formulation suivante « (...) *how we could move through it (legibility/complexity continuum)* » serait plus appropriée (Venturini *et al.*, 2015).

1.1.5. Synthèse

Ce que nous retenons

1. Nous allons nous appuyer sur une diversité de sources pour rendre compte de la pluralité des points de vue. Pour cela, dans la mesure du possible, nous allons mobiliser des sources mises à disposition sur le Web car elles permettent d'avoir accès à une grande variété de ressources (en nombre et en qualité, mais qui peuvent disparaître ensuite). Nous ne mobiliserons pas de méthodes digitales pour les analyser : ceci nous distingue le plus de l'approche latourienne prônée dans les exercices fondés sur la mise en œuvre pratique de l'ANT.

2. Nous devons définir un compromis pour représenter une cartographie des controverses : il faut introduire assez de complexité pour embrasser la richesse des débats, tout en restant intelligible. En faisant ces choix, nous admettons de fait la subjectivité de la représentation qui devient bien un outil du chercheur et pour sa recherche et dont le but est de rendre compte de la compréhension des controverses autour des problématiques liées à l'usage des pesticides.

3. La discipline au cœur de la controverse est un point d'entrée dans une controverse. Nous choisissons de poser l'agronomie comme discipline d'entrée, même si les thématiques des controverses dépassent cet ancrage agronomique. Les thèmes d'entrée pour construire notre corpus de traces sont d'abord des termes en lien avec l'agronomie.

4. Afin de contribuer à la compréhension des différentes facettes de la complexité des controverses, nous proposons de multiplier les représentations (nous traduisons « la mise en scène des controverses » par multiplication des présentations (une représentation cartographique, des schémas et du texte).

5. La lecture de nos représentations cartographiques va susciter chez les lecteurs des questions qui rendent compte de la représentation de la controverse qu'ils en ont (illustration concrète du processus de traduction).

1.2. Ancrages théoriques pour aborder les notions de risques et d'incertitudes dans les argumentations des actants dans les cartographies des controverses

Les notions de risque et d'incertitude renvoient à des phénomènes très divers dont les effets et les conséquences ne sont parfois pas comparables, à la fois sur le plan ontologique (ce que représente les risques et les incertitudes) et sur le plan épistémologique (comment ils se construisent et comment les expliquer) (Kemisch, 2012). Le 20^è siècle et le 21^è siècle sont marqués par le déconfinement de la prise en compte des risques de la sphère médicale et industrielle. Les risques sont devenus hétérogènes (risques environnementaux, politiques, sanitaires, ...), ils sont d'ampleur très variable (risque majeur *versus* risque mineur), sont immédiats ou différés dans le temps, peuvent affecter l'individu et/ou des collectifs... Il n'est

pas simple, ni même concevable de proposer une définition référence pour la notion de risque face à cette hétérogénéité. Nos sociétés modernes révèlent un double paradoxe :

- les individus perçoivent leur environnement plus risqué, invoquant la prolifération des risques. Ce ne sont plus les risques de la nature qui sont incriminés, mais ceux fabriqués par l'homme et en particulier liés aux développements des sciences et des technologies : ces derniers qualifiés de risques technologiques auraient pris le pas sur les risques naturels. On voit là l'importance de considérer et de discuter les risques et incertitudes dans un contexte daté. D'une part, ces nouveaux risques et les incertitudes associées sont générés par les avancées même des technosciences qui contribuent à contrôler le monde et le rendre plus sûr. D'autre part, les avancées technoscientifiques permettent de découvrir et d'établir de nouveaux liens causaux entre des phénomènes, inconnus jusqu'alors et donc contribuent à révéler des risques inconnus jusque là ;

- dans le même temps, l'augmentation de l'espérance de vie laisse supposer que les environnements sont moins risqués, moins dangereux pour notre intégrité physique.

Les risques prolifèrent-ils dans le monde réel ou sommes-nous plus attentifs ? Les individus éprouveraient une plus grande sensibilité aux risques et aux incertitudes, résultat de la manifestation du « *symptôme d'une société hantée par la sécurité et soucieuse d'assurer la prévention des différentes formes d'entraves et de malheurs touchant la condition humaine* » (Le Breton, 1996, 23) (Kellerhals, Languin et Pattaroni, 2000, p. 297). Les individus chercheraient à toujours plus contrôler l'avenir afin de se prémunir des événements défavorables rejetant la fatalité et le hasard comme explication des événements.

Cette propension des sociétés à vouloir contrôler l'avenir par l'inflation des processus de modernisation par les technosciences a conduit Beck (1986, 2001) à souligner l'émergence d'une société du risque. Ces risques n'épargnent pas notre quotidien et façonnent la façon de nous comporter face aux risques : nous sommes tous donc exposés à des formes de risques qui peuvent nous toucher individuellement même si la source de la menace est lointaine et dont les conséquences sont autant irréversibles qu'imprévisibles. Les risques sont des sous ou des co produits du développement des technosciences, on ne peut pas y échapper et ils ne sont pas forcément perceptibles par les sens. Avec des environnements moins dangereux en apparence, les sociétés seraient moins enclines à proposer des systèmes de protection collectifs (Etat Providence), isolant les individus face aux risques. Ainsi, l'incapacité de ces mêmes sociétés à protéger les individus de la prolifération des risques que leur développement génère aurait favoriser l'émergence d'une culture du risque (Giddens, 1999). Beck et Giddens soulignent le nécessaire développement d'une réflexivité critique. Cette forme de réflexivité caractérise les attitudes critiques des individus à l'égard des enjeux du développement des technosciences tout en visant « *une émancipation croissante à l'égard des institutions et des traditions* » (Peretti-Watel, 2001, p. 39) : chacun pourrait se saisir d'opportunités pour infléchir le cours des événements.

La littérature propose deux approches de la notion de risque :

- une conception réaliste du risque associé au monde réel, le risque est une réalité,
- une conception représentationnelle, le risque est une construction sociale et/ou culturelle (Althaus, 2005 ; Kemisch, *ibid.*, 2012), ce qui ne laisse pas sous-entendre que le risque n'existe pas.

Cette partie vise à déterminer un cadre d'analyse de la conception du risque sur laquelle nous pouvons nous appuyer pour discuter les argumentations sur des risques/incertitudes déployées autour des usages pesticides (pour ou contre) par des parties prenantes dans les controverses. Pour cela, nous commençons par discuter les sens des notions de risque et d'incertitudes et à proposer des définitions de leurs corrélats (danger, aléa, vulnérabilité). Cela nous amène dans le même temps à discuter de la notion de rationalité (premier point). Nous

présentons à partir d'une revue de la littérature scientifique, des approches relevant de deux conceptions du risque et nous les critiquons ensuite (deuxième point). Nous discutons en particulier les points saillants de la théorie retenue (théorie des biais culturels de Douglas et Wildavsky, 1983). Nous proposons ensuite l'adaptation retenue pour aborder la problématique d'analyse des argumentations sur des risques et des incertitudes en jeu dans les controverses sur les utilisations des pesticides dans l'agriculture (troisième point).

1.2.1. Les contours de la notion de risques, une forme de questionnement de la rationalité

Kemisch (2012) citant Méric insiste sur l'ambigüité de la notion de risque : le risque est « (...) une référence qui peut circuler à l'intérieur de plusieurs communautés en conservant le même nom sans pour autant recouvrir les mêmes « réalités » (...) » (Méric et al., 2009, p. 143) » (Kemsich, 2012, p. 2). En effet, des domaines aussi divers que des secteurs de gestion de l'environnement, de l'aménagement des territoires, l'industrie, la médecine, les assurances, des administrations, le monde du travail et de l'entreprise et l'agriculture, entre autres se sont penchés sur la notion pour caractériser différents registres de risques et des principes de leur gestion : « *Le risque est une notion qui aujourd'hui fait fortune. C'est devenu une sorte de mot-valise, employé dans tous les domaines, accolé à tous les adjectifs (...): risque écologique, technologique, urbain, sanitaire, alimentaire, routier, domestique, risque majeur ou diffus, mais aussi population à risque (...)* » (Peretti-Watel 2003, p.59)⁵¹⁰. Des disciplines aussi variées que les mathématiques, l'économie, la sociologie, la psychologie s'y sont intéressées. L'abondante littérature révèle que les usages de la notion par les acteurs sociaux recouvrent une grande variété conduisant à des oppositions et des incompréhensions, à des attitudes et des comportements différents.

Deux aspects nous intéressent particulièrement :

- un des aspects porte sur la catégorie de risques dits technologiques dont relèvent les pesticides. Ils sont caractéristiques de risques émergents⁵¹¹ et cristallisent des manifestations de rejet et de vives inquiétudes chez les individus au cours de ces dernières années (Slovic et Weber, 2002),
- l'autre aspect est en lien avec la place du risque dans le processus de décision, les comportements et les attitudes. Quels sont les risques envisagés à l'égard des pesticides ? Les risques considérés comme déterminants dans les décisions ont-ils évolué au cours du temps ? Ce questionnement vaut également chez les élèves/étudiants, futurs professionnels de l'agriculture et citoyen. Il s'agit en fait de discuter indirectement la rationalité des individus qui déterminera les prises de décision et/ou un positionnement professionnel et d'acteur citoyen.

⁵¹⁰ In « *risque et innovation : un point de vue sociologique* » - article produit à partir de la retranscription d'une conférence à la maison des Sciences de l'Homme de Dunkerque. Adresse électronique <http://www.cairn.info/revue-innovations-2003-2-page-59.htm>

⁵¹¹ D'autres risques générés par les activités sciences et des technologies mobilisent politiques, citoyens, scientifiques et professionnels : les technologies de l'atome et des particules (activités nucléaires et radioactivité, des nanoparticules, rayons ionisants), celles concernant les manipulations du vivant (les biotechnologies, OGM, thérapie génique humaine). Enfin aux côtés de ces risques sont également considérés de risques émergents les actes de terrorisme et les risques environnementaux (changement climatique, phénomènes de tsunami, entre autres).

Le concept de rationalité

Le concept de rationalité est complexe à cerner et ne repose pas sur une définition circonscrite consensuelle (Berthelot, 2000). Il est central en sciences sociales et il est mobilisé dans la perspective d'approches compréhensives et explicatives des phénomènes sociaux qui se déterminent à l'échelle individuelle : l'étude de la rationalité permet de rendre intelligibles les comportements individuels. Mouchot (1996) évoque l'exercice de la raison et l'émergence du capitalisme pour expliquer la rationalité économique. Chaque acteur social a des intentions, de bonnes raisons ou des motivations à agir comme il fait : ses actions sont en adéquation avec la situation. Est rationnel ce qui se raccroche à la raison ou plutôt aux raisons : mais toutes les raisons sont-elles acceptables ? Quelle est la frontière entre le rationnel et l'irrationnel ? Les croyances entrent-elles dans les raisons plausibles pour contribuer à expliquer la rationalité ? L'approche définitoire se confronte à deux difficultés : (i) celle de l'exploration de ce que recouvre la situation pour l'acteur et pour celui qui l'observe, (ii) la rationalité peut parfois apparaître contraire aux intérêts de l'acteur. Boudon (1992) a proposé de définir la rationalité sur le plan sémantique: « *X avait de bonnes raisons de faire Y car Y...* » (*ibid.*, 1992, p. 35). Cette approche nous intéresse particulièrement car elle permet de rendre compte d'une diversité de formes de la rationalité et de considérer la rationalité comme relative et non comme une expression absolue. Les raisons peuvent être d'ordre scientifique⁵¹², économique⁵¹³, politique, éthique, culturelle, etc. La rationalité peut alors être technique ou scientifique, économique, sociale, critique. On voit bien là la diversité des raisons qui peuvent sous-tendre les contours des formes de rationalité. Les raisons invoquées par les uns peuvent être disqualifiées par d'autres. Les acteurs s'appuient sur des raisons qui leur apparaissent « plausibles » (Boudon, 1984, p. 59). La rationalité est intelligible mais en contexte : « *La rationalité doit être mise en rapport avec le contexte socioculturel. D'une période de l'histoire à une autre, d'une culture à une autre, la notion de comportement rationnel acceptée par le sens commun peut varier énormément.* » (Coenen-Huther, 2010, p. 5). Toujours selon Boudon, (1992) l'*homo sociologicus*⁵¹⁴ est doté d'une rationalité limitée, « *bounded rationality* » (Simon, 1955). La rationalité limitée a été introduite pour désigner le fait que les acteurs économiques décident, agissent, se comportent en situations complexes sans avoir toutes les connaissances des phénomènes en jeu (capacités cognitives limitées), et dans un champ de contraintes (un choix restreint d'opportunités et une quantité d'informations limitées) : le comportement ne vise pas l'optimisation, impossible par ailleurs, mais la satisfaction à partir de la construction d'un modèle de la réalité reconstruite et simplifiée. L'individu semble en fait développer des stratégies pour éviter d'être confronté à l'incertitude (ce qu'il ne connaît pas et qu'il appréhende).

Ancrées dans le courant éducatif Sciences-Technologies-Société (STS), la didactique des questions socialement vives vise en particulier à initier une analyse compréhensive avec les apprenants des interactions entre les sciences, les technologies, les sociétés et l'environnement. Dès lors, considérer des risques dont les controverses sont porteuses est central pour conduire des enseignements-apprentissages (Legardez et Simonneaux, 2006) afin

⁵¹² Est rationnel ce qui résulte d'une démonstration reposant sur des faits scientifiques.

⁵¹³ Au cœur des théories économiques, la rationalité économique reposant sur des raisons économiques conditionne les comportements des consommateurs et des producteurs. Cette forme de rationalité a été abondamment étudiée dans la littérature.

⁵¹⁴ L'*homo sociologicus* n'est pas l'*homo economicus* des économistes dont la rationalité peut être définie par une rationalité économique qui détermine des comportements mués par la recherche de l'utilité et de l'intérêt du « profit ». L'*homo sociologicus* a de raisons qui ne sont pas limitées à des motivations économiques dans un cadre de contraintes : l'habitude et surtout guidé par les valeurs qui seraient déterminantes.

de permettre aux élèves et aux étudiants de se construire une opinion éclairée (Simonneaux, 2010), d'être capable de débattre de ces sujets et de faire des choix d'action. Les risques perçus par les apprenants inhérents à l'usage des pesticides ou la représentation des risques qu'ils s'en font peut inférer la rationalité. Des rationalités ont été discutées chez les élèves par Carr et Kemmis (1986) autour de deux formes de rationalité : la rationalité technique et la rationalité critique. La première sous tend qu'à chaque problème, des solutions techniques peuvent être proposées : la technique est une forme de domination du monde qui sert l'homme et l'homme n'a pas à exercer son sens critique. A contrario, la rationalité critique invite à discuter des choix en termes de développement des techniques mais « *les buts d'efficacité ou de progrès techniques justifiant tous les moyens employés ne doivent pas être placés au-dessus de la démocratie (...)* » (Simonneaux et Legardez, 2011, p. 22). Beck (1986) quant à lui évoque la rationalité scientifique fondée sur la raison scientifique et la rationalité sociale reposant sur des raisons sociales. Ces formes de rationalité se doivent d'interagir au risque de voir s'installer une rationalité scientifique « sourde » aux mots des sociétés et une rationalité sociale « aveugle » privée de perspectives de développement (p. 30). Enfin, Beck (*ibid.*) discute d'une troisième forme de rationalité : la rationalité réflexive. Cette dernière forme ouvre la critique sur ce qui a fondé le développement industriel et sur ce que l'on ne sait pas. Elle vise ensuite à interroger la forme de modernité à promouvoir.

Risques, incertitudes et corrélats

Autrefois considérés comme le lot de la providence et/ou une manifestation de la fatalité et/ou de la volonté divine, des risques, des dangers et des incertitudes variables avec le temps et les lieux ont fortement imprégné les croyances individuelles ou collectives et ont façonné nos sociétés humaines. Aujourd'hui, des activités humaines sont considérées à l'origine de risques, d'incertitudes et de dangers pour les individus et pour les sociétés humaines. Nous définissons les termes de risques, d'incertitude, de danger, de menace, de vulnérabilité et d'aléa dans le sens commun et nous discutons les contours des notions de risque et d'incertitude dans la littérature scientifique.

- *Le sens commun du risque et des termes associés*

Les individus sont en général averses aux risques et leurs décisions sont influencées par la prise en compte de certains risques qu'ils considèrent significatifs. Malgré l'importance accordée à la notion de risque dans la littérature, la rhétorique sur ce concept et ses corrélats met en exergue des définitions floues et des origines étymologiques multiples pour le terme « risque ». Risque, incertitude, danger, aléa, menace et vulnérabilité sont des termes associés et une revue bibliographique sur le sujet révèle rapidement qu'il est difficile de circonscrire ces notions sans s'attacher à un champ disciplinaire. Même dans le sens commun, le risque apparaît comme une notion *multidimensionnelle* (Kermish, 2012), générant des incompréhensions : « *The fact that the word "risk" has so many different meanings often causes problems in communication* » (Slovic et Weber, 2002, p. 3).

Le *risque* est défini comme :

- une « *possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal ou un dommage (...)* » ;
- un « *danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé (...)* » ou encore comme le « *fait de s'engager dans une action qui pourrait apporter un avantage, mais qui comporte l'éventualité d'un danger (...)* » ;
- un « *préjudice, sinistre éventuel que les compagnies d'assurance garantissent moyennant le paiement d'une prime*⁵¹⁵ ».

⁵¹⁵ Définitions du Larousse en ligne consultées à partir de <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/risque/69557>

Le *danger* caractérise :

- « *ce qui constitue une menace, un risque pour quelqu'un, quelque chose (...); situation où l'on se sent menacé (...)* » ;

- un ensemble de « *circonstances susceptibles de causer des dommages, autrement dit, la source du risque* » (Kemisch, 2012, p. 4). Risque et danger sont corrélés.

Une *menace* désigne « *Signe, indice qui laisse prévoir quelque chose de dangereux, de nuisible* ».

L'*aléa* « *Tour imprévisible et le plus souvent défavorable pris par les événements et lié à une activité, une action ; risque*⁵¹⁶ ». La vulnérabilité rend compte de la fragilité d'un système face à un aléa et dans le même temps de sa capacité à surmonter le désordre causé. Cette dernière notion est employée pour caractériser des milieux dans la gestion des risques environnementaux ou industriels et des individus ou des communautés dans le cadre des approches psychosociales du travail ou du handicap.

1.2.2. La littérature scientifique et la notion de risque et d'incertitude

Dans la revue bibliographique scientifique qui aborde le concept de risque, nous avons observé deux tendances :

- certains auteurs discutent le risque sans définition explicite posant le risque comme un concept et ses contours sont dès lors implicites,

- d'autres au contraire commencent par discuter son étymologie et distinguent le risque d'une série de termes qui lui sont corrélés comme l'incertitude, le danger, la vulnérabilité et l'aléa, et posent cette approche définitoire comme le préalable à une prise de distance nécessaire avec le sens commun pour bien circonscrire leur contribution (Slovic et Weber, 2002 ; Althaus, 2005 ; Calvez, 2004 ; Magne, 2010). Ainsi les contours du concept sont définis et avec eux la manière dont la discipline ou le champ scientifique contribue à l'aborder, l'observer et le traiter⁵¹⁷. Longtemps la conception dominante du risque a été associée à deux dimensions « *la probabilité d'occurrence de l'événement non désiré* » et « *la gravité des dommages potentiels* » (Chauvin et Hermand, 2008, p. 345-346). Ceci impliquerait d'être capable de déterminer objectivement les probabilités et les conséquences d'événements par une évaluation des risques.

Selon Slovic et Weber (2002), le risque exprime :

- (1) un danger : « *Risk as a hazard* ». Le risque est une menace objective qui est permanente et à laquelle chacun peut être exposé ;

- (2) une probabilité : « *Risk as probability* ». Les événements qui nous exposent à un phénomène (dont les effets sont soit favorables soit défavorables) sont prévisibles et il existe donc des situations à risques plus ou moins exposantes dans le futur;

- (3) une conséquence : « *Risk as consequence* ». Cette approche s'intéresse à ce qui découle des effets de l'exposition au risque ;

- (4) une menace potentielle : « *Risk as potential adversity or threat* ». (Slovic et Weber, *ibid.*, p.3). Considéré comme permanent, le risque peut affecter de manière négative le cours des événements et par conséquent peut infléchir le futur. Thompson (1986) propose une

⁵¹⁶ Définitions du Larousse en ligne consultées à partir de <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/risque/69557>

⁵¹⁷ Le domaine de la protection civile (en lien avec les catastrophes naturelles) et le domaine de l'hygiène et de la sécurité au travail ont codifié les terminologies pour la prévention des risques associés.

catégorisation générique du risques en cinq formes⁵¹⁸, mettant en évidence deux grandes acception de ce concept :

- (i) le risque comme réalité tangible qui existe en soi, il s'agit des notions de risque objectif et de risque réel, correspondant à une conception quantitative du risque ;
- (ii) le risque comme une création individuelle ou collective à partir du jugement des individus (risque subjectif, risque observé et risque perçu). Ici le risque est une construction sociale, une forme de représentation de la réalité ou d'une réalité probable.

Althaus (2005) (cf. Tableau n°17) contribue à une définition épistémologique du risque en mettant en lumière comment les disciplines conçoivent le risque et quels sont ensuite les savoirs mobilisés pour appréhender ce qui n'est pas connu, caractérisant l'incertitude.

Tableau n°17 : Approche du risque et de l'incertitude selon les disciplines (Althaus, 2005, p. 569)

Discipline	How It Views Risk	Knowledge Applied to the Unknown
Logic and Mathematics	Risk as a calculable phenomenon	Calculations
Science and Medicine ^a	Risk as an objective reality	Principles, postulates, and calculations
Social Sciences		
Anthropology	Risk as a cultural phenomenon	Culture
Sociology	Risk as a societal phenomenon	Social constructs or frameworks
Economics	Risk as a decisional phenomenon, a means of securing wealth or avoiding loss	Decision-making principles and postulates
Law	Risk as a fault of conduct and a judicable phenomenon	Rules
Psychology	Risk as a behavioral and cognitive phenomenon	Cognition
Linguistics	Risk as a concept	Terminology and meaning
History and the Humanities		
History	Risk as a story	Narrative
The Arts (literature, music, poetry, theatre, art, etc.)	Risk as an emotional phenomenon	Emotion
Religion	Risk as an act of faith	Revelation
Philosophy	Risk as a problematic phenomenon	Wisdom

^aThe physical, biological, natural, and technological sciences are all included in this section on science in a conglomerate scientific approach to risk. Medicine and its affiliated disciplines are also treated in this section as, together with the sciences, they provide a united approach to risk as an objective reality. Toxicology and epidemiology are especially preoccupied with risk analysis in the medical field.

Le tableau met en lumière la diversité des approches dans la façon dont le risque et les incertitudes sont appréhendés. On perçoit des oppositions entre les approches du risque par les sciences, la médecine et les mathématiques et les approches de disciplines de sciences humaines et sociales dont les objets d'étude sont les individus et les collectifs. Avec le premier groupe de disciplines, ce sont des postulats, des calculs probabilistes et des éléments de savoirs stabilisés qui rendent compte des risques et qui permettent d'appréhender l'incertitude. Les chercheurs ont défini à partir de relations causales des listes de facteurs susceptibles d'être pris en considération quand un individu est confronté à l'évaluation d'un risque. Avec l'autre groupe, ce sont des aspects culturels (anthropologie), des constructions sociales (sociologie), des éléments de la cognition comme la perception et la façon dont les

⁵¹⁸ La catégorisation proposée par Thompson (1986) reprise par Althaus (2005) propose de distinguer le risque subjectif (état mental d'un individu confronté à l'incertitude ou le doute ou qui est préoccupé par l'issue d'un événement donné), le risque objectif (écart entre perte réelle et pertes anticipées), le risque réel (probabilité d'occurrence d'une situation défavorable réelle), le risque observé (mesure de cette probabilité à partir d'une construction modélisée du monde réel), le risque perçu (estimation « grossière » d'un risque réel par un individu non averti).

individus pensent, raisonnent (psychologie) qui permettent d'expliquer la construction du risque et les approches de l'incertitude. À côté de la rationalité scientifique, il convient également de tenir compte d'autres formes de rationalités comme la rationalité sociale (Beck, 1986/2001). Au sein même de ces disciplines des sciences humaines et sociales, des paradigmes différents coexistent et s'opposent. Les sciences économiques se sont penchées sur l'aversion aux risques des individus : l'aversion aux risques est un postulat du comportement en économie (les individus déploient des stratégies pour conserver (ou maximiser) les biens et les bénéfices en limitant les pertes). De nombreux travaux se sont penchés sur l'aversion aux risques des agriculteurs en lien avec une approche de la rationalité- la rationalité économique- afin de cerner les comportements économiques d'un individu l'assimilant à un *homo economicus*. Nous avons vu dans les chapitres précédents, l'importance accordée chez les agriculteurs à la limitation des pertes de récoltes : les pesticides en diminuant le risque de pertes de productions ont conduit les agriculteurs averses aux risques à les utiliser systématiquement : principe de décision fondée sur des stratégies d'assurance fondée sur un recours systématique en curatif et en préventif dans de nombreuses situations. Le contexte socio-professionnel a renforcé l'aversion aux risques chez les agriculteurs. Mais comment se construit la décision chez les agriculteurs aujourd'hui qui doivent réduire le recours aux pesticides ? Sont-ils pour autant moins averses aux risques ?

Le risque comme réalité tangible qui existe en soi : la conception quantitative du risque par les sciences « dures » et l'émergence de la notion d'incertitude

Pour un ensemble de sciences dures, le risque est une réalité objective appréhendée à partir de principes, de postulats et de calculs probabilistes. Les risques peuvent être mesurés, considérés alors comme contrôlables et gérables (Adams, 1995). Ils sont évalués à partir d'une probabilité d'occurrence et caractérisés par la gravité des effets et/ou conséquences. Des risques environnementaux, tout comme des risques épidémiologiques liés à l'usage des pesticides peuvent entrer dans cette catégorie. Le risque représente alors la probabilité d'occurrence d'un événement défavorable (danger) et existe indépendamment des individus qui peuvent y être exposés : « *Dans un tel paradigme, le risque est indépendant du sujet percevant et de son contexte, puisqu'il est envisagé de manière réifiée, comme une propriété d'une technologie, d'une substance ou d'une activité dangereuse* » (Kemisch, 2012, p. 3).

On attribue à Knight (1921) la distinction entre les notions de risque et d'incertitude. Comme le risque, l'incertitude fait référence à ce qui n'est pas encore connu ou encore arrivé. Si définir un risque s'avère être une tentative de contrôle de l'inconnu en appliquant des connaissances en lien avec l'organisation du monde⁵¹⁹ : « *The idea is that risk and uncertainty both relate to the unknown, but that risk is an attempt to "control" the unknown by applying knowledge based on the orderliness of the world* » (Althaus, 2005, p. 569). L'incertitude rend compte en contrepartie d'une projection future complètement aléatoire et imprévisible qui ne peut donc pas par conséquent être contrôlée ou prédite : « *Uncertainty, on the other hand, represents the totally random unknown and thus cannot be controlled or predicted* » (*ibid.*, p. 569). L'incertitude caractérise donc des situations pour lesquelles il est impossible de probabiliser les événements en raison de leur ampleur- la diversité de conséquences et d'effets possibles n'est pas probalisable, du manque de connaissances sur les processus mais également dans des cas où il est impossible d'établir tous les événements possibles générés par un aléa car on ne les connaît pas. L'incertitude recouvre donc à la fois ce que l'on se ne sait pas **et** ce que l'on est incapable de caractériser avec certitude avec les connaissances du moment.

⁵¹⁹ traduction libre de l'auteur

- *Critique*

1. Dans cette conception du risque, le savoir scientifique est prégnant et expert souvent associé à un discours autoritaire. Les savoirs scientifiques produits sont à visée universelle ou sensés modéliser la réalité forcément simplifiée. Cela conduit à négliger voire à ignorer risques et sources d'incertitudes qui revêtent cependant de l'importance pour certains acteurs. Cette conception du risque est difficile à tenir face à certaines problématiques émergentes de grande ampleur et sans manifestation visible. En effet, face à des technosciences qui coproduisent des phénomènes complexes très difficiles à appréhender associés à des effets délétères non immédiats, les experts ont des difficultés à évaluer les risques qui en découlent : les modèles probabilistes ne permettent pas d'avoir accès à ce type d'informations.

2. La prévalence de certains risques retenus des scientifiques et des experts génère des oppositions entre les experts et les profanes sur le plan des savoirs. Des sujets comme les biotechnologies (Bordogna Petriccione, 2004), le réchauffement climatique (Urgelli, Simonneaux et Le Marec, 2011), la radioactivité, la vache folle et l'amiante (Chateauraynaud et Torny, 1999) opposent les experts scientifiques et les profanes sur la définition de la nature des risques, des incertitudes et leur évaluation. Les experts scientifiques interprètent ces différences d'appréciation comme un manque de connaissances à l'égard des phénomènes et/ou à l'expression de formes d'irrationalité chez les profanes. Chez ces derniers, leur objectivité serait brouillée par des croyances, sources d'irrationalité et les peurs seraient amplifiées par les médias : ils seraient irrationnels, manipulés et de surcroît inexpérimentés dans le maniement « (...)des probabilités ou des informations qui permettent de les évaluer (Allais, 1953 ; Kahneman et Tversky, 1975, 1979 ; Willinger, 1990) » (Peretti-Watel, 2001, p. 24). La rationalité des experts scientifiques serait garante d'une interprétation objective du monde et des phénomènes car ils sont détenteurs des connaissances approfondies des phénomènes. Les experts sont ceux qui savent et qui peuvent ainsi mesurer objectivement ce que l'on risque et les profanes sont ceux qui ne maîtrisent pas et qui ne connaissant pas les différentes dimensions du phénomène. L'impartialité des savoirs experts est discutable selon les circonstances Wynne (1999) : les experts scientifiques auraient une propension à ne pas reconnaître des formes d'expertises profanes et de rationalité autre que la rationalité scientifique. Or dans des cas de maladies rares ou de problématiques émergentes force est de constater que des savoirs profanes peuvent se substituer à ceux des experts déficients. Ils sont capables de structurer des argumentations fondées concurrentes de celles de l'expert officiel : les associations de malades se révèlent des appuis intéressants et les lanceurs d'alerte peuvent mettre en évidence des dysfonctionnements et (Peretti-Watel, 2001, 2010; Grimaldi, 2010 ; Callon, Lascoumes et Barthe, 2001).

3. Comme le souligne Ravetz (1980), il est difficile de « *placer toute l'expérience et les valeurs humaines sur une seule échelle de mesure, pour la manipulation mathématique ou politique* » (p. 46). Un certain nombre d'observations montre l'importance des déterminants sociaux et culturels dans l'évaluation du risque : « (...)l'évaluation du risque n'est pas une activité réservée aux seuls experts sur la base de données scientifiques ou techniques, plus ou moins complexes et plus ou moins confidentielles » (Cadet et Kouabéan, 2005, p. 23).

Ces trois points de la critique font écho aux questions soulevées par les usages des pesticides dans l'agriculture pour protéger les cultures. L'approche socio-historique a mis en lumière une construction des risques variables selon les époques et les groupes sociaux (les agriculteurs, les politiques, les scientifiques de l'agriculture, les citoyens, les consommateurs, les agents du développement agricole). Les controverses sur différentes problématiques (protection de l'environnement, production agricole, qualité de l'alimentation, santé humaine,

équité dans l'accès à l'alimentation, etc.) et les argumentations autour des risques montrent que ces derniers ne sont pas perçus de la même manière selon le point de vue de celui qui problématise et selon les époques : agriculteur professionnel, écologiste militant, consommateur, etc., il y a 20 ans et aujourd'hui. Le risque sur les pesticides n'existe pas hors des individus et hors d'un contexte.

Le risque comme une création individuelle ou collective : des contributions des sciences sociales

Les travaux centrés sur les perceptions des risques s'intéressent à la dimension jugement des risques et à leur évaluation. Ils se sont déployés en trois temps et ont donné naissance à différents courants de recherche : les travaux sur l'approche psychométrique ancrés en psychologie en ont émergé à la fin des années 70 portés par une équipe américaine (Slovic et ses collaborateurs, Slovic, 1987). Dans les années 80, ce sont les travaux en anthropologie sociale de Douglas et Wildavky (1983) et ceux dans une discipline scientifique émergente, les cyndiniques (Kervern et Rubise, 1991). Dans les années 90, les travaux en psychométrie et en anthropologie se sont enrichis (de nouvelles dimensions pour les premiers et ont été davantage testés en contexte pour les seconds). L'ensemble de ces travaux dits représentationnels sur le risque sont dominants aujourd'hui et ils se fondent sur le constructivisme en posant la construction sociale de la réalité, ici en l'occurrence celle qui renvoie aux risques et à l'incertitude.

- *Le risque n'est pas extérieur aux individus : les perceptions des risques et le paradigme psychométrique*

Cadet et Kouabéan (2005) prennent appui sur l'exemple de la saccharine aux Etats-Unis pour illustrer la « fluctuation des valeurs subjectives » (*ibid.*, p. 19) face aux risques et remettant en question le caractère « extérieur » du risque aux sociétés et/ou aux individus. Au début des années 70 dans une série de tests, des études canadiennes sur le rat ont révélé une occurrence de cancer de la vessie chez les rats mâles imputables à cet additif alimentaire. La saccharine a alors été inscrite sur une liste positive de substances cancérigènes en conformité avec une loi de 1958 imposant que toute substance induisant des formes de cancers chez l'homme ou l'animal et ce quelle que soit la dose devait être interdite dans l'alimentation humaine par la Food and Drugs Administration (FDA). Les contestations nombreuses conjointes des industriels et des consommateurs ont conduit au vote d'une nouvelle loi interdisant à la FDA d'interdire la saccharine... Sans nouvelle confirmation des résultats de relation causale à la fin des années 90, des commissions d'experts posent le caractère non cancérigène de la saccharine. Ce relativisme dans la perception des risques est au cœur du paradigme psychométrique, posant l'intégration nécessaire du caractère subjectif⁵²⁰ de la perception : le risque « (...) est aussi une valeur où figurent des choix sociaux » (*ibid.* p. 21), amenant Short (1984) à préciser que chaque société ou groupe social développait des « fabrique sociale du risque » (« social fabric at risk » (Short, 1984, p. 715)).

Dans le milieu des années 70, Slovic et ses collaborateurs ont initié un nouveau courant de recherche pour cerner les inquiétudes des citoyens américains face aux problèmes posés par les pesticides, par l'énergie nucléaire : les questions se cristallisent plus globalement sur les risques technologiques aux Etats-Unis (Fischhoff, Slovic, Lichtenstein, Read et Combs, 1978). L'objectif était de comprendre le décalage entre les perceptions des risques des profanes et les évaluations des scientifiques à partir de l'étude « (...) des opinions complexes et subtiles des individus sur les risques, c'est-à-dire la caractérisation de la perception des

⁵²⁰ L'adjectif subjectif n'est pas retenu dans son acception de sens commun à connotation péjorative « n'est pas objectif », mais dans un sens de « impliquant l'utilisation de valeurs personnelles ou sociales » (Cadet et Kouabéan, 2005, p. 28).

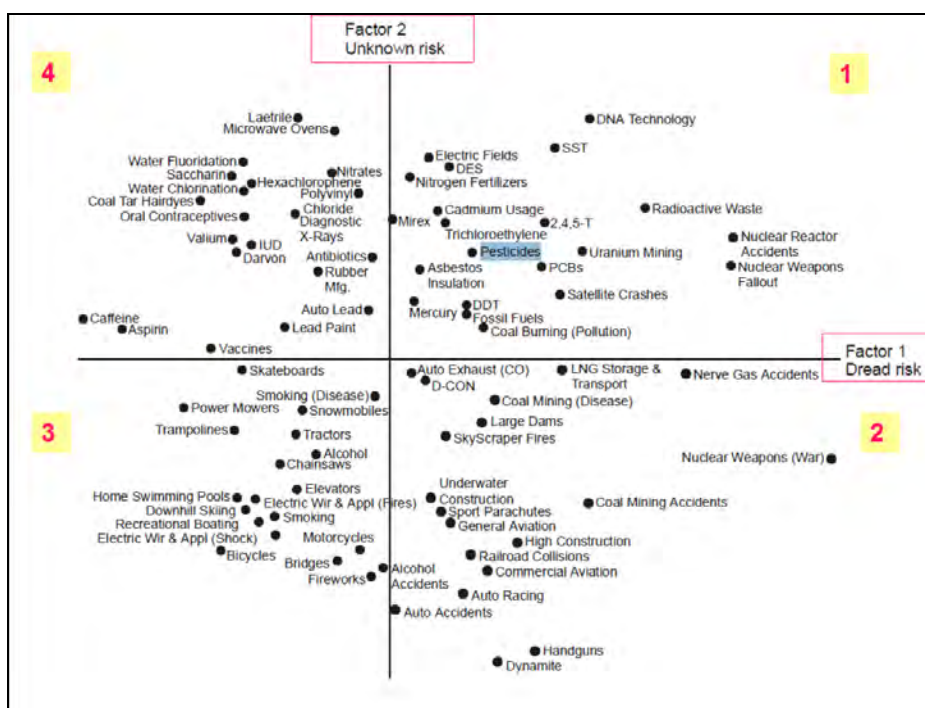
risques » (Chauvin et Hermand, 2008, p. 345). Le paradigme psychométrique (Slovic, Fischhoff et Lichtenstein, 1986) s'est d'emblée fondé sur une conception subjective du risque pour intégrer des jugements : l'appréhension des risques par les profanes apparaît plus complexe et leur évaluation est variable selon les individus, dépendant de leur point de vue. Le risque ne se restreint pas à des mesures quantitatives. Le paradigme psychométrique met au cœur de la méthodologie de recherche, l'exploration systématique et compréhensive des perceptions des individus⁵²¹. Le risque est construit et dépend des informations dont dispose les individus. Il existe, défini par les individus eux-mêmes, et il n'est pas extérieur aux individus : c'est un « *construct subjectif issu de processus psychologiques et surtout de déterminants sociaux* » (Chauvin et Hermand, *ibid.*, p.354). Le paradigme psychométrique vise à définir un ensemble de déterminants sociaux, culturels, psychologiques influençant la perception des risques⁵²². Nombre de ces facteurs sont quantifiables et il est possible de traiter en masse des données pour établir des interrelations qualitatives afin de modéliser pour comprendre les attitudes faces aux risques⁵²³. Le résultat des analyses multivariées aboutit à des « cartes cognitives » (Slovic, 1987) (cf figure n°61). Ces cartes permettent de caractériser des profils de risques qui serviront ensuite à expliquer les perceptions des individus et à contribuer à éventuellement définir des stratégies de gestion des risques. L'approche psychométrique allie les approches quantitatives du paradigme précédent tout en inscrivant le risque dans une réalité sociale (dimension subjective et qualitative).

⁵²¹ Inspiré par des critiques sur les limites des deux autres courants d'approche des risques technologiques, le paradigme de l'utilité espérée et le paradigme cognitif, le paradigme psychométrique propose d'enrichir les approches « *via l'introduction de dimensions plus qualitatives, subjectives et sociales pouvant être à l'origine des jugements de risques des individus* » (Chauvin et Hermand, 2008, p. 354). Pour approfondir se référer à l'article synthétique de Chauvin et Hermand (2008) ou Peretti Watel (2001).

⁵²² La méthodologie de recueils de données repose sur des questionnaires.

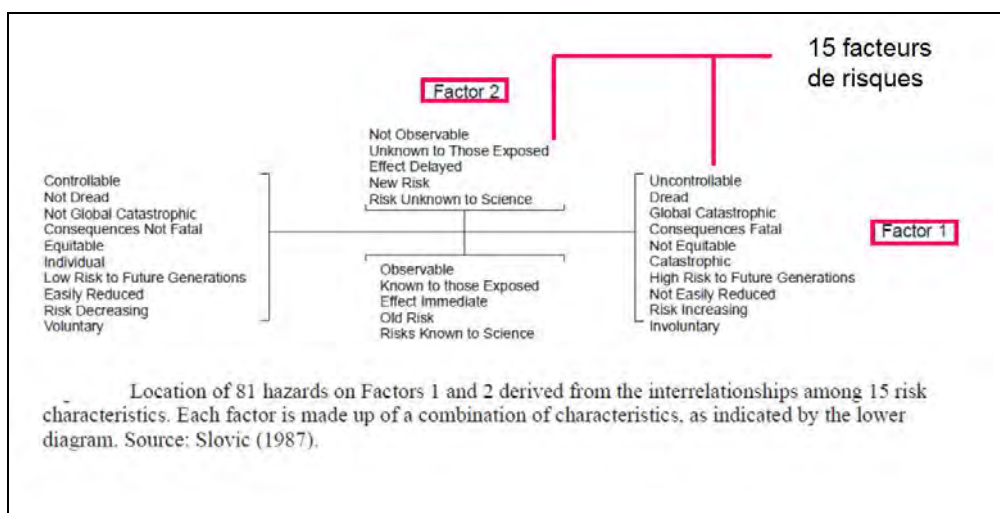
⁵²³ La base des questionnaires et des tests repose sur la détermination de « *préférences exprimées* » : ce sont des jugements formulés de manière spontanée à propos d'une palette de d'activités, de technologies ou de produits, pour lesquelles l'estimation du risque qu'elle représente pour l'enquête est à positionner sur une échelle de cotation. Ces jugements sont ensuite corrélés à d'autres explorations portant cette fois sur le positionnement par rapport à des caractéristiques supposées du risque (familiarité, potentiel de danger, connaissance, etc.), le bénéfice que la société peut attendre de ce risque, le nombre de morts résultant de ce risque une année moyenne, le nombre de morts causés par le risque une année catastrophique.

Figure n°61 : Exemple d'une carte cognitive (Slovic, 1987, p. 282)



La carte cognitive proposée par Slovic (1987) matérialise 81 risques positionnés à partir de 15 facteurs⁵²⁴ de risque (cf. figure n°62 ci-après sur les facteurs de risques) : la connaissance du risque (risque familier ou risque inconnu) a été définie en fonction de la menace que représentait le risque (faible menace ou menace ou forte menace). Les quatre cadrans correspondent à des typologies distinctes de risques.

Figure n°62 : Les facteurs de risques recensés par Slovic (1987, p. 282)



⁵²⁴ Slovic (1987) a montré qu'un grand nombre de caractéristiques des risques utilisées étaient corrélées entre elles et qu'il était possible de réduire le nombre de caractéristiques pour en retenir quelques unes représentation les autres : ces caractéristiques sont appelées « facteurs ».

Dans cette représentation, le premier facteur (factor 1) est le « facteur effrayant » et le deuxième facteur (factor 2) est le « facteur inconnu ». Les études ont montré que plus le risque est perçu effrayant, plus les individus exigent la réduction de ce risque par des systèmes de régulation stricts pour atteindre des niveaux de risques jugés acceptables (Slovic, 1992). En 1986, les pesticides (repérés en grisé dans la carte dans le cadran 1) apparaissent moins effrayants que les technologies de l'atome. Ils correspondent à de nouveaux risques, peu ou pas connus par les scientifiques. Ces risques ne sont pas observables, invisibles pour ceux qui y sont exposés. L'exposition se produit de manière involontaire. Leurs effets sont différés dans le temps. Les pesticides (dans la zone 1 de la figure n° 59) sont des menaces non contrôlables, pouvant être à l'origine de catastrophes globales avec des conséquences effrayantes (dread). Ils ne touchent pas de manière équitable les individus, ne sont pas faciles à contenir. Ils présentent une menace pour les générations futures. Ce « tableau » dressé à la fin des années 80 est d'une troublante actualité aujourd'hui. Certes les connaissances sur des effets ont progressé mais les controverses perdurent.

En synthèse, les quatre caractéristiques maîtresses des travaux psychométriques sont :

- d'accorder une place centrale et déterminante aux caractéristiques du risque dans le processus de perception ;
- de se fonder sur les processus mentaux dans la construction de la perception des risques ;
- d'avoir en conséquence un fort lien avec l'approche cognitive qui ne considère que l'échelle individuelle pour appréhender la perception des risques individuelle et ensuite collective ;
- de reposer sur des dimensions restreintes du champ de la psychologie.

Critiques

- *Des apports indéniables*

Le paradigme psychométrique permet de prendre en compte des inquiétudes des profanes sur des sujets qui impactent leur existence et que les scientifiques ne considèrent pas ou auxquelles ils n'accordent pas d'importance : « *Les individus profanes manquent quelques fois de certaines informations sur les risques mais leur conceptualisation basique des risques est beaucoup plus riche que celle des experts, et reflète des inquiétudes légitimes typiquement omises dans les évaluations des risques effectuées par les experts* » (Slovic, 1987, p. 285). La méthodologie du paradigme psychométrique a été mobilisée dans des études internationales à visée comparative (Slovic, 1987 ; Cadet et Kouabéan, 2005). Les résultats obtenus rejoignent ceux obtenus aux Etats-Unis par Slovic et ses collaborateurs. Le paradigme est porteur d'une forme de généralité dans l'approche représentationnelle du risque. Il a en particulier permis de mettre en évidence le phénomène d'amplification sociale du risque (Slovic, 1992) : plus un risque est considéré comme inconnu, effrayant et plus ses effets peuvent être perçus comme source de graves perturbations à venir assorti avec un coût élevé pour les sociétés.

Cependant, deux critiques sont adressées au paradigme psychométrique. D'une part, la matrice d'étude semble construite pour qu'elle puisse être appliquée à une grande panoplie de risques (nucléaire, pesticides, tabagisme, etc.) sous-entendant qu'il serait possible de définir une « *composante qualitative du risque de manière univoque* » (Kermisch, 2012, p. 7) et que le processus de perception serait identique quels que soient les individus. Cette position n'est pas tenable en raison de la diversité des caractéristiques qui permettraient de cerner les différentes facettes qualitatives d'un risque et de part la diversité des motivations des individus. De l'autre, le paradigme n'a pas accordé assez de place à ses débuts à la dimension axiologique⁵²⁵ se concentrant sur des « (...) *processus de traitement de l'information raisonné, logique et analytique* » (Chauvin et Hermand, 2008, p. 377). Cependant le courant

⁵²⁵ Voir les critiques de Vlek et Stallen (1981) et Douglas et Wildavsky (1983).

s'enrichit de telles considérations et s'y intéresse de plus en plus : «*Now that we are beginning to understand the complex interplay between emotion and reason that is essential to rational behavior, the challenge before us is to think creatively about what this means for managing risk*» (Slovic, Finucane, Peters et MacGregor, 2004, p. 311). Les critiques sont par ailleurs construites par des détracteurs qui se reconnaissent davantage dans les travaux initiés par Douglas (comme Dake, 1991 ; Brenot, Bonnefous et Marris 1998 ; Marris, Langford et O'Riordan, 1998 ; Sjöberg, 1995).

La dimension affective interfère dans la construction de raisonnement et fait partie intégrante de la rationalité. Les recherches fondées sur le paradigme psychométrique conduites par Slovic *et al.* (2004) l'intègrent progressivement : «*(...) the complex interplay between emotion, affect, and reason that is wired into the human brain and essential to rational behavior (...)*» (*ibid.*, p. 320).

- *Mais des points discutés*

La dimension cognitive seule ne permettrait pas d'expliquer comment se construit la perception des risques. Les critiques en particulier reposent sur le postulat suivant : les individus n'existent pas dans un vide psychologique et/ou culturel, des visions du monde sont sous-tendues. Or on ne peut pas écarter le fait que le contexte culturel et la société puissent influencer les individus et les groupes :

- dans leur construction des risques, notamment à propos des technosciences qui sont également des produits de la culture et de l'histoire de cette culture ;
- dans leur vision de ce qui est nécessaire, bon, juste pour le fonctionnement des sociétés ;
- dans la vision de l'avenir dans lequel ils désirent se projeter et s'investir pour y agir.

Enfin, dans le cadre de notre recherche, nous ne retrouvons pas de manière explicite dans les travaux des références aux perceptions des individus vis-à-vis de la « nature ». Or c'est un point important à considérer selon nous dans la construction des jugements des futurs agriculteurs et/ou conseillers agricoles sur l'utilisation des pesticides et sur l'évaluation des risques qui en découlent. Dans le premier chapitre, nous avons vu comment une vision de l'environnement biophysique s'est façonnée au sein d'une frange d'agriculteurs intensifs conventionnels : l'environnement est considéré comme la source des épidémies de bioagresseurs. Ces concurrents sont appréhendés comme une manifestation externe au système cultivé et les pesticides, un moyen de maîtrise et de contrôle de cette « nature » dérégulée. La théorie des biais culturels initiée par Douglas et Wildavky propose une approche intéressante sur la perception des risques en accordant en particulier une place aux perceptions de la nature et des sciences dans la construction de la perception des risques.

Nous présentons les traits saillants de cette théorie ci-après.

De la théorie des biais culturels à la Théorie Culturelle des risques

A partir d'approches anthropologiques sur les variations de perceptions de ce qui est propre et pur ou qui évoque la souillure (ou l'impur) dans différentes sociétés (1996), Mary Douglas a initié ce que l'on appelle la théorie des biais culturels. De ces premiers travaux développés à la fin des années 60, elle fait un certain nombre de déductions qui vont contribuer à faire émerger la théorie des biais culturels :

- les sociétés se structurent en groupes sociaux fondés sur des modèles de relations interpersonnelles ;
- chaque modèle de relations se caractérise par sa propre construction de vision du monde dans laquelle il choisit les risques/dangers qui le menacent et les incertitudes qu'il décide d'affronter : « Qui a peur de quoi et comment ? » (Dake, 1991). Ces choix se fondent sur les expériences passées, les croyances et des valeurs partagées et contribuent à construire un ordre social, gage de la stabilité des sociétés. Dans ces formes de constructions, les

dimensions sociales et culturelles et l'histoire des cultures sont déterminantes : les sociétés tribales (ou « primitives »), tout comme les sociétés occidentales contemporaines ne se distinguent pas sur le fait qu'elles élaborent « (...) *une justification culturelle d'une hiérarchie des valeurs, notamment des valeurs négatives (telles celles que nous lions ordinairement au risque* » (Duclos, 1994, p. 346). Chaque société (ou groupe social) définit une zone où elle n'est pas capable de préciser l'ordre des choses : c'est dans cette zone que les sociétés occidentales opèrent la définition des risques et des incertitudes (Douglas, 1978)- ce que l'on ne sait pas encore ou que l'on ne sait pas prédire.

L'anthropologue propose ainsi une théorisation alternative au paradigme psychométrique pour rendre compte des variations de perceptions individuelles **et** collectives des risques : elle a été développée pour comprendre pourquoi les individus confrontés aux mêmes risques ne les percevaient pas de manière identique. La théorie des « biais culturels » (« *cultural bias* ») se fonde sur des approches anthropologiques et sociologiques. Elle s'est progressivement enrichie pour devenir ce que l'on appelle la Théorie Culturelle des risques⁵²⁶ (Thompson, Ellis et Wilsdovsky, 1990).

L'idée centrale développée dans la théorie des biais culturels et dans la Théorie Culturelle des risques est que l'on peut accéder à la perception des risques/dangers⁵²⁷, qui résultent d'une construction des visions du monde. Ces visions reposent sur des formes particulières de relations sociales définies à partir de croyances et d'adhésion à des valeurs partagées. L'attention ou la sensibilité aux risques serait alors sélective et expliquée par des biais culturels, la dimension sociale et la société sont déterminantes : nous percevons le monde et donc les risques afférents à travers un filtre lié à notre appartenance à un groupe social. Ainsi selon les théories, il devient possible de prédire les attitudes et les perceptions des risques selon l'appartenance des individus à ces formes d'organisations sociales définies et selon la place qu'ils occupent. Ce courant scientifique prend le contrepied du paradigme psychométrique à deux niveaux :

- (i) il dénonce le fait que le processus de perception soit identique pour tout individu : ceci n'empêche pas que nous ayons les perceptions résultantes différentes, mais ce serait la pondération des facteurs qui entrerait également dans le processus de raisonnement ;
- (ii) dans le paradigme psychométrique, la distinction entre les risques subis et les risques volontaires est le résultat d'un constat objectif. La Théorie Culturelle des risques précise au contraire que c'est une construction sociale selon l'appartenance à un groupe social : « (...) *le fait de considérer que l'on subit un risque relève moins du simple constat d'une « situation objective » que d'une revendication politique, de la dénonciation d'une inégalité entre ceux qui subissent un risque et ceux qui ont les moyens de s'y soustraire* » (Peretti-Watel, 2001, p. 34).

⁵²⁶ La théorie est qualifiée à tort de théorie culturaliste, traduction maladroite de « *Cultural Theory* » et il conviendrait de l'appeler « *Théorie Culturelle* ». En effet, selon Calvez (2006), Mary Douglas prend de la distance avec « (...) *l'approche culturaliste qui mobilise une herméneutique de la culture d'inspiration philosophique ou esthétique* » (*ibid.*).

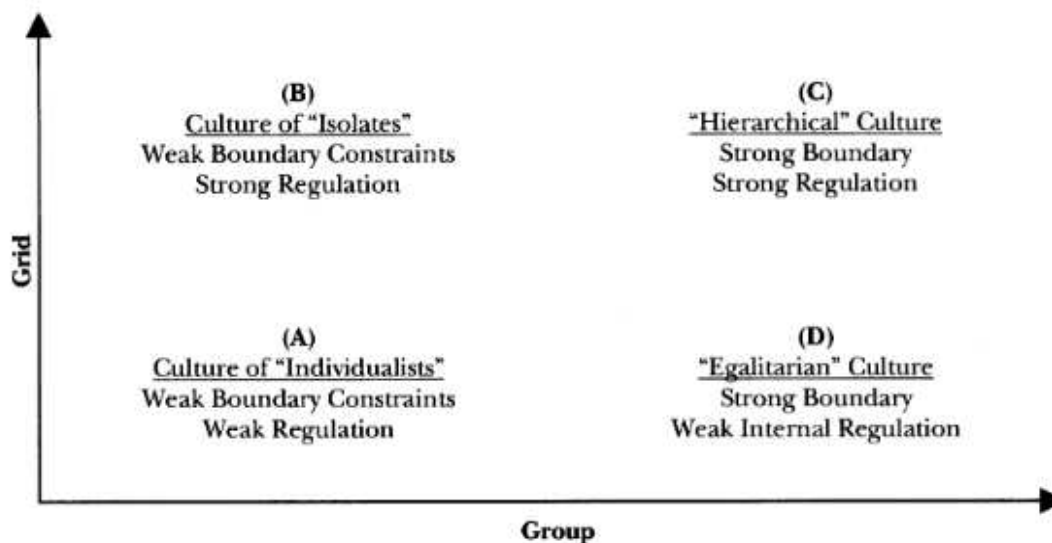
⁵²⁷ Mary Douglas utilise le terme danger pour désigner le risque : « *Moreover, a cultural perspective wrenches risk from its scientific and mathematical foundations by positing risk to be a choice word for danger* » (Althaus, 2005, p. 575).

Les principes structurants « premiers » : les formes sociales définies par une matrice « grid-group »

Douglas et Wildavsky dans « *Risk and Culture* » (1983) ont proposé « (...)un mode d'explication fondamentale des compartiments sociaux de propension au risque » (Duclos, *ibid.*, 1994, p.347) sur la question des risques technologiques. Les auteurs ont dressé une typologie proposant quatre formes d'organisation sociale reposant sur des principes d'ordre culturel différents associés à des visions du monde singulières. Cette typologie dote l'anthropologie, la sociologie voire d'autres disciplines d'un outil qui permet de rendre compte « de la force ou la faiblesse du lien social ⁵²⁸ » et ce pour appréhender les risques. La grande diversité des configurations sociales peut être retranscrite seulement à partir de quatre types distincts (Calvez, 2006). Ces quatre visions du monde caractérisent quatre formes sociales qui sont déterminées par deux critères indépendants, le « *Grid* » et le « *Group* » : « Un fil directeur pour trouver une paire de dimensions pertinentes est de suivre la polarisation de la pensée sociologique entre l'individualisme et le comportement de groupe. Au lieu d'opter pour l'un ou l'autre, comme cela se fait d'ordinaire, la procédure pour laquelle je plaide est de prendre les deux [dimensions] et de considérer qu'elles sont toujours présentes. J'utilise « *grid* » pour une dimension d'individuation et « *group* » pour une dimension d'incorporation sociale » (Douglas, 1978, p. 7) (in Calvez, 2006). *Group* et *Grid* délimitent 4 cadrans (cf. figure n°63) qui déterminent des types culturels d'organisation caractérisant des perceptions des risques différentes : la structure hiérarchique, l'individualisme, le sectarisme égalitaire, la culture fataliste. Ces deux concepts sont « un instrument de recherche » (Calvez, 2004, p. 29) pour structurer les quatre formes d'institutions sociales exclusives « pour expliquer les variations des perceptions et des représentations sociales » (*ibid.*, p. 29).

⁵²⁸ Le Monde (2007). « Mary Douglas, anthropologue britannique » 24.05.2007 à 15h14, mis à jour le 24.05.2007 à 15h15 consultable à l'adresse http://www.lemonde.fr/disparitions/article/2007/05/24/mary-douglas-anthropologue-britannique_914414_3382.html#E0E09CTWRb940ZPZ.99

Figure n°63 : La matrice des types culturels structurée à partir des dimensions « Group-Grid » (Douglas, 2003, p. 1354)



Le « *grid* » représente le degré de structuration interne dans un groupe. Le *grid* explicite la différenciation hiérarchique des rôles dans le groupe dans le but d'assurer la régulation des conduites des individus : soit la hiérarchisation est forte, le rôle assigné à l'individu est prescrit ou à l'inverse la hiérarchisation est faible et c'est l'individu qui participe à la construction de son propre rôle. Sur les représentations graphiques, le *grid* est l'axe vertical et rend compte de la « régulation systématique » ou dimension d'individuation (Douglas, 1978 ; 2007) : le *grid* permet de comprendre avec qui l'individu peut agir (Douglas, 1982).

Le *group* caractérise le degré d'intégration à un groupe, c'est-à-dire le niveau d'interactions choisies par un individu dans un groupe : un pôle est caractérisé par une frontière marquée conduisant à la définition de groupes bien distincts, à l'opposé à l'autre pôle il n'y a pas de frontières délimitant des groupes, les interactions se situent à l'échelle de l'individu. L'axe horizontal représente la dimension *group* qui correspond à la « cohésion du groupe » (Douglas, 1978 ; 2007). Le *Group* permet de comprendre comment les individus peuvent agir en particulier au sujet des risques : « *il y a certains risques que nous ne percevons pas et d'autres que nous hypertrophions et cela moins à partir de nos tendances personnelles que par notre position dans les institutions sociales(...)* » (Duclos, *ibid.*, 1994, p.350). Pour chaque type culturel, la Théorie Culturelle propose un modèle organisationnel représentatif :

- à la culture hiérarchique correspond le modèle bureaucratique ;
- à la culture égalitaire, le modèle sectaire ;
- à la culture individualiste le modèle entrepreneurial ou le marché libre ;
- à la culture fataliste, le modèle isolement, exclusion.


Les biais culturels considèrent les conceptions du savoir (sciences et scientifiques) et des conceptions du corps pour expliquer des visions du monde différentes liées à des perceptions des risques et des incertitudes. S'inspirant des travaux de Holling (1973, 1978) proposant une représentation de la stabilité des écosystèmes, Schwarz et Thompson (1990) ont enrichi la Théorie Culturelle des risques par des représentations métaphoriques de la conception de la nature (cf. les figures dans le tableau n°18) et ils ont également discuté les attitudes face aux risques « *risk handling style* » (Schwarz et Thompson, 1990, p. 66-67 ; Douglas et Wildavsky,



1983), variables selon les types culturels. Douglas et Wildavsky (1983) discute pour chacun des types d'organisation un « mythe de la nature » qui rend compte de la façon dont nous appréhendons les écosystèmes et les problèmes associés. Selon l'auteur, nos attitudes ne sont pas complètement expliquées par les preuves scientifiques qui sont fournies.


Le tableau n°3.4II décrit les quatre types culturels qui se distinguent donc selon différentes conceptions i) du savoir, ii) de la nature et la manière de se stabiliser, iii) du corps et iv) de la perception des risques, en général. Nous avons glissé dans le tableau les représentations métaphoriques de la nature : la ligne correspond à la résilience de l'environnement et la bille à l'état de la « nature » à l'équilibre.

Peretti-Wattel a repris les caractéristiques des quatre groupes en termes de perception de la nature, des sciences et des scientifiques et perception des risques, prenant appui sur les travaux de Douglas et Wildavsky (1983) et Thompson *et al.* (1990). Nous focalisons notre analyse sur les conceptions de la science et des scientifiques, de la nature ou milieu biophysique et de l'attitude face aux risques.

Tableau n°18 : Les quatre types culturels et les conceptions variables du savoir, de la nature, du corps et la perception des risques (Douglas 1978 , Schwarz et Thompson, 1990 ; Douglas, 1992 ; Calvez, 2006, Peretti- Watel, 2001 ; 2010 ; Duclos, 1994)

Types d'organisation fondés sur des principes culturels	Conception du savoir (des sciences et des scientifiques)	Conception de la nature : à quel mythe adhérons-nous ?	Conception du corps	Perception des risques (attitudes face aux risques en général)
Hiérarchique → bureaucrate « <i>Grid-Group</i> » forts donc ⇒ variabilités significatives entre individus	Respect du savoir scientifique institutionnel et méfiance vis-à-vis des francs-tireurs ⇒ Respect des savants légitimés par les autorités	« La nature est robuste jusqu'à un certain point : déplacée, la bille ne retrouve son équilibre que si elle ne franchit pas les buttes qui bordent le creux » (Peretti-Watel, 2001, p.71)  <p>The diagram shows a dark grey ball resting at the bottom of a U-shaped valley. The valley is formed by two curved lines that rise to form hills on either side of the ball. The ball is positioned exactly at the lowest point of the valley.</p> <p>La conception d'une nature robuste jusqu'à un certain point est partagée par la structure hiérarchique, justifiant ainsi un certain contrôle de l'État sur les activités industrielles et technologiques.</p>	Corps vulnérable mais défendu par une enveloppe sociale en plus du rôle protecteur le corps	Risquophobe et averse aux risques
Egalitaire → sectaire « <i>Grid</i> » faible et « <i>Group</i> » fort	Défiance à l'égard du savoir validé par les autorités ⇒ mobilisation de ses	« La nature est fragile : la bille est posée au sommet d'une butte. Le moindre écart risque de détruire son équilibre précaire » (<i>ibid.</i> , p.71)	Corps vulnérable mais défendu par une enveloppe naturelle (la peau) et/ou une	Averse à un type de risque : les risques majeurs (environnementaux ou

<p>⇒ similarités significatives entre individus</p>	<p>propres sources et goût pour les savoirs « alternatifs »</p>	 <p>⇒Prendre des précautions car la moindre perturbation risque de lui faire perdre son équilibre. Atteintes de la nature par les individualistes et hiérarchiques dénoncées ⇒ plutôt alarmisme, voire catastrophisme.</p>	<p>enveloppe sociale. conception de la double enveloppe protectrice l'individu et le groupe</p>	<p>technologiques)</p>
<p>Individualiste → entrepreneurial « Grid-Group » faibles ⇒ similarités significatives entre individus</p>	<p>Confiance dans les savoirs officiels (savants et experts) mais avec un peu d'avance et apprécie les savoirs en pointe technoscientifiques et les dernières innovations</p>	<p>« La nature est robuste » : la bille est en équilibre stable au fond d'un creux. Même si elle est déplacée, elle retrouvera son équilibre »(ibid., p.71)</p>  <p>⇒ <i>mythe</i> <i>de la nature robuste</i> (système homéostatique équilibré par des régulations et des compensations permanentes). ⇒Puisque la nature est robuste, alors les expérimentations audacieuses, sans précaution, et le développement technologique sont encouragés.</p>	<p>Corps résistant, A chaque individu, la tâche de protéger son propre corps</p>	<p>Risquophile et preneur de risques</p>

<p>Falataliste → isolé ou exclu « Grid » fort et « Goup » faible ⇒ variabilités significatives entre individus</p>	<p>Pas d'opinion sur les mandataires de l'expertise officielle ou résignation malgré une suspicion envers les «puissances de l'argent » ⇒ attitude résignée et conformiste ⇒manifestations dans le même temps des formes de résistances « à quoi bon changer »</p>	<p>« La nature est capricieuse, imprévisible : sur une surface parfaitement plane, la bille peut rouler dans n'importe quelle direction ». (ibid., p.71)</p>  <p>⇒ Maîtrise inutile</p>	<p>Corps poreux, conception instable du corps</p>	<p>Preneur de risque car on ne peut pas s'y soustraire</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------	------------------------------------------------------------

La conception du risque est bien subjective, collective et contextualisée. Différents traits de la rationalité face aux risques ont été caractérisés selon l'appartenance à un groupe social et une sensibilité à un portefeuille de risques peut être identifiée (Peretti-Watel, 2001) (cf. Tableau n°19 ci-après).

Tableau n°19 : Rationalité face aux risques selon les quatre groupes sociaux proposés par Douglas (1978)

Groupe social	Rationalité
Hiérarchique	<ul style="list-style-type: none"> * Soumission aux nombreuses règles formelles et normes (pour limiter l'incertitude) ⇒ risques à prendre ou à éviter définis par les responsables hiérarchiques ⇒ confiance dans les évaluations des institutions * Risques redoutés et à éviter = tout ce qui perturbe l'ordre social = guerres et déviances * Stabilité recherchée dans les formes régulées ⇒ « garanties de protection pour générations futures » (Kahn, Lannoyé, Person-Silhil, et Vasseur, 2010)
Fataliste	<ul style="list-style-type: none"> * Peu préoccupé par les risques car on ne peut pas y échapper ou absence de moyen d'action contre * Risques redoutés et à éviter = forme de déni du risque ou culture de la sécurité ou soumission
Individualiste	<ul style="list-style-type: none"> * Rationalité en lien avec la théorie économique « l'utilité espérée » : décisions et actions guidées par la maximisation du gain espéré ⇒ prise de risques si nécessaire et incertitudes acceptées si perçues comme opportunité d'accroissement du gain * Risques redoutés et à éviter = risques de crises économiques ou effondrement des marchés
Sectaire	<ul style="list-style-type: none"> * Maintien du groupe et de ses caractéristiques ⇒ Toute perturbation de la pureté ou l'intégrité du groupe considérée comme un risque à éviter : la menace vient de l'extérieur * Risques à éviter = risques technologiques (<i>ie</i> risques industriels) et environnementaux, ⇒ Culture du risque, vigilance voire résistance aux changements

Il est cependant important de noter que les choix de l'individu ne sont pas figés et qu'il peut se déplacer d'une forme sociale vers une autre (les interactions entre individus et avec le milieu sont permanentes et dynamiques) : rien n'est figé et les perceptions peuvent changer.

Critique de la théorie culturelle : intérêts et limites dans le cadre de notre recherche

Comme nous l'avons précisé en introduisant cette partie, le Théorie Culturelle des risques présente l'intérêt d'insister sur la construction sociale et culturelle du risque. Dans ce cadre, des rationalités révélatrices de l'appartenance à une institution sociale se déploient autour d'une sensibilité, d'un déni ou de la sous estimation d'un portefeuille de risques. Cette rationalité face aux risques peut expliquer le rejet du recours aux pesticides pour protéger les cultures ou au contraire en favoriser l'adhésion.

- *La Théorie culturelle des risques présentent des intérêts*

Nous exposons les arguments qui justifient la mobilisation de l'approche théorique

1. L'approche a été développée sur le plan théorique autour des problèmes concernant risques des sociétés industrielles, en particulier des problèmes environnementaux américains. Les pesticides sont bien des « produits » des sociétés industrialisées. L'originalité réside dans la mise en relations de nombreuses disciplines et d'observations auprès de nombreux acteurs impliqués dans les débats. Les acteurs sont nombreux et d'horizons très divers autour de la question de la réduction des emplois des pesticides dans l'agriculture.

2. La Théorie Culturelle des risques renouvelle les approches sur les perceptions du risque en considérant :

- les perceptions de risques comme des constructions sociales et culturelles non pré-déterminées ; elles peuvent changer. Dans quelle mesure les argumentations fondées sur les risques évoluent-elles dans le temps ? La théorie donne un statut particulier aux risques dans les sociétés industrielles : le risque a « (...) *sa fonction contractuelle pour créer de la solidarité, définir des responsabilités réciproques et affirmer les institutions sociales (...)* » (Calvez, 2004, p. 34) ;

- des interactions dynamiques permanentes avec le contexte et susceptibles d'évoluer dans le temps ; les perceptions des risques font évoluer les sociétés et les sociétés évoluent avec les perceptions. Le contexte social et culturel est important : « (...) *l'analyse culturelle se présente ainsi comme un instrument d'analyse dynamique qui relie les croyances et les modes d'organisation sociale dans des débats à jamais achevés sur les meilleurs façons de vivre et d'agir ensemble* » (Calvez, 2004, p. 35).

Ces deux considérations déduites du cadre théorique s'articulent bien avec la théorie de l'acteur-réseau retenue pour rendre compte des états de la controverse et des jeux d'acteurs.

3. A partir du moment où le poids de la culture est reconnu la question du risque devient politique et une question morale. S'agit-il d'un choix imposé ou subi ? Les choix sont-ils considérés comme justes ou injustes ? : « *As soon as culture is introduced, risk becomes politicized* » (Althaus, 2005, p. 575) ; « *What is important is not the reality of the dangers, which she acknowledges, but the way in which they are politicized and moralized* » (ibid., p. 575). La théorie de l'acteur-réseau s'intéresse aussi aux jeux de pouvoir.

4. La Théorie Culturelle permet de dépasser l'explication restreinte des inquiétudes voire des résistances au changement des individus face aux risques à un défaut de connaissances ou à des phénomènes psychologiques : la réponse des individus face aux risques n'est pas de l'ordre du réflexe (à un stimulus, une réaction). Les perceptions se construisent en interaction avec « *les repères symboliques fournis par la société* » (Kahn, Lannoy, Person-Silhol, et Vasseur, 2010, p. 258).

5. Des travaux visant la validation empirique de la théorie ont été développés dans divers domaines comme le handicap, le sida (Calvez et Douglas, 1990), les peurs alimentaires (Raude, 2008), mais également dans le domaine de l'éducation (Gardner et Jones, 2011).

Garner et Jones (2011) ont mobilisé entre autres la Théorie Culturelle des risques pour appréhender la perception des risques vis-à-vis des biotechnologies chez des groupes d'enseignants en science (en poste et en formation). Ils concluent à la pertinence de la théorie sur le plan théorique et empirique qui permet de révéler l'importance des visions du monde des enseignants dans la construction des cours : choix des angles d'analyses des technosciences dans leur contexte social et de leurs risques associés : « *Teacher perceptions are important to understand because instructors will provide critical frameworks through which science students will mediate their perceptions of risk when making decisions regarding emergent technology issues in the future* » (Gardner et Jones, 2011, p. 730) En

particulier le auteurs s'interrogent sur les facettes explorées des risques dans les cours des technosciences « *Do instructors' risk perceptions (as indicated by the psychometric paradigm) determine what they choose to focus on in socially contextualized science and technology lessons?* » (*ibid.*, 2011, p. 730)

6. Enfin, Douglas a travaillé sur la dimension symbolique de ce qui représente le sale, la souillure, l'impur : la distinction entre le propre et le sale sépare les groupes sociaux et est une construction sociale. Nous avons choisi de nous intéresser au cas de la gestion des adventices pour réduire la complexité de la situation-problème à résoudre. Dans la gestion des adventices, il est courant dans le langage technique et professionnel agricole d'utiliser la terminologie de « parcelle propre » ou de « parcelle sale » pour caractériser de l'infestation des adventices dans une parcelle cultivée. Le terme « salissement » est une dimension subjective qui rend compte de la façon dont est perçue la densité de populations des adventices sur une parcelle : la parcelle est propre, les adventices sont peu nombreuses ou absentes. La parcelle est sale est la densité n'est pas acceptable, il faut agir car l'agriculteur s'expose à divers risques. La tolérance au salissement est bien une dimension très subjective⁵²⁹. En nous fondant sur la dimension symbolique développée par Douglas (2001), la conception du salissement pourrait se rapprocher de la définition de la saleté qu'elle propose : « (...) *quelque chose qui n'est pas à sa place (...)* » (*ibid.*, p. 55) : « *La saleté est le sous-produit d'une organisation et d'une classification de la matière, dans la mesure où toute mise en ordre entraîne le rejet d'éléments non appropriés* » (*ibid.*, p. 55). Les normes professionnelles de l'agriculture intensive ont associé le salissement à une défaillance dans la compétence technique : la lutte contre les adventices en ayant recours aux pesticides est un acte de lutte contre la saleté, considéré alors comme un « *acte positif* » (*ibid.*). Dans l'analyse des controverses et dans les traces des processus de raisonnements, nous serons attentive à cette symbolique sur le salissement et les risques associés évoqués.

Mais un certain nombre de critiques ont été dressées amenant à discuter le cadre théorique proposé.

- *Les limites et les choix méthodologiques*

Des concepts/notions qui évoluent au cours des théorisations successives

Les concepts de *Grid* et de *Group* n'ont pas vraiment été stabilisés et leur sens a été un peu modifié au fil du temps (au moins trois variations selon Spickard (1989)). La dimension *Grid* est assez difficile à appréhender.

Quatre types de biais, est-ce suffisant ?

Des critiques récurrentes portent sur la généricité annoncée et assumée par Douglas (2001) des quatre types de biais culturels face à la diversité des configurations possibles.

Des mises à l'épreuve empirique qui ne valident pas de manière uniformes les grands principes.

De nombreux travaux ont testé la validation empirique de la théorie. Ils reposent sur trois étapes méthodologiques définies : (i) déterminer les perceptions des risques, (ii) déterminer les biais culturels, (iii) analyser les corrélations entre les perceptions et les biais. Les critiques de la théorie concernent les corrélations entre des types culturels et les attitudes face aux risques. Les valeurs des coefficients de corrélation qui permettent de « (...) *prédire les perceptions des risques [14,15, 16]- sont dans le meilleur des cas « moyennes » [20]* » (Kahn

⁵²⁹ Cet aspect « *la tolérance vis-à-vis des adventices, qui fait que l'agriculteur sera plus ou moins interventionniste* » a été intégré dans l'évaluation multicritère d'itinéraire technique de désherbage (Fontaine, Bonin, Lieven, Garnier, Zaganiacz, Rodriguez, et Lemarié, 2013, p. 117).

et al., 2010, p. 261). Pour Dake (1991) et Wildavsky et Dake (1990), théorie et empirie sont compatibles. Sjöberg (1995) en déduit que la théorie ne tient pas, tandis que Maris, Langford et O’Riordan (1998) ont une position intermédiaire : sans remettre la théorie en question, ils critiquent la validité de la démarche développée par Dake (Kahn *et al.*, 2010). Les travaux révèlent également la difficulté d’application de la définition d’institutions sociales exclusives lorsque les chercheurs sont confrontés à des individus qui ont plusieurs facettes. Tobias (2013) précise que la théorie est davantage adaptée à l’étude des phénomènes de groupe : « (...) *Olli en conclut que si la valeur de la théorie a bien été démontrée quand elle cherche à expliquer des phénomènes « méso et macro »* » (*ibid.*, p. 140) et l’est beaucoup moins au niveau individuel. Enfin, dans des travaux qui ont validé la théorie, la surreprésentation des étudiants dans les échantillons a été soulevé, pouvant biaiser les résultats.

1.2.3. Que retenons-nous ?

Nous retenons deux choix méthodologiques que nous présentons ci-dessous.

Au-delà de leurs différences méthodologiques, les données empiriques collectées dans ces différentes approches montrent que la perception du risque dans les sociétés contemporaines constitue un phénomène multidimensionnel complexe qui - loin d’être arbitraire - présente une certaine rationalité et une certaine prévisibilité tant sur le plan psychologique que sociologique.

1. Nous retenons le principe d’une grille d’analyse des argumentations fondée sur les quatre biais culturels de Douglas

Sans éluder les critiques adressées à la Théorie Culturelle des risques quant-à sa validation empirique, nous n’en demeurons pas moins convaincue de l’intérêt de mobiliser les quatre types d’institutions sociales. L’expression synthétique des biais culturels en termes de conception des technosciences et des scientifiques, de conception de la nature et les attitudes face aux risques vont nous servir de grille d’analyse des arguments exprimant des risques et/ou des incertitudes dans les jeux d’acteurs du réseau d’actants. Nous ne visons pas une approche empirique.

2. Nous souhaitons, en comparant les deux dates, mettre en exergue les reconfigurations de perceptions des risques et/ou d’attitudes face aux risques des actants. L’objectif n’est pas de produire des analyses très détaillées mais de construire des supports synthétiques et qui permettent d’appréhender rapidement les évolutions.

Nous précisons les différents éléments de notre méthodologie ci-dessous.

2. Présentation de la démarche retenue pour cartographier les controverses sur l’usage des pesticides

Le chercheur ne peut pas s’adosser à une méthodologie pour construire des cartographies des controverses car comme Venturini le souligne, il n’y a pas de guide prédéfini (« *ready-to-apply research guidelines* » (Venturini, 2010, p. 259). Le chercheur doit créer sa propre méthode. Nous posons quatre conditions à satisfaire pour conduire l’enquête socio-épistémologique :

- 1) La méthodologie doit intégrer la nature des savoirs qui sont distribués, pluriels, incertains et parfois en construction et pour certains controversés. Comme Latour le précise, l’entrée par des controverses (points débattus) permet de s’inscrire dans le mouvement qui structure la controverse. Ces phases sont intéressantes car elles donnent accès aux comptes rendus.

- 2) Les QSV poussent « à identifier le contexte sociopolitique des différentes positions débattues et à explorer les fondements et les usages des arguments produits. » (Albe, 2009, p. 27). Comme toute QSV, le thème de l'usage des pesticides place « la complexité, l'évaluation de l'expertise, l'incertitude et le risque au cœur du processus d'apprentissage. » (Simonneaux et Legardez, 2011, p. 27). Il convient donc de mettre en lumière la diversité des parties prenantes et des points de vue, de capter des arguments qu'ils développent dans un contexte daté, en particulier ceux qui expriment risques et/ou incertitudes en lien avec le recours aux pesticides ou leur rejet et enfin de caractériser la nature des savoirs qui sont « médiatisés ».
 - 3) La méthodologie doit donner accès à une objectivité de second rang comme le souligne Latour (2011) : les forts comme les faibles, les humains et les non humains, doivent être représentés au nom du principe de symétrie généralisée.
 - 4) Cartographier les controverses doit nous permettre d'identifier des producteurs de faits et les faiseurs d'opinion qui, selon nous, instruisent parfois le passage des savoirs à la référence. Il convient donc de repérer les porte-parole, actants-clés dans les controverses
- La démarche que nous proposons doit permettre d'explorer les trois questions de recherche suivantes : Quelle démarche construire pour dresser la cartographie des controverses sur le sujet ? Comment la controverse sur l'usage des pesticides s'est-elle développée au cours du temps ? Sous quelle forme devons-nous cartographier le réseau pour mettre en évidence les jeux d'acteurs (position, arguments pro ou contre les pesticides), les liens entre eux, les risques/incertitudes mis en lumière) et les reconfigurations éventuelles dans le temps ? Nous proposons de développer une démarche originale avec quatre phases.

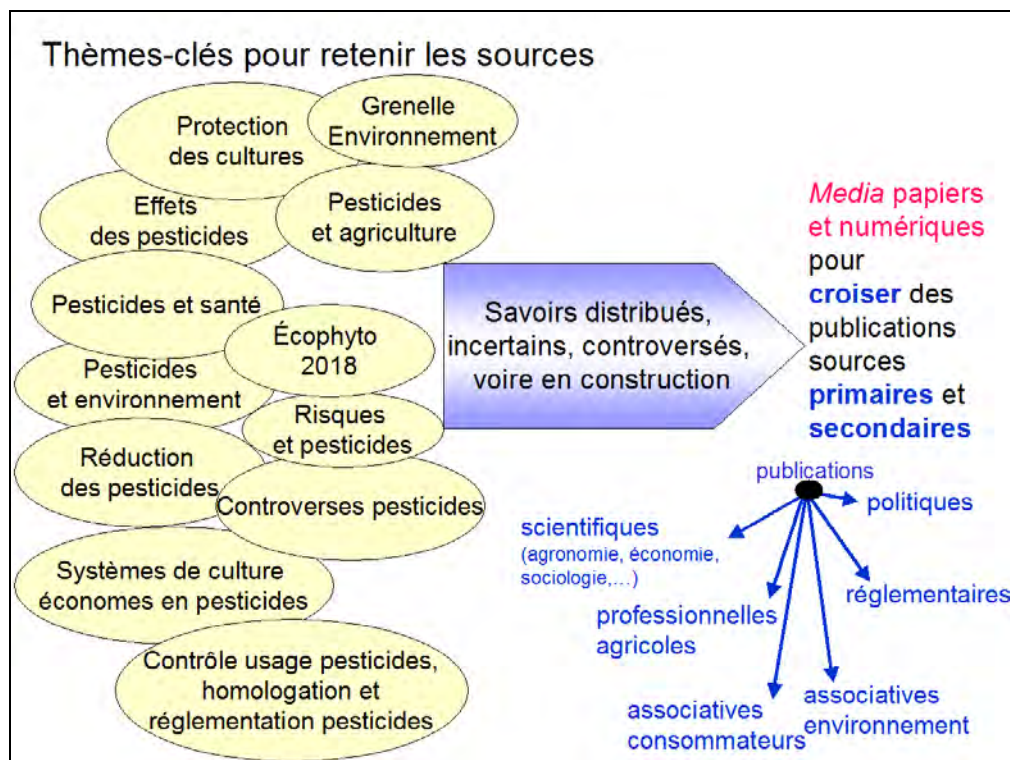
2.1. La méthodologie pour construire le corpus de référence.

Il s'agit d'intégrer le caractère distribué des savoirs, de capter la richesse des controverses, de constituer le support de l'analyse diachronique de l'évolution des états des controverses sur le territoire national, sans pour autant occulter le fait que le réseau sociotechnique ne s'arrêtait pas aux frontières de la France. Nous avons toutefois choisi d'accorder davantage de poids aux textes de langue française.

Nous avons construit le corpus de références à partir de la revue bibliographique exploratoire du sujet en retenant les publications à partir de thèmes-clés⁵³⁰ plutôt liés à la discipline agronomie comme « histoire des pesticides » ; « systèmes de culture économes et pesticides » ; « contrôle usage des pesticides, homologation, réglementation et pesticides » ; « pesticides et agriculture » ; « pesticides et santé » ; « protection des cultures » ; « effets des pesticides » ; « pesticides et environnement » ; « Ecophyto 2018 », « Ecophyto et Agronomie » « Grenelle Environnement » ; « réduction des pesticides » ; « controverses pesticides » entre autres (cf. figure n°64). Le terme « pesticide » a aussi été mobilisé pour élargir la recherche à des références de langue anglaise.

⁵³⁰ Nous avons choisi de travailler avec des thèmes-clés plutôt qu'avec des mots-clés. En effet, il est alors possible de capter la logique sémantique et argumentative autour des thèmes. Les contenus des titres et des résumés ont été des indices pour étudier de manière plus approfondie les contenus des références.

Figure n°64 : Les différents-thèmes clés retenus pour conduire la recherche exploratoire la mise en mots des controverses et deux types de *media* pour accéder à la diversité des points de vue



Afin d'intégrer le caractère distribué des savoirs, nous avons retenu des publications sources primaires en agronomie⁵³¹ et en sciences humaines et sociales (sociologie, économie) et des publications secondaires comme des documents réglementaires et des études produites par l'administration ou pour les débats au sénat, des documents édités par des professionnels de l'industrie phytosanitaire (UIPP⁵³² et firmes phytosanitaires), par des associations de consommateurs, des associations de mouvement écologiste ou de consommateurs, des ouvrages, des communiqués destinés à des professionnels agricoles (agriculteurs, agents du

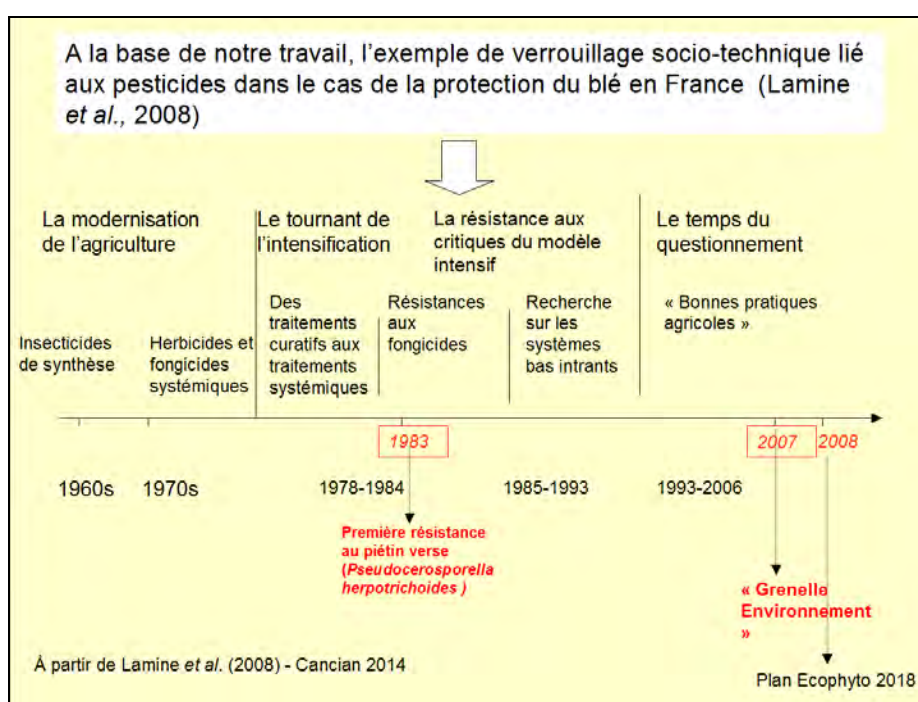
⁵³¹ Nous avons complété l'approche par l'étude d'une revue scientifique généraliste en agronomie éditée en 1983 en français de la revue *Agronomie*), devenue ensuite *Agriculture for Sustainable Development* (ASD). Nous avons exploré les thèmes de publication dans les titres et les résumés entre 1983 et 2007. En 1983, parmi les 130 publications 30 abordent un thème en lien avec la protection des cultures dont 5 en lien direct avec les pesticides. En 2007, les études portent sur la compréhension des mécanismes à l'échelle de système (économie d'azote, d'eau, intrants, entre autres). 5 publications discutent des aspects de la protection des cultures dont 2 en lien avec les pesticides (OGM compris). Nous avons également lancé une étude bibliométrique à partir du Web of science, entre 1983 et 2007, en nous limitant au domaine de l'agriculture avec les mots-clés pesticides. Sur les 214 références filtrées [TOPIC: (pesticide*) Refined by: RESEARCH AREAS: (AGRICULTURE) AND DOCUMENT TYPES: (ARTICLE) AND COUNTRIES/TERRITORIES: (FRANCE) AND Databases: (WOS) Timespan=1983-2007], le nombre de publications scientifiques ne fait que croître entre les deux dates (2 seulement en 1983 et 20 en 2007) cf. annexe 2.4II. La même tendance est observée (en 1983, les effets de pesticides sur un auxiliaire sont étudiés et les effets de pesticides sur le cycle de la matière organique dans les sols, en 2007, les thèmes sont variés et vont de l'étude des mécanismes de transfert et/ou d'adsorption, de dégradation des pesticides dans les sols et l'eau à l'étude des effets des pesticides sur des auxiliaires et/ou des évaluations de conduite de systèmes alternatifs (1/20)). Les références de l'étude complémentaire ne sont pas intégrées dans le tableau donné en annexe (annexe n°5).

⁵³² UIPP : Union des Industries de Protection des Plantes.

développement agricole, enseignements, chercheurs) ou au grand public (cf. figure n°62). La liste⁵³³ des sources d'appui est donnée dans l'annexe n°5 (91 références sont analysées⁵³⁴). Cette mise en forme des traces contribuent également à cartographier les états de la controverse.

Nous avons repéré les dates qui correspondent à des temps particuliers de la controverse sur l'usage des pesticides. Pour cela, nous nous sommes appuyée sur les travaux conduits dans le cadre du projet GéDuPic⁵³⁵ (Lamine *et al.*, 2008⁵³⁶ ; Lamine *et al.*, 2010b ; Ricci, 2010 ; Ricci *et al.*, 2011) qui ont révélé des dates-clés dans les stratégies de protection du blé (1970, 1983, 1992, 1999, 2005 et 2007) cf. figure n°65.

Figure n°65 : Mise en perspective des deux dates-clés retenues (1983 et 2007) pour conduire l'analyse des controverses sur l'usage des pesticides



Nous avons choisi, 1983 et 2007⁵³⁷ représentant des états particuliers de la controverse sur l'usage des pesticides, nous pouvons conduire l'analyse diachronique de l'évolution des

⁵³³ Nous proposons une présentation très épurée pour faciliter une lecture rapide. Des éléments de structuration de l'annexe n°5 y sont mentionnés. Nous présentons également une analyse des publications scientifiques avec le Web of science (annexe n°6).

⁵³⁴ En réalité, le nombre de références est beaucoup plus important : nous avons conduit une étude les deux années de publications (1983, 2007) dans la revue ASD et à partir du Web of Sciences pour faire une étude bibliométrique.

⁵³⁵ Projet GéDuPic = projet de Gestion durable de la protection intégrée des cultures (GéDuPIC), <http://www.inra.fr/gedupic> consulté en mai 2011

⁵³⁶ Lamine C., Ricci P., Meynard J-M., Barzman M., Bui S., et Messéan A. (2008).

⁵³⁷ 1983 correspond à une publication scientifique sur la résistance du piétin verse chez le blé à deux familles de fongicides (benzimidazoles et thiophanates). Cette découverte met en évidence une impasse technoscientifique liée à l'usage de familles de molécules fongicides qui avaient été promues comme peu faillibles. 2007 est marqué par le Grenelle Environnement, moment fort de la consultation élargie sur le problème désormais politisé des usages agricoles des pesticides. C'est à la suite du Grenelle que la mesure phare de réduction de 50% de l'usage des pesticides sera annoncée, intégrée ensuite en 2008 le plan Ecophyto.

controverses. 1983⁵³⁸ correspond à la découverte des premières résistances au piétin verse du blé et 2007 à la tenue du Grenelle Environnement.

Que retenir des publications étudiées ? C'est ce que nous proposons dans la deuxième étape de notre méthodologie.

2.2. Méthodologie pour analyser les controverses

La mise en évidence des arguments, des interrelations pour construire un réseau et des formes de rationalité

Dans une première phase, nous avons identifié dans les « comptes rendus⁵³⁹ » (les publications explorées) des actants⁵⁴⁰ mis en scène. Pour chacune des dates, nous avons fait un premier travail d'exploration dont le but est de rechercher des indices pour définir des liens établis entre actants (interrelation), des arguments datés (arguments), des éventuelles exemples de références publicisés par ces différents actants.

Dans une deuxième phase de travail, nous avons concrètement construit deux cartes des controverses : nous avons matérialisé et caractérisé les interrelations entre actants (flèches reliant les actants en terme d'alliance ou opposition). En croisant les sources, nous avons déduit la définition de porte-parole (qui parle au nom de qui ?) : ce sont eux qui médiatisent les arguments et nous avons retenu des arguments-clés (*i.e.* intérêts en faveur ou contre l'usage des pesticides, arguments exprimant en particulier risques et incertitudes) et tracé une logique argumentative et sémantique qui révèle qui des « principes pour agir ». Une fois ce recensement terminé, nous avons déterminé une forme de rationalité.

La mise en évidence d'une forme de rationalité en lien avec la perception des risques (Théorie Culturelle des risques de Douglas).

Dans une troisième phase, nous avons été attentive aux indices qui révèlent des conceptions des sciences et de la nature dans la perspective de traduire des formes de rationalité qui pourraient être associées à la typologie *Grid-Group* de Douglas et Wildavsky (1983).

Comparaison des deux cartographies

Dans une quatrième phase, nous avons comparé les cartographies datées (1983 et 2007) afin de saisir les reconfigurations éventuelles des controverses au cours du temps.

2.3. Méthodologie pour construire la représentation de la controverse

La représentation graphique

Nous avons été confrontée à deux questions : la définition des formes de représentations cartographiques pour « lire » rapidement les jeux d'acteurs et les reconfigurations et la complexité de la représentation.

Pour rendre la cartographie intelligible dans un plan, nous avons choisi de ne retenir que les points jugés principaux :

⁵³⁸ Cavalier *et al.*, (1985). Résistance de *Pseudocerospora herpotrichoides* aux benzimidazoles et thiophanates chez le blé d'hiver en France. *Bulletin of the Organization European for the Protection of Plants*, vol. 85 (1985) pp. 495-502 [Abstract provided in English on p. 501].

⁵³⁹ Nous entendons « comptes rendus », au sens de Latour précisé en amont, c'est-à-dire toutes les mises en mots sous quelle que forme que ce soit (traces écrites diverses, œuvre cinématographique entre autres).

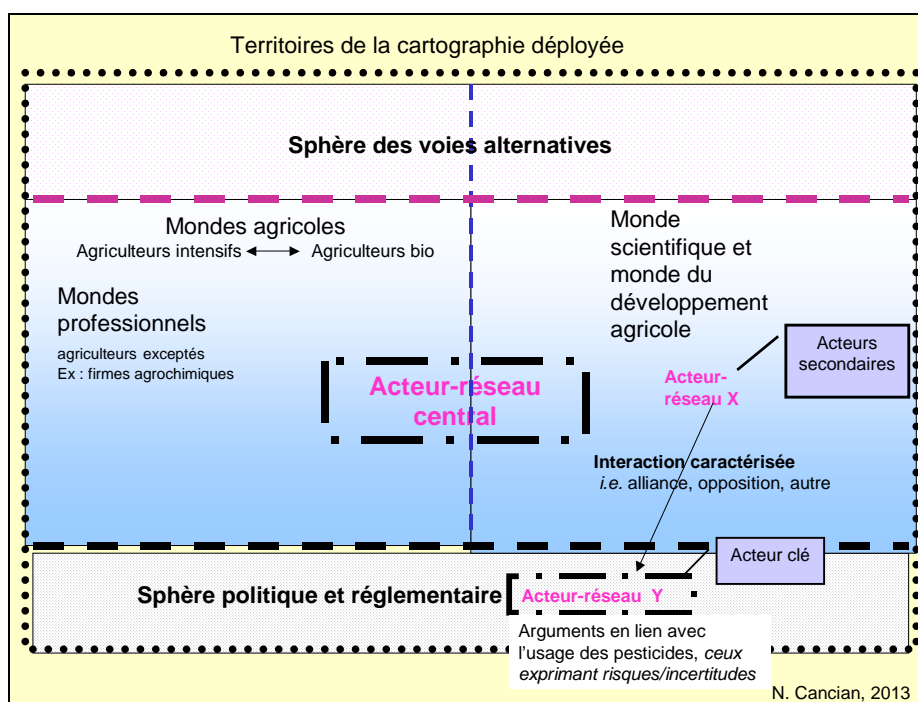
⁵⁴⁰ Les termes soulignés correspondent aux mots-clés utilisés dans l'annexe n°5 qui rassemble l'ensemble des sources supports des constructions cartographiques.

- des porte-parole⁵⁴¹ ont été identifiés (ils « parlent » au nom d'un collectif). Seuls ces actants figurent sur la carte ;
- pour chacun des actants sont mentionnés des arguments relevés de manière récurrente dans les comptes rendus. Les arguments exprimant risques et incertitudes sont également précisés ;
- le type d'interrelation est caractérisé par quelques points saillants de l'argumentation.

Nous avons défini des territoires matérialisant des « mondes⁵⁴² » pour les actants afin de faciliter la mise en évidence des territoires de la reconfiguration : l'actant-clé⁵⁴³ a une position centrale dans le plan. Nous avons réservé une zone dédiée aux voix alternatives aux pesticides, une sphère politique et réglementaire, et enfin deux territoires en vis-à-vis avec les mondes professionnels agricoles (en particulier les firmes phytosanitaires ou leur porte-parole et les agriculteurs), d'une part et d'autre part, le monde scientifique et du développement.

Cette structuration du plan (cf. figure n°66), nous permet de rendre compte du « monde plat » et de rapidement percevoir des reconfigurations d'alliances, des renforcements de position, la variation dans la justification (arguments).

Figure n°66 : Territoires définis structurant la cartographie



Pour assurer une meilleure compréhension de la cartographie des controverses (multiplier les représentations), nous proposons une autre forme de représentation graphique sur laquelle figurent des actants, des arguments en termes de risques liés à l'usage des pesticides ou ceux liés à ne pas y avoir recours.

Une autre forme de représentation de la controverse

L'ANT insiste sur la qualité de la description qui ne doit pas devenir une explication (rappel « *si votre description a besoin d'une explication, ce n'est pas une bonne description, voilà tout* » (Latour, 2004, p. 161)). Nous avons adossé un texte qui décrit d'une autre façon le

⁵⁴¹ Le principe de symétrie généralisée est respecté : des humains et des non humains peuvent être des actants porte-parole.

⁵⁴² Nous avons veillé à capter la voix des faibles comme des puissants.

⁵⁴³ L'actant-clé (ou central) est un nœud structurant le réseau, donnant la cohérence à celui-ci.

réseau mis en lumière. Il nous apparaît en effet plus facile de tracer sous la forme d'un texte une logique argumentative et sémantique des actants, révélant de manière plus explicite des « *principes pour agir* ».

3. Résultats

Nous avons produit deux types de résultats. (1) Nous avons proposé une démarche originale de construction et d'analyse cartographiques des controverses qui permet « *d'affronter cette complexité sans la réduire* » (Venturini, 2008). La démarche pose les bases de la construction du corpus de références en croisant les éclairages pour accéder à l'objectivité de second rang, se fonde une méthodologie d'analyse diachronique et critique des controverses. (2) Deux cartographies⁵⁴⁴ des controverses ont été construites pour 1983 et 2007. Nous en avons produit la description sous plusieurs formes :

- deux cartes des controverses dans laquelle sont positionnés des actants (porte-parole, leurs interrelations, des arguments pour le recours aux pesticides ou au contraire contre leurs usages, des arguments en termes de risques),
- une représentation diachronique de l'évolution de la « place » des actants, des arguments et des indications sur la sémantique ;
- une base de données de référence dans laquelle est organisée l'information qui a servi à tracer les états de la controverse (91 références).
- un texte qui décrit les états de la controverse entre 1987 et 2007 ;
- un texte qui précise les formes de rationalité en prenant appui sur le cadre de Douglas et Wildavsky.

Nous commençons par présenter les descriptions des deux cartographies et nous présentons ensuite les formes de rationalités captées aux deux dates pour des actants.

3.1. Description des « cartographies » des controverses pour 1983 et pour 2007

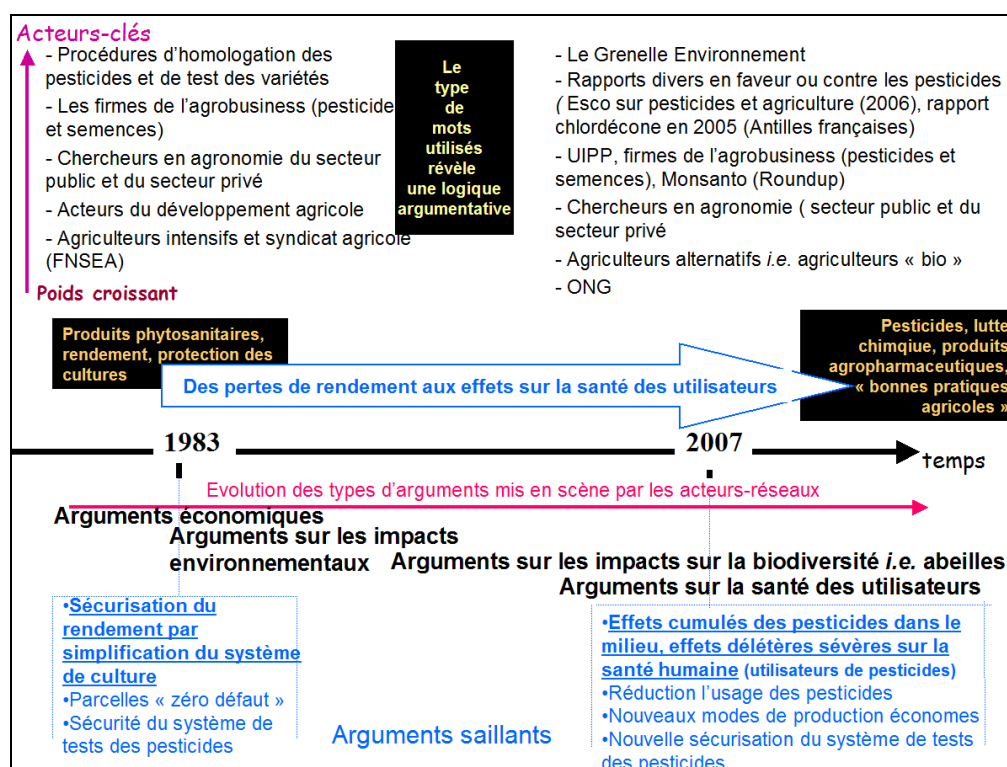
Nous exposons d'abord des points saillants et nous détaillons davantage la description pour chacune des dates. *Des controverses dans un « contexte » daté*

Les cartographies révèlent non pas une controverse, mais des sous-controverses sur les « pesticides et choix d'un modèle agricole », les « pesticides et leurs effets sur l'environnement », puis pour 2007 s'ajoutent les « pesticides et effets sur les abeilles », les « OGM pesticides et choix d'un modèle d'agriculture » et les « pesticides et impacts sur la santé ». Pour chacune des dates, nous avons mis en lumière un réseau spécifique au sein duquel apparaît une diversité d'actants dont la force motrice dans la controverse peut varier d'une date à l'autre. Nous avons caractérisé les points saillants de leur interaction (alliance ou opposition), leurs intérêts en lien avec l'usage des pesticides, les arguments déployés autour de l'usage des pesticides en mettant en exergue ceux qui expriment risques et/ou incertitudes. Les alliances, les arguments, les perceptions des risques et les risques perçus des groupes d'acteurs correspondent à un contexte daté et évoluent dans le temps.

Les discours s'articulent autour d'une terminologie distincte selon les époques et les actants : pour les professionnels, le discours mobilisent les termes *produit phytosanitaire* en 1983 et plutôt *produit agropharmaceutique* en 2007 associés à la *protection des plantes* ou à la *protection des cultures*. Les profanes emploient le terme *pesticide* qu'ils associent à la *lutte chimique* en agriculture (cf figure n°67).

⁵⁴⁴ Une partie des résultats a été l'objet de communications aux septièmes rencontres de l'Ardist et au colloque international d'Eridob en 2012.

Figure n°67 : Evolution du poids des acteurs-réseaux et des arguments saillants dans les controverses sur les pesticides entre 1983 et 2007



Le tableau n°20 présente des porte-parole.

Tableau n°20 : Des porte-paroles dans les controverses

Pour 1983	
Porte-parole (en rose souligné, gras sur cartographie)	Acteurs-réseaux = actants représentés
FNSEA (Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles)	Collectifs agriculteurs conventionnels pro pesticides
Agriculteurs bio	Collectifs d'agriculteurs bio, économes, alternatifs au modèle dominant, des syndicats agricoles alternatifs
Ministère (en charge) de l'agriculture	Instances nationales et européennes (commission européenne, administration contrôle de l'homologation des produits phytosanitaires, répression des fraudes), enseignement agricole supérieur et technique
IUPP (Union des Industries de Protection des Plantes)	Firmes agrobusiness, firmes phytosanitaires, Monsanto, Roundup
Service de contrôle des innovations	Organismes et instances nationaux en charges des procédures d'homologation et d'évaluation des produits phytosanitaires, d'inscription des variétés et de promotion (CTPS [Comité Technique Permanent de la Sélection], GNIS [Groupement National Interprofessionnel des Semences et des plante])

Pour 2007	
Confédération paysanne	Collectifs des agricultures alternatives (bio, paysanne, économe/durable, Pochon)
IUPP	Firmes agrobusiness, firmes phytosanitaires, Monsanto, Roundup
Veillerette	Collectifs de citoyens contre l'usage des pesticides, MM Robin,
MDRGF (Mouvement pour les Droits et le Respect des Générations Futures)	Collectifs d'ONG écologistes dont Greenpeace, FNE (France Nature et Environnement)
Esco Pesticides Expertise scientifique collective (Inra et Cemagref, 2005) Pesticides agriculture et Environnement	Etudes scientifiques et publications qui discutent la réduction des pesticides dans l'agriculture dont expérience danoise
Rapport chlordécone Rapport d'expertise concernant la pollution par les pesticides en Martinique. Conséquences agrobiologiques, alimentaires et sanitaires et proposition d'un plan de sauvegarde (Belpomme, 2007)	Etudes scientifiques et publications qui révèlent les effets délétères et les incertitudes sur les usages des pesticides

En 1983, les procédures de contrôle des innovations sont les actants centraux. C'est à ce niveau que des jeux de pouvoirs⁵⁴⁵ entre différents acteurs-réseaux se structurent. Il y a collusion et conflit d'intérêts. Les parties prenantes « intéressées » sont représentées dans les instances de contrôle et de gestion des risques. En effet, les firmes phytosanitaires et/ou semencières ont des intérêts économiques et espèrent rentabiliser les coûts de conception de leurs innovations (pesticides et/ou cultivars). Certaines voix ont dénoncé la « co-gestion » de l'évaluation par l'Union des Industries de la Protection des Plantes (propos repris par le MDRGF⁵⁴⁶ en 2012). Les centres de recherche agronomique participent à la mise au point d'innovations, instruisent des protocoles de tests et conseillent les décideurs.

Les alliances entre le secteur de la recherche agronomique, les agriculteurs dits conventionnels, les firmes et leur porte-parole UIPP permettent d'insister sur la menace que font peser les bioagresseurs et sur le confort nécessaire du recours aux pesticides (message technique simplifié standardisé, moins agronomique). La remise en cause de l'innocuité des pesticides ne diffuse pas dans la sphère publique « neutralisée » par les procédures de contrôle des pesticides comparables à celles des médicaments, déjà anciennes⁵⁴⁷. La stratégie de communication soulignant le caractère sécurisé de l'homologation distille un message rassurant. Les effets supposés ou avérés dangereux comme ceux sur la santé des utilisateurs sont mis en invisibilité (Jas, 2007), les porteurs des voies alternatives aux pesticides sont minoritaires et au second plan. Leurs arguments ne sont pas audibles : les preuves ne sont pas considérées comme tangibles même adossées pour certaines à des faits scientifiques, leur rationalité dénoncée, jugée rétrograde... Le terme *pesticide* est employé pour aborder les effets délétères des produits de traitements des cultures, exprimé en termes de risques de pollutions de l'eau en particulier, de coût de dépendance économique et décisionnelle. Pertes de récoltes et pertes économiques, manque de compétitivité économique à l'échelle nationale

⁵⁴⁵ Nous retenons l'acception de Foucault pour qui « le pouvoir n'est pas quelque chose qui s'acquiert, s'arrache ou se partage, quelque chose qu'on garde ou qu'on laisse échapper ; le pouvoir s'exerce à partir de points innombrables, et dans le jeu de relations inégalitaires et mobiles ». (Foucault, 1993, p. 794).

⁵⁴⁶ MDRGF : Mouvement pour les Droits des Générations Futures.

⁵⁴⁷ La loi du 2 novembre 1943 pose les principes de la mise en marché des produits de protection des plantes. Pour tout produit antiparasitaire, ce sont les services de l'Etat qui délivreront l'homologation.

et européenne relèvent de la rhétorique argumentative des pro pesticides comme les industries phytosanitaires et l'UIPP, l'état français, le Ministère de l'Agriculture en particulier et les agriculteurs (et leur syndicat agricole), partisans d'une agriculture intensive performante, dépendante des pesticides.

Ainsi, les supporters des pesticides mesurent les bénéfices ou les risques des pesticides en termes économiques tandis que les opposants mesurent les risques en termes de santé humaine et d'impacts environnementaux.

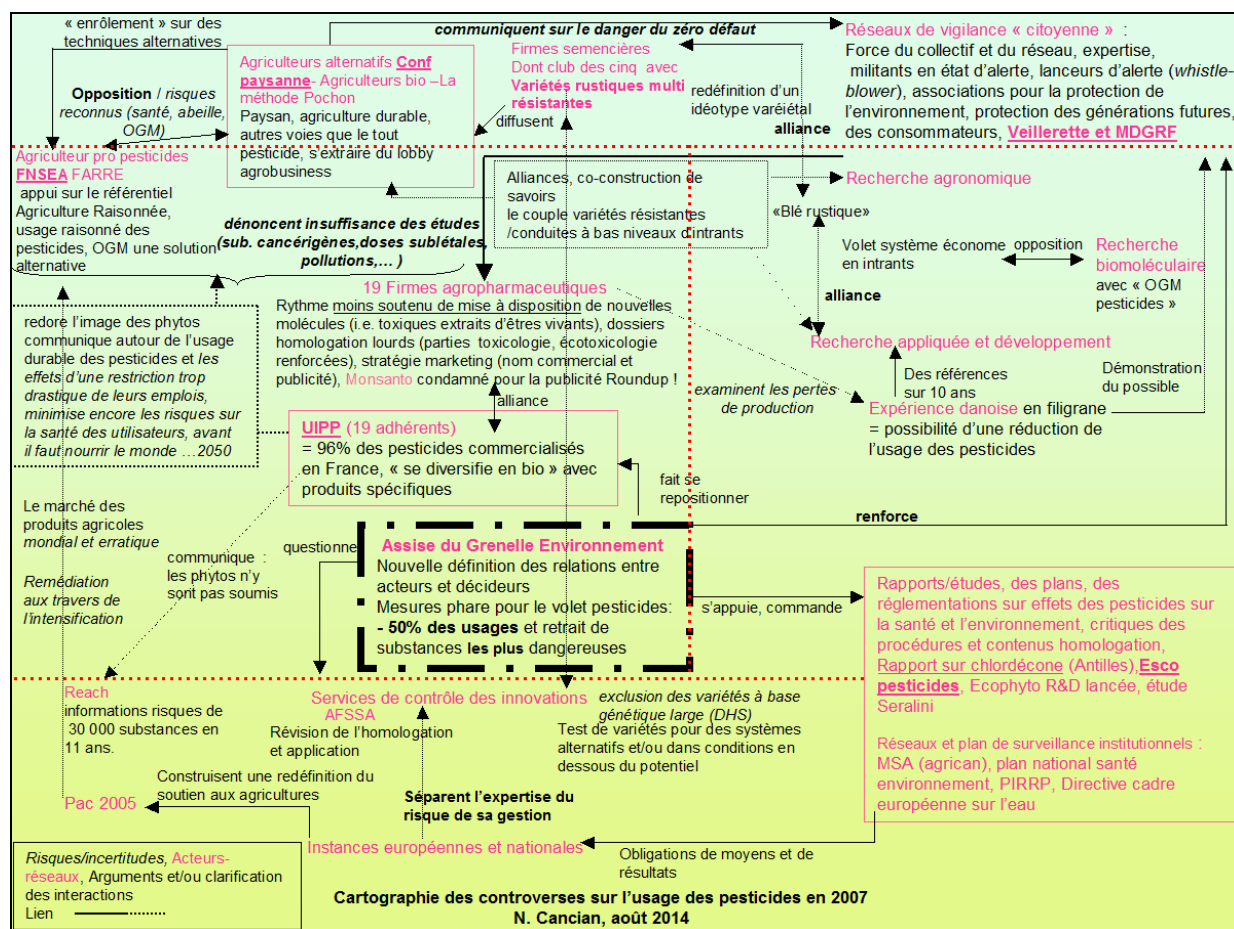
Le développement agricole et l'UIPP véhiculent le message « parcelle zéro défaut » à l'attention des agriculteurs intensifs pour qui la parcelle de culture devient la vitrine sociale de leur compétence professionnelle et de leur réussite économique (en blé, le « club des 100 quintaux » rassemble les « meilleurs » céréaliers). Les produits phytosanitaires ont initié le verrouillage sociotechnique de nombreux systèmes de production (Lamine *et al.*, 2010b) : l'ensemble des stratégies trouve sa cohérence dans l'usage des pesticides et chaque acteur renforce la stratégie des autres et pousse à la spécialisation de chacun, en rendant progressivement inaccessibles les alternatives aux pesticides. Les produits phytosanitaires, jugés nécessaires, sont des intrants implicites, garantie de l'intensification : il y a consensus sur la nécessité de protéger les plantes avec des produits phytosanitaires évoquant les bénéfices. Par exemple, les nouvelles variétés performantes conçues par la recherche agronomique et les firmes semencières privées sont testées dans des programmes où la protection phytosanitaire est maximale. Pour beaucoup de variétés cultivées, ce n'est pas la rusticité que l'on cherche à privilégier mais la productivité dans un contexte très artificiel.

Cette position révèle une confiance dans le système de contrôle des innovations (test des produits phytosanitaires et des variétés) et dans les technosciences, porteuses d'une promesse de progrès démocratisé. La confiance est aussi renforcée par une stratégie marketing autour des noms de produits commerciaux pesticides. La nomenclature commerciale des pesticides est plus élaborée et plus accessible. Les noms suggèrent l'efficacité technique du produit (*i.e.* Impact T, Piedor, Sherpa, Curater) se substituant aux noms scientifiques complexes des années 1960 et 1970.

En 1983, sans doute en raison de la diversité des thématiques recoupées et de la dispersion des arguments des parties prenantes, il n'y a pas de front net d'opposition. Les querelles restent confinées entre spécialistes dans une sphère « agricole-agricole ». Les firmes, la structure de contrôle des pesticides, un courant de la recherche agronomique analytique plutôt technocentré, le syndicat FNSEA opposent des arguments à un courant de recherche agronomique d'approche systémique, des spécialistes de la santé, des écologistes. La logique argumentative de ces parties prenantes structure les jeux de pouvoir en prenant le gouvernement et les structures européennes de soutien à témoin pour les enrôler puis les rallier. Les décideurs choisissent le soutien à une agriculture dépendante aux pesticides.

La cartographie ci-après met en scènes les actants et leurs argumentations (cf figure n°68).

Figure n°69 : Cartographie des controverses sur l'usage des pesticides en 2007.



Légende

Pac : Politique agricole commune

UIPP : Union des Industries de Protection des Plantes

CTPS : Comité Technique Permanent de la Sélection

Club des 5 : Serasem, Desprez, Benoit, Verneuil (Vilmorin), Rustica

PIRRP: Plan Interministériel de Réduction des Risques liés aux Pesticides

SPV : Service de la Protection des Végétaux

FNSEA : Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles

En 2007, les pesticides sont reconnus comme des substances dangereuses dont il faut limiter les usages. Toutefois, s'il y a consensus sur les effets néfastes des pesticides sur l'eau, les sols, les débats sont encore vifs au sujet des abeilles et de la santé des applicateurs. A partir de 2005, l'affaire du Chlordécone aux Antilles françaises (Belpomme, 2007), puis l'ouvrage de Nicolino et Veillerette (2007) propulsent les controverses dans la sphère publique. Le Grenelle Environnement (actant central), les expertises sur les alternatives, les rapports convergents sur les effets délétères des pesticides jouent un rôle-clé dans les controverses. C'est la thématique « santé des consommateurs » d'abord, puis celle des utilisateurs, qui structurent l'argumentation en faveur de la limitation et/ou la suppression des pesticides de synthèse. Les discours pointent les incertitudes liées à l'usage des pesticides de synthèse, particulièrement les effets cumulatifs à long terme. Les controverses se sont donc redéployées sur d'autres fronts, laissant en arrière plan les effets des pesticides sur l'environnement biophysique. Les voies des alternatifs et/ou des opposants aux pesticides montent sur le devant de la scène. Certains agriculteurs « bio », la Confédération Paysanne, les associations

de protection écologistes⁵⁴⁸ pèsent dans le jeu de pouvoir (au sens « force motrice ») grâce à leur capacité à recroiser des informations en imposant la mise à disposition publique de rapports, d'études scientifiques, mais aussi grâce à leur capacité à communiquer, devenant eux-mêmes des producteurs de savoirs. Des agriculteurs ayant développé des systèmes avec des alternatives aux pesticides et la recherche s'associent pour co produire des savoirs illustrant un nouveau rapport aux savoirs des actants : la recherche ne détient pas le monopole de la construction des savoirs, illustrant la conception *bottom up* de la diffusion des savoirs des actants.

Les perceptions des risques changent, en lien avec la répétition des diverses crises sanitaires : la défiance à l'égard des industries chimiques se renforce et les implications sociales des activités scientifiques sont questionnées. Les procédures de contrôle des homologations des pesticides sont redéfinies pour s'extraire du conflit d'intérêts dénoncé. En 2006, avec la loi d'orientation agricole, l'AFSSA remplace la commission des toxiques (« commission co gérée » avec l'UIPP). L'intention affichée est de redonner transparence et indépendance à l'expertise. C'est l'exemple d'une reconfiguration d'actant. Cette nouvelle structuration des instances réglementaires permettrait de séparer l'évaluation des risques et leur gestion. Elle contribue à une forme de clôture d'une facette de la controverse.

La rhétorique autour du concept de durabilité rassemble les actants, mais se déploie différemment. Pour les uns, il s'agit de promouvoir une utilisation raisonnée et durable des pesticides, garante d'un niveau élevé de production sans compromettre les besoins alimentaires estimés par les prévisions démographiques (UIPP, FNSEA). Pour les autres, promoteurs des alternatives aux pesticides, c'est la limitation de la dépendance *via* l'intensification des processus écologiques qui sera garante de durabilité (promoteurs de l'agriculture écologiquement intensive dont l'INRA et des agriculteurs alternatifs).

3.2. Risques et rationalités

Les risques exprimés à propos des pesticides ont été chronologiquement d'ordre économique (pertes de rendement), puis environnemental (effet nocif situé ou globalisé), puis en lien avec la santé des consommateurs, et enfin des utilisateurs (risque individuel ou collectif).

Ainsi en 2007, il semble que « *le public sollicité s'élargisse au « plus grand nombre» autrement dit, aux profanes et aux non spécialistes et la controverse prendra de facto un tour incontrôlable, tendant à se muer en ce que nous serons plutôt tentés de voir comme une « crise institutionnelle »* (Lémieux, 2007, p. 196) : l'usage des pesticides et la perspective de leur réduction devient une question politique. Il est alors aisé de saisir pourquoi en 2008, le gouvernement avec le plan Ecophyto 2018 cherche une forme de clôture des controverses en opposant à la demande sociétale de limitation de l'emploi des pesticides l'atteinte d'un objectif de 50% de réduction de leur emploi. Or pour certains acteurs, ce n'est pas suffisant (tenants de l'agriculture biologique) et pour d'autres cet objectif est irréaliste (dirigeants de la FNSEA). La gestion des questions « pesticides » « *révèle la façon dont les politiques publiques environnementales sont construites : sous la pression médiatique, sociétale, et pas à partir de réflexions mesurées, scientifiques, fondées*⁵⁴⁹ » (CCMSA, 2010, Dedieu, p. 27).

Le tableau n°21 précise des aspects de la rationalité de quelques actants influents pour l'enseignement agricole entre 1983 et 2007.

⁵⁴⁸ Dont MDGRF

⁵⁴⁹ Propos recueillis auprès de François Dedieu, sociologue, chercheur à l'Inra.

Tableau n °21 : Rationalités de quelques actants⁵⁵⁰ entre 1983 et 2007

Actants	Groupe social	risques	Rationalité
1983			
<p>Pour 1983 FNSEA, agriculteurs pro pesticides, chercheurs <i>main</i> <i>stream</i> agronomie « science dure » Firmes phytosanitaires et IUPP <i>Pour 2007</i> <i>S'ajoute le réseau</i> <i>FARRE</i></p>	Individualiste	<p>Médiatisation des risques économiques, de pertes de rendement, risques de perte de compétitivité économique (national et international), de non-reconnaissance de la compétence professionnelle (<i>i.e.</i> bon technicien/exploitant agricole ; sécurité de la production des pesticides/firmes) Mise en invisibilité des risques pollutions, santé</p>	<p>* Rationalité économique et recherche de la maximisation du gain espéré (maximisation du rendement) ⇒ prise de risques et incertitudes acceptées sur usages pesticides (ou incertitudes rejetées ou sous évaluées) *Risques redoutés de crises économiques et perturbations des marchés agricoles, de crises sanitaires associés à une cause de perte de confiance des consommateurs (pouvoir d'action= boycott et source de pression politique) * Milieu biophysique perçus en termes de facteurs limitants (passif), robuste, ⇒utilisation des intrants sans précaution dans le respect de la rentabilité économique, * Quête d'innovations technoscientifiques, confiance dans la recherche (biotechnologie) et le développement agricole (Références à suivre).</p>
<p>Pour 1983 Les agriculteurs alternatifs (bio surtout) , association ONG, courant agronomique inspiré par Poly, par Hénin <i>Pour 2007</i> <i>S'ajoutent des</i> <i>réseaux</i> <i>d'agriculteurs</i> <i>(réseau</i> <i>agriculture</i> <i> durable), réseaux</i> <i>de vigilance</i> <i>citoyennes,</i> <i>association de</i> <i>consommateurs,</i> <i>courant</i> <i>agronomique</i></p>	Sectaire Dans certains écrits de Douglas, le groupe social est appelé « écologiste ».	<p>Médiatisation des risques environnementaux (pollutions eaux, espèces en déclin), risques d'une dépendance à l'agro-industrie, effets suspectés sur la santé (oursin) <i>Médiatisation des risques sur le milieu biophysique (abeilles) et sur les risques sur la santé humaine</i></p>	<p>* Recours aux pesticides = un risque à éviter voire exclure (bio) car source de risques environnementaux (argument santé très en retrait) et <i>santé</i> * Milieu biophysique = entité agissante nourricier et protecteur mais fragile ⇒Prendre des précautions perturbation risque = perte équilibre. Dénoncent les pollutions, effets délétères générés par les agriculteurs intensifs, les mesures Pac, le ministère en charge de l'agriculture, le conseil et la recherche agronomique du <i>main stream</i>, les firmes phytosanitaires, <i>Monsanto</i> *⇒ vigilance et méfiance face aux innovations technoscientifiques et aux chercheurs «mandatés» (science et développement agricole mandaté), <i>remise en cause des procédures de contrôle des innovations pesticides et variétés</i></p>

⁵⁵⁰ Ces acteurs-réseaux contribuent à faire évoluer l'enseignement agricole.

<i>associé aux Sciences humaines et sociales (Inra SAD, Cirad), réseaux systèmes bas intrants (blé rustiques)</i>			
Pour 1983 Ministère en charge de l'agriculture, enseignement, instance de contrôle, Pac Pour 2007 <i>S'ajoutent REACH, Pac 2005</i>	Hiérarchique	Médiatisation des risques économiques et de compétitivité économique (national et international), associés à une source de désordre social Mise en arrière-plan des risques pollutions et de santé	* Recours aux pesticides garantis par procédures de contrôle à différents niveaux à respecter pour réduire les incertitudes ⇒ Risques à prendre ou à éviter définis par les responsables hiérarchiques : risques économiques à éviter au prix de désordres environnementaux que la science pourra régler ⇒ confiance dans les évaluations des institutions pour le développement de la société * Milieu biophysique = entité passive mais robuste '(a recherche donne la limite à ne pas dépasser) * Confiance en les technosciences = source de progrès, de bien être <i>et de sécurité, de réduction des incertitudes</i>

3.3. Conclusion : l'exercice latourien et notre démarche d'étude socio-épistémologique

Ce qui nous rapproche de la cartographie latourienne

L'enjeu de l'exercice de la cartographie des controverses est de décrire une controverse plutôt que trancher et de rendre accessible et lisible des observations complexes. Nous avons posé des éléments dans ce sens dans notre démarche cartographique. Nous sommes entrée par un thème controversé (usage des pesticides ou de leurs alternatives pour protéger les cultures) et nous avons choisi la discipline agronomie, pertinente en la matière. Une controverse est un objet complexe à décrire et l'exercice exige de mettre à plat, de détailler, de « disséquer » : ce qui importe est d'identifier le réseau des acteurs, la façon dont il s'organise et évolue autour de problématiques particulières et de points où se nouent et se dénouent les débats. Pour cela, nous avons conduit une enquête/observation qui repose sur l'exploration de la littérature scientifique et une revue médiatique pour construire et identifier des points de désaccord, mettre en lumière les sous controverses, rendre compte de la chronologie et identifier les acteurs-réseau (nous avons exploré plusieurs sources bibliographiques et en particulier réalisé une étude bibliométrique). Nous avons mis en œuvre le principe de symétrie et respecter les paroles des acteurs. Nous avons appréhendé les controverses au sein de la communauté des producteurs de savoirs de référence (scientifiques et agents du développement) et nous avons tracé l'extension des controverses hors de ce monde de « la » référence (les alternatifs). Nous avons mis en forme des facettes des controverses et rendu compte de la façon dont la controverse se déploie (dynamique, reconfiguration). Nous avons proposé plusieurs

représentations de la cartographie qui permettent d'accéder à l'objectivité de second rang et avons mis en œuvre le principe d'irréduction.

Ce qui nous en distingue

Notre objectif de recherche ne recouvre pas un des buts recherchés des cartographies des controverses dans la lignée des travaux de MACOSPOL ou EMAPS. Nous n'avons pas mobilisé les outils du Web pour traiter les informations en masse et construire des mises en scène complexes des controverses. Ces représentations visent une appropriation des cartographies par des tiers pour qu'ils comprennent les enjeux, les objets de débats afin qu'ils se positionnent, discutent, soient finalement enrôlés dans la controverses s'ils se reconnaissent parties-prenantes. Dans notre recherche, la construction des états de la controverse doit compléter l'analyse socio-épistémologique. C'est un résultat intermédiaire de notre recherche. Notre étude des cartographies est un moyen d'accéder aux arguments des partisans des pesticides et de leurs adversaires et de les mettre en forme. En particulier, les arguments exprimant des risques et des incertitudes, et ceux rendant compte des perceptions du milieu biophysique, des scientifiques et des technosciences. Ces « indices » nous ont permis de définir des rationalités d'actants. Ces résultats vont nous servir de base pour analyser les rationalités révélées des élèves et des étudiants lors de la résolution de la situation-problème.

Chapitre 4

Partie 4III - La construction d'une situation éducative

La démarche de recueil des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques à partir d'une situation-problème

Rappel de la question de recherche QR4

Dans cette partie, nous instruisons la question de recherche QR4 annoncée dans la problématique

QR4 : Quel dispositif didactique et pédagogique concevoir pour favoriser l'émergence et le développement de raisonnements complexes agro-écologiques et socio-économiques qui amènent les apprenants à envisager des voies alternatives aux pesticides de synthèse pour gérer la protection des cultures tout en mobilisant des arguments agronomiques dans une perspective de durabilité ?

Cette question sous tend d'aborder deux problématiques :

- l'une discutant des références et des savoirs,
- et l'autre en lien avec la question du scénario didactique.

La dimension didactique s'intéresse aux savoirs et aux références à apprendre (Quels sont les enjeux d'apprentissage ? Quels sont ces savoirs/références ? Que doivent apprendre concrètement les élèves/étudiants lors de la situation pédagogique ?) et à définir le scénario didactique (mise en scène des savoirs et des références pour favoriser les apprentissages). La configuration de notre travail de recherche nous a amenée à dépasser ce clivage (Robbes, 2013). En effet, des considérations liées à la nature des savoirs- ils sont distribués issus de différents producteurs de savoirs, émergents et controversés, ont contribué à définir une mise en scène particulière (cf. partie 3.). Nous avons une contrainte de temps pour mener à terme le projet de scénario pédagogique qui devait nous permettre de recueillir les données sur le terrain (résolution du problème par les élèves/étudiants).

Orientation de notre recherche : modéliser un outil didactique pour enseigner-apprendre à construire des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques dans une perspective de durabilité.

En nous fondant sur notre expérience professionnelle d'enseignante en agronomie en lycée agricole et sur notre expertise de formatrice d'enseignants aujourd'hui, nous avons relevé l'importance des situations de mise en activités des apprenants et la difficulté de leur préparation évoquée par les enseignants de la discipline.

L'appui sur des situations authentiques dépend des opportunités offertes par le contexte et les enseignants hésitent à les retenir craignant ne pas en maîtriser le déroulement (risques d'enseigner associés à la crainte de ne pas « savoir faire », de ne pas avoir des données pour construire des réponses *a priori*). Cet aspect est très marqué dans le cas de conception de systèmes économes en herbicides et/ou de la définition de principe de gestion de ces systèmes de culture alternatifs : les savoirs ne sont pas stabilisés, ils sont distribués et controversés comme nous avons eu l'occasion de le préciser à de nombreuses reprises.

La mobilisation dans l'enseignement des études de cas apparaît plus facile à gérer car les enseignants sont maîtres d'œuvre en proposant un cadre qu'ils maîtrisent *a priori*. Mais cette fois, ils sont confrontés à la définition du niveau de complexité à retenir pour l'étude de cas pour rester proche d'une situation professionnelle significative « ordinaire ».

Les enseignants évoquent également une autre préoccupation : l'implication et la motivation des élèves/étudiants. Ces derniers ne semblent pas s'investir suffisamment dans les activités qui leur sont proposées. De leur côté, les apprenants arguent du manque d'intérêts des thèmes et des configurations de travail, conduisant à leur démotivation. Une spirale sans fin...

Au cours de notre travail de recherche, nous avons mûri le choix de dépasser la proposition d'un « simple » exercice à résoudre, consciente des difficultés éprouvées par les enseignants. En agronomie, ces derniers regrettent de ne pas disposer d'outils didactiques qui soient fonctionnels, faciles d'appropriation : les productions de la recherche agronomique et des sciences de l'éducation leur apparaissent souvent trop compliquées et exigent un travail d'appropriation et de transposition long et difficile à prendre en charge. Toujours en nous fondant sur notre expertise de formatrice, nous avons remarqué un mode plutôt transmissif d'enseignement chez les enseignants « techniques » : il suffit que l'enseignant sache de quoi il parle et fasse « un bon cours » ou un « bon TP⁵⁵¹ » pour que les élèves/étudiants apprennent et sachent à leur tour. Il nous apparaît important de construire des outils didactiques qui les amènent à explorer davantage des aspects didactiques dans la structuration des enseignements-apprentissages. Cette perspective est cruciale pour les questions soulevées par l'enseignement des QSV, en particulier pour celles liées à l'usage des pesticides et de leurs alternatives.

Selon nous, la conception de l'outil didactique pour permettre la construction de SAR chez des élèves/étudiants suppose une réflexion :

- sur des savoirs et des références nécessaires à mobiliser et à acquérir pour co-concevoir des alternatives aux pesticides pour construire des systèmes économes en pesticides ou du moins pour prendre des décisions dans ce sens ;
- sur les habilités et les pratiques à développer chez les élèves/étudiants en contexte scolaire, supposées favoriser la résolution des questions soulevées par la perspective de concevoir la protection des cultures fondée sur les changements de paradigmes évoqués au chapitre 2 (remise en cause de la lutte chimique et inscription dans la démarche production intégrée et dans une perspective agro-écologique).

Nous proposons un modèle de situation-problème dans lequel nous avons considéré deux aspects qui entrent en concurrence :

⁵⁵¹ TP pour travaux pratiques, ce sont des situations éducatives en général sur le terrain.

- (i)l'exigence de concevoir une modélisation suffisamment claire et précise pour être prise en main rapidement par les élèves/étudiants de notre expérimentation,
- et (i)une proposition de modèle suffisamment souple et ouvert pour aider les enseignants à construire des situations d'enseignement-apprentissage variées et adaptées à leur contexte. Ces situations éducatives doivent permettre de construire une zone de développement proche chez leurs élèves/étudiants dans laquelle vont se structurer des apprentissages pour concevoir des alternatives aux pesticides.

Le chapitre 2 nous a amenée à clarifier ce que sous tendait le changement de paradigme induit par la perspective de produire autrement avec moins de pesticides (Plan Ecophyto et transition agro-écologique) : il convient alors de gérer la santé des plantes et de gérer des dynamiques de populations de bioagresseurs en prenant appui sur le fonctionnement de l'agroécosystème. Le pilotage de l'agroécosystème doit permettre l'expression et l'amplification des services écosystémiques de régulations biologiques. Cependant dans cette partie sans renoncer à la vision à laquelle nous adhérons et par souci de ne pas alourdir les phrases, nous avons choisi de simplifier l'assertion « gestion de la santé des plantes et gestion des populations de bioagresseurs » par « gestion de la protection des cultures » ou par « gérer la protection des cultures » selon le contexte.

Dans ce chapitre, dans une première partie, le choix de la configuration « situation-problème » est justifié. Dans une deuxième partie, nous présentons les contenus de la situation-problème que nous avons construite. Dans une troisième partie, nous explicitons des choix méthodologiques pour conduire notre expérimentation de recherche. Enfin dans une quatrième partie, nous discutons la validité de notre dispositif.

1. Le choix de la forme de la situation éducative : une situation-problème

Dans cette partie, nous précisons les points qui nous ont amenée à retenir le format « situation-problème » pour faire émerger des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques (SAR) chez les élèves/étudiants de notre étude. Dans un premier point, nous justifions l'intérêt de prendre appui sur un problème agronomique pour faire émerger des SAR chez les élèves/étudiants. Dans un deuxième point, nous présentons des intérêts sur le plan didactique d'une configuration de travail avec des élèves/étudiants à partir d'une situation-problème. Dans un troisième point, nous précisons spécifiquement des points d'appui pour construire une situation-problème fondée sur un problème lié à l'usage des pesticides amenant les élèves/étudiants à proposer des alternatives à leurs emplois pour protéger les cultures.

1.1. La pertinence d'une entrée par un problème en agronomie

Nous explicitons le cheminement qui a contribué à déterminer l'intérêt et la pertinence d'un ancrage agronomique pour « scénariser » la situation éducative. Nous avons relevé huit « bonnes » raisons à cela (nous avons numéroté les propositions).

La partie théorique abordant la construction des cartographies des controverses et la partie sur le cadre conceptuel didactique des QSV/SSI ont fait émerger un constat commun : ❶ certains domaines disciplinaires sont plus pertinents que d'autres selon la controverse ou la QSV. Nous voulons voir comment sont raisonnées les alternatives aux pesticides dans l'agriculture à l'échelle d'un système dont une des fonctions est la production agricole. L'agronomie et la discipline scolaire agronomie sont les plus pertinentes dans cette configuration : elle a des

outils pour dire quelque chose sur les pratiques agricoles⁵⁵². ② La partie didactique insiste sur la problématisation de la QSV pour qu'elle soit impliquante afin d'engager concrètement les élèves/étudiants dans la proposition de scénarios de résolution. Nous avons justifié dans la problématique et dans la partie 4I de ce chapitre le choix de travailler avec des élèves/étudiants dans des filières de production agricole dont le cursus est fortement marqué par des enseignements de sciences et techniques agronomiques. ③ Mobiliser l'agronomie pour résoudre des problèmes de conduite des productions agricoles est une pratique « ordinaire » pour ce public, c'est un des enjeux professionnels de la formation. ④ Ces diplômes préparent à des métiers où ils seront en contact avec l'agronomie. Cette discipline représente à la fois un bagage conceptuel, technique et pratique. ⑤ La partie théorique développée dans le chapitre 2 aborde des concepts en agronomie et en agroécologie et elle a mis en évidence le rôle-clé de l'agronomie dans la construction des systèmes économes en pesticides. ⑥ La prescription curriculaire insiste sur la nécessité de remettre l'agronomie au cœur des raisonnements (chapitre 4, partie 4I) et le ⑦ Ministère en charge de l'agriculture communique et propose des dispositifs dans ce sens (cf. le portail [EcophytoPIC](#)). ⑧ Enfin, nous voulons déterminer les arguments agronomiques mobilisés pour résoudre un problème lié à l'usage des pesticides dans la protection des cultures, exigeant le recours à des alternatives. Il est alors pertinent de configurer le travail proposé aux élèves en insistant sur des aspects agronomiques afin de les inciter à prendre appui sur ce type d'arguments.

1.2. Une configuration de travail reposant sur une situation-problème à résoudre

Avant de décider des données à rassembler pour construire la situation éducative, il convient de préciser le format retenu. Nous avons choisi une situation-problème (Meirieu, 1988, 1990 ; Fabre, 2009 ; de Vecchi et Carmona- Magnaldi, 2002, 2015)⁵⁵³. C'est un outil didactique pour conduire des situations éducatives et mettre en activité les élèves/étudiants sur des apprentissages complexes. Fabre (1999) pose trois dimensions à considérer pour caractériser ce que recouvre une situation-problème, signifiant qu'elle a une visée qui dépasse l'exercice d'application :

- l'obstacle (où est le problème, quel est ce problème ?) ;
- l'initiative (qu'est ce qui interpelle dans le problème posé et qui exige une résolution ?),
- et la signification (le problème rencontré pose des problèmes à ceux qui y sont confrontés).

Nous abordons simultanément l'initiative et la signification.

1.2.1. L'obstacle

La situation-problème est construite à partir d'un problème et il convient que les élèves/étudiants le résolvent. Ceci induit l'idée qu'il y a quelque chose « (...) *qui est jeté là devant, (...) qui empêche d'avancer, (...) qui est saillant* » (Fabre, 2009, p. 9). Les termes, selon lesquels le problème se pose, génèrent des « *écarts entre des idées et des faits* » chez les élèves/étudiants (Fabre, 2009, p. 81 ; Giordan, 1996). Cette distorsion entre les conceptions (Giordan et de Vecchi, 1987) et la confrontation au monde ne peut s'expliquer avant de résoudre le problème. Toutefois, si le problème a bien une dimension subjective (Dewey, 1947), il n'en demeure pas moins qu'il existe bel et bien : il « (...) *n'est pas dans ma tête seulement, il est dans le monde* » (Fabre, 2009, p. 22). Par conséquent, la situation-problème doit faire apparaître clairement un problème qui correspond à un obstacle à franchir (Giordan, 1996), que les élèves/étudiants seront capables de dépasser (il faut se situer dans la zone de développement proche Vygotsky, 1933/1985). L'obstacle génère des perturbations cognitives

⁵⁵² Nous rappelons que « *l'agronomie ne peut que partir de la situation au champ et y revenir* » (Sebillote, 1974, p. 5).

⁵⁵³ Ces travaux ont été développés dans le courant didactique s'intéressant à la problématisation (Orange, 1997 ; Fleury et Fabre, 2005) et sont également à relier aux travaux à la pédagogie par problèmes (Barrows, 1996).

conduisant à un conflit cognitif (Piaget, 1967). Sous certaines conditions, ce conflit intellectuel est propice au déclenchement d'apprentissages pour dépasser la dissonance cognitive (cf. chapitre 3). La situation-problème suppose de construire une « *dialectique du connu et de l'inconnu* » (Fabre, 2009, p. 132), visant une rupture dans les savoirs⁵⁵⁴ (Fabre, 2009 ; Vézier, 2013).

Les travaux de résolution collective d'un problème peuvent également révéler des sources de dissonances cognitives. Nous avons abordé cet aspect dans le chapitre 3. Ces configurations de travail peuvent générer un conflit sociocognitif (Vygotsky, 1933/1985 ; Doise et Mugny, 1981), en raison de la confrontation des points de vue et des connaissances des parties prenantes de la résolution et améliorer l'acquisition des connaissances.

1.2.2. L'initiative et le sens

La notion d'initiative est discutée sous deux angles :

- celui (i) du choix dans la procédure de résolutions pour apporter des réponses aux questions soulevées par le problème,
- et celui (ii) du choix dans les questions auxquelles il convient d'apporter des réponses.

(i) Pour Dewey, un problème dans une situation éducative est intéressant s'il est complexe : la réponse ne peut pas être immédiate, il est nécessaire d'y réfléchir. Plusieurs réponses valides sont acceptables. Celles-ci peuvent être construites à partir de démarches différentes (il n'y a pas qu'une façon de faire). Selon de Vecchi et Carmona-Magnaldi (2015), la résolution du problème se fonde sur une démarche qui s'apparente à l'enquête scientifique : « *Un problème, c'est...une situation initiale, comportant certaines données, qui impose un but à atteindre, qui oblige à élaborer une suite d'actions, qui mobilise une activité intellectuelle, qui fait entrer dans une démarche de recherche, en vue d'aboutir à un résultat final. Ce résultat est initialement inconnu et la solution n'est pas immédiatement disponible* » (p. 22). Ainsi, le cheminement pour appréhender le problème et le solutionner repose sur la construction d'une démarche d'enquête (un problème n'est pas un simple exercice à résoudre où le cheminement est connu et codifié et à partir duquel, il suffit de mobiliser des savoirs connus). La solution n'est pas connue à l'avance. Les choix pour conduire l'enquête sont à l'initiative des parties prenantes amenant à « *se construire et se découvrir une capacité à penser (soi et avec les autres) (...) se découvrir un autre rapport au monde et aux autres ainsi qu'une autre image de soi* » (de Vecchi et Carmona-Magnaldi, 2015, p. 47).

(ii) Le problème doit être en résonance avec les « *systèmes de signification* » (de Vecchi et Carmona-Magnaldi, 2015, p. 31) des élèves/étudiants. Selon les élèves/étudiants, seulement certains aspects du problème vont générer un questionnement qui conduit à « *une ou des ruptures amenant à déconstruire le ou les modèles explicatifs initiaux s'ils sont inadaptés ou erronés* » (de Vecchi et Carmona-Magnaldi, 2015, p. 47). Les questions sont initiées par les parties prenantes et le questionnement est variable selon qui se sent interpellé. Or, les élèves/étudiants s'engagent plus facilement dans les apprentissages lorsque la situation a du sens. Certains aspects du problème faisant resurgir des contradictions « *(...) par rapport aux pratiques sociales habituelles* » (*ibid.*, 2015, p. 165) confrontent les élèves/étudiants à « *(...) leurs propres conceptions contradictoires* » (*ibid.*, p. 165). La résolution de la situation-problème s'appuie sur la démarche « *détour-retour* » (Fink et Audigier, 2008), avec un détour vers les concepts et un retour sur la résolution du problème, dans lequel un autre rapport aux savoirs se construit : les savoirs apparaissent comme des outils d'explication et de compréhension du monde à mobiliser et/ou à construire en situation. Ils n'ont pas une

⁵⁵⁴ Fabre (1999) discute le problème de cohérence pour traduire ce que provoque la rencontre de l'obstacle dans les schèmes cognitifs : une référence à Bachelard (1938) pour qui la construction de faits scientifiques repose sur des ruptures épistémologiques, et Piaget (1967) qui lui pose la continuité dans le développement cognitif

vocation de compréhension et d'explication à caractère universel. La résolution du problème passe par des apprentissages avec acquisitions de savoirs : selon Meirieu (1988), il est impossible de répondre sans apprendre.

L'outil *situation-problème* est pertinent pour des objectifs visés dans notre recherche :

- il génère des dissonances cognitives qui favorisent des apprentissages en situation. La construction de SAR pour envisager des alternatives aux pesticides est très dépendante du contexte car c'est seulement à partir de celui-ci que la validité des solutions pourra être discutée.

- la résolution d'un problème posé par le recours aux pesticides amenant à envisager des alternatives aux pesticides est un apprentissage complexe (*high order thinking*). Le cadre didactique posé par l'outil situation-problème ne s'oppose pas à une configuration de travail collaborative, au contraire. La collaboration contribue à alléger le travail de résolution (le raisonnement passe d'abord par une phase appropriation collective, devenant fonction psychique interpersonnelle). Dans le chapitre 2, nous avons justifié le choix d'engager les élèves/étudiants dans la résolution d'un problème posé *a priori* par un type particulier de bioagresseur : les adventices ('mauvaises herbes'). Dans le cadre des systèmes économes en pesticides, la gestion des adventices est le cas de figure le plus complexe à envisager (Aubertot *et al.*, 2005b, Munier-Jolain *et al.*, 2008⁵⁵⁵ ; INRA et CEMAGREF, 2009) et impose de reconcevoir le système de culture (niveau R du cadre de Hill et Mac Rae (1995)).

Reau *et al.*⁵⁵⁶, (2012) soulignent des difficultés liées à la construction de solution de rupture et ils invitent à un travail de coopération/collaboration : « *Si la conception d'une technique répondant à un objectif assez simple peut être réalisée par un individu, ou au moins au sein d'une discipline, la complexité des connaissances à prendre en compte pour construire des systèmes aux cultures diversifiées répondant à des enjeux multiples exige de mobiliser des compétences et des disciplines beaucoup plus variées, difficilement mobilisables par une personne seule (Lançon *et al.*, 2008 in Reau et Doré, 2008) » (Reau *et al.*, 2012, p. 6).*

1.3. Mise en perspective pour la construction de la situation-problème

1. Nous avons exposé huit « bonnes raisons » pour entrer dans le problème par un questionnement agronomique et nous voulons voir concrètement quelles sont les connaissances en agronomie qui sont mobilisés.

2. La complexité du problème dans une situation-problème est une donnée incontournable. Nous retenons un cas d'étude s'appuyant sur une exploitation agricole, proche d'une situation réelle⁵⁵⁷, dans laquelle il va être question de pratiques liées à la conduite de productions végétales, en grandes cultures⁵⁵⁸, et de **problèmes soulevés par la lutte herbicide**. Les pratiques de conduite des productions végétales mises en œuvre par des agriculteurs et l'exploitation agricole sont des objets d'étude « classiques » dans les *curricula* de l'enseignement technique agricole (filières productions végétales).

3. Il nous faut expliciter de manière claire et univoque la nature du problème à surmonter (de Vecchi et Carmona-Magnaldi, 2015). Nous avons retenu une « impasse » agronomique liée à

⁵⁵⁵ Munier-Jolain, Deytieux, Guillemin, Granger, et Gaba, 2008

⁵⁵⁶ Reau, Monnot, Schaub, Munier-Jolain, Pambou, Bockstaller, Cariolle, Chabert, et Dumans, 2012

⁵⁵⁷ De Vecchi et Carmona-Magnaldi (2015) insistent sur la distinction entre une situation-problème et un problème ouvert (réel). La construction de la situation-problème repose d'abord sur la définition d'un obstacle et sa scénarisation explicite qui provoque la dissonance cognitive.

⁵⁵⁸ Nous avons justifié l'intérêt de cette filière de production dans la contribution de l'atteinte des objectifs nationaux du plan Ecophyto (% de la SAU et pratiques intensives de protection des cultures).

l'usage des pesticides dans la gestion d'une adventice⁵⁵⁹. Nous avons choisi de considérer la présence de vulpins des champs résistants (*Alopecurus myosuroides* Huds.) (cf. chapitre 2 et un peu plus loin dans le texte dans le paragraphe abordant le bloc « problématisation »). On compte trois principales familles chimiques d'herbicides efficaces contre les vulpins. Nous avons retenu un cas de résistance du vulpin pour deux⁵⁶⁰ des trois familles.

Dans ce contexte, la gestion de cette adventice est complexe. La lutte chimique est délicate car la palette de produits phytosanitaires est réduite. Les arguments en agronomie sont incontournables et la solution se raisonne à l'échelle de la rotation en mobilisant le concept de système de culture (Aubertot *et al.*, 2005b). Des expérimentations initiées depuis 1998 sur le domaine expérimental d'Epoisses de l'INRA (21) ont testé différents scénarios de systèmes de culture économes en herbicides qui s'inscrivent dans le développement durable. Le choix et la mise en œuvre de différents leviers de gestion des flores adventices (Munier-Jolain, et Dongmo, 2010 ; Reau *et al.*, 2012) prend appui sur des connaissances en agronomie, entre autres.

Des solutions possibles peuvent être construites et le travail de résolution conduit par les élèves/étudiants doit nous permettre de voir entre autres, comment la notion de levier et la prise en compte de leur hiérarchie liée à leur efficacité sont comprises et mobilisées.

2. Présentation des blocs d'informations et de leur justification

Nous avons modélisé notre situation-problème à partir de blocs d'informations qui se révèlent être des blocs de sens⁵⁶¹ pour concevoir en amont la forme de la situation-problème. Nous avons défini cinq blocs d'informations indispensables et à fournir cf. tableau n°21. Ces cinq blocs ont été définis et fournis aux élèves/étudiants pour présenter et résoudre la situation-problème (cf. figure n°68). Les informations dans les blocs sont choisies pour renseigner des facettes de la complexité du problème à résoudre et/ou pour mettre au travail les élèves/étudiants.

Dans une première partie, nous proposons une vue d'ensemble très synthétique des différents blocs d'informations qui ont structuré notre modèle de situation-problème. Les annexes n°7, n°8 présentent tous les documents remis aux élèves/étudiants. Ils n'apparaissent pas exactement structurés comme les blocs d'informations que nous allons présenter. Les données ont été réorganisées sous la forme de trois documents écrits (nous expliquons pourquoi dans le paragraphe 3.).

Dans une deuxième partie, nous détaillons chacun des blocs d'informations et nous justifions les intérêts des contenus et du bloc. Nous illustrons notre propos avec des extraits de la trame proposée aux élèves/étudiants lors du travail de résolution en classe. Dans une troisième partie, nous exposons nos choix méthodologiques pour le scénario didactique pour la mise en forme des données.

2.1. Présentation synthétique des blocs d'informations

La situation-problème entre dans la question de la réduction de la dépendance aux pesticides par une impasse agronomique **dans une exploitation agricole**. Le cas d'étude apparaît sous une forme familière, proche des préoccupations des élèves/étudiants, ouvert et suffisamment complexe pour favoriser l'émergence de raisonnements informels. Cinq blocs d'informations ont été définis et donnés aux élèves/étudiants (cf. tableau n°22 et tableau n°24) :

⁵⁵⁹ Nous avons abordé ces aspects dans le chapitre 2.

⁵⁶⁰ La configuration n'est pas extraordinaire, elle devient de plus en plus fréquente dans les systèmes céréaliers intensifs conventionnels.

⁵⁶¹ Nous reprenons plus loin la notion de bloc de sens mais cette fois sous l'angle de la construction d'unités de sens pour les élèves/étudiants.

- Le bloc n°1, Bloc « contexte » donne des informations sur le contexte socio-économique environnemental et pédoclimatique. Il précise quelques enjeux du territoire.
- Le bloc n°2, Bloc « caractérisation du système de culture » caractérise le système de culture pratiqué par l'agriculteur : ses objectifs, quelques-unes des règles de décision⁵⁶² de l'agriculteur, une description des pratiques liées à la protection des cultures et les résultats attendus. Il renseigne la complexité à l'échelle du système de culture et donne également quelques informations sur l'exploitation.
 - Le bloc n°3, Bloc « bibliothèque de ressources » met à disposition des ressources et des références pour construire les raisonnements. Ce sont des données illustrant les performances d'alternatives aux pesticides (des leviers agronomiques entre autres) sur différentes dimensions (technico-économiques, sociales,..). Un travail d'analyse spécifique a été réalisé par les élèves/étudiants pour se préparer à résoudre le problème de gestion du vulpin chez M. Sorot.
- Le bloc n°4, Bloc « problématisation » propose une problématisation du cas d'étude.
- Le bloc n°5, Bloc « consignes » donne des consignes pour mettre les élèves/étudiants au travail.

Tableau n°22 : Une vue simplifiée des cinq blocs d'informations

Bloc n° 1 Le contexte (socio-économique et environnemental, pédoclimatique, les enjeux du territoire)	Données du contexte qui ouvrent ou ferment des perspectives pour des projets de solution
Bloc n° 2 Le système pratiqué par l'agriculteur (objectifs, règles de décision, pratiques et éléments de la stratégie de protection des cultures, résultats attendus)	Les agriculteurs ont des raisons de... Il faudra proposer et discuter des solutions <u>en fonction des attendus et des «points non négociables »</u> .
Bloc n° 3 La bibliothèque : des données illustrant les performances d'alternatives aux pesticides (des leviers agronomiques entre autres) sur différentes dimensions (technico-économiques, sociales,..)	Des performances des leviers alternatifs et de la lutte chimique, entre autres
Bloc n° 4 Une problématisation du cas d'étude	Une mise en perspective pour entrer au plus vite dans la résolution
Bloc n° 5 Des questions et des consignes pour « traiter » le problème rencontré	Mettre les élèves/étudiants au travail (explorer la bibliothèque et résoudre le problème)

Les données sont organisées sous la forme de trois documents écrits qui n'ont pas été remis en même temps aux élèves/étudiants (nous justifions ce choix méthodologique dans le paragraphe 3.) :

⁵⁶² Une règle de décision « définit pour chaque étape du déroulement du programme, la conduite à tenir face aux événements dont l'agriculteur perçoit la réalisation comme possible » (Landais et Balent, 1995, p. 30). Le concept permet de comprendre ce qui fonde et motive les actions des agriculteurs dans la mise en œuvre et dans le pilotage de leur exploitation et ce, quelle que soit l'échelle retenue (parcelle, système de culture, système d'exploitation). Les agriculteurs réalisent des opérations culturales qui sont des déclinaisons concrètes de techniques dans des pratiques observées : les pratiques sont « le résultat d'une intention de faire, elle-même fonction d'objectifs de l'agriculteur, dans un contexte de contraintes et d'opportunités » (Papy, 1998, p. 246). Une règle de décision est « une modélisation des procédures cognitives » (*ibid.*, p. 247) sous-tendues dans le processus de prises de décision. Elle entre dans une approche compréhensive développée dans le modèle d'action (Sebillotte et Soler, 1988). Elles permettent de faire le lien entre les pratiques et les systèmes techniques.

- la trame présentant le cas de l'étude rassemble les blocs d'informations « contextes » et « caractérisation du système de culture » (appelée ensuite SP, pour situation-problème dans le codage des argumentations cf. partie 4V),
- la trame bibliothèque s'appuie sur le bloc « bibliothèque » (appelée ensuite B dans le codage des argumentations cf. partie 4V) et sur une partie du bloc « consignes »,
- la trame pour mettre au travail comprend le bloc « problématisation », une partie du bloc « caractérisation du système de culture » duquel nous avons extrait les résultats attendus et une caractéristique du système de culture (IFT⁵⁶³), et une partie du bloc « consignes ».

2.2. Présentation détaillée des blocs d'informations

Les blocs d'informations sont commentés en suivant l'ordre de présentation du tableau n°21. Pour chacun des blocs, nous présentons les grandes rubriques du contenu, des éléments de justification des choix opérés et les intérêts de ces informations pour conduire l'exercice de résolution de la situation-problème. Des extraits de la trame écrite remise aux élèves/étudiants sont commentés pour expliquer comment nous avons scénarisé les informations afin de venir en appui à notre argumentaire.

2.2.1 Le bloc d'informations n°1, bloc « contextes »

Les grandes lignes du contenu

Ce bloc est caractérisé par un ensemble d'informations permettant de caractériser le contexte (cf. figure n°70). Ce sont des informations sur le contexte socio-économique (les filières et le tissu productif de la petite région agricole) et environnemental (des problèmes de pollution des eaux par les pratiques agricoles, les pesticides et les nitrates), et le contexte pédoclimatique (le type de sol et la pluviométrie). Les interactions entre le contexte et le système agricole expliquent le fonctionnement de ce dernier et son état. Il est bien question d'influences mutuelles.

Justifications des intérêts des contenus et du bloc

Les différentes dimensions du contexte ouvrent ou ferment des perspectives et permettent de discuter la validité de la solution que les élèves/étudiants ont construite (à la fin et/ou au cours du processus de raisonnement pour faire des ajustements). Ce bloc d'informations permet également d'élargir le cadre de références des savoirs en intégrant des considérations qui dépassent des préoccupations liées à la conduite technique des cultures. Pour cela, il est important que des enjeux soient clarifiés dans ce bloc. Dans la configuration choisie, des indices figurent dans le contexte en termes d'obligations réglementaires «*La commune vient d'être intégrée dans la zone vulnérable* » et d'enjeu environnemental et sur le plan de la santé humaine (eau de boisson). Les enjeux du territoire sont précisés ainsi : «*En effet, la zone de captage doit être protégée. La qualité de l'eau sur le périmètre s'est dégradée : augmentation des teneurs en nitrates et en produits phytosanitaires*».

Le contexte pédoclimatique est spécifiquement explicité car il donne un cadre concret d'exercice des pratiques de l'agriculteur. En retour ce contexte pédoclimatique agit sur le système. Ces données sont familières pour des élèves/étudiants en formation agricole. Des informations succinctes sur le type de sols et sur le climat moyen sont fournies pour permettre de discuter des interventions culturales (labour, implantation des cultures, période de pluie durant la campagne culturale).

Toutes les données du bloc « contextes » doivent permettre à l'élève de se construire une représentation rapide du fonctionnement du système agricole à la fois à l'échelle de l'exercice

⁵⁶³ L'Indice de Fréquence de Traitement est un indicateur de mesure la pression pesticides.

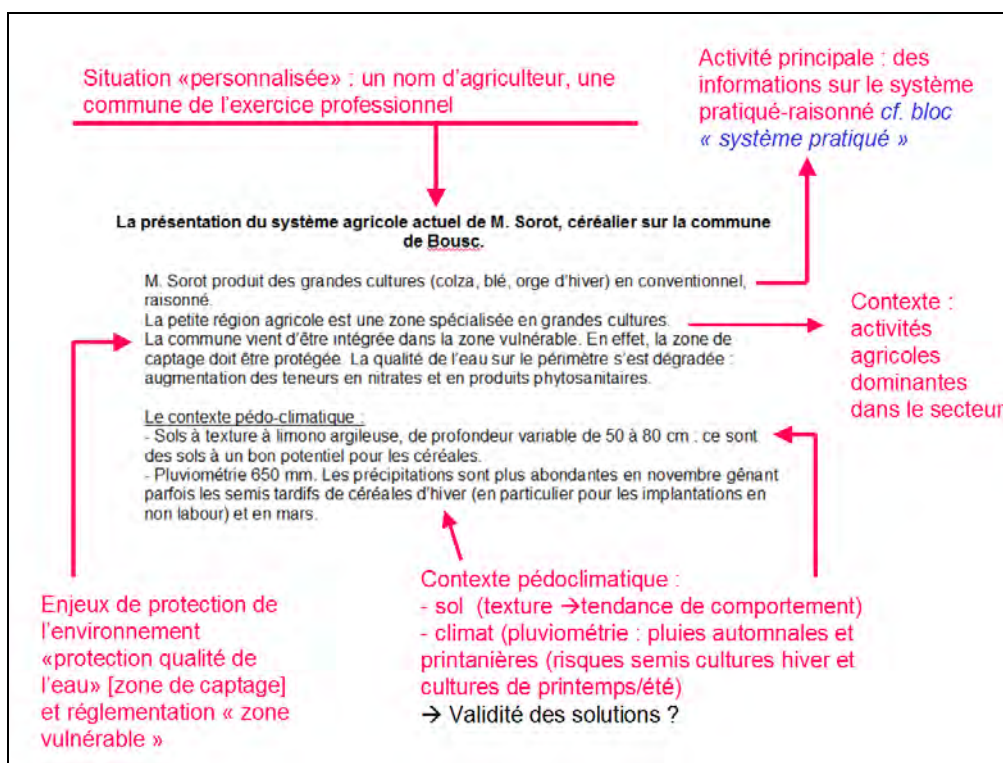
concret des pratiques (des parcelles) et dans un contexte élargi en mobilisant des connaissances comme :

- la filière de production (i.e. l'absence de filières animales pouvant valoriser certaines cultures comme la luzerne) ;
- les notions d'état du sol, d'interactions sol*climat*peuplement*pratiques culturelles (i.e. la composition argileuse du sol et les pluies automnales poseront un problème d'implantation des cultures si on opte pour des dates de semis de cultures d'hiver décalées au mois de novembre. Les opérations de labour pourront être plus difficiles à réaliser à cause des pluies automnales en novembre, alors que le labour est un levier intéressant pour gérer une adventice à levée automnale). Cependant, les interactions sol*climat*peuplement*pratiques culturelles sont à considérer dans le cadre de techniques d'implantation en non labour (voir dans le bloc 2, bloc « système pratiqué »).

Les résultats de la recherche sur l'accompagnement des groupes d'agriculteurs en transition et sur les démarches de conception-évaluation de prototypes de systèmes de culture innovants montrent l'importance d'impliquer les porteurs d'enjeux, agriculteurs compris (Reau *et al.*, 2012 ; Reau et Doré, 2008) : « (...) *les experts n'étant pas légitimes pour choisir seuls le poids à donner aux différents critères, cette phase devrait mobiliser les utilisateurs des résultats (décideurs, porteurs d'enjeux ou agriculteurs)* » (Lançon *et al.*⁵⁶⁴, 2008, p. 105). Ainsi, les résultats attendus et les objectifs des acteurs concernés sont incontournables et à considérer. A ce titre, le référentiel BTS APV met en exergue la nécessité de considérer une pluralité d'enjeux pour concevoir des systèmes innovants (cf. partie 4I chapitre 4 et analyse du M59). Dans le cadre de notre expérimentation, il s'agit d'amener les élèves/étudiants à envisager une diversité de solutions. La validité des propositions ne s'analyse alors qu'en considérant le contexte : la proposition de système alternatif sera un produit de la situation (en fonction du moment, du groupe et de sa dynamique, des individus, des données mobilisées) et la cognition sera un produit de la situation (cognition située). Nous portons une attention particulière à l'intégration des données factuelles (celles précisées dans le corps de la situation-problème) dans le raisonnement produit.

⁵⁶⁴ Lançon, Reau, Cariolle, Munier-Jolain, Omon, Petit, Viaux, et Wery, 2008

Figure n°70 : Extrait de la trame écrite présentant les éléments du contexte de l'exploitation agricole avec des commentaires



2.2.2. Le bloc d'informations n°2, bloc « caractérisation du système de culture pratiqué »

Pour alléger le texte, nous écrivons bloc « caractérisation du système pratiqué ». La trame épurée de ce bloc cache néanmoins un grand nombre d'informations.

Les grandes lignes du contenu

Cet ensemble caractérise le **système de culture pratiqué**. Il renseigne la complexité à l'échelle du système de culture et donne également des informations succinctes sur l'exploitation (système de production) en précisant :

- des objectifs de l'agriculteur qui structurent la conduite des cultures dans le système de culture,
- le mode de production retenu,
- le grand type de cultures,
- quelques éléments sur la conduite des cultures en général,
- une description des pratiques et des décisions pour gérer la protection des cultures.

Les informations permettent de représenter la succession des opérations culturales, et de comprendre les opérations mises en œuvre dans le cadre de la protection des cultures.

Justifications des intérêts des contenus et du bloc

« Les pratiques agricoles des agriculteurs » et « l'exploitation agricole » sont des objets d'étude familiers dans les *curricula* de l'enseignement technique agricole.

Nous avons construit ce bloc d'informations en nous inspirant du format de trame validé⁵⁶⁵ (Deytieux *et al.*, 2012) par le réseau « Agronomie-Ecophyto » du système national d'appui de l'enseignement agricole technique. L'objectif est de proposer une présentation très simplifiée d'un système de culture (échelle retenue). Les éléments suivants figurent dans la trame proposée par le réseau. Nous avons noté en gras ce que nous avons retenu dans ce bloc d'informations, en italique ce qui n'y figure pas tout précisant si cet aspect est retenu par ailleurs ou pas, absence de commentaire après le texte italique.

- une description rapide du contexte en particulier, le *contexte pédoclimatique* (cf. bloc contextes) et des éléments importants à signaler liés au *fonctionnement propre du système (la conduite en non labour, la conduite en sec et la résistance du vulpin à des pesticides* (cf. bloc problématisation),

- des traits⁵⁶⁶ du système de culture :

- **les surfaces et les cultures pratiquées,**
- **les rotations-types,**
- **des principes de conduite du système de production,**
- **les leviers mobilisés pour gérer les bioagresseurs,**

- **une caractérisation du système de culture :**

- à partir d'un système décisionnel⁵⁶⁷ représenté sous forme d'un **schéma synoptique** (Reau *et al.*, 2011) (cf. figure n°71) pour les *différentes catégories de bioagresseurs (caractérisation circonscrite aux adventices)*, appelé aussi schéma décisionnel (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011 - guide STEPHY). Le **schéma décisionnel** « *est finalisé sous la forme d'objectifs de l'agriculteur précisés par les résultats attendus* » (Petit *et al.*, 2012a, p. 88). Les **objectifs de l'agriculteur** sont précisés, mais *les résultats attendus le sont dans le bloc « problématisation de la situation »*.
- et sous la forme du **système pratiqué** décrivant des interventions culture par culture (un **tableau détaillant des pratiques et règles de décision**),

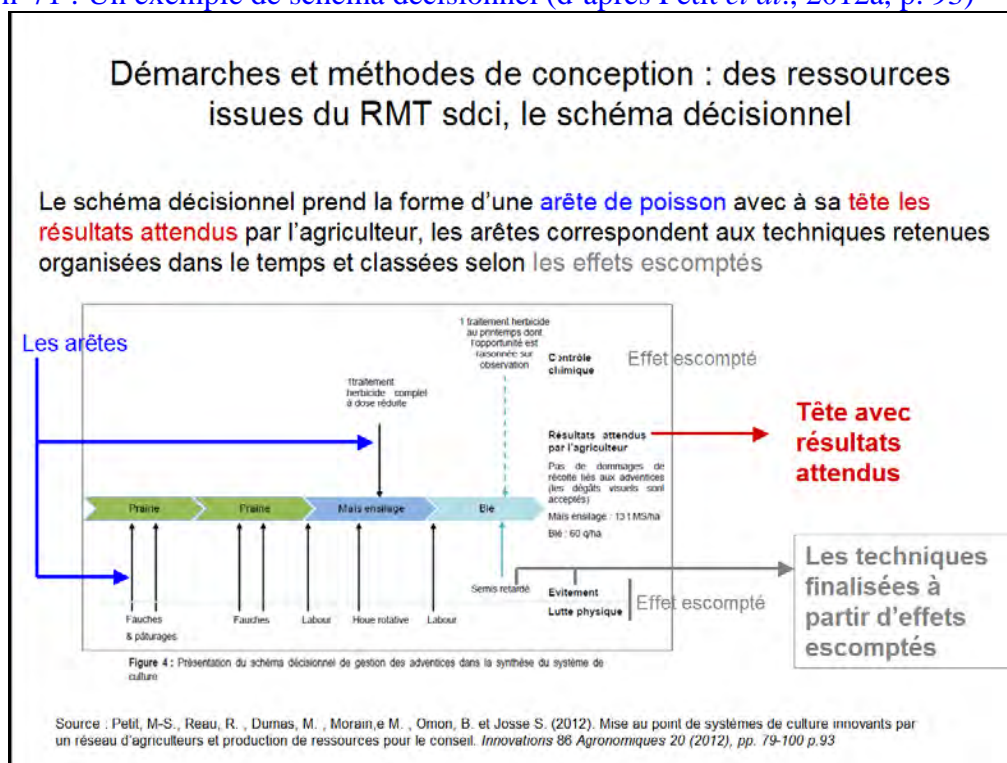
- **des indicateurs de performance comme les rendements à l'hectare, les IFT** (cf. bloc problématisation), **les marges**⁵⁶⁸, *des temps de travail.*

⁵⁶⁵ Ce format est issu des travaux du RMT sdcj comme nous avons eu l'occasion de le préciser dans le premier chapitre. Le réseau a proposé une trame de présentation des résultats issus des premières fermes volontaires du réseau DEPHY, action 14 (FERME 2010). Les informations rassemblées pour chacune des fermes reposaient sur un relevé d'informations à propos du « (...) *contexte de l'exploitation, des principaux traits du SC, de ses objectifs, des changements introduits depuis 5 ans, des performances de résultats, du SC décisionnel et du SC pratiqué* » (Reau *et al.*, 2009, p. 33). SC désigne Système de Culture.

⁵⁶⁶ Les traits « (...) *résumant les caractères essentiels du système de culture, les principales stratégies de gestion à moyen et long terme, en mettant en avant les combinaisons* » (Petit *et al.*, 2012, p. 88)

⁵⁶⁷ Le schéma décisionnel « *permet de décrire le système technique (...) sous la forme d'une combinaison de techniques en interaction destinée à répondre à un objectif* » (Petit *et al.*, 2012, p. 88).

⁵⁶⁸ La marge semi nette/ha est préférée à la marge brute/ha : « *produit brut + aides directes de la PAC – charges opérationnelles liées aux semences, phytosanitaires et fertilisants, au carburant consommé et à une éventuelle main d'œuvre occasionnelle* » (Petit *et al.*, 2012, p. 90)

Figure n°71 : Un exemple de schéma décisionnel (d'après Petit *et al.*, 2012a, p. 93)

Nous avons proposé une représentation simplifiée dont l'objectif est de faciliter la lecture des informations relatives aux pratiques de désherbage. Le schéma décisionnel est une notion qui est sous-entendue dans le curriculum BTS APV (cf. module 59 avec le renvoi à la référence du guide STEPHY). La notion n'est pas retenue dans le Bac pro CGEA. Néanmoins dans le cadre des activités conduites dans le réseau « Agronomie-Ecophyto » en lien avec l'action 16, le schéma décisionnel a fait l'objet de formations des enseignants et des directeurs des exploitations des lycées, visant une appropriation collective pour la mise en forme des résultats des fermes de lycées impliquées. Nous considérons donc que pour des enseignants effectivement impliqués dans l'action 16, le schéma décisionnel fait partie d'un curriculum co-produit (cf. partie 4I de ce chapitre).

Les informations concernant le bloc « système pratiqué » sont présentées sous différentes formes (du texte, des schémas et des graphiques). Certaines sont réitérées pour insister sur des traits du système pratiqué comme le non labour, le fait que l'agriculteur gère seul son système, que c'est un « bon technicien » (rationalité technocentrée), et pour mettre en lumière des critères de performance retenus par l'agriculteur (résultats technico-économiques, marges, rendements des cultures).

Nous avons mis en relief des indications particulières. Ce sont soit des informations qui vont permettre ensuite de tester la validité des solutions proposées par les élèves/étudiants (validité/contexte situé), soit des données contradictoires qui vont générer un conflit (socio)cognitif dans la configuration du travail retenue. Ainsi, deux contradictions fortes ont été glissées :

- la suggestion d'une cause de l'impasse agronomique observée. La résistance du vulpin à des herbicides utilisés dans le programme de désherbage est fortement suspectée. Mais, cette information n'est pas annoncée de manière explicite dans ce bloc d'informations. Ce sont en fait des problèmes récurrents d'efficacité des désherbages chimiques qui sont évoqués, et ce malgré des ajustements ;

- les objectifs affichés de maximisation des rendements sont contrebalancés par un résultat attendu de l'agriculteur de pertes tolérées de rendement. Les compromis devant cette contradiction devraient être discutés par les élèves/étudiants. Ci-après, nous présentons et analysons les **six** différentes parties de ce bloc « système pratiqué », organisées dans les trames écrites remises aux élèves/étudiants pour les mettre au travail.

<p>1. des schémas pour l'assolement et la succession des cultures, accompagnés d'un texte réduit- Extrait ci-contre</p>	<p>1 seule personne, contrainte de temps</p> <p>Surface, assolement et rotation - SAU : 180 ha et 1UTH - Assolement : Surface en Céréales et Oléo-Protéagineux (SCOP) en sec, 100%</p> <p>100% de cultures du système de culture et de l'assolement = cultures hiver, 2/3 de céréales</p> <p>Répartition assolement</p> <p>Conduite en sec → Validité des solutions ?</p> <p>Assolement/rotation → configuration « classique » d'un système en conduite raisonnée</p> <p>La rotation retenue : Colza>blé>orge hiver</p> <p>La durée des intercultures</p>
<p>2. un texte précisant des objectifs- Extrait ci-contre</p>	<p>Pour ces deux points, nous avons forcé « le trait »</p> <p>Aujourd'hui voici, les grands objectifs de l'agriculteur pour la conduite de ses cultures :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maximiser les marges - Maximiser les rendements - Simplifier son itinéraire de travail du sol pour implanter ses cultures (recours au non labour) - Conserver des parcelles propres pour faciliter l'implantation des cultures en non labour <p>Exigence forte de l'agriculteur → Validité des solutions ?</p> <p>Concilier le non labour avec un salissement limité</p> <p>Résultats expérimentaux → c'est possible mais gestion difficile et sur le long terme (au moins sur la rotation) → échelle de la solution</p> <p>Des indications sur les critères de performance → marges et rendements</p>

3. des éléments rédigés permettant de saisir les règles de décision pour la conduite des cultures pas toujours liées à la gestion des adventices (des informations sur le choix variétal et définition des notions de sensibilité, tolérance et résistance, les informations sur les dates de semis et le rappel d'un élément spécifique du fonctionnement du système de culture (le non labour), le suivi, et des indications sur les résultats, la commercialisation- Extrait ci-contre

Palette d'« outils » d'aide à la décision

Gestion du temps → validité des solutions ?

→ Les interventions réalisées par l'agriculteur sur ses cultures et suivi

✓ Il réalise lui-même toutes les interventions du semis à la récolte. Il dispose pour cela d'un parc de matériel bien adapté et en bon état.
 ✓ L'agriculteur observe régulièrement ses parcelles et s'appuie sur des données technico-économiques fournies par des organismes professionnels (les conseils du service technico-économique de sa coopérative, le centre de gestion, les instituts techniques et le service conseil de la Chambre d'Agriculture, les bulletins de santé du végétal). C'est plutôt un bon technicien qui se tient au courant des nouveautés.
 ✓ Jusqu'à présent, **il a fait le choix d'opter pour la protection chimique pour gérer l'ensemble des bioagresseurs sur ses parcelles (gestion des maladies, des ravageurs et des adventices). Selon lui, c'est un moyen efficace.**
La lutte chimique qu'il maîtrise bien est un moyen éprouvé pour lui permettre de gérer seul ses 180 ha. Il obtient des résultats technico-économiques satisfaisants classés dans la moyenne haute des agriculteurs du CER de la zone de production.

→ La commercialisation des récoltes
 Il stocke à la ferme et à la coopérative pour bénéficier des cours les plus porteurs.

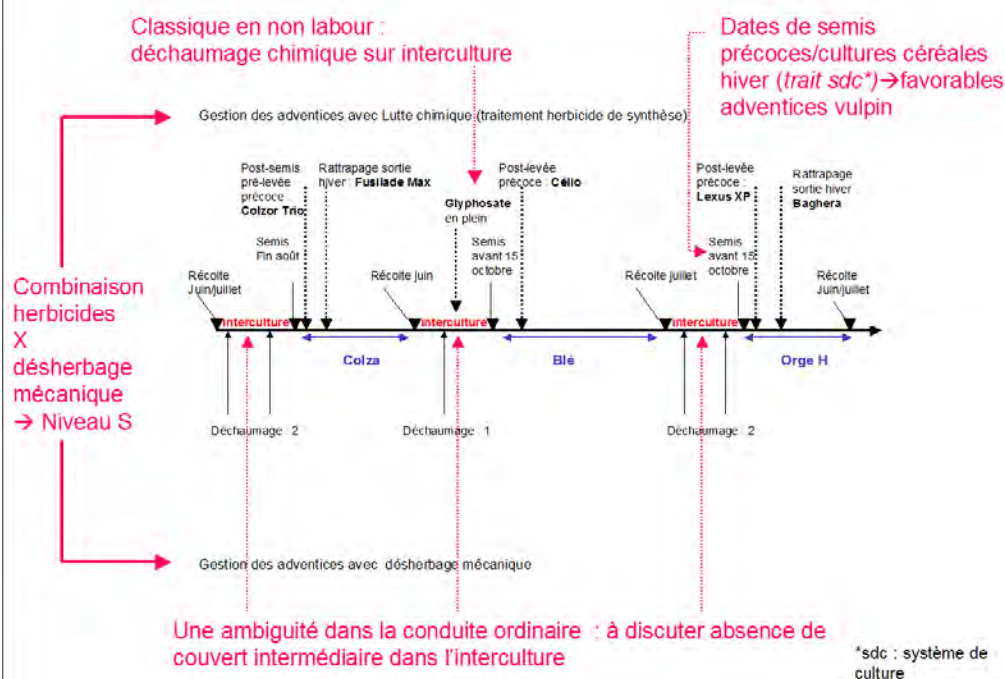
Donne des indications pour maîtriser des salissements des parcelles → moissonneuse

Des renseignements sur rationalité technocentrée, confiance dans les phytos → système dépendant des pesticides

Lutte chimique jugée efficace : information contradictoire avec le bloc « problématisation » car gestion désherbage problématique → résistance vulpin !

Les cultures d'hiver représentent 100% de la sole cultivée. Cette configuration correspond à un *ancien* message technique garantissant des rendements élevés (cycles longs des cultures) dans des contextes à bon potentiel (*si prix agricoles élevés → marge hectare élevée*). Le système est *intensif, spécialisé* (petit nombre d'espèces).
 → Archétype de l'« agriculteur intensif » avec des pratiques dépendantes des pesticides. Des indications succinctes sur des critères de performance sont glissées dans le texte (résultats technico-économiques).

4. une présentation du système de culture sous la forme d'un schéma décisionnel synoptique - Extrait ci-contre



5. un tableau système de culture pratiqué (accès au « raisonnement technique ») → : gestion de l'interculture, semis, choix des variétés, stratégie herbicides sur les cycles des cultures)- Extrait ci-contre

Logique de construction de la trame

Rubrique (différentes rubriques se succédant) : gestion de l'interculture, semis, choix variétal, stratégie herbicide		
Règles de décision		
Liste des règles		
Déclinaison des règles de décision pour stratégie désherbage de la rotation		
Colza	Blé	Orge hiver
Suite des opérations culturales pour lutte chimique/adventices	Suite des opérations culturales pour lutte chimique/adventices	Suite des opérations culturales pour lutte chimique/adventices

Donne des renseignements concrets sur les pratiques culturales

- forte dépendance aux phytos
- gestion précoce des levées adventices/risques de concurrence avec la culture
- semis précoces (réitération de l'information)
- stratégie S

Gestion des adventices sur l'interculture retenue par M. Sorot		
Interculture colza/blé : 1 déchaumage dès la fin de la récolte et un herbicide glyphosate (Roundup) si salissement important avec repousses de colza		
Interculture blé/orge 1 à 2 déchaumages : un fin récolte des blé et si salissement juste avant semis		
Interculture orge/colza 1 à 2 déchaumages : un fin récolte de l'orge et si salissement juste avant semis		
Le semis		
Règles de décision pour le semis retenues par M. Sorot		
<ul style="list-style-type: none"> > Choix de réaliser des semis précoces pour bénéficier du potentiel pédo-climatique favorables aux cultures d'hiver > Choix de réaliser des semis à forte densité pour viser un objectif de rendement élevé > Choix de maintenir un sol propre (limitation des repousses et des adventices) pour garantir la réussite de l'implantation des cultures en non labour 		
Colza	Blé	Orge hiver
Semis dès fin août	Semis avant les 15 premiers jours d'octobre, période jugée précoce pour la moyenne des pratiques.	Semis avant les 15 premiers jours d'octobre, période jugée précoce pour la moyenne des pratiques.

Différentes rubriques se succèdent pour rendre compte des choix de l'agriculteur et de ses décisions → « raisonnement technique » → déclinaison/culture de la rotation (colza, blé, orge hiver)

La gestion des adventices a lieu durant le cycle cultural et pendant l'interculture → recours aux phytos dominant (confirmation stratégie plutôt, S (substitution))

6. un texte avec les résultats attendus- Extrait ci-contre

L'état du salissement des parcelles → un indicateur important pour la gestion des cultures

Changement de règles de décision pour les interventions de protection des cultures
De « maximisation du rendement » ⇒ déclenchement à partir des dommages à « tolérance des dégâts »
⇒ déclenchement à partir des pertes de récolte

L'agriculteur (ou M. Sorot) veut trouver une solution avec les résultats attendus suivants :

- limiter le salissement de ses parcelles
- préserver les marges en limitant le recours aux pesticides, en tolérant des dégâts de récolte.
- réduire l'impact sur l'environnement et sur la santé

Vous êtes agriculteur et voisin de M. Sorot. Il vous demande conseil pour que vous l'aidiez à trouver une solution à son problème.

Suggestion de préoccupations environnementales et en termes de santé

→ Choix des alternatives *i.e.* étude de l'écotoxicité et de la toxicité des produits phytosanitaires éventuellement choisis dans la solution

Compromis possible, évolution des règles de décision (pertes tolérées de rendement)

→ contradiction avec l'objectif affiché « maximiser les rendements »

La présentation des résultats attendus est associée au bloc « problématisation » afin de donner une idée des possibles pour les solutions et de préciser des contraintes à intégrer. En particulier, M. Sorot, veut mettre en œuvre des pratiques limitant les impacts négatifs sur l'environnement et **il se préoccupe de sa santé**. Les élèves/étudiants devraient discuter des solutions en termes d'écotoxicologie et de toxicologie (*i.e.* le choix des produits phytosanitaires).

Intérêts

Quels sont les intérêts de ces informations sur le plan didactique ?

Ce bloc doit conduire les élèves/étudiants à mobiliser des connaissances indispensables pour comprendre et analyser le cas d'étude : la rotation, le système de culture, l'itinéraire technique cultural, la notion de levier (désherbage mécanique, lutte chimique), d'interculture, d'efficacité de divers moyens de gestion des adventices (en particulier la notion de levier à effet partiel). Des connaissances sont nécessaires sur les (i) modes d'action des leviers utilisés par l'agriculteur sur les adventices et sur leur efficacité. Des connaissances sont utiles sur (ii) le rôle des opérations culturales réalisées par l'agriculteur. Elles permettent de comprendre sa stratégie de gestion des bioagresseurs :

- (i) *i.e.* le désherbage chimique avec un herbicide non sélectif, le Roundup, dans l'interculture,
- (ii) *i.e.* l'intérêt de semis précoces par rapport à la moyenne de la région.

Des connaissances et/ou des références sur des critères de performance sont à mobiliser et à critiquer pour être en mesure d'analyser le système pratiqué et d'évaluer la situation actuelle (points forts, points faibles). Des références sont en particulier mises à disposition dans la bibliothèque (un autre bloc d'informations). Elles seront utiles pour évaluer la solution que les élèves/étudiants vont proposer. Les *curricula* prescrits et potentiels le permettent.

Dans ce bloc d'informations, nous avons choisi de ne pas faire figurer de référence à des IFT. L'IFT est utilisé dans le cadre du suivi du plan Ecophyto pour préciser ce que recouvre les « - 50% ». Il est également retenu et utilisé parmi les indicateurs d'évaluation des performances des systèmes de culture, en particulier pour évaluer des alternatives aux pesticides à la fois par la profession et le réseau « Ecophyto-Agronomie ». Mais, nous avons fait mention explicite d'une tendance de l'IFT dans le bloc « problématisation de la situation ». Nous comptons sur cette information manquante pour générer des questionnements et/ou des explorations.

La préservation de la « santé » est un résultat attendu par l'agriculteur. Si le choix des élèves/étudiants se fonde sur un recours à la lutte chimique, cette considération devrait les conduire à le discuter sur le plan de la santé humaine. Dans le même ordre d'idées, les alternatives aux pesticides devront être discutées en lien avec des problématiques de pénibilité reliée à la santé : Reau *et al.*, (2012) évoquent des effets sur les temps de travaux lorsque des systèmes passent de la lutte chimique herbicide à la combinaison d'alternatives correspondant à la production intégrée (PI). Ils constatent « *un nombre d'heures travaillées par hectare très légèrement augmenté en PI, mais mieux réparti sur l'année, ce qui réduit les pointes de travaux* » (Reau *et al.*, 2012, p. 11)

Cette partie est importante pour la résolution du problème car l'agriculteur du cas étudié doit être considéré comme un porteur d'enjeux. « *Les agriculteurs ont de bonnes raisons de faire ce qu'ils font* » (Petit, 1981), c'est en ces termes que la théorie du comportement adaptatif des agriculteurs (Brossier, Chia, Marshall et Petit, 1997) pose la cohérence entre les objectifs des agriculteurs, les moyens dont ils disposent et la représentation qu'ils se font de la situation. L'exploitation agricole est modélisée sous la forme d'un « système piloté ». Nous reprenons cet aspect dans la partie 4IV de ce chapitre qui aborde la démarche que nous avons retenue pour définir *a priori* les différents niveaux de complexité des SAR. Ainsi les solutions proposées par les élèves/étudiants doivent prendre appui sur des données factuelles rassemblées en partie dans ce bloc d'informations. Les élèves/étudiants devront discuter les propositions en fonction des attendus et des « points non négociables » pour l'agriculteur. En particulier, le recours au labour est un levier efficace : envisager de labourer pour contrôler les adventices suppose que les élèves/étudiants argumentent ce choix pour éclaircir ce qui le

justifie et les éventuels compromis qui en découlent. **2.2.3. Le bloc d'informations n°3, bloc « bibliothèque de références »**

Dans la suite du texte, nous utiliserons « bloc « bibliothèque » » à la place de « bloc « bibliothèque de références » ».

Les grandes lignes du contenu

Ce bloc rassemble 12 documents comportant des informations :

- sur des performances de leviers alternatifs aux pesticides dans des configurations de conduite avec labour et sans labour [non labour] (données technico-économiques et sociales) ;
- des informations sur les programmes de désherbage chimique en l'absence de vulpin résistant et avec des populations résistantes ;
- des informations sur la biologie et l'écologie du vulpin des champs ;
- des informations sur des risques liés à l'emploi de produits phytosanitaires sur l'environnement et **sur la santé humaine** (toxicologie et écotoxicologie des produits phytosanitaires utilisés sur l'exploitation du cas d'étude ; effets suspectés sur la santé humaine soulevés par une étude scientifique et repris par une ONG écologiste).

Autant que possible, nous nous sommes appuyée sur des ressources captées au fil de notre exploration bibliographique sur le sujet. Nous avons été amenée à retravailler ces « sources brutes » pour les mettre en forme dans les différents blocs d'informations (nous expliquons ce qui a motivé les transformations opérées sur ce matériau brut dans le paragraphe 3.).

Justifications des intérêts des contenus et du bloc

Nous avons choisi une diversité de sources d'informations en nous fondant sur des conclusions du chapitre 2 (état de l'art en agronomie et en agro-écologie) et sur des résultats de la production des états des controverses de la partie 4II de ce chapitre (« **paroles de** » la recherche agronomique, du développement agricole, du syndicalisme agricole alternatif, de la réglementation avec le site e-phy⁵⁶⁹ et l'index phytosanitaire ACTA⁵⁷⁰, d'association écologiste). Nous avons retenu des sources émanant et construites dans la mesure du possible par divers producteurs de savoirs. Nous voulions illustrer :

- des principes de la protection intégrée,
- des facettes des risques/incertitudes liés à l'usage des pesticides ou de leurs alternatives, en particulier en lien avec la santé humaine,
- des paroles d'experts validés et celles d'experts avec qui il faudrait compter (Agriculteurs alternatifs et ONG). A ce sujet, nous avons renoncé à nous appuyer sur des informations émanant de lanceurs d'alerte qui amenaient dans la résolution du problème un débat vif au sujet de la santé des agriculteurs (extrait du site du livre de Nicolino et Veillerette (2007) : « Pesticides, Révélation sur un scandale français » et extrait de l'annonce d'un documentaire sur France 2 « la mort est dans le pré » (2013) d'Eric Guéret cf. annexe n°9 le projet pour ce documentaire). Nous avons refroidi la question pour que le débat ne bride pas le développement des SAR en nous fondant sur de premiers résultats du projet Didacphyto (Olry *et al*⁵⁷¹, 2014 ; Frère, 2014).
- des facettes de la notion de résilience de l'agroécosystème,

⁵⁶⁹ e-phy est une base de données en ligne officielle (validée par le ministère en charge de l'agriculture) qui met à disposition des informations sur des produits phytopharmaceutiques et sur leurs usages, sur des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France. <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>

⁵⁷⁰ L'index phytosanitaire de l'ACTA (réseau des instituts des filières animales et végétales) « reprend les grands principes de la protection des plantes et présente la totalité des substances actives homologuées et commercialisées en France » site . <http://www.acta.asso.fr/> . Il a le statut d'un document officiel et il est actualisé tous les ans.

⁵⁷¹ Olry, Prévost, Cancian, Simonneaux, Métral, David, et Frère (2014).

- la nécessité de jouer sur les échelles et de se projeter dans le futur soit en imaginant les effets de l'allongement de la rotation et/ou des effets de la diversification des cultures sur l'organisation de filières, des effets cumulés de la persistance de stocks grainiers viables dans le sol,

- la nécessité de considérer plusieurs producteurs de savoirs (expertise reconnue versus expertises discutées) et plusieurs domaines d'appui (agronomique, économique, sociale, santé, réglementaire, ...).

L'annexe n°7 présente le corpus de documents. Sur chacun d'eux figurent des arguments explicitant leur pertinence⁵⁷².

Intérêts sur le plan didactique et pour la discipline agronomie

La conception de systèmes alternatifs économes en herbicides repose sur le choix de leviers⁵⁷³ (un ou plusieurs, à effet partiel) à combiner de manière cohérente (compatibilité des effets escomptés) et pertinente (vise la gestion du vulpin, adventice annuelle qui a des traits de réponse résultant des interactions avec le système de culture et d'autres facteurs biotiques et abiotiques du milieu) cf. chapitre 2. Les références ont été obtenues à partir de travaux conjoints de la recherche, du développement et des agriculteurs (résultats issus de différents réseaux). Le réseau de fermes DEPHY contribue à capitaliser des exemples de systèmes de culture économes dans divers contextes de production afin de donner à voir des démarches possibles et les résultats des systèmes de culture, les ajustements opérés et les résultats chemin faisant. Ce sont des références « systèmes » car elles donnent une information relative au fonctionnement d'un système, en l'occurrence, le système de culture. Cependant même si un certain nombre de références sont disponibles pour rendre compte de l'efficacité et des limites des combinaisons de leviers, toutes les combinaisons ne peuvent pas être testées (impossibilité d'appréhender toute la diversité des configurations et trop coûteux).

Dans la configuration de résolution que nous avons choisie, pour concevoir des systèmes de cultures alternatifs, les élèves/étudiants, comme les agriculteurs en situation réelle, ne disposent pas de toutes les informations et doivent concilier des aspects agronomiques, économiques, réglementaires, sociaux, environnementaux, entre autres. La solution à un problème situé est à construire en contexte en prenant appui sur des références variées. La réponse n'existe pas *a priori* mais elle peut être construite à partir de références « systèmes » valides dans un contexte et d'autres références partielles et fragmentaires, stabilisées ou non. Les agriculteurs disposent alors d'un portefeuille de références à partir duquel ils vont extraire des ressources qui leur apparaissent pertinentes, ils construisent également des références en situation en expérimentant. Ils doivent composer avec les incertitudes liées à la validité des références et du projet de combinaisons de leviers retenu. La bibliothèque doit permettre de faire émerger des discussions chez élèves/étudiants sur les leviers, leurs effets, leurs intérêts, leur efficacité et les risques/incertitudes dont elles sont porteuses pour protéger les cultures.

Le tableau n°23 propose une synthèse des 12 sources d'informations données aux élèves/étudiants. L'ordre de présentation des différentes ressources a été choisi. A ce stade, il est important que nous précisions un aspect du scénario pédagogique de notre expérimentation sur le terrain. Ce bloc d'informations a été remis quelques jours avant le travail de résolution à chacune des classes de notre échantillon. Nous avons souhaité que les

⁵⁷² Nous avons identifié cinq rubriques que nous voulions illustrer (principes de la protection intégrée, dimensions perceptions/opinions sciences, scientifiques (expertise reconnue ?), dimensions résilience de l'agroécosystème, projection dans le futur, pluralité des domaines d'appui). Nous avons précisé pour chacune des ressources quelle était la contribution.

⁵⁷³ Pour chacune des grandes catégories de biogresseurs (champignons, insectes et adventives), une hiérarchie d'efficacité des leviers a été définie sur la base des résultats d'expérimentation (essais factoriels et essais systèmes). Nous rappelons les leviers principaux, secondaires et complémentaires.

élèves/étudiants réalisent une première activité sur ce corpus : ils devaient extraire une à deux informations importantes dans chacune des sources d'informations et les noter sur le document. Nous expliquons ce choix méthodologique dans le paragraphe n°3.

Tableau n°23 : Présentation du corpus de documents de la bibliothèque

Codes couleur : en orangé lien avec l'usage des phytosanitaires, en rose témoignages d'alternatifs aux pesticides, en jaune des performances des leviers alternatifs aux pesticides, en vert des éléments sur la biologie du vulpin des champs.

n° du document	Titres des ressources	Informations dans la ressource	Justification	Source de la ressource
1	Les effets de certains programmes de désherbage sur le vulpin	On a découvert des vulpins résistants aux herbicides du groupe HRAC A et HRAC B. Il est plus difficile de gérer cette adventice par la seule lutte chimique sans réfléchir sur la rotation.	Les risques des effets des pesticides sont réels. Cas des résistances chez le vulpin. L'agriculteur n'est pas isolé.	ARVALIS - Institut du végétal
2	Un témoignage d'un agriculteur : des solutions pour gérer les adventices sur sa ferme	Un agriculteur est arrivé à réduire l'usage des pesticides en allongeant sa rotation avec l'introduction des légumineuses, et en mettant des couverts durant l'interculture. Cette diversification impose de réfléchir à l'échelle de la filière et aux débouchés des cultures introduites.	Une entrée par les pratiques et paroles d'agriculteur qui présente un système qu'il a réfléchi. Il insiste sur le volet agronomique mais aussi sur un aspect filière. Si l'agriculteur change, que dire des autres acteurs ? → la filière comme levier. Pour envisager les répercussions des décisions	Confédération Paysanne et la FADEAR
3a	Les programmes de désherbage conseillés par le développement agricole (Chambres d'agriculture et Arvalis Institut du végétal)	Pour les vulpins résistants aux herbicides du groupe A et du groupe B → des herbicides sont à absolument éviter : Fusilade max, ARCHIPEL, LEXUS XPE.	On peut encore utiliser des pp même dans le cas des résistances, la palette des PP le permet encore. On ne remet pas en cause la dépendance. Les données toxicologiques et écotoxicologiques des produits utilisés par l'agriculteur doivent faire réfléchir les élèves/étudiants aux risques.	Arvalis institut du végétal
3b	Alterner les substances actives dans la rotation pour une utilisation durable des pesticides	Il est possible de lutter contre les vulpins résistants avec des herbicides adaptés des groupes C2 et d'autres groupes.		Rmt Florad
4	Des exemples de moyens pour gérer les adventices dans les cultures	Il est possible de gérer les adventices avec différents moyens et à différents stades des mauvaises herbes : de la semence	Des leviers possibles pour gérer les adventices, le vulpin en particulier	Chambre d'agriculture de la Lorraine

		à la plante adulte. La rotation (et l'alternances des cultures) limite les levées et est la plus efficace → même niveau que le désherbage chimique et mécanique en culture		
5	Evolution de la marge nette calculée en fonction de la rotation	L'allongement de la rotation améliore la marge nette par rapport à la rotation colza/blé/orge H : le meilleur résultat est obtenu en introduisant une fabacée, le pois. Dans les sols à bon potentiel, il faut conserver 50 à 60% de blé et de colza	Le levier le plus efficace et probablement le plus rentable économiquement est la rotation : Impact économique de l'allongement de la rotation	Chambre d'agriculture 54
6	Effet de la date de semis sur le nombre de passages d'herbicides en blé	Plus la date de semis du blé est retardée à l'automne est moins il y a d'adventices présentes dans la culture. Il faut environ 0,1 passage d'herbicides après le 30/10 contre 0,7 avant le 15/10	Un levier facile à mettre en place sans reconcevoir le système : décaler les dates de semis	Chambre d'agriculture de l'Oise
7	En TSL, le recours au labour peut être une solution pour contenir les populations d'adventices.	Si un agriculteur décide de labourer un peu moins de 50% de ces parcelles, par rapport à une situation en non labour, il va accroître son temps de travail à l'hectare de 20% (de 0.9 heure/ha à 1.08 heure/ha) et dépensera 7€/ha de plus soit 13% de coûts supplémentaires	Un levier « facile » à mettre en place sans reconcevoir le système : recourir au labour	Agrotransfert
8	<i>Effet du nombre de cultures dans la succession culturale sur le salissement des parcelles</i>	Plus la rotation est diversifiée (nombre de cultures dans la rotation) est moins le salissement est important avant le semis du blé à condition que les dates de semis des cultures de la rotation soient différentes. Avec 6 cultures, on a presque 5 fois moins d'adventices au m ² (40 à	Un levier facile à mettre en place en reconcevant le système : décaler modifier la succession culturale (jouer sur la rotation)	Agrotransfert

		presque 200).		
9	Quelques caractéristiques sur les produits utilisés dans la rotation de M. Sorot	Tous les produits utilisés, colzor et huile exceptés, sont des produits pour lesquels les vulpins sont devenus résistants. Le Fusilade XP est en plus classé Xn	caractérisation des produits, toxicité en question	Ephy et index phytosanitaires ACTA 2013
10	<i>Une association écologiste approuve la nécessité de réduire l'usage des pesticides en raison de leur dangerosité</i>	Le mouvement écologiste MDRGF souligne les risques des pesticides pour la santé et encourage la réduction de l'usage des pesticides dans l'agriculture	Des risques pour la santé soulevés dans un rapport scientifique. Ce risque est-il perçu ?	Site MDRGF consulté en décembre 2012
11	Des éléments sur la biologie de l'adventice vulpin	Le vulpin concurrence la culture pour un nombre de pied relativement modeste au m ² et il est capable de produire une grande quantité de graines, sa mauvaise gestion une année se répercute les années suivantes. Il est concurrentiel des cultures d'hiver (périodes de semis) avec des levées à l'autonome et au printemps (reprise de la végétation	on peut imaginer les effets d'une année sur l'autre d'une mauvaise gestion du vulpin (effet cumulatif) : projection dans le futur	

2.2.4. Le bloc d'informations n°4, bloc « problématisation de la situation »

Dans la suite du texte, nous utiliserons « bloc « problématisation » » à la place de « problématisation de la situation ».

Les grandes lignes du contenu

Ce bloc propose une problématisation succincte de la situation qui met en évidence l'impasse technique et l'inefficacité de la lutte chimique même finement raisonnée. Dans le bloc « problématisation », la présence de vulpin résistant est suggérée, mais elle n'est pas explicitement formulée. Nous avons glissé une information extraite du bloc « système pratiqué » : l'IFT est en hausse sur les céréales d'hiver invitant, les élèves/étudiants à aller analyser la stratégie et le programme de désherbage (nous expliquons ce choix méthodologique plus loin).

Justifications des intérêts des contenus et du bloc

Ce bloc reprend les idées-clés du problème pour en faciliter l'appropriation par les élèves/étudiants et permet d'évaluer « l'efficacité » de la stratégie de protection des cultures de l'agriculteur : le raisonnement de la protection des cultures est devenu inadapté, il a contribué à faire émerger des vulpins résistants. Voici ce que nous avons suggéré : bon technicien, M. Sorot a simplifié son système de culture de type conventionnel (100% de cultures d'hiver, travaux de sol et d'implantation simplifiés). Ce système se fonde sur une utilisation raisonnée des pesticides qui obtient encore de bons résultats technico-économiques. Mais les coûts de désherbage progressent en raison de l'accroissement du salissement généré par les vulpins résistants.

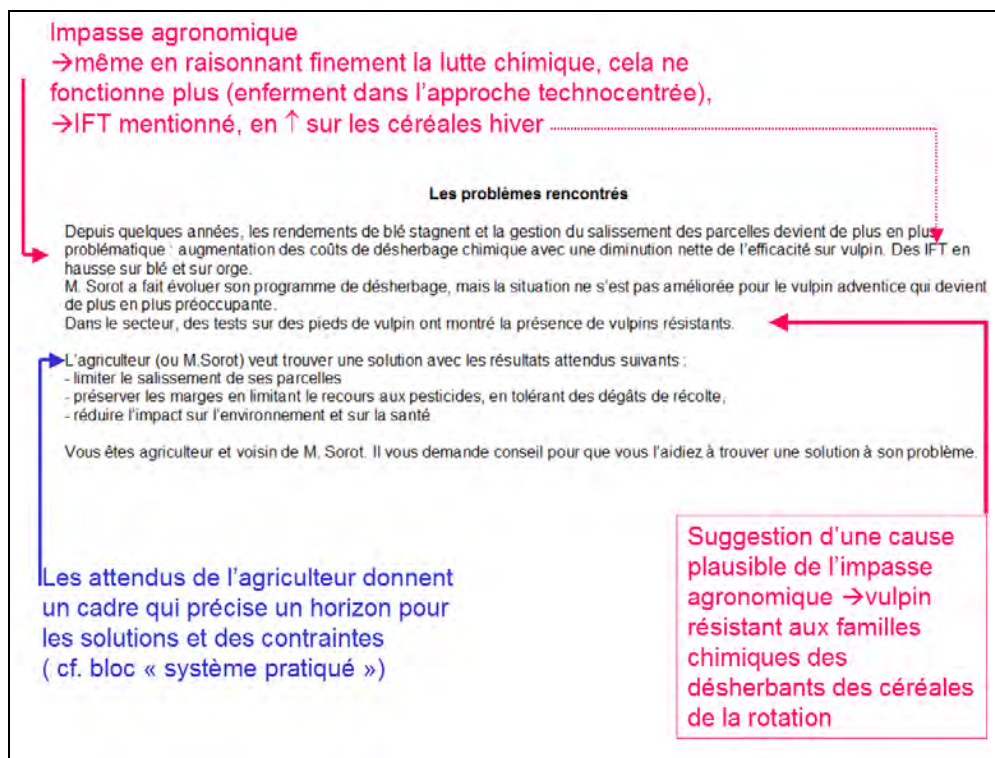
Nous avons retenu le vulpin car cette adventice est courante dans les systèmes de culture avec des grandes cultures d'hiver (configuration proche d'un cas réel, cf. le « sens » du problème dans le paragraphe 1.2.2.) : les populations de vulpin entrent fortement en concurrence car cette adventice a développé un cycle mimétique vis-à-vis des cycles de culture des céréales d'hiver. Pour gérer le salissement durant le cycle cultural, des applications répétées d'herbicides anti graminées ont développé des formes résistantes à deux familles d'herbicides : les inhibiteurs de l'ACCases⁵⁷⁴ avec les fops et les dimes et les ALS avec les sulfonilurées. Une fois la résistance acquise, elle se transmet. Il semblerait que le problème soit particulièrement inquiétant chez le vulpin⁵⁷⁵. Nous avons imposé cette impasse en insistant sur le mode de gestion privilégiée des bioagresseurs (la lutte raisonnée) retenue par l'agriculteur Sorot. Cependant, une fois la résistance acquise, elle est irréversible car les gènes de résistance se transmettent aux descendants aggravant les problèmes de salissement si la stratégie de gestion est maintenue. Pour sortir de l'impasse agronomique liée à la présence de vulpins résistants, les fondements du raisonnement de la stratégie de protection doivent être reconsidérés : la reconception du système de culture est incontournable (niveau R du cadre ESR de Hill et MacRae (1995)). La solution se raisonne à l'échelle de la rotation en mobilisant le concept de système de culture.

La figure n°72 précise des éléments de la justification à partir de la trame de texte remise aux élèves/étudiants.

⁵⁷⁴ Pour plus de détail se reporter à une note de bas de page dans le chapitre 2. (ACCCase : Acétyl- CoenzymeA Carboxylase et ALS : acétolactate-synthase). **Nous utilisons des informations à ce sujet et les sigles professionnels fops, dimes et le nom « sulfonilurées » ou « sulfos » dans la situation-problème bloc « bibliothèque ».**

⁵⁷⁵ Dans le chapitre 2, nous avons évoqué des résultats d'études chez le vulpin (Délye, Deulvot et Chauvel, 2013) : chez des vulpins résistants, les gènes de résistance pré existaient avant les herbicides de synthèse. Les herbicides accélèrent la sélection favorisant l'expression des génotypes résistants.

Figure n°72 : La trame du bloc « problématisation » commentée



La problématisation a un statut particulier dans le déroulement du travail de résolution conduit par les élèves/étudiants durant l'expérimentation. Elle donne un premier cadre de travail auquel il faudrait que les élèves/étudiants adhèrent pour qu'ils se mettent à construire des raisonnements informels. Ils doivent envisager les alternatives aux pesticides pour aider M. Sorot. La phase de problématisation a été en partie prise en charge par le chercheur, nous expliquons ce choix méthodologique dans la partie 3.

Les consignes pour mettre en activité les élèves/étudiants doivent être en cohérence avec ce que la problématisation a soulevé. Nous abordons ce dernier bloc d'informations (le bloc « consignes de travail ») de la situation-problème dans le paragraphe suivant.

2.2.5. Le bloc d'informations n°5, bloc « Les questions données aux élèves pour traiter le problème rencontré et argumenter les prises de décision consignes de travail »

Dans la suite du texte, nous utiliserons « bloc « consignes de travail » » à la place de « bloc « Les questions données aux élèves pour traiter le problème rencontré et argumenter les prises de décision » ».

Les grandes lignes du contenu

Nous avons proposé deux sous-blocs de consignes :

- un pour le travail à conduire sur la bibliothèque,
- et un pour le travail de résolution dans la configuration d'interactions choisie, la collaboration dans un sous-groupe (nous expliquons au paragraphe 3. ce choix).

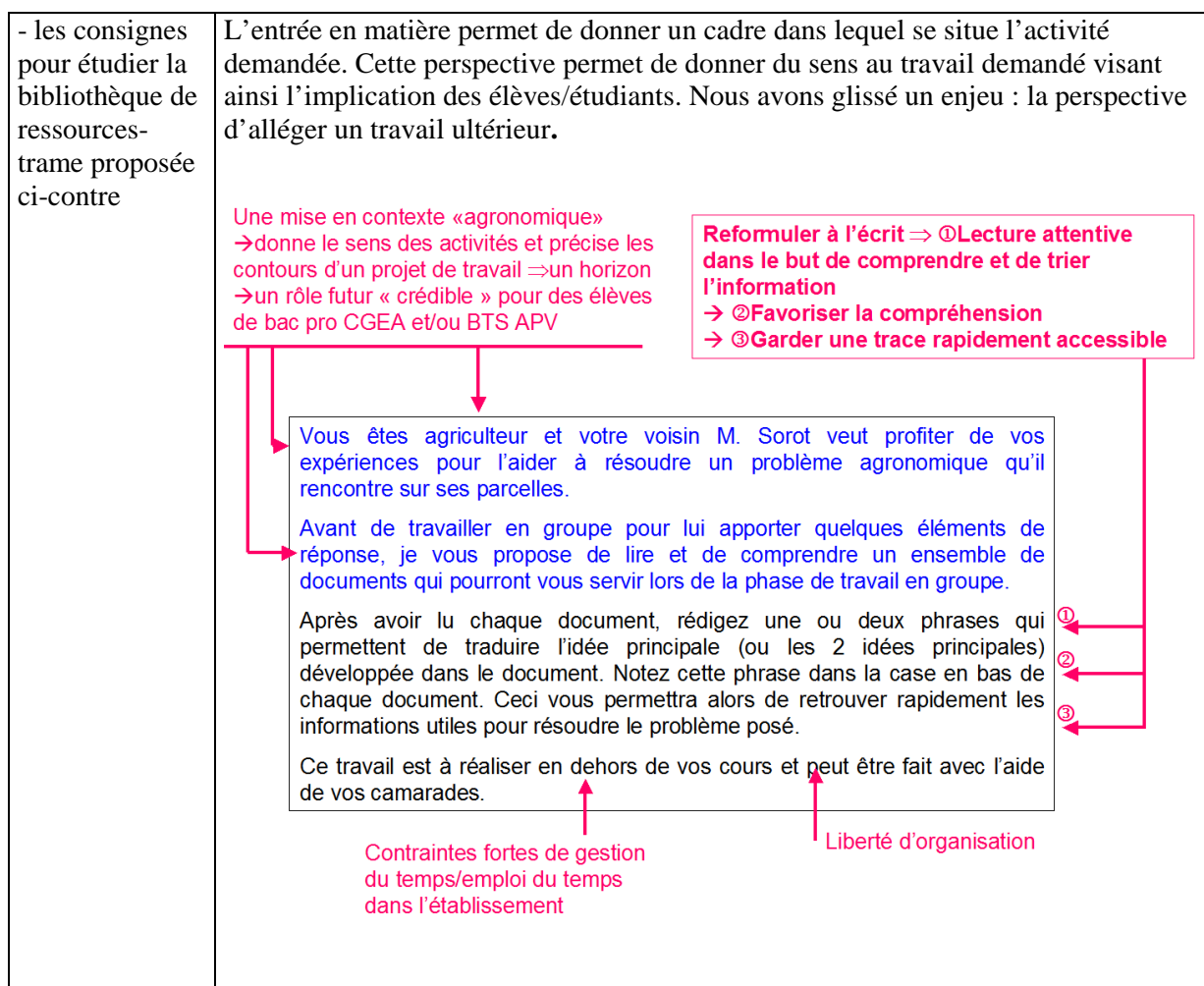
Justifications des intérêts des contenus et du bloc

Pour être en mesure de se projeter dans la tâche et/ou les activités à réaliser, les élèves/étudiants doivent savoir **et** comprendre ce qui est attendu d'eux : quelles preuves de leurs activités doivent-ils montrer ? Quelle est la forme explicite du résultat attendu ? Cette phase de clarification des attendus est essentielle.

Le chercheur leur propose de trouver en groupe une solution partagée pour résoudre le problème de vulpin de plus en plus mal contrôlé et pour cela :

- ils doivent étudier une bibliothèque de références qui pourrait venir en appui du travail de résolution,
- ils doivent expliciter le projet qu'ils ont choisi.

- *Les consignes pour étudier la bibliothèque*



Les consignes doivent faciliter la tâche de repérage des informations-clés dans chacune des ressources proposées. Ce travail préparatoire vise à confronter les contenus appris par les élèves/étudiants liés à la protection des cultures (les différents leviers et conditions de leurs emplois et efficacité et les usages des produits phytosanitaires) aux informations exposées dans les documents. La mise en forme à l'écrit d'une ou de deux idées-clés rendant compte du contenu permet d'impliquer les élèves/étudiants dans une lecture attentive de la ressource pour chercher à la comprendre. En laissant la liberté de s'organiser comme ils le veulent en dehors du cours, ils ont l'opportunité de travailler avec d'autres camarades et/ou de les questionner. Leur enseignant d'agronomie peut également être sollicité, même si cela n'est pas explicite dans les consignes : nous avons demandé à ce que la bibliothèque soit remise aux élèves et aux étudiants en main propre par leur enseignant d'agronomie. La trace écrite demandée doit permettre un repérage rapide des informations essentielles si besoin lors du travail de résolution à partir du cas d'étude qui se déroulera après. C'est un moyen de préparer la mémorisation des données qui seront pertinentes pour résoudre le problème. Cette

scénarisation didactique permet d'éviter la surcharge cognitive le jour de la résolution de la situation-problème.

- *Les consignes pour résoudre le problème agronomique*

<p>- les consignes pour résoudre le problème rencontré dans le cas d'étude-trame proposée ci-contre</p>	<p>Le cœur du problème agronomique est rappelé, mais cette fois l'ambiguïté est levée : les « vulpins résistants » sont responsables de l'inefficacité des produits phytosanitaires employés. En se fondant sur cette information, il conviendrait que les élèves/étudiants se penchent sur le programme de désherbage retenu et sur la stratégie de protection des cultures de l'agriculteur, les amenant à critiquer le niveau de dépendance aux pesticides du système de culture étudié.</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>❖ Une seule réponse pour le groupe, à construire ensemble ⇒ Des compromis et des arguments pour retenir les options → des échanges avec des convergences de vue et des désaccords</p> </div> <p>Levée de l'ambiguïté → « vulpins résistants » → oblige à aller voir le programme « phyto » → Discuter les intérêts de ne plus compter sur les herbicides pour gérer les vulpins</p> <p>Je vous propose un scénario de travail en deux temps:</p> <p>- en groupe, Vous disposez d'un ensemble de documents que vous pouvez utiliser pour proposer une solution. Vous devez discuter dans le groupe pour ne produire qu'une seule réponse collective. Quelles solutions proposerez-vous pour gérer la population de vulpins résistants qui devient de plus en plus gênante et préoccupante ? Vous indiquerez les conditions des solutions que vous proposez et vous envisagerez les conséquences de vos choix. Vous me remettrez un support écrit rassemblant les notes qui présenteront votre réponse. Ne perdez pas de temps à le mettre en forme, il s'agit simplement d'une trace pour garder une mémoire de votre travail collectif. Il pourra vous servir pour la phase suivante.</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>Autre recueil de données cf. partie 4V</p> </div> <p>- seul, Juste après avoir remis votre proposition collective, je vous poserai trois questions sur l'exercice conduit</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>Questions : une solution sous-entendue avec sa (ses) justification(s), des conséquences des choix et des conditions discutées (exploration de la validité)</p> </div> <p>Une trace écrite → aide pour structurer la construction du raisonnement collectif</p> <p>Rappel : appui possible sur le bloc « bibliothèque »</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Les consignes imposent une résolution collaborative à l'oral (nous revenons sur ce choix méthodologique dans le paragraphe 3.). Les élèves/étudiants ne doivent proposer qu'une seule « réponse partagée » : elle doit rassembler les propositions discutées, explorées et validées par le groupe. Nous avons proposé un travail de résolution en divisant la classe en sous-groupes pour faciliter les échanges et leurs éventuels approfondissements. Nous avons choisi les différents participants des sous-groupes. Nous nous sommes pour cela fondée sur l'expertise des enseignants qui ont coopéré à notre recherche. Nous avons veillé à mélanger des profils selon les points de vue sur les pesticides et leurs emplois dans l'agriculture. Les élèves/étudiants ne sont *a priori* pas d'accord sur la QSV. Nous avons cherché à faire émerger des conflits sociocognitifs (Doise et Mugny, 1981) chez les participants des sous-groupes, favorisant dans certaines conditions des apprentissages. Nous supposons qu'en ayant des avis différents sur ces questions, les élèves/étudiants seront plus enclins à discuter les propositions et les arguments qui remettent en question leur points de vue, les amenant même à approfondir les propositions. La résolution de la QSV se fonde sur la négociation. Nous avons vu que ce contexte est propice à la construction d'argumentations informelles qui s'appuient sur différents domaines de références et à l'émergence des raisonnements socioscientifiques pour construire une solution à une QSV (Sadler, 2004). L'impasse agronomique contraint à **limiter** sérieusement le recours aux d'herbicides de synthèse. Pour résoudre cette impasse

agronomique, les consignes invitent les élèves/étudiants à argumenter les choix, c'est-à-dire justifier l'intérêt des propositions⁵⁷⁶, à envisager les conséquences des choix et à discuter les éventuelles conditions : les consignes devraient contribuer à faire émerger des raisonnements complexes agro-écologiques et socioéconomiques. Enfin, nous avons demandé aux élèves/étudiants de laisser une trace écrite qui présente la solution à partir de quelques notes. Cette phase de passage par le langage écrit peut être un moment qui permet de continuer à structurer la réponse et les apprentissages collectifs (Vygotsky, 1933/1985).

2.2.6. Synthèse et rappels des choix méthodologiques à expliciter

Nous venons de décrire et d'analyser les différents blocs d'informations. Nous avons synthétisé et rassemblé les informations dans le tableau n°24 en précisant :

- dans la première colonne les noms des différents blocs d'informations et le type d'informations qui le caractérise,
- dans la deuxième colonne les intérêts du bloc et des informations qu'il contient. Les visées générales sont signalées en italique et la déclinaison des intérêts est spécifiée en caractères normaux,
- dans la troisième colonne les apprentissages en jeu,
- dans la quatrième colonne les concepts et/ou principes qui donnent accès à une compréhension des informations du bloc.

Nous voyons un peu plus loin dans ce chapitre comment nous avons également retravaillé le scripto visuel de certaines sources dans la bibliothèque (cf. paragraphe 3.2).

⁵⁷⁶ Nous retenons la définition d'argument proposée par Gauthier (2002).

Tableau n°24 : Les blocs d'informations fournies à renseigner pour construire la situation-problème.

Les blocs d'informations fournies aux élèves pour traiter le problème	<i>Intérêts</i> Visée générale Déclinaison des intérêts par rubrique	Apprentissages en jeu	Concepts mobilisables liés au problème
<p>Bloc 1 « Le contexte socio-économique et environnemental »</p> <ul style="list-style-type: none"> - des informations en lien avec les problèmes posés par l'usage des pesticides - des informations sur le tissu productif de la petite région agricole <p>Le contexte pédoclimatique</p>	<p><i>Renseigne la complexité à l'échelle du territoire</i></p> <p>Met en évidence les enjeux de l'environnement au sens large</p> <p>Donne un premier cadre de contraintes et d'opportunités qui conditionne les remédiations</p>	<p>Apprendre à mobiliser des données du contexte pertinentes pour traiter la situation-problème : identifier ce qui dans le contexte est une contrainte ou une opportunité pour réduire l'usage des herbicides</p> <p>Mobiliser des concepts pour retenir des données et les traiter</p>	<ul style="list-style-type: none"> - les comportements des sols dans un contexte spécifique (transfert de pesticides dans les milieux), - la filière - interactions texture/opérations culturales en non labour/climat(pluviométrie) pour traiter les données
<p>Bloc 2 « caractérisation du système de culture » :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présentation de la conduite du système de culture pratiqué : assolement, rotation type, grandes règles de décision de l'agriculteur pour la protection des cultures - Schéma décisionnel (Le Gal <i>et al.</i>, 2009, Reau <i>et al.</i>, 2011) de gestion des adventices par l'agriculteur 	<p><i>Renseigne la complexité à l'échelle du système de culture et de l'exploitation</i></p> <p>Précise les grands objectifs de l'agriculteur qui structurent la conduite des cultures</p> <p>Donne une représentation synthétique de la succession des opérations sur la culture en lien avec la protection des cultures</p>	<p>Apprendre à raisonner à différentes échelles de temps et d'espace : identifier des leviers ou des contraintes à l'échelle de l'ITK⁵⁷⁷, de la rotation, de la parcelle, de la campagne⁵⁷⁸ pour envisager les alternatives aux herbicides</p> <p>Mobiliser des concepts « robustes »</p>	<p>ITK, système de culture, rotation, schéma décisionnel, principes de la protection intégrée des cultures</p>
<p>Les objectifs et résultats attendus de l'agriculteur : réduction des doses utilisées, maintien des marges, etc.</p>	<p><i>Donne un cadre dans lequel les solutions proposées doivent s'intégrer</i></p> <p>Donne le point de vue de l'agriculteur</p>	<p>Apprendre la démarche de construction de connaissances en situation : construire une réponse pour une situation problème donnée en identifiant des leviers cohérents avec les attentes de l'agriculteur</p>	
<p>Bloc 3 « Une bibliothèque de références » aux sources variées comprenant : des informations pour réduire l'usage des pesticides, avec des éclairages politique, agronomique, économique, environnemental, social, sur la santé humaine.</p>	<p><i>Met à disposition des ressources et des références pour construire les raisonnements</i></p> <p>Met en évidence la distribution des savoirs et illustre la diversité des points de vue des parties prenantes (recherche,</p>	<p>Définir et évaluer des critères de validité des expertises (sources)</p>	<p>Principe de la protection intégrée, leviers d'action à effet partiel pour gérer les adventices (et hiérarchie des leviers potentiels pour gérer les adventices), « effets précédents »,</p>

577 ITK : Itinéraire Technique Cultural désigne la « suite logique et ordonnée d'opérations culturales appliquées à une espèce végétale donnée » (Sebillotte, 1978). C'est l'ensemble des opérations réalisées sur une culture depuis l'implantation jusqu'à la récolte.

578 « Campagne » désigne la période couvrant le cycle de la culture considérée.

	<p>développement privé, public, agriculteurs, organisation non gouvernementale, législateur)</p> <p>Permet de discuter dans le groupe la tangibilité des preuves avancées par différents producteurs de savoirs, exercice du doute épistémologique</p> <p>Donne des résultats de performance en fonction des leviers agronomiques utilisés</p>	<p>Evaluer les performances des leviers actionnés/la gestion des adventices</p> <p>Sélectionner des leviers pertinents et efficaces pour le cas d'étude</p> <p>Mobiliser des concepts « robustes »</p>	<p>« effets suivants », cycle biologique/adventices, taux annuel de décroissance (TAD), concept de résistance acquise, de concurrence, de compétition, nuisibilités</p>
<p>Bloc 4 « problématisation de la situation » : résistance du vulpin, augmentation du coût de la protection phytosanitaire, introduction de la situation-problème</p> <p>« Un céréalier du secteur géographique proche demande de l'aide afin de venir à bout d'un problème avéré de vulpin résistant à des herbicides dans ses parcelles. Bon technicien, il a simplifié son système de culture de type conventionnel (100% de cultures d'hiver, travaux de sol et d'implantation simplifiés) qui se fonde sur une utilisation raisonnée des pesticides. Il obtient encore de bons résultats technico-économiques mais les coûts de désherbage progressent en raison de la progression du salissement généré par les vulpins résistants ».</p>	<p><i>Propose une problématisation plus ou moins étoffée de la situation</i></p> <p>Met en évidence l'impasse technique et l'inefficacité de la lutte chimique même finement raisonnée</p> <p>Permet d'évaluer la stratégie de protection des cultures de l'agriculteur</p> <p>Reprend les idées-clés du problème pour en faciliter l'appropriation par les élèves</p>	<p>Evaluer le niveau de dépendance du système aux pesticides</p>	<p>Méthodes de lutte, cadre d'analyse E.S.R.⁵⁷⁹ (Efficience, Substitution Reconception) (Hill et MacRae, 1995)</p>
<p>Bloc 5 « Les questions données aux élèves pour traiter le problème rencontré et argumenter les prises de décision ».</p>	<p><i>Donne des consignes plus moins précises et nombreuses pour mettre au travail</i></p> <p>Faire analyser des ressources potentiellement mobilisables pour résoudre le problème</p> <p>Faire construire une réponse collective</p>	<p>Combiner des savoirs distribués, discutés ou non</p> <p>Co-construire des connaissances en situation</p> <p>Prendre une décision d'action argumentée</p>	

579 Le cadre E.S.R. est une grille d'analyse qui permet d'évaluer les alternatives à l'agriculture conventionnelle et de caractériser les transitions vers l'agriculture durable, en particulier l'évaluation de la dépendance aux pesticides de synthèse.

Au fil de la description et de l'analyse des différents blocs d'informations, nous avons fait mention d'un certain nombre de choix méthodologiques que nous rappelons ici, nous avons :

- fait distribuer une bibliothèque de références quelques jours avant la résolution d'un cas d'étude en vue de préparer un travail à venir (deux temps de travail des élèves/étudiants dans l'expérimentation),
- écarté certaines sources de la bibliothèque,
- choisi un ordre de présentation des informations dans la bibliothèque,
- proposé aux élèves/étudiants une démarche pour analyser la bibliothèque,
- réorganisé des informations des blocs de données dans trois trames structurées,
- retravaillé des données brutes avant de les soumettre aux élèves/étudiants,
- en partie pris en charge une problématisation du cas d'étude,
- imposé un travail en sous-groupes en configuration collaborative et une seule réponse par groupe,
- privilégié une résolution du problème à l'oral et demandé une trace écrite succincte présentant la solution,
- enfin nous rappelons le choix du niveau et des filières pour conduire notre expérimentation sur le terrain.

Dans le paragraphe suivant, nous explicitons sur quoi se fondent ces choix méthodologiques.

3. Des choix méthodologiques pour notre expérimentation de recherche

Dans ce paragraphe, les critères retenus pour choisir les établissements pour notre expérimentation sont exposés dans un premier point. Nous explicitons le scénario retenu pour conduire l'expérimentation dans les classes dans un deuxième point.

3.1. Le scénario de l'expérimentation

Choix des terrains de l'expérimentation

Deux filières de l'enseignement agricole nous intéressent particulièrement : le bac pro CGEA sdc et le BTS APV. Ces deux diplômes délivrent la capacité professionnelle qui permet ensuite de s'installer en tant qu'exploitant agricole tout en bénéficiant d'aides publiques à l'installation. A la lumière de notre analyse curriculaire dans la partie 4I de ce chapitre et en nous fondant sur notre expertise de formatrice en agronomie, nous avons pré-supposé que le curriculum BTS APV offrait une palette « d'outils » plus adaptés à la perspective de concevoir des systèmes de culture alternatifs : les étudiants sont *a priori* mieux armés pour résoudre le problème soumis. Nous avons pré-supposé à la lumière de l'analyse de la contribution du réseau « Agronomie-Ecophyto » que la présence d'une action 16 sur le site de l'EPLFPA et *a fortiori* un engagement des enseignants dans ce dispositif favorise l'appropriation de démarches de co-conception de systèmes alternatifs et sécurise les enseignants dans le processus de transposition didactique, malgré des savoirs non stabilisés et des pratiques socio-professionnelles en reconfiguration. Les enseignants peuvent se saisir d'une palette de solutions alternatives possibles concrètes, des références multicritères et des résultats d'évaluations multicritères construites dans le réseau et pour le réseau, permettant de conduire au moins une analyse de la validité des solutions en contexte.

Nous avons souhaité avoir accès au processus de construction des raisonnements agro-écologiques et socio-économiques pour comprendre comment ils émergent, se structurent et se développent ou pas en comparant une filière de Bac pro CGEA et une filière de BTS APV. Nous avons une visée compréhensive qui doit nous permettre de rendre compte du processus de raisonnement complexe. Dès lors, nous avons retenu deux établissements supports :

- un établissement avec une filière bac pro CGEA et sans filière BTS APV,

- un établissement avec une filière BTS APV⁵⁸⁰.

Nous avons ainsi retenu un établissement avec un Bac pro CGEA sdc sans action 16 et un établissement avec une filière BTS APV et un engagement dans l'action 16 (l'enseignant qui prête sa classe y est impliqué). Les enseignants ont accepté de s'engager dans le protocole de recherche à condition ne pas y consacrer plus de deux journées. Enfin, nous avons retenu des établissements à une distance raisonnable (100 km) pour réaliser les recueils dans la journée et y revenir si nécessaire.

Deux phases de travail distinctes dans le temps

La conception de notre modèle de situation-problème est étroitement liée à une mise en scène pédagogique. Le travail de résolution s'est déroulé en deux temps (phase 2 et phase 3⁵⁸¹) cf. figure n°73.

- *Le travail sur la bibliothèque de ressources (phase 2)*

Les élèves/étudiants ont réalisé seuls ou avec leurs camarades une analyse d'un corpus d'informations (bloc d'informations « bibliothèque de références ». Le chercheur n'était pas présent. Quelques jours avant de proposer la situation-problème à résoudre, le chercheur a remis aux enseignants un corpus de ressources (le bloc d'informations « bibliothèque de références »). Le statut du document a été expliqué à chacun des enseignants et les différentes ressources ont été parcourues ensemble, sans insister sur leur contenu, le chercheur a attiré l'attention sur le résultat attendu : les élèves/étudiants devaient lire les ressources en dehors du temps de classe et en extraire une ou deux idées essentielles rédigées dans un cadre prévu à cet effet pour chacune des ressources. La bibliothèque a été distribuée aux élèves/étudiants pour qu'ils s'approprient le contenu. Le chercheur n'était pas présent, les collègues enseignants en sciences et techniques agronomiques participant à l'expérimentation se sont chargés de distribuer les documents papier (et en couleur). Les étudiants (BTS) ont travaillé sans l'aide de leur enseignant, ils ont choisi librement leur configuration de travail. Pour les élèves de Bac pro, l'enseignante a choisi d'accompagner la prise en main des documents avec sa classe (le 15 mars pour la classe de Bac pro et le 17 avril 2013 pour la classe de BTS APV). Le travail sur la bibliothèque a été réalisé au moins trois jours avant de conduire la résolution du problème

- *La résolution de la QSV du cas d'étude (phase 3)*

Le jour de l'expérimentation, le chercheur a distribué la situation-problème que les élèves/étudiants et leur enseignant(e) ont découverte. Le chercheur a conduit seule l'animation de la séance de travail. L'enseignant en agronomie qui avait « prêté » sa classe était présent et devait demeurer en appui très ponctuel. Nous avons convenu que l'enseignant présent devait rester en « retrait » par rapport au chercheur, afin d'être en mesure de gérer seule les malentendus et pour en prendre notes. Les groupes sont choisis à partir de l'expertise de l'enseignant (le 18 mars 2013 pour la classe de BTS APV et le 9 mai 2013 pour la classe de Bac pro CGEA).

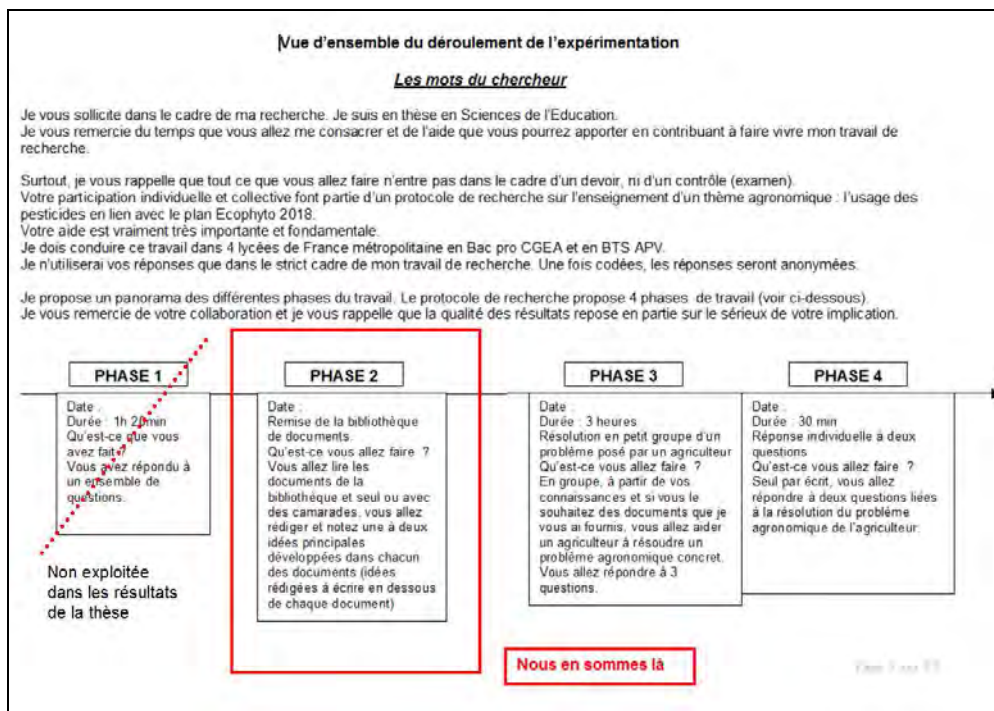
⁵⁸⁰ Il se trouve que dans l'établissement retenu, il n'y a pas de filière bac pro CGEA.

⁵⁸¹ L'expérimentation de notre recherche comprend 4 phases :

- la phase 1 porte sur un recueil de données visant à cerner le système de représentations-connaissances des élèves/étudiants de notre échantillon à propos des pesticides, de leurs alternatives et du plan Ecophyto,
- la phase 2 repose sur un travail d'appropriation d'un corpus de références sur les pesticides et leurs alternatives par les élèves/étudiants,
- la phase 3 correspond au travail de résolution de la situation-problème en groupes,
- et enfin la phase 4 a permis de recueillir des données à chaud des remarques sur la participation des élèves/étudiants au travail de résolution. Nous n'avons pas exploité les données de la phase 1 dans ce manuscrit.

La figure n°73 reprend la présentation donnée aux élèves/étudiants⁵⁸².

Figure n°73 : Le scénario de l'expérimentation



L'expérimentation n'a pas prévu de retour sur la solution proposée par les élèves/étudiants, ni un temps de discussion avec les participants sur le contenu de chacune des résolutions.

Un environnement de travail marqué par la discipline agronomie pour la résolution du problème visant l'élargissement du cadre des références pour prendre des décisions

Nous avons demandé à pouvoir intervenir sur un créneau « normal » réservé aux enseignements d'agronomie pour chacune des deux classes. Nous avons également souhaité la présence des enseignants d'agronomie, dans la mesure du possible. Nous voulions ainsi bien marquer le contexte « agronomique » de l'activité. Dans le chapitre 2, l'état de l'art sur les problématiques de gestion de la « protection des cultures » a montré la nécessité de prendre appui sur le concept de système de culture (Sebillotte, 1990) et de prendre appui sur l'agronomie pour concevoir des systèmes économes en herbicides répondant aux exigences du plan Ecophyto (niveau R) (Aubertot *et al.*, 2005a). Les premiers résultats de l'évaluation à mi-parcours du réseau de fermes DEPHY ont montré que le concept apparaît difficile pour les agriculteurs qui ont du mal à en saisir les facettes (Tercia Consultants, 2013). Les leviers alternatifs aux herbicides sont à effet partiel (Munier-Jolain *et al.*, 2008). Il convient donc de les articuler pour gérer efficacement les adventices (Aubertot *et al.*, 2005a ; Munier-Jolain, *ibid.*). Remettre l'agronomie au cœur des raisonnements est incontournable pour concevoir des alternatives aux pesticides. Mais le raisonnement agronomique n'est pas suffisant pour intégrer le changement de paradigme dans la protection des cultures et pour inscrire les solutions dans le développement durable. Les curricula prescrits et potentiels permettent d'aborder les alternatives aux pesticides, le concept de système de culture et des exemples de systèmes alternatifs, entre autres. Nous avons repéré des mentions explicites à des leviers principaux, secondaires et complémentaires (le désherbage mécanique est souvent cité). Le

⁵⁸² Ce document a été distribué aux élèves et aux étudiants au moment où le travail sur la « bibliothèque » a été demandé. Nous présentons la phase 4 dans la partie 4V de ce chapitre.

concept de système de culture pose cependant encore des difficultés (Gailleton et Moronval, 2013 ; Cancian, Bousquet et Magne, 2013). Les curricula prescrits et potentiels ne font pas mention explicite de la nécessité de considérer les risques/incertitudes de certains savoirs et/ou des références en construction qu'il convient pourtant de mobiliser pour concevoir des alternatives aux pesticides.

Nous cherchons également à voir comment les questionnements sur la dimension agronomique (« les techniques culturales, les leviers») amènent à creuser :

- des aspects économiques liés à la rentabilité, à l'organisation du travail dans l'exploitation et aux agroéquipements, à l'organisation des filières sur le territoire, à la qualité des produits agricoles,

- des considérations liées à la santé humaine, aux interactions des pratiques avec le milieu biophysique, entre autres.

A partir de la situation didactique, nous supposons *a priori* que les concepts « rotation », « itinéraire technique », « levier à effet partiel » et la prise en compte des changements d'échelles⁵⁸³ font partie de la panoplie des savoirs robustes (QR7⁵⁸⁴) (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013) et qu'ils permettent de discuter les effets agronomiques des leviers sur la dynamique de population des vulpins. En se basant sur ce premier questionnement disciplinaire (« *détour* »), les élèves/étudiants devraient élargir le cadre de leurs références pour construire des raisonnements informels et prendre des décisions, en mobilisant d'autres disciplines et d'autres références que celles liées à la technique. Des références produites par des scientifiques, par des professionnels, des pratiques sociales (le débat, l'argumentation informelle par exemple) peuvent venir en appui pour construire de nouveaux savoirs permettant en « *retour* » de résoudre le problème lié à la présence de vulpin résistant. La caractéristique principale de ces savoirs est « *d'être explicitement relié à un contexte* » (Fourez, 1997, p. 221). Des méthodes/concepts/références de différentes disciplines pourraient alors être confrontés dans ce « *détour-retour* » (Fink et Audigier, 2008), contribuant « (...) à renforcer aux yeux des élèves le sens des différentes disciplines et la perception de leur utilité sociale » (Calvet et Vergnolle Mainar, 2011, p. 12). Dans cette configuration, « *les normes de structuration des savoirs proviennent du contexte et du projet qui conduisent à structurer une représentation de la situation* » (Fourez, 1997, p. 222). Les élèves/étudiants confrontés au problème sélectionnent des éléments jugés importants en laissant de côté certains aspects et construisent des « *îlots interdisciplinaires de rationalité*⁵⁸⁵ ».

⁵⁸³ Dans les raisonnements, des changements d'échelles spatio-temporelles devraient être discutés. La gestion des populations de vulpin est à appréhender à la parcelle, à l'échelle de la succession des cultures (lien avec le concept de système de culture) et mais aussi à l'échelle du paysage : par exemple, les pratiques influencent les propriétés du milieu biophysique. En effet, le choix des cultures et des techniques d'implantation de celles-ci vont influencer la circulation de l'eau dans le profil et sa qualité, pouvant générer une concentration de substances responsables de pollution en contrebas.

⁵⁸⁴ QR7 : Peut-on identifier un corpus de savoirs robustes (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013) agronomiques nécessaires pour envisager des alternatives à l'usage des pesticides à l'échelle du système de culture ?

⁵⁸⁵ Un îlot interdisciplinaire de rationalité « (...)est une construction théorique parfois aussi élaborée que des concepts scientifiques disciplinaires, mais qui relève des sciences de terrain ou de la théorisation technologique » (Fourez, 1997, p. 218). Il s'agit d'un savoir construit et déterminé par le contexte. Fourez (1994) évoque « *des connaissances émergeant dans un océan d'ignorance* » (Fourez, 1994, p. 57). L'îlot interdisciplinaire de rationalité est une forme de modélisation de la situation construite par les parties prenantes pour qu'elles soient en mesure de préciser de quoi il s'agit, préalable nécessaire pour prendre des décisions rationnelles. Pour Fourez, « rationnel » signifie que l'on soit en mesure de « *discuter de la situation et prendre des décisions en connaissance de cause* » (Fourez, 1997, p. 219).

- *La notion de savoirs robustes*

Martinand (2007) a d'abord défini la notion de « *savoir robuste* » dans le cadre des enseignements-apprentissages des sciences et des technologies. A l'instabilité des contenus des programmes scolaires résultant des réformes et des politiques, Martinand oppose la notion de savoirs robustes. Ces sont des « savoirs enseignables » (Martinand, 2007, p. 1) « *stabilisés, explicites* » (*ibid.*, p. 3), « *fiabiles et efficaces* » (*ibid.*, p. 1), fiables et efficaces dans le sens où ils sont issus de « *résultats de travaux didactiques* » (*ibid.*, p. 1) : ce sont de vrais outils pour appréhender la complexité des objets de la discipline scolaire et le monde. De son côté, Mayen (2013) rejoint Martinand en précisant que les savoirs robustes ont « *des formes solides, éprouvées, mobilisables* » (Mayen, 2013, p. 262) et qu'ils ont une certaine persistance dans le temps. Dans le cadre de l'enseignement professionnel, les savoirs robustes participent à l'adaptation des futurs professionnels et des professionnels, amenés à être confrontés à une diversité de situations complexes : « « *Robustes* » signifie ici qu'ils sont suffisamment reconnus pour leur pertinence pour les situations futures que les apprenants devraient avoir à vivre dans l'avenir, soit dans leur parcours de formation, soit dans leur parcours professionnel. "Robustes" signifie aussi que ces savoirs constituent des éléments consistants, que l'on va retrouver dans un ensemble de situations d'apprentissage ou d'action (et donc de réflexion) et qui sont de nature à éclairer et à outiller la compréhension, l'action et l'apprentissage. "Robustes" signifie encore que ces savoirs ne vont pas être soumis à une obsolescence rapide, ni être voués à l'oubli faute de trouver le moindre usage dans une activité professionnelle, éducative, culturelle ou sociale » (Mayen, 2013, p. 261).

Une résolution du problème à l'oral et en collaboration

Le langage est un instrument psychologique qui organise le développement des fonctions cognitives supérieures (Vygotsky, 1933/1985, cf. chapitre 3). Les échanges langagiers interpersonnels favorisent les apprentissages qui vont développer et structurer le développement de fonctions psychiques supérieures comme les raisonnements. Les apprentissages vont se situer dans une zone de développement proche. Les interactions entre pairs et avec le référent⁵⁸⁶ vont permettre la construction de raisonnements collectifs (fonction psychique interpersonnelle), allégeant⁵⁸⁷ le travail de résolution du problème complexe. Il apparaît donc important d'être vigilant aux processus qui se déroulent durant ce moment d'appropriation collective. En effet, cette étape-clé va préparer la phase d'appropriation

⁵⁸⁶ Dans notre expérimentation, il s'agit du chercheur et/ou très ponctuellement de l'enseignant d'agronomie qui a « prêté » sa classe. Dans le cadre des enseignements-apprentissages, considérer l'enseignant comme un référent, c'est-à-dire comme un point d'appui pour aider à structurer des apprentissages collectifs sur des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques adaptés, suppose qu'il ait lui-même construit des connaissances dans une zone de développement proche. Les enseignants d'agronomie, entre autres, se déclarent désarmer face à la perspective de concevoir des situations éducatives pour enseigner-apprendre à produire autrement avec moins de pesticides. Il convient d'inscrire à la fois des solutions dans le développement durable et de prendre appui sur des principes de l'agro-écologie. La polysémie des deux concepts complique la transposition didactique. Au moins, pour la co conception de systèmes innovants économes en pesticides, des démarches situées de co conception des systèmes alternatifs aux pesticides ont été construites, impliquant les enseignants dans le réseau « Agronomie-Ecophyto » (cf. partie 4I de ce chapitre).

⁵⁸⁷ Ce travail collectif illustre la notion de cognition distribuée (Hutchins, 1995). Les aspects pertinents retenus et explorés pour la résolution apparaissent distribués (les participants, l'outil « bibliothèque », les autres ressources mobilisées par les élèves/étudiants), permettant aux participants de se concentrer sur certaines tâches complexes comme l'analyse multicritère de certains leviers et/ou de leur combinaison. Cette configuration évite la surcharge cognitive qui peut conduire au découragement face à une activité apparaissant inaccessible, voire à l'impossibilité de la résoudre (blocage cognitif).

individuelle⁵⁸⁸ : le raisonnement va devenir une fonction intrapsychique (Vygotsky, 1933/1985). Dans notre recherche, il convient alors de mettre en lumière ce qui peut gêner et/ou favoriser la construction et l'appropriation des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques adaptés pour concevoir des alternatives aux pesticides. La résolution à l'oral permet par conséquent d'avoir accès à des facettes du raisonnement à partir des interactions discursives structurant le processus d'argumentation collectif.

3.2. Construction de blocs de sens

Nous avons travaillé ce concept de chunk (cf. chapitre 3) à deux niveaux, en construisant des blocs de sens qui prennent la forme de trois trames écrites. Nous avons également travaillé des unités de sens à l'intérieur de ces trames pour rendre l'information plus facilement accessible.

Trois trames écrites structurées sous la forme de blocs de sens, prenant appui sur les 5 blocs d'informations

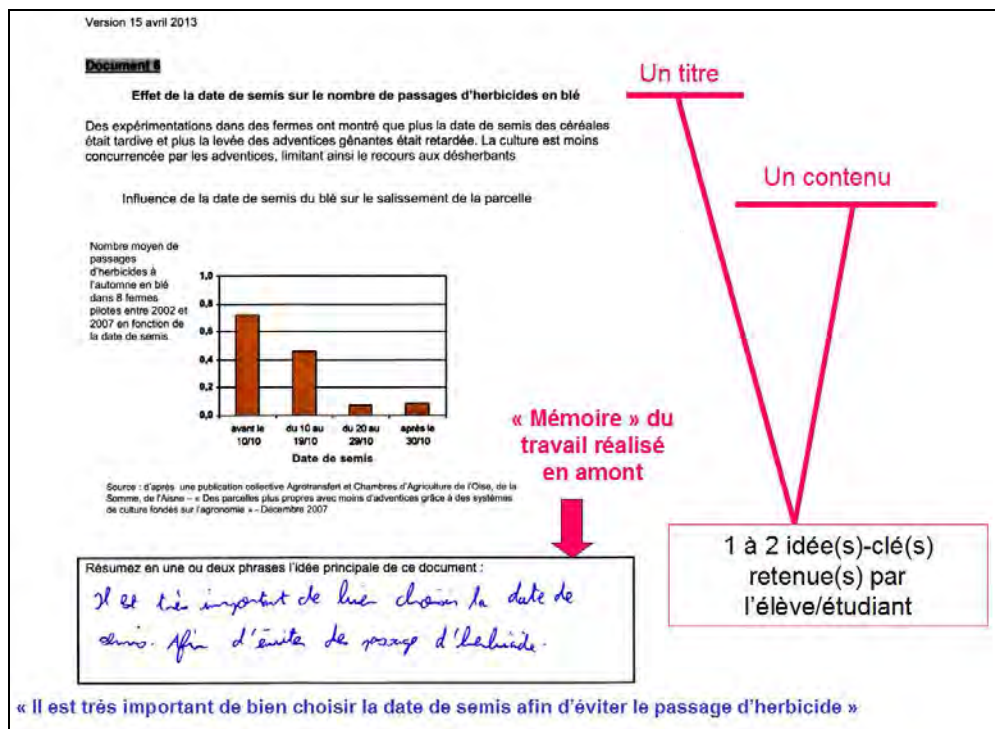
Le trois trames qui vont mettre en activités (la bibliothèque, le corps de la situation-problème, la problématique associée aux consignes) correspondent à trois blocs de sens : la bibliothèque correspond au bloc de sens références des alternatives et leur analyse multicritère, le corps de la situation-problème rassemble des données factuelles caractérisant le cas d'étude, les consignes/problématisation précise ce qui est attendu.

- *La mise en activités sur la bibliothèque*

La bibliothèque permet d'explorer (de rappeler à la mémoire et/ou de découvrir) des performances d'alternatives aux pesticides et renseigne également sur des stratégies de lutte chimique. Le travail demandé en amont vise un encodage de l'information dans la mémoire à long terme pour que celle-ci soit stockée et mobilisable si elle est jugée nécessaire lors de la résolution. Nous avons construit une trame qui permette un rappel rapide à la mémoire (mémoire sémantique) cf. figure n°74.

⁵⁸⁸ Dans le chapitre 3, nous avons vu que les processus de développements cognitifs se poursuivent au-delà du temps d'apprentissage.

Figure n°74 : La trame de la bibliothèque organisée pour garder la « mémoire du sens »



- *Le choix d'un ordre de présentation des sources dans le bloc « bibliothèque »*

Nous avons déjà évoqué dans le paragraphe précédent l'organisation interne des informations dans cette bibliothèque (nous avons repéré des catégories de ressources par des couleurs différentes dans le tableau n°22). Nous avons également réfléchi à l'ordre des ressources qui pourraient être utiles et pertinentes au cours de la résolution du problème de l'étude : les deux premiers documents préparent l'entrée dans la résolution. Le document 1 réitère l'information sur la résistance des vulpins et énonce déjà des pistes de solution : il y a un problème, il faut le résoudre (document1). Le document 2 présente de manière simple une démarche de construction d'alternatives aux pesticides à partir de « paroles » d'agriculteurs : les alternatives existent et un agriculteur témoigne de son expérience en matière de leviers à mobiliser.

Nous avons ensuite organisé les sources par thème pour faciliter le travail d'exploration, et avec des récurrences (pesticides et témoignages d'alternatifs) :

- une référence pesticides (doc1),
- une référence témoignage d'alternatif (doc2),
- deux références pesticides (doc3a-3b),
- 5 références leviers alternatifs (doc4-5-6-7-8)- une référence pesticides (doc9) qui invite à considérer des aspects toxicologiques et écotoxicologiques en lien avec l'usage des produits phytosanitaires,
- une référence (témoignage d'alternatifs doc10) qui pointe les risques de l'usage des pesticides sur la santé humaine,
- une référence sur la biologie/écologie de l'adventice (doc11). Nous l'avons isolée volontairement.

Nous avons choisi de constituer au milieu du corpus un bloc de références illustrant les performances des leviers. Les informations sont reprises de différentes manières pour certaines et convergent (l'efficacité de l'allongement de la rotation est présente dans cinq documents doc1, doc2, doc4, doc5, doc8). Nous pensions faciliter les « allers retours » entre le bloc « références des alternatives », le document sur la biologie et le cas.

- *La mise en activité à partir du cas d'étude « corps de la situation-problème »*

Nous avons rassemblé dans cette trame un certain nombre d'informations permettant de donner une « image » simple du fonctionnement de l'exploitation et du système de culture étudié. Nous avons commencé par des données familières comme le contexte pédoclimatique, l'assolement et la rotation. Elles sont, selon nous, vite traitées. Nous nous sommes pour cela fondée sur notre expertise des pratiques des enseignants en agronomie, sur notre expertise des curricula de la seconde professionnelle en productions végétales et agroéquipements⁵⁸⁹. Ces informations sont abordées de manière récurrente et constitue un bloc de sens. Nous avons réservé des informations plus complexes à la fin du document.

- *La proximité du bloc problématisation avec une partie du bloc consignes*

Nous avons fait le choix⁵⁹⁰ de prendre en charge une partie de la problématisation. Nous avons repris les idées-clés du problème pour en faciliter l'appropriation par les élèves/étudiants. Nous donnons deux raisons à cela :

- nous ne pouvions disposer qu'une plage horaire de trois heures. Les enseignants n'ayant accepté de consacrer que 2 journées à l'expérimentation (nous les avons déjà mobilisés sur près des ¾ du crédit temps consenti). La problématisation aurait du être construite par les apprenants : c'est un des intérêts de conduire des enseignements-apprentissages à partir d'une situation-problème. Les élèves/étudiants entrent dans un problème dont ils ont construit le questionnement pour lequel les réponses à construire ont un intérêt à leurs yeux. Cette phase est longue et mobilise fortement l'attention. La problématisation ainsi prise en charge a permis d'impliquer très vite les élèves/étudiants dans la résolution du problème posé. Nous n'avions pas plus de deux heures et nous avons estimé *a priori* cette durée nécessaire pour aboutir à un résultat ;
- nous avons placé ces informations, tout près des consignes pour mettre au travail. La proximité du bloc problématisation permet de réitérer les informations-clés, enjeux de la construction d'une solution. Nous avons supposé que les ressources cognitives étaient alors davantage orientées vers les objectifs de la résolution.

Des sources d'informations brutes retravaillées dans la bibliothèque et dans le corps de la situation-problème

- *Prévenir la saturation cognitive*

Nous avons éliminé des informations qui ne nous paraissaient pas utiles pour la résolution du problème dans les conditions de l'expérimentation. Nous avons par exemple simplifier la forme du schéma décisionnel (cf. annexe n°10 pour voir un schéma décisionnel dans les règles de l'art). Nous avons retravaillé le scripto visuel des documents sources par exemple le document 10 (cf. figures n°75 et n°76).

⁵⁸⁹ Il s'agit de la seconde professionnelle qui permet d'accéder directement aux filières professionnelles du Bac pro CGEA cf. partie 4I sur l'analyse curriculaire.

⁵⁹⁰ Nous revenons dans la discussion sur ce choix méthodologique et sur l'intérêt de proposer un modèle de structure pour concevoir une situation-problème.

Figure n°75 : Le document n°10 avant d'avoir éliminé et retravaillé des informations

News sur le site de l'association écologiste au sujet du rapport d'expertise produit par l'INRA et le Cemagref « Pesticides, agriculture et environnement » (2005).

Sur le site du MDRGF - Mouvement pour le Droit et le Respect des Générations Futures - mouvement écologiste. En bleu texte italique citation du rapport.

Un rapport sérieux et courageux.
Nous avons eu le plaisir de constater que nombres des arguments mis en avant par les partisans d'une nécessaire réduction de l'utilisation des pesticides depuis des années ont été repris dans ce rapport.

1. Des risques pour la santé.
Ainsi, il est reconnu que « *les risques pour la santé humaine (des pesticides) apparaissent suffisamment plausibles pour être mentionnés dans tous les rapports et le plan Santé-Environnement et pour justifier le lancement d'études épidémiologiques et la commande d'une expertise à l'INSERM.* ».
(...)

3. Réduire l'usage des pesticides!
Ce rapport met surtout en avant « *la nécessité de réduire les utilisations de pesticides pour en limiter les impacts* », allant en cela au delà des simples limitations de la dispersion des pesticides dans l'environnement ou du raisonnement des traitements. En publiant ce rapport, l'INRA se rapproche donc des positions du Parlement Européen qui avait demandé, en 2002, l'adoption d'une Directive pour la réduction de l'utilisation des pesticides en Europe.
(...)

Figure n°76 : Le document n°10 après avoir retravaillé des informations

News sur le site d'une association écologiste au sujet du rapport d'expertise produit par l'INRA et le Cemagref « Pesticides, agriculture et environnement » (2005).

Sur le site du MDRGF - Mouvement pour le Droit et le Respect des Générations Futures - mouvement écologiste. En rouge les propos de l'association, en bleu texte italique citation du rapport.

L'association reconnaît « **un rapport sérieux et courageux** ».

L'association reprend et insiste sur « **les risques pour la santé.** »
Ainsi, il est reconnu que « *les risques pour la santé humaine (des pesticides) apparaissent suffisamment plausibles pour être mentionnés dans tous les rapports et le plan Santé-Environnement et pour justifier le lancement d'études épidémiologiques et la commande d'une expertise à l'INSERM.* ».
(...)

L'association invite à « **réduire l'usage des pesticides dans l'agriculture** ».
(...)

Nous avons supprimé du texte et mis en relief des informations en rouge.

- *Prise en compte du principe du double codage de l'information et présentation des informations*

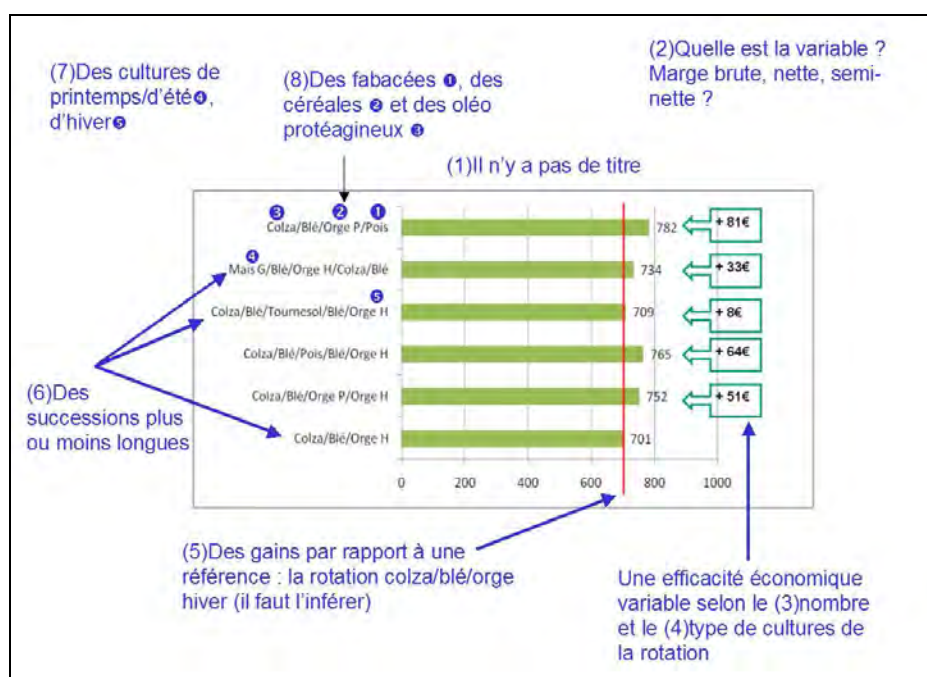
Les figures n°77 et n°78 montrent comment à partir d'un document brut complexe retenu pour les informations diversifiées qu'il contenait, nous avons retravaillé la forme. Il était intéressant pour :

- un indicateur de performance économique familial, la marge (le document ne précise pas de quelle marge il s'agit),
- la comparaison sur le plan économique de diverses rotations plus ou moins diversifiées. la rotation du cas d'étude est représentée « colza/blé/orge hiver » et y sert de point de comparaison ;

- l'illustration de configurations d'allongement de la rotation avec l'introduction cultures type fabacées et l'alternance de culture de printemps/été avec des cultures d'hiver,
- la présentation « visuelle » d'informations sous la forme d'un diagramme en bâton et de texte (activant des différents moyens d'encodage cf. double encodage dans le chapitre 3).

Figure n°77 : Figure initiale avec des commentaires (en bleu)

Le schéma est apparu riche. Nous avons repéré 8⁵⁹¹ points qui méritent d'être étudiés (numérotées et entre parenthèses dans la figure). Pour la plupart, ils exigent un temps d'interprétation (mobilisation d'une partie de la mémoire de travail pour comprendre la forme de l'information présentée).



Nous avons conservé les mêmes références pour les chiffres dans les deux documents.

Nous avons précisé un titre (1), fait référence à l'indicateur « marge nette » (2). Nous avons mis en évidence :

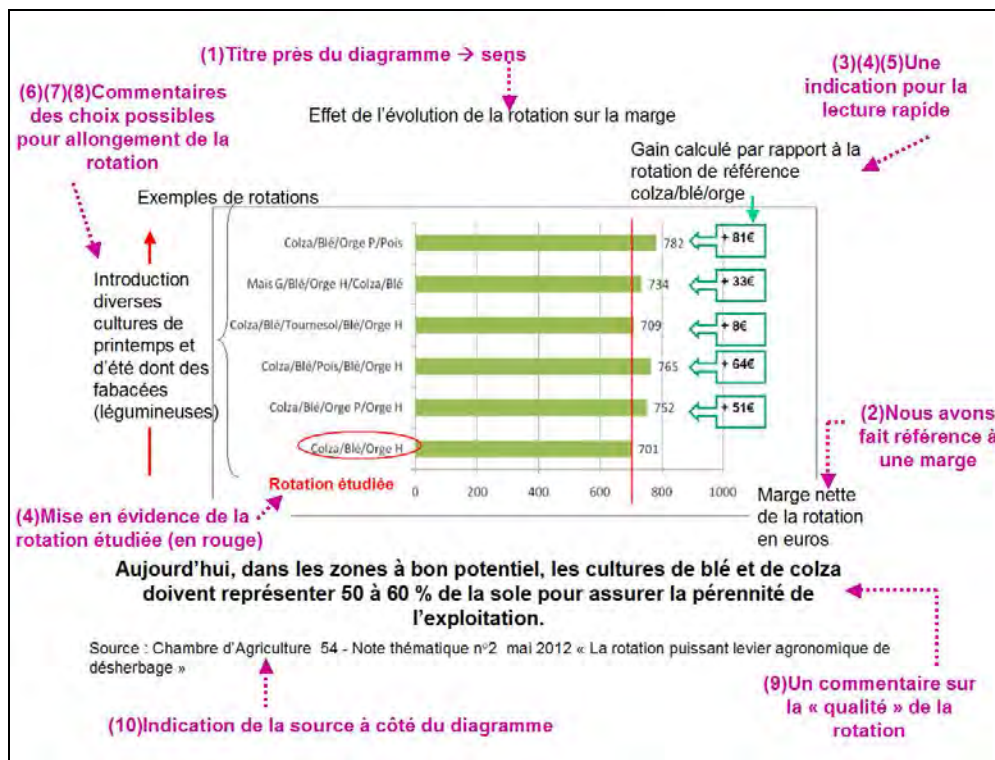
- le positionnement de la rotation étudiée (3)(4)(5) et donné des indications pour repérer les facteurs étudiés (gain économique par rapport à la référence),
- l'allongement de la rotation avec l'introduction de fabacées et le principe d'alternance des cultures [printemps/été] (6)(7)(8).

A chaque fois, nous avons veillé à illustrer l'information visuelle avec un texte à proximité (double encodage et facilité de lecture). Par exemple, nous avons rappelé par la même couleur (rouge) des informations sur la rotation de référence (« rotation étudiée » et ligne verticale signalant les gains positifs).

Nous avons ajouté un point supplémentaire concernant une proportion de cultures dans la rotation garantissant une certaine efficacité économique (9). Nous avons également placé la référence de la source (10) (illustration de la distribution des savoirs).

⁵⁹¹ Le nombre de chunks est dans la plage proposé par Miller (1956) : 7 ± 2 .

Figure n°78 : Figure retravaillée avec des commentaires (couleur bordeaux)



4. La validité interne et externe de notre démarche de recueil de données

*La validité interne*⁵⁹² de notre démarche de recueil de données à partir de la situation-problème

La démarche de recherche prend appui sur un ensemble de considérations imbriquées et indissociables sur des savoirs en lien direct avec la QSV (savoirs de référence et démarches professionnelles), et sur des dimensions relatives à « l'enseigner-apprendre » des questions socialement vives. La situation-problème vise la construction et l'approfondissement de raisonnements informels, agro-écologiques et socioéconomiques.

- La forme de notre dispositif repose sur la conception socio constructiviste des apprentissages que nous revendiquons : les interactions sociales sont médiatrices des apprentissages, le langage est instrument social et psychologique du développement de fonctions psychiques supérieures comme la pensée, les raisonnements. Nous avons conçu un dispositif qui met les élèves/étudiants en situation d'interactions avec leurs pairs et des référents et de construction de connaissances en situation (cognition située).
- La configuration de travail collaborative mêlant des publics qui n'ont *a priori* pas les mêmes points de vue sur les pesticides dans l'agriculture amènent des échanges et la construction d'argumentations et de raisonnements informels agro-écologiques et socioéconomiques (SAR) pour résoudre la QSV.

⁵⁹² Nous n'avons pas pu conduire un test de la situation problème avant de réaliser l'expérimentation.

L'analyse de la prescription curriculaire a révélé des tensions entre les enjeux du cadre « produisons autrement » et les référentiels prescrits et potentiels. Nous y avons relevé des faiblesses dans les prescriptions concernant la nécessaire intégration dans les raisonnements de la pluralité des références au-delà des considérations technico-économiques, du caractère non stabilisé de certains savoirs émergents, des risques perçus par les parties prenantes.

Avoir accès au processus de construction de SAR permet de capter les arguments fondés sur des contenus disciplinaires liés à la QSV, entre autres. Nous souhaitons voir comment les élèves/étudiants se sont appropriés des concepts et/ou des démarches agronomiques, mais également comment ils se positionnent par rapport à la QSV (les risques identifiés, les dimensions considérées) et ce qui interfère dans la construction de SAR adaptés. Les activités conduites à partir de la situation-problème aident les élèves/étudiants à cerner des enjeux de la question de la réduction des pesticides pour faire des choix et considérer les implications de ceux-ci. La conduite de l'exercice scolaire a une visée professionnelle dans la mesure où ils doivent co construire un système de culture économe en pesticides et durable satisfaisant trois niveaux de performances (économiques, environnementales et sociales) : nous nous sommes appuyée sur les curricula prescrits et potentiels (Bac pro CGEA et BTS APV). Nous retenons également une visée d'éducation à la citoyenneté dans la mesure où les discussions entre pairs et éventuellement avec les référents amènent les apprenants à clarifier leur point de vue et à prendre des décisions en responsabilité en confrontant les choix individuels et leurs effets sur les sociétés.

- Nous avons tenu compte de la nature de la QSV agronomique. Dans les trois trames, nous avons veillé à faire des références à des savoirs stabilisés (la biologie du vulpin, des efficacités de leviers), à des savoirs en construction (des références systèmes), controversés (effets sur la santé), à des savoirs pluriels (agronomiques, économiques, biologiques/écologiques, environnementaux, réglementaires, sociaux, en lien avec la santé, ..), et distribués (issus de la recherche, du développement, des pratiques des agriculteurs, des profanes dont les ONG). Nous avons mis à disposition une bibliothèque de références sur des données techniques et agronomiques nécessaires pour résoudre un problème de pratique agricole en lien avec des concepts sur la santé des plantes et la dynamique des biogresseurs. Nous nous sommes en particulier appuyée sur des principes de la production intégrée (combinaison d'alternatives aux pesticides [levier] à effet partiel, hiérarchie et combinaison de leviers).
- Nous avons pris appui sur des démarches mobilisées dans le cadre de la mise en œuvre du plan Ecophyto et du projet « agricultures, produisons autrement ». Des informations issues de l'action 14 (du réseau DEPHY) nous ont donné des indications sur les démarches d'accompagnement : un travail de co construction mêlant plusieurs agriculteurs, accompagnés par des référents (ingénieurs, conseillers agricoles) (Cerf *et al.*, 2012a et 2012b⁵⁹³ ; Auricoste *et al.*⁵⁹⁴, 2009). Des informations issues de l'action 16 développée dans le réseau « Agronomie-Ecophyto » nous ont inspirée dans le choix d'un format de présentation des données du problème. Nous avons également retenu nos terrains d'étude en lien avec des résultats issus de l'action 16 (implication des enseignants dans l'action 16 facilitant la construction de situations éducatives pour promouvoir des alternatives aux pesticides) (MAAF-DGER-IEA, 2013).

⁵⁹³ Cerf, Omon, Barbier, David, Delbos, Gagneur, Guillot, Lusson, Minas, Mischler, Olry, et Petit, 2012a
Cerf, Omon, Barbier, David, Delbos, Gagneur, Guillot, Lusson, Minas, Olry, et Petit, 2012b.

⁵⁹⁴ Auricoste, Compagnone, Albaladejo, Cerf, et Lardon, 2009

- Enfin, nous avons pris appui sur des résultats de recherche en sciences cognitives pour construire nos documents écrits pour les mises en activités des élèves/étudiants (le fonctionnement de la mémoire et la surcharge cognitive, la construction d'unités de sens).

Assurer la validité externe

Nous n'avons pas envisagé une démarche de co construction du scénario didactique. Nous nous sommes appuyée sur des enseignants dont la charge d'enseignement était importante et qui ne pouvaient pas s'engager dans un travail itératif de co construction. Nous avons présenté les contenus de notre expérimentation que nous avons explicitées et discutées au cours de différents séminaires de recherche (séminaires internes à l'UMR EFTS sur la didactique des QSV, séminaires externes dans le cadre du projet de recherche Didacphyto, rencontres formelles avec des chercheurs (INRA), proposition d'une communication scientifique dans le cadre d'un appel à communication au colloque international ESERA (acceptée)). Nous avons croisé des regards en Sciences de l'Education (didactiques), en sociologie et en sciences agronomiques afin de construire la validité interne de notre dispositif. Pour ce qui concerne, la validité externe, les résultats obtenus seront à confirmer sur d'autres échantillons

La situation-problème doit favoriser l'émergence de SAR, il convient d'être en mesure d'évaluer leur qualité. Nous présentons la grille que nous avons construite *a priori* pour analyser la complexité des SAR dans la partie 4III de ce chapitre dédié aux méthodologies de notre recherche.

Chapitre 4

Partie 4IV La définition des niveaux de complexité des raisonnements

Nous avons proposé dans la partie précédente un modèle de situation-problème dont l'objectif est de faire émerger la construction de raisonnements informels agro-écologiques et socioéconomiques (SAR). Dans ce sous-chapitre, nous instruisons la question de recherche QR6' formulée à la fin du chapitre 3. Nous proposons dans la première partie, une grille d'analyse des SAR à partir de critères et d'indicateurs définis *a priori*. Nous explicitons dans une deuxième partie les types d'arguments pour évaluer *a priori* les SAR. Dans une troisième partie, en prenant appui sur notre corpus de données, nous proposons une nouvelle grille d'analyse avec onze niveaux de complexité des SAR. Enfin dans une quatrième et dernière partie, nous discutons la validité de notre démarche et la grille.

Rappel de la question de recherche QR6 reformulée

QR6 reformulée : Comment traduire dans la grille d'analyse et d'évaluation la complexité des SAR attendus ?

Notre question de recherche vise à caractériser comment les élèves/étudiants envisagent les solutions alternatives aux pesticides pour protéger les cultures, comment ils raisonnent en prenant appui sur des arguments agronomiques pertinents et sur des pratiques de l'agriculteur (M. Sorot) dans un contexte pédoclimatique donné, tout en combinant des considérations économiques, sociales, environnementales, réglementaires entre autres. Nous attendons des raisonnements qui proposent des solutions pour gérer des problèmes de salissement dus à des populations de vulpins résistants dans les parcelles du système de culture du cas étudié. Les solutions proposées doivent correspondre au niveau de rupture N2c (Bultault *et al.*, 2010) pour satisfaire l'objectif de réduction de moitié des usages des produits phytosanitaires visé à terme par le plan Ecophyto (cf. chapitre 2).

Dans un premier point, nous proposons un ensemble de critères et une grille pour évaluer *a priori* la qualité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques (SAR) attendus. Dans un deuxième point, nous définissons les types d'arguments attendus *a priori* pour évaluer les SAR et nous expliquons comment les premiers tests sur le corpus de données nous ont conduit à circonscrire une « unité d'analyse » des SAR et une modélisation des argumentations pour rendre compte du processus de construction des raisonnements attendus. Dans une troisième partie, nous présentons la grille d'analyse des onze niveaux de complexité des SAR que nous avons retenus. Enfin dans une quatrième et dernière partie, nous discutons la validité de notre démarche nous amenant à une proposition de grille d'analyse et d'évaluation des SAR.

1. Critères et indicateurs pour évaluer *a priori* la qualité du raisonnement agro-écologique et socioéconomique (SAR) des élèves/étudiants

1.1. Des raisonnements sur la dimension agro-écologique et la prise en compte de la complexité sur d'autres dimensions

Le niveau de rupture N2c correspond au niveau R (reconception) du cadre de Hill et MacRae (1995). Des leviers alternatifs aux pesticides sont à mobiliser à l'échelle de la succession culturale (rotation) et ce sont les règles de décision pour la conduite du système de culture qui sont à redéfinir : l'acteur « agriculteur » pilote le système de culture et il doit être impliqué. Les leviers alternatifs sont à effet partiel, il convient alors de les combiner de manière cohérente et pertinente pour garantir une efficacité satisfaisante. Les raisonnements doivent au moins prendre appui sur des principes de la protection intégrée pour laquelle l'utilisation des pesticides n'est envisagée qu'en dernier recours si les mesures prophylactiques et les combinaisons de leviers ne parviennent pas à contenir les populations de bioagresseurs.

Dans le cadre de notre étude de cas, les performances du système de culture doivent satisfaire quatre niveaux d'exigences :

- sur le plan technique, les leviers contrôlent effectivement et efficacement les populations de vulpins ;
- sur le plan économique, le niveau de production du nouveau système de culture doit être conforme aux résultats attendus et le revenu permettre la pérennité de l'activité ;
- sur le plan environnemental, le nouveau système doit réduire les impacts négatifs des activités agricoles sur l'environnement, préserver les ressources et favoriser l'expression des fonctions écologiques ;
- sur le plan social, les conditions de travail et la santé de l'agriculteur ne doivent pas être dégradées, les objectifs du système doivent tenir compte de demandes sociétales en termes de qualité des milieux et des produits entre autres.

Les raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques doivent contribuer à faire émerger des solutions contribuant au développement durable et s'inscrire dans une perspective de transition agro-écologique.

1.2. Première grille d'évaluation de la complexité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques inscrits dans le développement durable (SAR)

Nous proposons une première grille (cf. tableau n°25) définissant deux critères et des indicateurs pour rendre compte de la complexité des SAR produits lors de la résolution de la situation-problème proposée.

Un premier critère caractérise le raisonnement sur la dimension agro-écologique. Le deuxième critère s'intéresse aux raisonnements qui se peuvent se fonder sur des dimensions économiques, sociales, politiques, réglementaires, entre autres.

Tableau n°25 : Première grille d'analyse de la complexité des SAR

Critères	Indicateurs de la complexité du raisonnement
Le raisonnement sur la dimension agro-environnementale	<ul style="list-style-type: none"> - les principes de la protection intégrée <ul style="list-style-type: none"> * principes explicités et utilisés à bon escient, - la notion de levier <ul style="list-style-type: none"> * leviers cités, explicités⁵⁹⁵, utilisés à bon escient, c'est-à-dire discutés en termes d'efficacité (les effets et les intérêts explicités de leur mise en œuvre dans la situation) <ul style="list-style-type: none"> * domaine de validité des leviers : le levier est efficace pour le problème à gérer et ses conditions de mise en œuvre sont discutées dans le contexte situé * hiérarchisation des leviers : les leviers sont discutés en termes de hiérarchie d'efficacité (principal, secondaire et complémentaire), * articulation des leviers et interactions entre les leviers explicités * conséquences agronomiques, environnementales des propositions envisagées - les échelles du raisonnement (parcelle, système de culture, exploitation, campagne culturale, rotation, paysage) - la caractérisation de la stratégie de protection proposée par rapport au cadre E.S.R. <ul style="list-style-type: none"> * le niveau de dépendance aux pesticides discuté
La prise en compte de la complexité sur d'autres dimensions	<ul style="list-style-type: none"> - des dimensions socio-économiques considérées <ul style="list-style-type: none"> * la solution retenue est discutée (justifications, conséquences et des conditions sont précisées) - la prise en compte dans l'argumentation des objectifs de l'agriculteur et des éléments du contexte

Cette première grille nous donne un cadre pour expliciter des arguments attendus dans les argumentations qui vont structurer la construction des raisonnements lors de la résolution du cas de l'étude. Ce préalable nous permet de définir des critères de caractérisation des SAR attendus dans la perspective d'évaluer la complexité des raisonnements produits par les élèves/étudiants.

Dans notre étude de cas, l'impasse technique décrite amène les élèves/étudiants à envisager des alternatives à la lutte chimique dont le recours systématique fonde la cohérence du système de culture de l'agriculteur pour gérer la population de vulpin. Pour cela, dans une première partie, nous explicitons les éléments sur lesquels nous nous appuyons pour préciser les types d'arguments et la structure des argumentations attendus *a priori*. Nous listons ensuite les types d'argumentation attendus.

2. Types d'arguments définis *a priori* pour évaluer les SAR

Nous définissons les éléments considérés et leur justification pour définir les types d'argumentation susceptibles d'être produits par les élèves/étudiants au cours de la résolution de la situation-problème dans un premier point et les arguments et argumentations attendus *a priori* dans un deuxième point. Dans un troisième point, nous présentons une modélisation des argumentations après une première confrontation de la grille d'analyse au corpus.

⁵⁹⁵ Par exemple, dans le contrôle culturel, le labour est un levier alternatif à la lutte chimique. Mais, différentes déclinaisons de ce levier en situation sont possibles : un labour tous les ans en automne/hiver ou au printemps, un labour 1 année sur 3, un labour tous les 4 à 5 ans, un labour réalisé à une profondeur de 25 cm à 35 cm ou un labour réalisé entre 15 et 20 cm...

2.1. Contours des éléments considérés pour préciser les types d'argumentations *a priori*

Nous présentons et discutons trois éléments attendus dans les argumentations. (i) Les objectifs de l'agriculteur, (ii) les arguments agronomiques, (iii) la pluralité des domaines d'appui des arguments (agronomique, économique, social, etc.) que les élèves/étudiants devraient mobiliser sont des aspects incontournables.

(i) La prise en compte des objectifs de l'agriculteur

Nous avons retenu un cas d'étude assez proche de la réalité. Pour cela nous avons identifié un système agricole, décrit le contexte d'exercice, et nous avons précisé des objectifs de fonctionnement et des résultats attendus par le pilote du système, M. Sorot. Gérer des populations de vulpins résistants dans l'exploitation agricole de M. Sorot est un problème agronomique complexe à résoudre. Parmi les données du contexte situé, la confrontation des propositions des élèves/étudiants aux objectifs et/ou aux résultats attendus de l'agriculteur, nous apparaît essentielle et conditionne la validité des propositions. Cet aspect est incontournable car une exploitation agricole est considérée comme un « système piloté » (Capillon et Sebillotte, 1982 ; Bonneville, Jussiau et Marshall, 1989 ; Brossier, Chia, Marshall et Petit, 1997). Les stratégies de gestion des activités reposent sur des combinaisons de routines (des actions réalisées de la même manière et par habitude) et sur des règles de décision (qui permettent d'adapter des décisions selon les conditions du contexte de réalisation (Carpentier, Dedryver, Reau, et Volay, 2009). Elles sont dans la situation-problème remise en cause.

Une modélisation du comportement des agriculteurs a été proposée à partir du modèle d'action (Duru, Papy, et Soler, 1988 ; Sebillotte et Soler, 1988). Ce dernier rend compte du processus qui à partir d'un projet général aboutit à des pratiques observées. Il précise la logique des actions des agriculteurs et de l'adaptation de ces actions au cours de leur réalisation. (Cerf *et al.*, 1998). Le projet général est défini par des objectifs généraux des acteurs, un programme prévisionnel, et par un corps de règles de décision⁵⁹⁶ (Sebillotte et Soler, 1988, 1990).

Les objectifs et les règles de décision sont au cœur de ce processus. La résolution du problème doit amener les élèves/étudiants à prendre appui sur des objectifs et des résultats attendus de l'acteur et à les discuter car « *les agriculteurs ont de bonnes raisons de faire ce qu'ils font* » (Petit, 1981). Cette approche explicative repose sur le principe de la rationalité limitée des acteurs (March et Simon, 1979) et invite à prendre en compte le point de vue des acteurs sur « leur propre situation ». La théorie du comportement adaptatif des agriculteurs (Brossier *et al.*, 1997) pose la cohérence entre les objectifs des producteurs, les moyens dont ils disposent et la représentation qu'ils se font de la situation (Brossier, 1980). Dans le cadre de cette théorie, des travaux ont cherché à comprendre « *le comportement parfois inattendu des agriculteurs face à l'innovation et notamment le fait qu'ils n'adoptent pas automatiquement les propositions de la recherche agronomique et ne se comportent pas forcément en décideurs rationnels cherchant à maximiser un profit ou un revenu (...)* » (Laurent, Maxime, Mazé et Tichit, 2003, p. 137). Dans les systèmes complexes, le processus de décision se déploie en trois phases (Simon, 1955 ; Le Moigne, 1999) :

- l'identification du problème à résoudre,
- la conception de solutions possibles, si les solutions des routines ne permettent pas de résoudre le problème identifié,

⁵⁹⁶ Une règle de décision « *définit pour chaque étape du déroulement du programme, la conduite à tenir face aux événements dont l'agriculteur perçoit la réalisation comme possible* » (Landais, Balent, 1995, p. 30) cf. partie 4III de ce chapitre

- une phase de sélection multicritère et d'évaluation des solutions possibles.

La solution qui sera retenue est en adéquation avec le système de valeurs de l'acteur et avec le milieu social d'insertion (Darré, 2004). Par rapport à des objectifs que l'acteur s'est fixé, la solution apparaît donc comme la plus pertinente par rapport à son projet et à son modèle de règles de décisions (Sebillotte et Soler, 1990). Dans le cas de notre QSV, il s'agit de voir si les élèves/étudiants intègrent la nécessaire implication de l'agriculteur dans le processus de changement. Le système piloté par l'agriculteur ne peut pas évoluer vers des formes d'agriculture plus économes en pesticides sans lui. Le fonctionnement de son système est le résultat d'« *un enchaînement de prises de décisions dans un ensemble de contraintes, en vue d'atteindre un ou plusieurs objectifs qui régissent des processus de production et que l'on peut caractériser par des flux divers au sein de l'exploitation, d'une part, entre elle et l'extérieur, d'autre part* » (Capillon et Sebillotte, 1982, p. 88).

La validité des solutions que les élèves/étudiants proposent doit être discutée en prenant appui sur le contexte situé : ce sont des aspects économiques, sociaux, environnementaux, réglementaires et des aspects liés aux pratiques de l'agriculteur et au système de règles de décision qui les régissent. Ce contexte situé impose des contraintes et/ou défavorise l'émergence d'alternatives. Ainsi, la prise en compte des objectifs/résultats des agriculteurs est un indicateur de la qualité des raisonnements développés (en termes de validité) pour résoudre le problème.

Dans leur rapport traçant les lignes du projet agro-écologique pour la France, Guillou *et al.* (2013⁵⁹⁷) insistent sur la nécessité de concilier et d'articuler des performances sur le plan économique et environnemental dans les systèmes de productions agricoles, tout en veillant à l'acceptabilité sociale⁵⁹⁸ des projets mettant en œuvre concrètement l'agro-écologie. Dès lors, il est nécessaire d'impliquer les agriculteurs, maîtres d'œuvre des pratiques dans la transition vers des systèmes alternatifs et pilotes des systèmes dans lesquels le changement devrait s'opérer (cf. chapitre 2). Des travaux conduits par le réseau mixte technologique SdCI (système de culture innovant)⁵⁹⁹ ont montré l'importance d'impliquer les agriculteurs dans des phases de la conception de systèmes de culture alternatifs (Reau *et al.*, 2012) aussi bien dans la conception de système « *de novo* » ou dans la conception « *pas à pas* »⁶⁰⁰ (Meynard, 2008, 2012b) : « *Nous devons admettre que les priorités ne sont pas les mêmes pour tous, qu'elles ne sont pas les mêmes partout, et travailler à aider chacun à trouver sa propre solution, plutôt que de chercher des solutions consensuelles et passe-partout, des systèmes agricoles idéaux, qu'il n'y aurait plus qu'à diffuser* » (Meynard, 2012b, p. 144). Nous pouvons retenir que pour que les agriculteurs s'engagent dans une dynamique de changement, il est nécessaire de discuter de la pertinence des nouveaux enjeux à satisfaire avec l'acteur-clé et de discuter la cohérence des solutions possibles à construire avec les objectifs de celui-ci.

⁵⁹⁷ Il s'agit du « Rapport Guillou » construit à la demande du ministre en charge de l'agriculture en vue d'explorer un ensemble de propositions pour fonder le projet agro-écologique de l'agriculture française. Le rapport et sa synthèse sont consultables à l'adresse : <http://agriculture.gouv.fr/remise-du-rapport-sur-lagro-ecologie-par-marion-guillou-stephane-le-foll>

⁵⁹⁸ Dans le rapport « Guillou » (2013), la dimension sociale est traduite par des trois indicateurs en lien avec le travail « *Diminuer le temps de travail et/ou sa pénibilité* », et de santé « *Diminuer l'exposition aux risques de santé* » (et de bien-être animal « *Améliorer le bien-être animal* ») (Guillou *et al.*, 2013, p. 11).

⁵⁹⁹ Cf. la contribution du RMT SdCI au suivi du réseau de fermes DEPHY dans le chapitre 1.

⁶⁰⁰ Ce sont deux démarches qui permettent la conception de systèmes innovants. Dans le chapitre 2, nous avons défini un système innovant comme un système qui répond à des objectifs renouvelés orientés vers des enjeux émergents. La conception de « *novo* » repose sur des propositions de changements très en rupture par rapport à l'existant. La conception « *pas à pas* » introduit des changements progressifs dans un système pour le faire évoluer éventuellement vers un système innovant.

Un des enjeux de notre expérimentation est de conduire les élèves/étudiants à raisonner des alternatives à l'emploi des pesticides pour gérer la population de vulpin, en prenant compte des objectifs de l'agriculteur.

(ii) Place centrale des arguments agronomiques dans notre recherche

Nous avons évoqué cet aspect dans la partie 4III de ce chapitre. C'est dans cette perspective que nous avons construit la situation problème et configuré le cadre de l'expérimentation :

- nous avons proposé aux élèves/étudiants d'entrer dans le problème de la réduction de l'usage des pesticides par une question agronomique concrète prenant appui sur des pratiques d'agriculteur. Nous pensons que cette option méthodologique invite davantage à la mobilisation de l'outillage agronomique de prime abord ;
- le travail collectif de résolution du problème a été conduit sur un créneau de cours identifié en « agronomie ». La dimension agronomique est renforcée par la présence de l'enseignant d'agronomie de la classe en position d'observateur.

Nous supposons que cette configuration d'expérimentation va davantage amener les élèves/étudiants à produire des argumentations mobilisant la discipline agronomie, en prenant appui sur des savoirs robustes (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013). Nous verrons dans le traitement des données si cette hypothèse est vérifiée. Nous souhaitons faire un focus particulier sur des savoirs agronomiques mobilisés dans la résolution de la situation-problème afin de révéler des freins et des appuis en termes de savoirs et de procédures. Ces savoirs robustes « (...) *sont des savoirs pour penser et pour agir en situation professionnelle : pour diagnostiquer, pour contrôler et ajuster son action, pour discuter et négocier avec ses partenaires, pour interpréter des phénomènes concrets, pour expérimenter et décider, pour imaginer et anticiper des effets et des conséquences des choix, pour s'informer sans se laisser influencer. Ces savoirs peuvent être d'origines différentes : issus de la science, mais aussi des disciplines et des techniques, issus de l'action, des inventions de pratiques et des pratiques efficaces inventées et ajustées par des professionnels* » (Mayen, 2013, p. 261-262). Ces savoirs robustes doivent permettre en particulier d'affronter des situations critiques dans une exploitation agricole, menaçant sa pérennité. Nous les rapprochons de la notion de « *connaissances cruciales* » (Grundstein, 2002, p. 16). Sans elles, les problèmes cruciaux d'une organisation n'ont pas de solution.

(iii) La prise en compte de la pluralité des arguments pour caractériser la qualité des SAR

La gestion de la population de vulpin résistant dans l'exploitation agricole de M. Sorot est un problème agronomique situé, mais pas seulement. L'argumentation des élèves/étudiants pour résoudre le problème doit dépasser les seuls arguments agronomiques. Pour des thématiques débattues dans la sphère sociale comme la question au cœur de notre étude (nécessité et/ou possibilité de réduire l'usage des pesticides), la validité des solutions doit aussi être discutée au regard d'enjeux qui dépassent le contexte situé (comme la santé des consommateurs, des agriculteurs, l'orientation des aides publiques pour le soutien des agricultures économes en pesticides, entre autres). Notre expérimentation peut révéler les multiples dimensions imbriquées de la complexité que les élèves/étudiants considèrent dans la question de la réduction de l'emploi des pesticides. Pour nous, éduquer des élèves/étudiants à appréhender la complexité participe au développement d'une forme de rationalité critique (Carr et Kemis, 1986 ; Jiménez-Aleixandre et Enduran, 2008) voire d'une réflexivité critique (Ravetz, 1997) nécessaire à développer et à consolider chez un professionnel responsable. Cette éducation augure aussi la construction d'une opinion éclairée (Simonneaux, 2010) chez le futur citoyen acteur de la société, capable de participer aux débats et d'agir. Nous cherchons à mettre en évidence comment les élèves/étudiants prennent du recul face à leurs choix : entrevoient-ils

ou non des **conséquences** et considèrent-ils ou non des **conditions** à ce qu'ils proposent et si oui lesquelles ?

Pour la discipline d'enseignement agronomie, c'est l'opportunité d'asseoir des apprentissages qui reposent sur l'analyse et l'évaluation multicritère de la durabilité. Sur le plan conceptuel, cette approche permet de progresser dans la résolution de problèmes complexes mêlant plusieurs aspects à la fois quantitatifs et qualitatifs, pour lesquels plusieurs objectifs, souvent contradictoires, doivent être pris en compte. La divergence des objectifs nécessite la recherche d'une solution des meilleurs compromis possibles, sans qu'aucune solution ne soit toutefois parfaite. L'analyse multicritère consiste à analyser une action, une décision ou un système en prenant appui sur un ensemble de critères qui rendent compte de préférences, eux-mêmes précisés par un ensemble d'indicateurs. Cette approche multicritère est particulièrement développée dans le champ des théories de la décision. Cette analyse donne les moyens de préciser la contribution des critères dans le processus de décision. Dans une perspective de développement durable, il est alors possible de rendre compte de l'importance de la contribution des dimensions économiques, environnementales et sociales dans un processus, un système ou une prise de décision. Ces dimensions critériées sont précisées avec des indicateurs. Les domaines d'application sont très divers, l'industrie, l'aménagement des territoires, l'agriculture, entre autres.

En agronomie, dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire, l'analyse multicritère est un outillage méthodologique structurant pour préciser et discuter la contribution de l'agriculture et/ou de systèmes de production et/ou des systèmes de culture au développement durable (Reau et Doré, 2008 ; Meynard, 2012b) : la définition de la multifonctionnalité, la contribution à la protection de l'environnement, l'évaluation des performances économiques, agronomiques, environnementales sont des exemples d'application de l'analyse/évaluation multicritère. Sur la base d'un référentiel précisant les attendus, il est possible d'évaluer⁶⁰¹ diverses dimensions de la durabilité. Pour les systèmes agricoles, les performances agronomiques et technico-économiques, souvent uniquement mises en avant, ne sont plus les seules considérées. Dans la conception de systèmes de cultures innovants à partir d'un référentiel, l'analyse multicritère permet d'évaluer différents scénarios sur une même base, et d'éventuellement les comparer entre eux. Ce type d'évaluation est en particulier mobilisé à l'échelle du système de culture pour la sélection des prototypes⁶⁰² (Lançon *et al.*, 2008⁶⁰³) intéressants à tester sur le terrain (évaluation *ex ante*) et pour l'évaluation des performances sur les 3 piliers de la durabilité *in situ* (évaluation *ex post*). Si la recherche agronomique mobilise la démarche d'évaluation multicritère pour la conception de systèmes de culture, le développement agricole s'en empare également pour accompagner les agriculteurs dans le pilotage des systèmes de production, la définition et la mise en œuvre de pratiques, pour améliorer leur inscription dans le développement durable.

⁶⁰¹ Des outils informatiques permettent des calculs à partir de matrices complexes reposant sur la traduction chiffrée de préférences exprimées par des parties prenantes. Ils permettent d'agréger des critères et surtout, ils offrent la possibilité de les pondérer pour tenir compte des objectifs et des enjeux des systèmes selon des contextes. Ces outils d'évaluation multicritère sont utilisés en particulier les phases de conception de systèmes de culture innovants (Sadok *et al.*, 2008).

⁶⁰² Dans le cadre de la conception de systèmes de culture, on appelle prototypes des systèmes de culture obtenus à partir d'une méthode de conception *de novo* sur la base d'un cahier des charges par : ils répondent *a priori* à un ensemble d'exigences sans que cela soit vérifié concrètement. Sur la base d'une évaluation multicritère de leurs performances, ils peuvent devenir ensuite candidat pour une expérimentation au champ (essai système) soit en station d'expérimentation soit chez un agriculteur. On parle d'évaluation *ex ante* d'un système de culture quand il est subi une phase d'évaluation avant son test au champ. Cette étape est importante car elle permet d'éliminer les prototypes qui ne satisfont pas le cadre de contraintes fixées. L'évaluation *ex post* quant-à elle désigne la phase d'évaluation après un test au champ.

⁶⁰³ (Lançon, Reau, Cariolle, Munier-Jolain, Omon, Petit, Viaux, et Wery, 2008)

2.2. Arguments et argumentations attendus *a priori* : un préalable à la définition des niveaux de complexité des SAR

En nous fondant sur la première grille d'évaluation de la qualité des raisonnements, nous avons défini quatre registres attendus *a priori* dans les SAR. Nous présentons dans un premier point ces quatre registres, conduisant dans un deuxième point à définir les argumentations attendues *a priori*.

2.2.1. Quatre « registres » d'éléments attendus pour la caractérisation des raisonnements produits : leviers, contextes, aspects argumentaires, domaines de référence

Nous cherchons à évaluer le niveau de complexité des raisonnements SAR produits par les élèves/étudiants. En lien avec la QSV agronomique, il est important de mettre en évidence dans les raisonnements plusieurs points que nous avons organisés en quatre registres :

- le registre « levier » : les étudiants peuvent envisager un levier ou une combinaison de leviers pour gérer le vulpin ,
- le registre « aspect argumentaire » : après avoir fait un choix, les étudiants peuvent fournir des justifications, envisager des conséquences et des conditions. Ces considérations permettent de voir s'ils ont intégré des savoirs nécessaires pour raisonner la stratégie de protection des cultures, de voir enfin s'ils se projettent en envisageant des conditions et des conséquences de leurs choix à plus ou moins long terme ;
- le registre « domaine de référence » : l'argumentation peut s'appuyer sur le domaine agronomique, écologique, économique, réglementaire, juridique, social et sur le domaine de la santé, entre autres. Les étudiants peuvent construire des discussions fondées sur plusieurs domaines de référence ou ne s'appuyer que sur un domaine ;
- le registre « contexte » : l'argumentation peut être décontextualisée, elle peut prendre appui sur le contexte situé, en particulier en intégrant les objectifs de l'agriculteur. L'argumentation peut également intégrer des éléments d'un contexte qui dépasse celui tracé dans la situation-problème (que nous appelons « contexte élargi » ou « hors contexte situé »).

Pour rendre compte de la complexité des raisonnements, nous avons retenu la complexité de l'argumentation susceptible d'être construite autour des propositions de leviers visant la gestion de la population de vulpin : plus l'argumentation est complexe et plus diverses facettes de la complexité peuvent être explorées.

Le tableau n°26 prend les quatre registres de l'argumentation que nous définissons *a priori*.

Tableau n°26 : Les quatre registres attendus dans les argumentations fondant les raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques

Registre « Leviers »	Registre « contextes »	Registre « aspects argumentaires »	Registre « domaines de référence »
<ul style="list-style-type: none"> •Combinaison de leviers •Un seul levier 	<ul style="list-style-type: none"> •Sans référence au contexte •Éléments du contexte situé - dont objectifs de l'agriculteur - autres éléments du contexte situé de l'exploitation agricole support (le contexte socio-économique et environnemental, le contexte pédoclimatique, une partie des pratiques et des règles de décision pour conduire le système de culture [i.e. protection des cultures], le schéma décisionnel, les résultats attendus) •Contexte élargi (hors contexte situé) 	<ul style="list-style-type: none"> •Justification(s) •Conséquence(s) •Condition(s) 	<ul style="list-style-type: none"> •Agronomique •Écologique •Économique •Social, etc

Le registre « leviers » joue un rôle central dans les raisonnements produits. Le choix des leviers et la discussion qui en découle permettent de distinguer plusieurs cas. Le niveau de complexité du raisonnement n'est pas le même si l'on compare des situations où la discussion repose sur un levier énoncé sans justification à une discussion où les élèves/étudiants construisent une argumentation fondée sur la mobilisation de plusieurs leviers articulés entre eux de manière cohérente et lorsque les leviers retenus sont pertinents pour le contexte situé et mis en perspective dans un contexte élargi. Les raisonnements les plus complexes abordent une combinaison de leviers. Cette combinaison est justifiée, des conditions et conséquences envisagées, des arguments agronomiques, économiques, écologiques, sociaux entre autres sont mobilisés pour inscrire la proposition dans le développement durable. Le contexte situé, en particulier les objectifs de l'agriculteur et le contexte élargi hors du cadre du cas étudié sont évoqués dans l'argumentation.

L'étape préalable de définition des types d'argumentation attendue est indispensable pour cerner différents niveaux de complexité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques des élèves/étudiants. Nous en distinguons *a priori* onze types que nous exposons ci-après.

2.2.2. Les onze types différents d'argumentation attendue

Des argumentations de type « justifications » prenant appui sur plusieurs domaines de référence en tenant compte du contexte situé

1.Plusieurs leviers sont évoqués et la **combinaison** des leviers est **justifiée** sur le plan **agronomique ET sur d'autres plans** (économique ou social ou environnemental, entre autres) pour réguler les populations de vulpin dans la **situation-problème**.

2.Un seul levier est envisagé, son intérêt est **justifié** sur le plan **agronomique ET sur d'autres plans** (économique ou social ou environnemental, entre autres) pour réguler les populations de vulpin dans la **situation-problème**.

Des argumentations de type « justifications » prenant appui sur un domaine de référence au moins en tenant compte du contexte situé

3.Plusieurs leviers sont évoqués et la **combinaison** des leviers est **justifiée** sur le plan **agronomique et/ou sur un autre domaine** pour réguler les populations de vulpin dans la **situation-problème**.

4. Un seul levier est envisagé, son intérêt est **justifié** sur le plan **agronomique et/ou sur d'autres plans** pour réguler les populations de vulpin dans la **situation-problème**.

Des argumentations de type « justifications » prenant appui sur plusieurs domaines de référence sans tenir compte du contexte situé

5.Plusieurs leviers sont évoqués et la **combinaison** des leviers est justifiée sur le plan **agronomique ET sur d'autres plans** (économique ou social ou environnemental, entre autres) pour réguler les populations de vulpin, mais l'argumentation est **décontextualisée**.

6.Un seul levier est envisagé, son intérêt est **justifié** sur le plan **agronomique ET sur d'autres plans** (économique ou social ou environnemental, entre autres) pour réguler les populations de vulpin, mais l'argumentation est **décontextualisée**.

Des argumentations de type « justifications » ne prenant appui que sur un domaine de référence sans prendre appui sur un contexte

Le raisonnement est moins complexe en restant cantonné à **un domaine sans** prendre appui sur le **contexte de situation-problème**.

7.Plusieurs leviers sont évoqués dont la **combinaison** est **justifiée** sur le plan **agronomique et/ou sur d'autres plans** pour réguler les populations de vulpin, mais l'argumentation est **décontextualisée**.

8.Un seul levier est envisagé, son intérêt est **justifié** sur le plan agronomique **et/ou sur d'autres plans** pour réguler les populations de vulpin est traité, mais l'argumentation est **décontextualisée**.

Des argumentations de type « conséquences » dans le contexte situé

9.Des **conséquences** de la mise en œuvre d'un levier sont évoquées en prenant appui sur les objectifs de l'agriculteur et/ou ses pratiques et/ou des règles de décision et/ou sur le contexte socio-économique, et/ou le contexte pédoclimatique, et/ou le contexte environnemental et/ou le contexte réglementaire.

Des argumentations de type « conditions » dans le contexte situé

10.Des **conditions** de la mise en œuvre d'un levier sont évoquées en prenant appui sur les objectifs de l'agriculteur et/ou ses pratiques et/ou des règles de décision et/ou sur le contexte socio-économique, et/ou le contexte pédoclimatique, et/ou le contexte environnemental et/ou le contexte réglementaire.

Des argumentations ouvertes sur le contexte élargi prenant appui sur un ou plusieurs domaines de référence

11.Le (ou les leviers) est (sont) justifié(s) et discuté(s) de façon pertinente **hors contexte situé** sur un ou **plusieurs plans** (santé humaine, économique, social, environnemental, entre autres).

2.3. Proposition de modélisation des argumentations et d'une « unité d'analyse » après une première confrontation de la grille au corpus

Nous présentons dans un premier point comment nous avons défini des moments (épisodes) dans la construction des SAR, nous conduisant à modéliser les processus argumentatifs (deuxième point).

La définition de la notion d'épisode

Une fois nos données recueillies, nous avons testé la première grille d'analyse des SAR et la pertinence des onze types d'argumentations définies *a priori*. Même, si nous abordons la méthodologie d'analyse des données recueillies au cours de la résolution de la situation-problème dans la partie 4V de ce chapitre, nous en précisons quelques éléments ici pour comprendre la manière dont nous avons ajusté notre première proposition de grille d'analyse des SAR nous conduisant à stabiliser onze niveaux de complexité des raisonnements.

Nous avons enregistré les discussions de chacun des groupes et nous avons réalisé une retranscription écrite de ces données audio. En croisant des écoutes répétées des enregistrements des discussions avec des lectures du corpus retranscrit, très vite, nous avons été confrontée à la définition du contour de l'objet à évaluer : le raisonnement agro-écologique et socioéconomique apparaît à la fois comme un processus et comme un résultat à la fin du travail de résolution. Dès lors, tout autant que le produit final (la solution proposée), le processus qui a conduit au produit final nous est apparu intéressant à caractériser. En effet, des moments nous ont semblé émerger, rythmant le déroulement de la résolution. Ces « moments » se structurent sur des propositions de leviers et l'argumentation y apparaît comme une construction collective cohérente des raisonnements. Nous avons appelé « épisodes » ces moments et ils ont été retenus comme « unité » d'analyse pour conduire l'évaluation du processus de construction des raisonnements.

Nous nous sommes inspirée des différentes acceptions de la notion d'« *épisode* » utilisée dans la théorie de l'action conjointe (TACD) (Sensevy et Mercier, 2007 ; Sensevy, 2008, 2011), dans la Théorie de la Tutelle et Médiation dans l'éducation scientifique (TMES) (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1998) et dans l'analyse communicationnelle proposée par Mortimer et Scott (2003). Ces travaux s'intéressent aux effets des interactions verbales dans des situations d'apprentissage et ont proposé des grilles d'analyse pour comprendre et caractériser ce qui se joue dans ces interactions entre l'enseignant, l'élève (ou les élèves) et les objets de savoirs. Dans les trois approches, les interactions en situation de classe constituent le matériau d'étude. Ainsi pour analyser ce qui se joue dans ces situations, les auteurs ont produit des cadres d'analyse. Chacun d'eux pose la nécessité d'un découpage préalable de ce qui s'est joué pour que le chercheur soit en mesure ensuite d'en faire une analyse fine. Les épisodes sont des « unités » de découpage définies par le chercheur.

La TACD propose une modélisation des processus d'interactions entre trois objets d'étude « l'enseignant, l'élève et les objets de savoirs » dans les situations éducatives. Le savoir est alors l'enjeu des transactions entre deux interactants (l'enseignant et l'élève) et la situation didactique apparaît comme un jeu didactique. Sur la base d'enregistrements filmés, le chercheur reconstruit « le script didactique » à partir d'un synopsis qui découpe la situation d'interactions. La situation didactique est alors analysée à partir de trois « grains » : le niveau macro (la séquence), le niveau méso (la séance), le niveau micro (épisodes dans lesquelles se déroulent des événements) cf. tableau n°27.

Tableau n°27 : Structuration du script didactique dans la TACD (actes/scènes/jeux d'apprentissage/épisodes/événements) in (Sensevy, 2011, p. 254)

Actes	Les grandes divisions de la pratique, objectivables de manière unique-ment visuelle.
Scènes	Emboîtées dans les actes, homogènes à eux pour leur détermination, c'est-à-dire objectivables de manière visuelle.
Jeux d'apprentissage – Épisodes – Évènements	Identifiables seulement par l'analyse du contenu des interactions.

Dans ce cadre, les épisodes sont des périodes d'interactions repérées par le chercheur, marquées par une stabilité de l'objet des transactions (Leroy, 2005).

La TMES s'intéresse à la caractérisation des formes d'interactions langagières interpersonnelles (l'enseignant et les pairs) afin de repérer des interactions de type « interactions de tutelle » (à rapprocher du concept d'étaillage de Bruner, Deleau et Michel (1983)) et de type « interactions de médiation »⁶⁰⁴ (visant l'appropriation des savoirs par les élèves à partir de médiations langagières). La TMES propose une démarche d'analyse du jeu d'interactions à partir d'un travail de découpage chronique des transcriptions écrites des séances enregistrées. L'analyse consiste à repérer des sous-ensembles d'interventions rattachées à un thème. Ce sont des épisodes et chacun d'eux reçoit un titre. On aboutit finalement à une reconstruction du corpus sous la forme de chroniques thématiques.

Enfin pour analyser les discours, Mortimer et Scott (2003) ont également proposé un cadre d'analyse fondé sur l'identification d'épisodes. Ces auteurs définissent un épisode comme « *un ensemble cohérent d'actions et de sens produits par les participants en interaction. Il a un clair commencement et une claire fin et peut être distingué des événements antérieurs et postérieurs. Normalement cet ensemble a aussi une fonction distinctive dans le discours* » in (Buty, Badreddine et Régnier, 2012, p. 155). Ces épisodes donnent à voir comme les activités s'organisent (Buty *et al.*, 2012). Les épisodes sont délimités par des indicateurs verbaux et non verbaux qui prennent appui sur « *le contenu sémantique, les actions des participants, la nature des interactions entre les participants, le positionnement des acteurs sur l'espace physique d'interaction, les ressources qu'ils utilisent* » (Buty *et al.*, 2012, p. 158).

Pour définir les épisodes, nous avons retenu l'idée d'une unité marquée par une stabilité de l'objet des transactions entre les interactants comme le préconise la TACD, mais notre focale d'étude est l'interaction entre les élèves/étudiants d'un même groupe. Nous n'avons pas reconstruit le fil du discours en nous fondant sur la proposition d'analyse de la TMES, et nous avons mobilisé des indicateurs en lien avec le contenu (le sens) et les intonations pour définir les bornes des épisodes dans les discussions en nous appuyant sur Mortimer et Scott (2003). Nous rappelons ces éléments de méthodologie dans la partie 4V en l'illustrant avec des exemples du corpus de données.

⁶⁰⁴ La médiation est définie par des auteurs de la TMES comme « *un processus visant à prévenir et/ou à résoudre un conflit ou une difficulté cognitive* » (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1998, p. 8). Dans ce cadre l'intervention verbale est le moyen de construire un changement cognitif entre ce que savent les élèves et le contenu du savoir à apprendre.

- *Un épisode*

Un épisode correspond :

- (1) à des échanges sur un levier envisagé pour résoudre le problème de vulpin résistant. Le levier est énoncé. On peut y retrouver :

* des justifications fournies prenant appui sur (i) le contexte situé décrit dans la situation-problème (objectifs de l'agriculteur, contexte pédoclimatique, environnemental, réglementaire, socioéconomique, éléments du schéma décisionnel de l'agriculteur, pratiques de l'agriculteur et des moyens mobilisés pour la conduite des processus de production, des résultats de la conduite) et/ou prenant appui sur (ii) des données hors contexte situé (contexte global environnemental, réglementaire, socioéconomique, santé, entre autres) ;

* des conditions de la mise en œuvre du levier proposé et des conséquences éventuelles qui peuvent être discutées ou pas. Les discussions peuvent se fonder sur des arguments économiques, agronomiques, environnementaux, sociaux, etc.

OU

- (2) à des échanges portant sur une combinaison de leviers pour résoudre le problème de vulpin résistant. Les leviers sont énoncés. On peut y retrouver :

* les justifications fournies prenant appui sur (i) le contexte situé décrit dans la situation problème (objectifs de l'agriculteur, contexte pédoclimatique, environnemental, réglementaire, socioéconomique, éléments du schéma décisionnel de l'agriculteur, pratiques de l'agriculteur et des moyens mobilisés pour la conduite des processus de production, des résultats de la conduite) et/ou prenant appui sur (ii) des données hors contexte situé (contexte environnemental, réglementaire, socioéconomique, santé, entre autres) ;

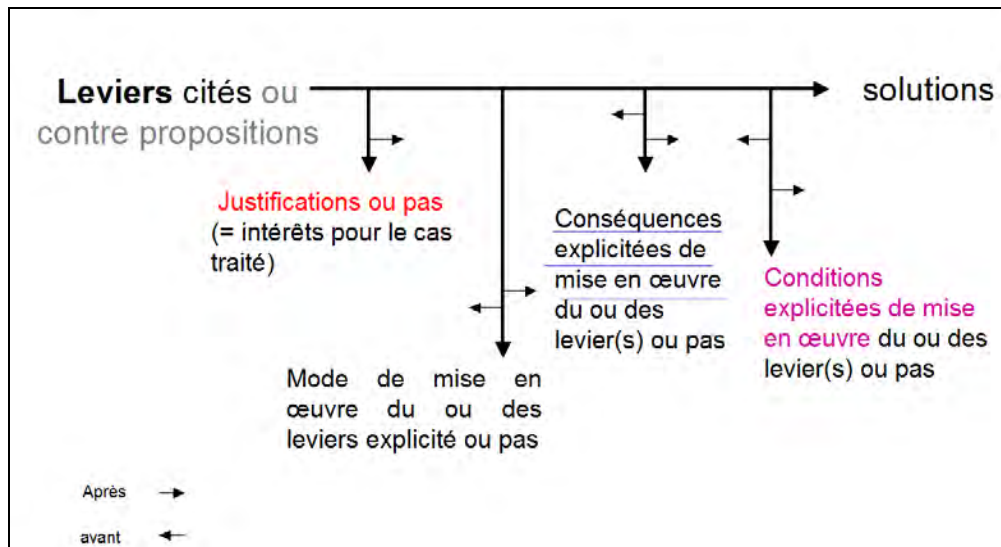
* des conditions sur la mise en œuvre du levier proposé et des conséquences éventuelles qui peuvent être discutées ou pas. Les discussions peuvent se fonder sur des arguments économiques, agronomiques, environnementaux, sociaux, etc.

Un épisode peut être morcelé entrecoupé par des éléments faisant référence à d'autres épisodes en amont.

Une proposition de modélisation des argumentations dans le processus de raisonnement SAR

Dans chacun des épisodes définis par le chercheur, nous avons retrouvé des récurrences dans la forme des argumentations construites par les participants, nous conduisant à une proposition de modélisation cf. figure n°79. Nous avons pris appui sur le modèle proposé par Toulmin (1958) sans reprendre les contours exacts des énoncés⁶⁰⁵. Nous avons clarifié les énoncés étayants, c'est-à-dire ceux qui permettent d'arriver à la solution (la conclusion chez Toulmin).

Figure n°79 : Modélisation des argumentations qui fondent les SAR



Légende : l'énoncé peut être décalé dans le temps → ; l'énoncé peut être avancé ←

Nous avons ainsi distingué sept types d'énoncés potentiels. Les discussions s'articulent autour des leviers ou des contre-propositions avec des imbrications plus ou moins complexes :

- l'énoncé de leviers (un ou une combinaison) ;
- des justifications ;
- des explications concernant le mode de mise en œuvre du levier (*i.e.* déchaumage en automne durant l'interculture ou deux déchaumages, un juste après la récolte et un autre, deux à trois semaines plus tard) ;
- des conséquences de la mise en œuvre des leviers ;
- des conditions à la mise en œuvre des leviers ;
- des solutions ;
- des contre-propositions selon le cours de la discussion.

L'ordre présenté de ces énoncés est variable. Par exemple, des propositions de leviers peuvent être discutées dans un cadre de contraintes « à condition » et seulement ensuite des justifications de leurs intérêts peuvent être développées.

3. Définition des niveaux de complexité des SAR

En considérant les différents types d'argumentation et leurs combinaisons éventuelles, nous avons défini onze niveaux de complexité pour les raisonnements produits (deuxième point). Néanmoins, il nous apparaît important de clarifier au préalable des partis pris

⁶⁰⁵ Nous rappelons les différents énoncés étayants définis par Toulmin (1958) : données (*data* ou *ground*), les garanties (*warrants*), la conclusion (*claim*), les modalités (*qualifiers*), les fondements (*backings*) et les restrictions (*rebuttals*) cf. chapitre 3.

méthodologiques qui bornent les niveaux de complexité des raisonnements produits (premier point). La grille d'analyse de la complexité des SAR rassemblant les onze niveaux définis est présentée dans un troisième point. Enfin dans un quatrième point, nous présentons une synthèse des principes et des effets des leviers qui sont au cœur de la construction des SAR.

3.1. Deux partis pris méthodologiques

Nous avons insisté à plusieurs reprises sur la complexité de la tâche proposée aux élèves/étudiants. Dans le cadre d'une activité conduite au cours de la formation, il n'est pas envisageable de se fonder sur un référentiel d'évaluation qui évaluerait l'empan de ce qui est attendu « dans la vraie vie ». Il est nécessaire de poser des limites *a priori* de ce qui est attendu des élèves/étudiants dans les conditions de l'expérimentation. Nous discutons ainsi (i) le choix de ne pas intégrer la hiérarchie de l'efficacité des leviers, nous abordons en particulier le cas du levier « lutte chimique ». Nous avons décidé (ii) de nous appuyer sur l'ensemble « levier et toutes ses spécifications » pour évaluer la complétude d'une argumentation. Nous appelons spécifications les différentes déclinaisons concrètes d'un levier. Il s'agit en fait de la description de la pratique agricole qui met en œuvre le levier. Nous avons déjà évoqué l'exemple du levier « déchaumage » cf. tableau n° 28 ci-après.

Tableau n°28 : Deux spécifications du levier « déchaumage »

Levier	spécifications	Explications de la mise en œuvre
Levier « déchaumage »	Spécification 1 : déchaumage à l'automne durant l'interculture	- déchaumage réalisé à l'automne durant l'interculture avant le semis du suivant
	Spécification 2 : déchaumage juste après récolte et un autre deux à trois semaines plus tard (ici c'est une combinaison du même levier)	- déchaumage juste après la récolte sur les résidus de la récolte associé à un déchaumage deux à trois semaines plus tard avant le semis du suivant

(i) La difficulté à intégrer la hiérarchie de l'efficacité des leviers dans l'évaluation des SAR

L'évaluation de la prise en compte de la hiérarchie des leviers dans les propositions des élèves/étudiants ne peut pas être intégrée dans la définition des niveaux de complexité des SAR. Que ce soit pour les futurs agriculteurs ou pour les futurs conseillers agricoles qui vont accompagner ces professionnels sur le terrain, être en mesure de distinguer l'efficacité des leviers mobilisables pour un groupe de bioagresseurs est un enjeu d'apprentissage, tout comme l'évaluation multicritère de la proposition (en quoi ce levier est pertinent et pour quel(s) domaine(s) de référence il participe à la résolution du problème). Ces démarches sont complexes. A ces premières difficultés, s'ajoute la nécessité de construire la solution et de discuter la décision qui la sous-tend en se fondant sur les contextes : la validité de la solution est alors en jeu.

Dans notre étude de cas, un raisonnement agro-écologique et socioéconomique attendu, « SAR », aborde les leviers en termes d'efficacité pour le problème à traiter, efficacité envisagée sur le plan agronomique, mais sans que soit occultée la discussion nécessaire sur « le prix » de la proposition. Est-ce soutenable pour le système de l'acteur « agriculteur » ? Est-ce valide dans le contexte situé ? Est-ce tenable dans le contexte professionnel et sociétal ? A quelles conditions ? Sur le plan épistémique, la résolution s'appuie sur la mobilisation de concepts, de références, de méthodologies et sur des pratiques. Chacune des propositions de leviers est justifiée, des conséquences envisagées et des conditions avancées et bien évidemment chaque fois discutées dans le contexte situé et dans un contexte élargi. Des leviers principaux sont envisagés, si des leviers secondaires et/ou complémentaires sont

mobilisés, des choix de combinaisons sont étudiés et justifiés. Enfin, la lutte chimique n'est retenue qu'en dernier recours, jamais en première solution : les adventices ne relèvent pas des cas spécifiques de bioagresseurs pour qui la lutte revêt un caractère obligatoire dès sa présence⁶⁰⁶. Seul ou dans un collectif, la résolution exige du temps pour construire une première proposition complexe à chaud. Il est possible ensuite de l'évaluer à froid en s'adossant peut-être sur d'autres ressources que celles dont on disposait au moment de la première proposition. Le projet peut alors être révisé à la lumière de nouvelles données.

Pour des agriculteurs et des conseillers aguerris, l'exercice n'est pas simple, il se révèle très complexe lorsque l'on envisage des solutions innovantes en rupture avec le système défaillant. Le monde professionnel, agriculteur et conseiller agricole, est confronté à cette difficulté (Cerf *et al.*, 2012a, 2012b ; Chantre, 2011, 2013) et notre situation-problème est conçue pour amener à envisager la *reconception* du système pour sortir de l'impasse technique. Pour résoudre le problème sous cet angle, les agriculteurs ont soit une expérience acquise dans des situations similaires et/ou soit s'organisent pour prendre appui auprès de conseillers agricoles et/ou d'experts (y compris d'autres agriculteurs) pour les aider à conduire la transformation de leur système. Nous ne pouvons pas attendre tous les éléments dans les raisonnements produits par les élèves/étudiants pour plusieurs raisons exposées ci-dessous :

1. Le scénario didactique et pédagogique retenu impose des contraintes :

- le temps dédié est court : une à deux heures de travail pour l'appropriation des ressources de la bibliothèque support (phase 2), deux heures au plus pour traiter en groupe le problème (phase 3) ;

- l'accès aux ressources est limité en dehors de la bibliothèque fournie : le cours des participants, une connexion internet gérée par l'enseignant en BTS avec l'aval du chercheur (accès au site e-phy), une revue technique en Bac pro « la France agricole » avril 2013 ont pu être utilisés ;

* les élèves/étudiants doivent résoudre à l'oral le problème : dans la configuration de travail que nous avons retenue (cf. partie 4III), les échanges langagiers interpersonnels favorisent l'expression des points de vue des participants, conduisant dans les discussions à explorer les propositions des membres du groupe. Ce travail conduit à l'oral peut alors être considéré comme une phase d'exploration des possibles permettant ensuite de consolider des propositions à mettre en œuvre concrètement. Un passage par l'écrit permet de formaliser la proposition pour qu'elle soit discutée à nouveau par les contributeurs. Notre expérimentation n'a pas été conçue dans ce sens.

2. Les élèves/étudiants ne sont pas des professionnels : ils n'ont pas encore l'expérience et l'habitude de ce genre de résolution de problème. Ils n'ont pas encore acquis assez de références et d'expériences.

- *Le cas du levier « lutte chimique »*

Aussi, nous avons choisi de ne pas intégrer dans la définition des niveaux de complexité des raisonnements la prise en compte par les élèves/étudiantes de la hiérarchie d'efficacité des leviers. La mobilisation du levier complémentaire « lutte chimique » qui renvoie à l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse que le plan Ecophyto vise à réduire n'est pas discriminante pour définir le niveau de complexité des raisonnements. Dans notre travail de

⁶⁰⁶ Par exemple, la cicadelle de la flavescence dorée de la vigne, insecte piqueur, transmet un organisme entraînant une maladie « incurable » chez la vigne. Elle est l'objet d'une surveillance sur le territoire national et dès qu'un foyer infectieux est identifié dans un vignoble, cela déclenche un programme de lutte insecticide obligatoire à titre préventif dans la zone, régi par arrêté préfectoral. Pour mémoire se référer à la controverse et aux débats soulevés par le refus d'un viticulteur bio de Saône et Loire en 2013 de traiter ces vignes avec des produits phytosanitaires dans le cadre ce programme de lutte systématique. Il a été condamné pour non-respect de la réglementation en vigueur.

recherche, nous accordons en effet plus d'importance à la construction d'une argumentation pertinente qui se fonde sur différentes facettes de la complexité afin de mettre en lumière ce qui peut freiner ou au contraire favoriser des SAR adaptés.

La grille d'analyse qui va nous servir à évaluer la complexité des raisonnements doit permettre de distinguer :

- des solutions combinant plusieurs leviers pour gérer les vulpins de celles n'en utilisant qu'un,
- des solutions prenant appui sur des domaines de référence variés de celles ne reposant que sur un seul domaine,
- des solutions qui considèrent des échelles variées pour discuter les propositions (le système de culture, l'exploitation agricole, le contexte situé, le territoire plus large) de celles qui ne fondent pas sur le contexte,
- des solutions qui justifient le ou les levier(s) retenu(s) et qui étudient des conséquences et des conditions (le présent et un futur assujéti aux choix) de celles qui ne rassemblent que des propositions de leviers sans argumentaire.

(ii) L'évaluation de leviers et de leurs différentes spécifications dans les SAR

Dans cette phase de travail exploratoire de construction de solutions aux problèmes soulevés par les vulpins résistants, chaque modalité de leviers ne peut pas être complètement argumentée. D'une part, il y a une grande diversité de pratiques déclinant la mise en œuvre concrète des leviers. D'autre part, les élèves/étudiants n'ont pas le temps et ils construisent progressivement des îlots interdisciplinaires de rationalité (Fourez, 1997), écartant des aspects de la question. Ils structurent progressivement des blocs de sens. Dès lors, il nous apparaît nécessaire de restreindre le niveau d'exigence à la prise en compte de l'ensemble « leviers et ses différentes spécifications » dans un épisode pour évaluer la complexité des SAR produits par les élèves/étudiants.

3.2. Explicitation des onze niveaux de complexité des raisonnements SAR attendus

Cette partie présente les différents niveaux de complexité définis *a priori* qui vont nous permettre d'évaluer la qualité des raisonnements produits dans chacun des épisodes par les groupes d'élèves et d'étudiants, au cours de la résolution du problème. Nous les avons numérotés de 1 à 11 (N1 à N11). Nous explicitons d'abord le niveau le plus complexe N11 pour terminer par le niveau de raisonnement le moins élaboré N1. Les éléments en gras sont de points qui distinguent les niveaux de complexité. Le tableau n°28 récapitule de manière synthétique les différents niveaux de complexité des raisonnements SAR.

Le niveau N11

Le niveau N11 est le niveau de raisonnement agro-écologique et socioéconomique le plus complexe : les quatre registres argumentaires définis dans le paragraphe 2.2.1 sont présents dans le raisonnement construit au cours de l'épisode (les registres « levier », « aspect argumentaire », « domaine de référence », « contexte »). Dans cette configuration, les élèves/étudiants considèrent **une combinaison de plusieurs leviers** principaux et/ou secondaires et/ou complémentaires (notés LP ou LS ou LC dans les corpus transcrits analysés en annexes n°13, 14, 15 et 16).

Les leviers sont combinés et discutés (registre *levier*), sur le **plan agronomique et sur d'autres plans** (registre *domaine de référence*) dans le contexte de la situation-problème que nous appelons «**contexte situé**» (registre *contexte*), en termes :

- (i) de **cohérence** ; la combinaison a du sens pour gérer la population de vulpin ;

- (i) et de **pertinence** ; la validité de la combinaison est évaluée en tenant compte des **objectifs de l'agriculteur** et d'autres éléments du contexte situé.

Pour ce niveau, les élèves/étudiants produisent une **argumentation** prenant appui sur **plusieurs domaines de référence** (agronomique et au moins les trois dimensions du développement durable [économique, social, environnemental]). Les trois aspects argumentaires (**justification, conséquence et condition**) pour chaque famille de leviers proposés sont présents. Enfin, les leviers sont également **discutés** de façon pertinente **hors contexte situé** sur différents plans (santé humaine, économie, social, environnemental, etc.).

Le niveau N10

Les élèves/étudiants ne considèrent **qu'un levier** principal, secondaire ou complémentaire. Le levier est **discuté** en termes de pertinence dans le contexte situé en tenant compte des **objectifs de l'agriculteur**.

On retrouve les **trois aspects argumentaires** et **plusieurs domaines de référence** en appui (agronomique et au moins les trois dimensions du développement durable [économique, environnemental, social]). Le levier est aussi **discuté** de façon pertinente **hors contexte situé** sur différents plans (santé humaine, économie, social, environnemental,...).

Les niveaux N9 et N8

Pour ces niveaux, les élèves/étudiants **ne prennent pas** en compte dans l'argumentation les **objectifs de l'agriculteur** mais s'appuient encore sur d'**autres éléments du contexte situé et sur le contexte élargi** (hors contexte situé). On retrouve les trois aspects argumentaires (**justifications, conséquences et conditions**) pour une famille de leviers dans un épisode et **plusieurs domaines** de référence (agronomique et au moins les trois dimensions du développement durable [économique, environnemental, social], ...).

Pour le niveau N9, les élèves/étudiants considèrent **plusieurs leviers** principaux et/ou secondaires et/ou complémentaires. Les leviers sont **combinés** et **discutés** en termes de cohérence et de pertinence dans le **contexte situé et dans un contexte élargi**.

Pour le niveau N8, les élèves/étudiants ne considèrent **qu'un levier** principal, secondaire ou complémentaire. Le levier est **discuté** de façon pertinente dans le **contexte situé** et dans un **contexte élargi**.

Le niveau 7

Pour ce niveau, les élèves/étudiants considèrent une combinaison de leviers ou un seul levier. L'argumentation s'appuie sur le **contexte de la situation-problème**, **sans** toutefois discuter les propositions en se référant aux **objectifs de l'agriculteur**. L'argumentation présente les **trois aspects argumentaires** : une ou des **justifications**, une ou des **conditions**, une ou des **conséquences**. **Plusieurs domaines de référence** sont mobilisés dans l'argumentation (**domaines environnemental et/ou économique et/ou social et agronomique**).

Les niveaux N6 et N5

Pour ces niveaux, les élèves/étudiants se cantonnent au **contexte situé**, **sans** toutefois tenir compte des **objectifs de l'agriculteur**. Les discussions révèlent **au moins un** des trois aspects argumentaires (**justification ou conséquence ou condition**) et **au moins un domaine de référence** (agronomique ou économique ou environnemental, ...).

Pour le niveau N6, les élèves/étudiants considèrent **plusieurs leviers** principaux et/ou secondaires et/ou complémentaires qu'ils discutent en termes de cohérence et de pertinence dans le **contexte situé**.

Pour le niveau N5, les élèves/étudiants ne considèrent qu'**un levier** principal, secondaire ou complémentaire qu'ils discutent en termes de pertinence dans le **contexte situé**.

Les niveaux N4 et N3

Pour ces niveaux, la discussion des élèves/étudiants n'est **pas contextualisée**. Les échanges révèlent **au moins un des trois aspects argumentaires** et **au moins un domaine de référence**.

Pour le niveau N4, les élèves/étudiants envisagent **plusieurs leviers** qu'ils combinent et discutent en termes de cohérence et de pertinence pour gérer la population de vulpin résistant.

Pour le niveau N3, les élèves/étudiants ne considèrent qu'**un levier** principal, secondaire ou complémentaire qu'ils discutent en termes de pertinence pour gérer la population de vulpin résistant.

Les niveaux N2 et N1

Pour ces niveaux, un ensemble de leviers combinés ou un seul levier est choisi, sans que la discussion des élèves/étudiants ne révèle d'aspects argumentaires : on ne retrouve **pas de justification, de conséquence ou de condition** à la proposition retenue.

Pour le niveau N2, la discussion autour des leviers se fonde sur des éléments du contexte situé ou non, sans tenir compte des objectifs de l'agriculteur toutefois. Un domaine de référence est au moins abordé. On trouve aussi des propositions discutées sans domaine de référence.

Le niveau N1 rassemble une diversité de raisonnements pour rendre compte de toutes les configurations qui n'ont pas pu être caractérisées dans les autres niveaux. Dans tous les cas, ce niveau correspond aux raisonnements les moins élaborés pour plusieurs raisons :

- Un ou des leviers sont proposés mais il n'y a pas production d'arguments au sens de Gautier⁶⁰⁷ (2005). Il n'y a pas de discussion. Les solutions ne présentent pas d'aspects argumentaires, ni de références au contexte et ne prennent pas appui sur un domaine de référence.
- Le raisonnement construit par les élèves/étudiants n'est pas valide (proposition non pertinente et non cohérente). « Pertinente » signifie que le levier ou la combinaison de leviers va servir à gérer l'adventice. « Cohérente » renvoie au fait que des leviers et leurs combinaisons ne sont pas compatibles entre eux. Les discussions peuvent révéler des aspects argumentaires (ou plusieurs), prendre appui sur des domaines de référence (un ou plusieurs) et sur les contextes (situé et/ou élargi).
- La solution proposée comprend une erreur de raisonnement qui compromet la validité de la solution.

3.3. La grille d'analyse de la complexité des SAR

Nous proposons une grille qui détaille les onze niveaux de complexité des raisonnements SAR dans un premier point. Nous avons identifié quatre sauts « épistémiques » que nous explicitons dans un deuxième point. Puis dans un troisième point, nous discutons le niveau N7 qui se révèle selon nous être un niveau structurant pour enseigner-apprendre des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques.

⁶⁰⁷ Gautier définit l'argument comme « l'articulation d'une proposition et une ou de justification(s) » (Gautier, 2005, p. 94).

3.3.1. La grille des raisonnements SAR

Le tableau n°29 présente les onze niveaux de complexité des raisonnements que nous proposons. Nous avons matérialisé quatre sauts qualitatifs dans la complexité des raisonnements (lignes horizontales rouges).

Tableau n°29 : Les onze niveaux de complexité des raisonnements des SAR

DD = Développement Durable

Niveaux de complexité des raisonnements	Leviers	Registre contextes	Registre aspects argumentaires	Domaine de référence
N11 Le plus complexe	Combinaison de leviers	Eléments du contexte situé <u>et</u> au moins un objectif agriculteur pris en compte <u>et</u> Contexte élargi considéré	Justification Conséquence Condition	Plusieurs agronomique et les trois dimensions DD [environnemental, économique, social]
N10	Un seul levier	Eléments du contexte situé <u>et</u> au moins un objectif agriculteur pris en compte <u>et</u> Contexte élargi considéré	Justification Conséquence Condition	Plusieurs agronomique et les trois dimensions DD [environnemental, économique, social]
N9	Combinaison de leviers	Autres éléments du contexte situé pris en compte <u>et</u> Contexte élargi considéré	Justification Conséquence Condition	Plusieurs agronomique et les trois dimensions DD [environnemental, économique, social]
N8	Un seul levier	Autres éléments du contexte situé pris en compte et Contexte élargi considéré	Justification Conséquence Condition	Plusieurs agronomique et les trois dimensions DD [environnemental, économique, social]
N7	Combinaison de leviers ou un seul levier	Autres éléments du contexte situé pris en compte	Justification Conséquence Condition	Plusieurs (agronomique éventuellement, environnemental, économique, social)
N6	Combinaison de leviers	Autres éléments du contexte situé pris en compte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence
N5	Un seul levier	Autres éléments du contexte situé pris en compte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence
N4	Combinaison de leviers	Sans référence au contexte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence
N3	Un seul levier	Sans référence au contexte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence
N2	Combinaison de leviers ou un levier	Autres éléments du contexte situé pris en compte	Sans objet	Sans objet ou au moins un domaine de référence
N1 Le niveau le plus bas	Combinaison de leviers ou un levier	Sans référence au contexte ou contextes pris en compte	Sans objet Non pertinent et non cohérent : erreur de raisonnement	Sans objet ou au moins un domaine de référence

3.3.2. Les quatre sauts « épistémiques » et le niveau charnière N7

La définition des sauts « épistémiques »

La figure n°80 précise les éléments pris en compte pour chaque niveau épistémique. Le passage des raisonnements SAR d'un niveau épistémique à un autre est dépendant de critères liés à la prise en compte :

- des trois dimensions du développement durable,
- des aspects du contexte situé (le contexte socio-économique, le contexte pédoclimatique, le contexte environnemental, le contexte réglementaire, les objectifs de l'agriculteur et les résultats attendus, le système pratiqué),
- de la qualité des arguments et des argumentations (justification, conséquence et condition).

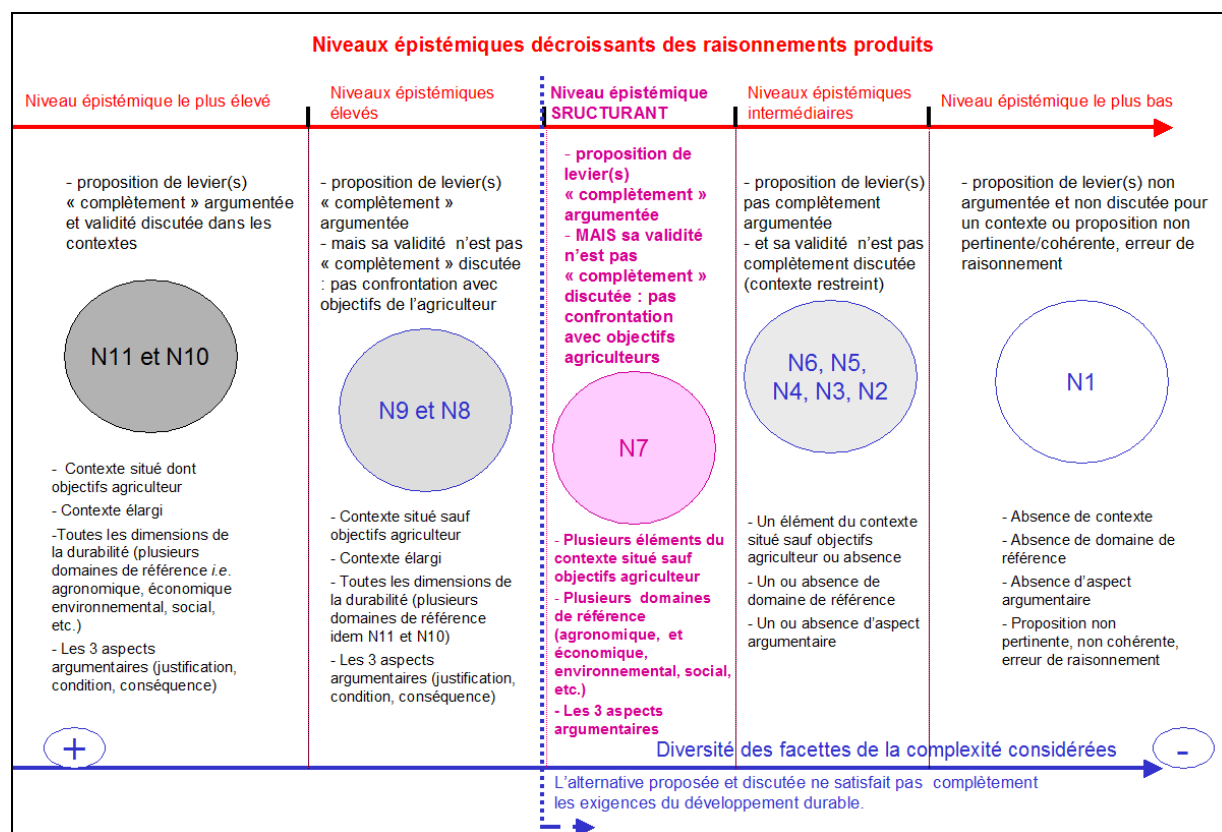
Le passage de « N1 » vers « N2-N3-N4-N5-N6 » marque le premier saut qualitatif d'un niveau épistémique bas vers des niveaux épistémiques intermédiaires. Ce saut est marqué par le début de la construction d'argument avec une proposition de levier(s) dont la validité dans le contexte n'est pas complètement discutée. La solution ne s'inscrit pas complètement dans le développement durable (les trois dimensions de la durabilité ne sont pas toutes discutées).

Le passage de « N2-N3-N4-N5-N6 » vers « N7 » caractérise le deuxième saut qualitatif avec le passage des niveaux épistémiques intermédiaires vers le niveau épistémique structurant. Le saut qualitatif est marqué par la construction d'une argumentation « complète » avec justification du (ou des) levier(s) choisis, des conséquences et des conditions de ce choix. Mais là encore la solution ne s'inscrit pas complètement dans le développement durable, car toutes les dimensions de la durabilité ne sont pas explorées. La validité de la proposition n'est pas complètement discutée dans le contexte situé car les propositions ne sont pas confrontées aux objectifs de l'agriculteur, pilote du système, pour être discutées.

Le passage de N7 vers « N8-N9 » dessine le troisième saut qualitatif du niveau épistémique structurant vers des niveaux épistémiques élevés. La proposition de leviers est argumentée avec des justifications, des conséquences et des conditions découlant du choix. Les trois dimensions de la durabilité sont considérées dans l'argumentation. Là encore, la solution n'est pas confrontée aux objectifs de l'agriculteur pour être discutée. En revanche, les argumentations prennent appui sur des considérations hors du contexte situé.

Le passage des niveaux épistémiques élevées « N8-N9 » vers des niveaux très élevés « N10-N11 » marque un appui sur les objectifs de l'agriculteur et une inscription dans le développement durable (trois dimensions). Les argumentations sont « complètes » (justification, conséquence et condition) et les propositions sont discutées en termes de validité en contexte mais également en les confrontant à considérations hors du contexte du cas étudié, signifiant un net élargissement du cadre des références pour raisonner les alternatives aux pesticides.

Figure n°80 : 11 niveaux de complexité des raisonnements SAR et quatre sauts « épistémiques »



Le niveau de complexité N7, structurant pour enseigner-apprendre des SAR

Pour les filières d'enseignement agricole, le niveau N7 nous apparaît être un niveau charnière permettant de structurer la progressivité des apprentissages liés à la construction de raisonnements complexes agro-écologiques socioéconomiques chez les élèves/étudiants. L'enseignement de la discipline « agronomie » s'appuie en particulier sur des activités autour du verbe « raisonner » dans les *curricula* de Bac pro CGEA et de BTS APV : *raisonner une stratégie d'entreprise, raisonner des interventions techniques, raisonner des choix d'équipements, raisonner le système de culture, raisonner l'assolement, raisonner une stratégie de maîtrise des populations de bioagresseurs*⁶⁰⁸, entre autres. En nous fondant sur notre expertise de formatrice, nous avons pu constater que les enseignants novices et expérimentés que nous croisons en formation ont des interprétations différentes du niveau d'exigence de l'activité « raisonner » attendue chez leurs élèves/étudiants. Ce constat est en particulier vérifié dans le cas des raisonnements attendus pour concevoir des systèmes de culture alternatifs aux pesticides. Nous avons évoqué à partir de l'analyse curriculaire, des éléments structurants qu'il conviendrait de développer pour enseigner-apprendre à raisonner autrement afin de réduire la dépendance aux pesticides. Les savoirs en jeu sont complexes reposant sur la discipline agronomie et sur d'autres disciplines et enseigner-apprendre à construire des SAR participe à apprendre à produire autrement.

⁶⁰⁸ Extrait du référentiel de diplôme Bac pro CGEA

La qualité de l'argumentation construite dans une discussion dont l'objet est la résolution d'un cas d'étude assez proche de la réalité est l'entrée que nous avons retenue pour travailler la prise en compte de la complexité et évaluer les SAR. Enseigner-apprendre des argumentations complexes est un enjeu d'apprentissage. En effet une solution proposée fondée sur une argumentation qui avance des justifications, des conditions de mises en œuvre, et aborde les conséquences que les concepteurs envisagent, offre davantage de points d'ancrage pour apprendre à composer avec la complexité, c'est-à-dire en considérer différentes facettes, les caractériser et les discuter pour agir. Nous rejoignons Mercer (2000) qui précise que «*grâce au langage, le potentiel mental de chacun va pouvoir s'articuler en une intelligence communicative collective qui va permettre à tous de mieux comprendre le monde et de confronter les meilleures façons de l'appréhender* (Mercer, 2000, p. 6)» (cité par Feunteun et Lee Simon, 2009, p.63). Nous avons construit l'expérimentation pour favoriser l'émergence de discussions exploratoires au sens «*exploratory talk*» de Mercer (1995). Cette activité amène les élèves/étudiants à expliciter les points d'appui du raisonnement. Selon Mercer, en interaction avec l'enseignant, l'argumentaire produit par des participants du groupe de travail peut être critiqué, invitant ou exigeant des locuteurs la production d'autres arguments, la mise en avant de preuves ouvrant une perspective supplémentaire pour (i) aller chercher d'autres informations afin d'étayer la «*preuve*» et/ou (ii) défendre son point de vue et convaincre l'autre et les autres. Ce discours exploratoire permet d'acquérir une démarche de construction d'une argumentation pour soutenir une position, pour discuter son acceptabilité et pour questionner la validité des solutions. Le discours exploratoire fait apprendre à rendre intelligible et clair le savoir pour qu'il soit entendu, il fait s'exercer à la construction d'une critique constructive pour que le savoir soit partagé et il fait s'exercer à engager sa responsabilité pour que le savoir soit validé. La démarche de résolution de problèmes complexes amène les participants à produire un savoir collectif et «*raisonné*» (Simonneaux, Panissal et Brossais, 2013). Dans ce cadre, les investigations déclenchées répondent à une question que se pose l'apprenant et génèrent des apprentissages plus efficaces.

S'il est important que les élèves/étudiants prennent en compte différentes facettes de la complexité dans leurs raisonnements, l'enseignant doit néanmoins adapter la difficulté au niveau attendu pour une filière d'enseignement. Dans le cas de la gestion des adventices, décider et choisir de réduire la complexité, c'est assurer que les élèves/étudiants pourront cerner les contours de l'objet complexe pour en produire ensuite une représentation qui leur permettra de proposer et de discuter des solutions. S'appuyer sur le contexte situé dans les enseignements-apprentissages et ne pas accorder dans un premier temps, toute son importance au contexte élargi permet de considérer des facettes de la complexité qui sont familières aux élèves/étudiants dans un cadre scolaire pour des filières à visée professionnelle (production) : l'exploitation agricole, l'agriculteur et ses pratiques, des éléments d'organisation du territoire proche, ses enjeux et sa dynamique, représentent des facettes de la complexité. Cet ensemble constitue un premier contexte complexe qui permet de discuter la validité des alternatives aux pesticides proposées : elles doivent être pertinentes pour le problème à résoudre et cohérente dans le système considéré. Ce n'est alors que dans un deuxième temps que les propositions peuvent être discutées avec les objectifs de l'acteur du système. Dans le cadre de notre expérimentation, la problématique à traiter n'est pas un cas d'étude extraordinaire au sens littéral du terme. Envisager des alternatives pour répondre aux nouveaux enjeux du «*produire autrement*» en réduisant les pesticides est une préoccupation du monde professionnel. Les solutions sont construites, au cas par cas, ancrées dans le contexte situé. Cette perspective s'appuie en particulier sur un raisonnement complexe. Nous considérons ainsi qu'il est possible de construire pour les enseignements-apprentissages des blocs de sens à partir desquels la complexité pourra être abordée, discutée par les élèves/étudiants. Ces «*blocs de*

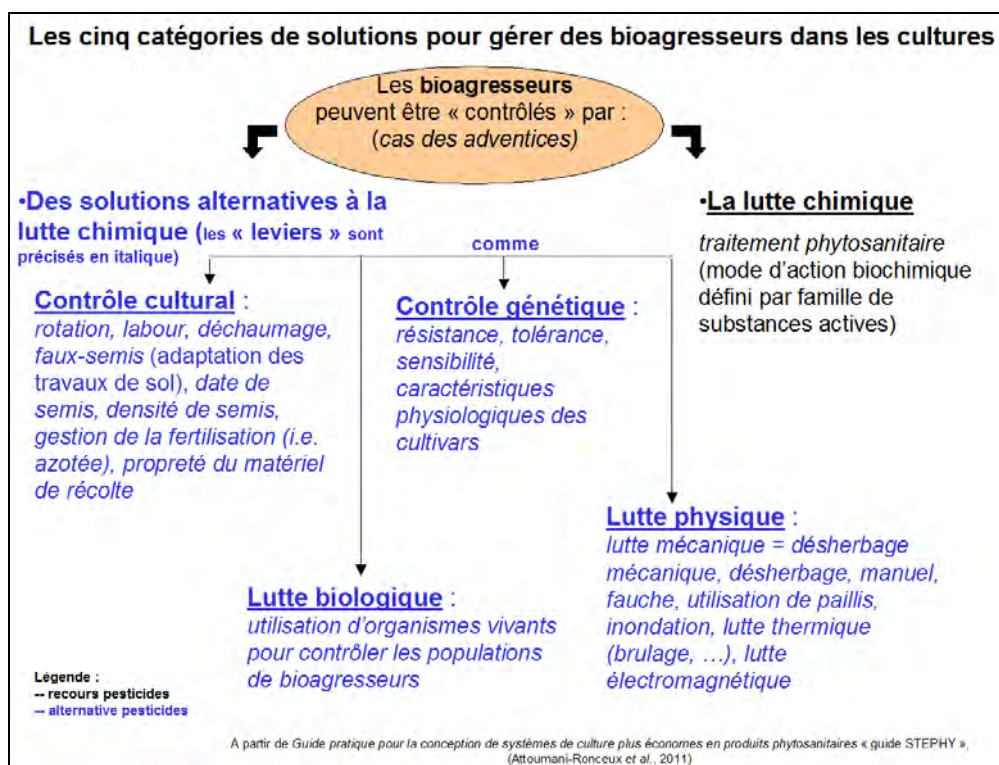
sens » pourront servir de fondation pour intégrer de nouveaux savoirs qui permettront d'appréhender de nouvelles facettes de la complexité, permettant ainsi d'accroître le niveau épistémique des raisonnements.

Enfin, proposer des arguments adossés aux trois dimensions de la durabilité participe à la prise en compte de la complexité et contribue à exercer les élèves/étudiants à la démarche d'évaluation multicritère. Pour « produire autrement », les solutions proposées doivent s'inscrire dans le développement durable, être discutées et critiquées dans ce sens.

3.4. Présentation détaillée de leviers pour gérer des populations d'adventices annuelles

Nous avons présenté dans le chapitre 2 cinq grandes catégories de solutions pour gérer des adventices. La figure n°29 présentée dans le chapitre 2 est rappelée ici.

Figure n°29: Cinq catégories de solutions pour gérer les bioagresseurs et leviers disponibles pour le cas des adventices annuelles



Il convient de compléter la présentation pour comprendre comment agissent les leviers. Nous présentons sous la forme d'un tableau dans lequel nous avons rassemblé plusieurs types d'informations présentées de manière éclatée dans la littérature (cf. tableau n°30). Nous avons en outre pu constater des variations des contours différents pour le notion de « levier ». Nous avons retravaillé des sources en homogénéisant les termes désignant la même chose. Nous avons présenté les leviers par grands principes d'action : action sur le stock semencier, évitement, atténuation en culture, approfondi les effets escomptés sur la flore, précisé l'efficacité des différents leviers (levier à effets partiels avec levier principal noté LP, secondaire noté LS, complémentaire noté LC). Enfin, nous avons rappelé à quelle catégorie

de solutions le levier appartient (contrôle cultural, contrôle génétique, lutte biologique⁶⁰⁹, lutte mécanique). Pour faciliter la lecture dans le tableau, les leviers sont repérés en gras, les catégories désignées en italique.

⁶⁰⁹ Nous n'avons pas développé cet aspect pour la gestion des adventices. La lutte biologique est davantage mobilisée et répandue pour le contrôle des maladies et des ravageurs.

Tableau n°30 : Proposition de clarification des leviers, principes et d'effets escomptés de leviers pour gérer les adventices annuelles

Leviers pour gérer les bioagresseurs type adventices (annuelles)	Principes	Effets escomptés sur la flore adventice Justification des intérêts agronomique (scientifique et technique)	Estimation qualitative du niveau d'efficacité du levier (LP, LS, LC)	Catégorie de solutions
1 Première famille de leviers : actions sur le stock semencier initial de la population d'adventice				
Succession des cultures = rotation	Augmenter le nombre de cultures dans une rotation. Et Alterner des cultures d'hiver et des cultures printemps et/ou été et par conséquent →diversifier les dates d'implantation et de récolte, →diversifier les modes d'implantation (en lien avec les travaux de sol).	L'effet des successions des cultures est important pour les organismes peu mobiles comme les semences d'adventices → réduire le nombre de plantes d'adventices en ne faisant pas coïncider les périodes de levée de la culture avec celle de l'adventice pour limiter les phénomènes de concurrences → ne pas spécialiser un cortège de flores à un grand type de culture (culture d'hiver par exemple).	Levier très efficace LP	Contrôle cultural
Les travaux de sol	Adaptation du travail du sol →doser travail profond/superficiel et alterner les travaux de sol en fonction des caractéristiques de l'adventice → favoriser et/ou limiter les travaux profonds selon la biologie de l'adventice.	Le travail du sol permet de gérer le stock semencier des adventices		
Labour	Exposer le stock semencier aux agents de dégradation →enfouir les semences en profondeur et attention à ne pas les replacer à la surface avant la mort de la semence	Opération culturale valide pour des semences qui ont une faible dormance, une durée de vie courte (taux annuel de décroissance TAD >75 %), germant dans les premiers centimètres du sol, la viabilité des semences est alors fortement réduite sur le suivant. →Réduction du stock de semences et limitation du phénomène de ré alimentation du stock	Levier très efficace LP	<i>Contrôle cultural</i>
Déchaumage	Travail superficiel par passage d'outils (à disques souvent) plus ou moins rapidement après récolte et avant le semis de la culture suivante pour détruire des	Pour la grande majorité des adventices, la levée est optimale dans les 5 premiers centimètres sauf pour les folles avoines. Il faut aussi tenir compte du TAD ⇒ favoriser « artificiellement » leur levée avant la culture suivante → deux actions	Levier à efficacité modérée LS	<i>Contrôle cultural</i>

Leviers pour gérer les bioagresseurs type adventices (annuelles)	Principes	Effets escomptés sur la flore adventice Justification des intérêts agronomique (scientifique et technique)	Estimation qualitative du niveau d'efficacité du levier (LP, LS, LC)	Catégorie de solutions
	plantes levées et/ou pour germer des semences du stock semencier	- favoriser germination et levées des graines d'adventices <u>dans et sur</u> le sol par des passages d'outils (ameublissement du sol et remaniement des premiers centimètres) - détruire les plantes levées par un autre passage d'outils - éliminer des adventices qui ont levé dans la culture précédente ou après la récolte durant l'interculture si leur stade n'est pas trop développé		
Faux semis	Réaliser une préparation de sol pour faire un lit de semences → conditions favorables à la germination des semences	Provoquer artificiellement des germinations de semences d'adventices Nécessité de détruire les plantes levées avant le semis du suivant → destruction des plantes levées lors d'autres passages d'outils ⁶¹⁰ → ou destruction chimique	Levier à efficacité modérée LS	<i>Contrôle cultural</i>
Qualité sanitaire des semences	Lots de semences d'excellente qualité → pas ou peu d'impuretés (semences autres que les semences de la culture)	Limiter la contamination lors du semis et ne pas contribuer à approvisionner les stocks semenciers du sol.	Levier à efficacité modérée LS	<i>Contrôle cultural</i>
Propreté des équipements agricoles de récolte	Nettoyer les matériels en particulier de récolte notamment dans des périmètres dans lesquels des adventices résistantes ont été repérées	Limiter les phénomènes de « pollution » par des apports exogènes à la parcelle → ne pas contribuer à approvisionner les stocks semenciers du sol	Levier à portée réduite LC	<i>Contrôle cultural</i>
2 Deuxième famille de leviers : l'évitement				
Choix des dates de semis	Ne pas faire coïncider les périodes de sensibilité de la culture avec le risque de concurrence de l'adventice (ex : période de levée de la culture coïncidant avec les périodes de levée de l'adventice) Ou au contraire favoriser les phénomènes de concurrence	Reculer les dates de semis en fonction des dates de levée préférentielles des adventices : l'objectif est de pouvoir intervenir si nécessaire avant l'implantation de la culture pour réaliser des faux semis et/ou déchaumages. Avancer les dates de semis en fonction des dates de levée préférentielles des adventices : il s'agit de profiter du pouvoir couvrant et concurrentiel	Levier très efficace LP + pour les cultures d'hiver, de fin de printemps -/- pour les cultures de début de printemps (plus de risques de levées échelonnées des	<i>Contrôle cultural</i>

⁶¹⁰ Parfois, la destruction des adventices n'est pas mécanique, résultat du passage d'outil, mais chimique avec l'application d'un herbicide non sélectif. On parle alors de déchaumage chimique.

Leviers pour gérer les bioagresseurs type adventices (annuelles)	Principes	Effets escomptés sur la flore adventice Justification des intérêts agronomique (scientifique et technique)	Estimation qualitative du niveau d'efficacité du levier (LP, LS, LC)	Catégorie de solutions
	entre culture et adventice (avantage escompté culture)	(culture étouffante comme le colza) que peut représenter le couvert de la culture bien installé tôt	adventices).	
3 Troisième famille de leviers : atténuation en culture				
Adaptation de la densité de semis et de l'écartement entre rangs	L'itinéraire technique permet d'adapter la réceptivité du couvert à différents bioagresseurs et sa compétitivité face aux mauvaises herbes. Il s'agit de renforcer le pouvoir concurrentiel de la culture durant son cycle cultural : la culture va « étouffer » les populations d'adventices.	Augmenter la densité de semis → augmenter le nombre de plantes/unité de surface en particulier agir sur l'espace inter-rang, zone qui peut plus facilement être colonisée par les adventices.	Levier à efficacité modérée LS	<i>Contrôle cultural</i>
Adaptation de la nutrition de la culture (essentiellement NPK)	Principe conditionné par la nitrophilie de la culture et de la population d'adventices → moduler la fertilisation surtout azotée pour favoriser la croissance et le développement de la culture au dépens de l'adventice → favoriser l'étouffement des adventices par la culture.	La culture utilisera mieux les ressources disponibles azote et lumière entre autres → Apports azotés précoces en culture pour les peuplements cultivés nitrophiles pour étouffer les adventices → Ou retarder les premiers apports en azote dans le cas des peuplements moins gourmands en azote par rapport à la flore adventice suspectée	Levier à efficacité modérée LS	<i>Contrôle cultural</i>
Adaptation de l'irrigation	Moduler les apports d'eau pour limiter la prolifération et l'exubérance des adventices hydrophiles	Favoriser la culture qui va prendre le dessus sur les peuplements d'adventices	Levier à efficacité modérée LS	<i>Contrôle cultural</i>
Les associations de cultures, cultures intercalaires, semis sous couvert	Optimiser l'utilisation de l'espace et la mobilisation des ressources par le peuplement	Les adventices sont très concurrencées pour la lumière entre autres et pour l'azote (cas des cultures associées avec des légumineuses [meilleure efficacité de l'azote dans le peuplement cultivé] : croissance et développement sont ralentis et par conséquent la production de semences est affectée	Levier à efficacité modérée LS	<i>Contrôle cultural</i>

Leviers pour gérer les bioagresseurs type adventices (annuelles)	Principes	Effets escomptés sur la flore adventice Justification des intérêts agronomique (scientifique et technique)	Estimation qualitative du niveau d'efficacité du levier (LP, LS, LC)	Catégorie de solutions
Choix variétal	Ce sont les caractéristiques propres des cultivars qui déterminent leur agressivité vis-à-vis des adventices : vitesse de levée et de croissance, port étalé de la plante	Les plantes cultivées dans le peuplement vont pousser plus vite que les adventices et/ou le port peut être aussi plus étalé et couvrir le sol et étouffer les adventices (manque de lumière) →meilleure efficacité de l'exploitation des ressources par le peuplement cultivé	Lever difficile à maîtriser mais assez efficace LS	<i>Contrôle génétique</i>
4 Quatrième famille de leviers : solutions de rattrapage				
Désherbage mécanique	Détruire les adventices dans le peuplement cultivé par action mécanique	Destruction aux jeunes des adventices aux stades jeunes par le travail du sol et le passage d'outils telles que les opérations de binage, sarclage, hersage en plein (à l'aveugle en limitant le déchaussement de la culture ou dans l'inter-rang)	Lever à efficacité faible LC	<i>Lutte physique</i>
5. la lutte chimique				
Désherbage avec phytosanitaires	Détruire chimiquement les adventices dans le peuplement cultivé avec des herbicides	Diverses possibilités : pré-semis, post-semis précoces et post-semis tardifs	Efficacité de référence mais LC (perspective des systèmes économes en pesticides)	Lutte chimique

4. Validités interne et externe de notre démarche de définition des niveaux de complexité des SAR

Nous discutons des points d'appui qui ont fondé la validité externe et la validité interne de notre grille d'analyse des SAR.

Nous avons procédé par itérations successives pour construire notre grille d'analyse des SAR attendus. Nous avons croisé des approches en sciences de l'éducation, en sciences agronomiques et nous nous sommes appuyée sur notre connaissance des pratiques de conduites des cultures des agriculteurs. Nous avons discuté nos projets de grille avec des chercheurs en sciences de l'éducation et avec des formateurs en agronomie qui ont eux-mêmes une expérience dans l'enseignement de filières professionnelles de l'enseignement agricole.

Notre grille a un double statut. Elle permet de repérer et de caractériser des argumentations attendues *a priori* et dans le même temps, elle sert de cadre de référence pour évaluer la complexité des SAR dans les discussions collectives des élèves/étudiants confrontés à la résolution de la QSV. Cependant, le statut de notre grille est étroitement lié à l'objectif visé par la construction de la situation-problème : l'approche est d'abord compréhensive et exploratoire. Nous avons souhaité faire émerger des raisonnements informels, d'une part afin de voir comment les arguments agronomiques étaient mobilisés pour résoudre le problème de salissement et d'autre part nous avons souhaité repérer des freins et des appuis au développement des SAR. Enseigner-apprendre à produire autrement avec moins d'herbicides vise à apprendre à construire des solutions pertinentes et valides pour effectivement conduire des productions agricoles en réduisant la dépendance aux pesticides dans des contextes variés. C'est la raison pour laquelle, nous avons construit notre grille en accordant une place centrale à la notion de levier. Même s'il existe des variantes dans les déclinaisons pratiques d'un même levier, les effets attendus reposent sur des grands principes communs. Par exemple, allonger une rotation répond à des exigences de rupture de cycle de biogresseurs qui pourraient co-évoluer avec une séquence trop répétée de successions de cultures et à la nécessité d'utiliser au mieux les ressources du milieu (profondeur d'exploration des racines et contribution à l'effet de structuration des sols, besoin en eau et en substances nutritives, enrichissement du sol en azote, fourniture en humus des résidus de récolte, etc.). Cet exemple permet de comprendre pourquoi nous n'avons pas retenu des argumentations complètes pour toutes les spécifications d'un levier. La proposition est satisfaisante si une justification, une conséquence et une condition pour un levier et l'ensemble de ses spécifications sont énoncées dans un épisode et à condition qu'elles soient pertinentes et cohérentes. Nous avons également choisi de nous appuyer sur les principes de l'agriculture intégrée qui n'écarte pas le recours aux produits phytosanitaires : les leviers alternatifs aux pesticides sont à mobiliser d'abord pour contrôler les biogresseurs et la lutte chimique est davantage une solution de dernier recours. Nous n'avons pourtant pas retenu la hiérarchie des leviers comme critère dans la définition des niveaux de complexité des raisonnements dans le deuxième cadre d'analyse proposé. Cette pondération est nécessaire pour évaluer la qualité des SAR, mais elle doit être considérée pour structurer les enseignements/apprentissages qu'après un premier travail didactique sur la pertinence des leviers et/ou de leurs combinaison dans cet objectif avec les élèves/étudiants. Notre dispositif n'a pas été construit dans ce sens.

La confrontation de notre première grille d'analyse avec le corpus de données recueillies a également contribué à ajuster la première grille, confortant l'idée de retenir comme point d'entrée pour l'évaluation la façon dont les leviers étaient discutés. Nous avons clarifié les indicateurs dans la grille afin qu'elle puisse servir à évaluer une construction, le processus de raisonnement, et un résultat, la solution finale proposée par les groupes. Les aller-retour avec

le corpus ont contribué à clarifier les niveaux les moins élaborés des raisonnements (niveau N1, N2).

Chapitre 4

Partie 4V - Eléments de méthodologie pour analyser le corpus discursif

Un corpus d'étude, trois analyses de données distinctes

Dans ce dernier sous-chapitre, nous développons des méthodologies qui ont structuré le traitement des données pour tester les hypothèses H1 et H2 et pour contribuer à répondre aux questions de recherche QR7 et QR8 reformulée.

Nous rappelons les questions de recherche et les hypothèses afférentes à cette partie.

Hypothèse 1 : Selon nous, l'argument santé humaine pourrait être un facteur décisif dans l'engagement à renoncer à l'usage systématique des pesticides en particulier chez les futurs agriculteurs en formation.

Hypothèse 2 : Selon nous, à la lumière de notre connaissance des référentiels de diplôme et de notre expertise de formatrice, les élèves de Bac pro CGEA sont moins bien armés que des étudiants de BTS APV pour développer des raisonnements complexes agro-écologiques et socioéconomiques afin d'aborder la réduction de l'usage des pesticides.

QR7 : Peut-on identifier un corpus de savoirs robustes (Martinand, 2007 ; Mayen, 2013) agronomiques nécessaires pour envisager des alternatives à l'usage des pesticides à l'échelle du système de culture ?

QR8 reformulée : Peut-on à partir du dispositif de recherche capter chez les élèves/étudiants des arguments exprimant des risques perçus et/ou en lien avec les conceptions des sciences, des scientifiques et du milieu biophysique ? Cette dernière dimension est importante à considérer dans le cadre d'innovations de rupture qui s'inscrivent dans une perspective agro-écologique.

Notre recueil de données repose sur les discussions des élèves/étudiants au cours de la résolution du problème au cœur de notre situation-problème. Nous avons configuré notre dispositif afin de favoriser *a priori* chez les élèves/étudiants la mobilisation de la discipline scolaire agronomie pour qu'ils envisagent la reconception du système de culture (cf. partie III4 dans ce chapitre). La configuration de travail proposée aux participants devrait permettre des discussions exploratoires « *Exploratory talk* » (Mercer, 1995). A partir de ces discussions, nous allons conduire trois types d'analyse de données.

- L'analyse des argumentations va permettre d'identifier des arguments en agronomie et des arguments dans d'autres domaines de référence sur lesquels les élèves/étudiants s'appuient pour résoudre le problème de l'étude de cas. Nous avons proposé une bibliothèque de références. Est-ce que les élèves/étudiants utilisent ces références pour résoudre le problème ? Quelles sont les autres sources d'appui pour construire la solution : leur système de représentations-connaissances (Beitoin et Legardez, 1995), des données du cas d'étude (données factuelles) ?

Cette perspective nous amène à repreciser notre question de recherche QR7 en ces termes :

QR7 reformulée : Quels sont les arguments en agronomie mobilisés et/ou les arguments prenant appui sur d'autres domaines de référence pour proposer une solution au problème de vulpin résistant du cas d'étude ?

- L'analyse des argumentations à partir de la grille des niveaux de complexité des SAR va servir à définir le niveau de complexité des raisonnements dans les épisodes et à la fin du travail de résolution. Ce traitement de données nous permet de discuter l'hypothèse H2 dans laquelle nous supposons que les élèves de Bac pro CGEA sont moins bien armés que les étudiants BTS APV pour envisager les alternatives aux pesticides (H2).
- L'analyse des arguments va nous indiquer si notre dispositif favorise ou pas l'émergence dans les discussions d'arguments exprimant des risques/incertitudes perçus en lien avec les conceptions des sciences et/ou des scientifiques et/ou du milieu biophysique (Douglas et Wildavsky, 1983). Il convient de préciser la méthodologie d'analyse de données pour repérer des arguments en termes de santé qui, selon nous sont décisifs chez les futurs agriculteurs pour écarter le recours aux pesticides dans les solutions à promouvoir dans la protection des cultures (H1).

Dans une première partie, nous présentons les différentes étapes qui structuré nos différents recueils de données liés à la résolution de la situation-problème et nous présentons nos trois niveaux d'analyse (macro, méso et micro). Dans une deuxième partie, nous expliquons comment nous avons « transformé » notre recueil de données audio en corpus d'étude. Dans une troisième et dernière partie, nous précisons des éléments de méthodologie pour traiter nos corpus d'étude pour les trois niveaux d'analyse retenus.

1. Le recueil des données lié à la résolution de la situation-problème

Nous présentons dans un premier point le terrain de l'étude en ayant au préalable explicité des critères qui ont contribué à arrêter ce choix. Dans un deuxième point, nous abordons les étapes du recueil de données. Les trois niveaux d'analyse retenus sont présentés dans un troisième point.

1.1. Le terrain de l'étude

Nous rappelons dans ce paragraphe quatre critères déterminant le choix de notre terrain d'étude : ce sont la pertinence de conduire une expérimentation avec des publics d'élèves en Bac pro CGEA système de culture (sdc) et des étudiants en BTS APV, l'appui présumé du réseau « Agronomie-Ecophyto » dans la construction de situations éducatives adaptées à l'« enseigner à produire autrement » lié à l'engagement de l'enseignant dans ce réseau, l'intérêt de réaliser en vraie grandeur un travail avec des élèves et des étudiants pour tester le modèle de situation-problème et la disponibilité des enseignants sur les sites d'accueil. Nous présentons brièvement des traits des deux classes retenues.

Les critères de choix du terrain de l'étude

- *Deux filières d'enseignement professionnel retenues*

Nos questions de recherche et nos hypothèses nous ont conduit à retenir (i) la filière Bac pro CGEA et (ii) la filière BTS APV pour lesquelles concevoir des systèmes de culture économes en pesticides est un enjeu de formation et participe au « produire autrement » dans le cadre des orientations du projet d'agriculture pour la France (Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014). Nous supposons que des connaissances préalables sont nécessaires pour résoudre le problème au cœur de notre situation-problème. C'est la raison pour laquelle nous avons travaillé avec des élèves/étudiants en deuxième année et presque en fin de cursus.

(i) La filière Bac pro CGEA prépare au métier d'agriculteur et elle va nous permettre de discuter comment les *curricula* (prescrits, potentiels, co-construits) préparent ou pas à « produire autrement avec moins de pesticides ». Nous avons choisi la spécialité système à dominante cultures (sdc) car les enseignements sont directement en prise avec des problématiques liées à la gestion et à la conduite des systèmes de culture. La formation initiale par voie scolaire est pertinente dans notre étude car, contrairement à la formation par apprentissage ou à la formation pour adultes, la question de la construction de la référence d'appui est très marquée par le contexte scolaire : les élèves ont encore peu d'expérience professionnelle et ce sont souvent de références façonnées par le cadre familial qui servent de repères (Frère, 2014).

(ii) La filière BTS APV permet d'aborder des aspects très proches que ceux évoqués pour le Bac pro, mais en préparant également au métier du conseil, elle offre l'opportunité d'analyser dans quelle mesure les *curricula* sont favorables ou pas à la construction de conseils adaptés au changement de paradigme dans la protection des cultures (Ricci *et al.*, 2011). En effet, les exigences du plan Ecophyto dans une perspective de transition agro-écologique induisent un nouveau contexte d'exercice du métier qui « *bouscule, remet en cause le conseil ou au moins le questionne dans ses différentes dimensions que sont l'expertise technique, la relation d'accompagnement agriculteur – conseiller, l'économie, toutes trois conditionnant la possibilité de « délivrer un avis sur ce qu'il convient de faire »* (Cerf *et al.*, 2009) » (cité par Petit *et al.*⁶¹¹, 2012b, p. 115). D'autant que le « vrai », « le bon » et « le juste » selon les termes de Gagneur (Gagneur, 2012, p. 6) se télescopent dans cette nouvelle configuration. Le « vrai » consiste à construire un conseil qui favorise la reconception des systèmes dépendants aux pesticides à partir de références en construction, pas encore stabilisées, controversées et pour certaines produites « *selon des canons qui sont encore marqués par les approches réductionnistes* » (*ibid.*, p.6). Le « bon » caractérise ce qui est souhaitable, il est d'autant plus difficile à cerner qu'il n'est pas clair et partagé. Le « juste » discute la posture du conseiller qui voit le cadre de ses mandats élargi au « *conseil pour un développement rural* » (Gagneur, 2012, p. 7). Cette « *triple déstabilisation des modes de construction du vrai, du bon et du juste* » (*ibid.*) impose un renouvellement des formes du conseil et de l'accompagnement dans l'agriculture : il s'agit de « *conseiller et accompagner autrement* » (Gagneur, 2012 ; Cerf *et al.*, 2012a et 2012b ; Auricoste *et al.*, 2013 ; Olry, 2013 ; Delbos *et al.*, 2014).

Nous avons supposé que les *curricula* prescrits et potentiels du BTS APV préparent mieux les futurs professionnels à envisager des alternatives aux pesticides que les *curricula* du Bac pro CGEA sdc. Nous avons discuté cette présupposition dans la partie 4I de ce chapitre et notre analyse des référentiels semble le confirmer.

⁶¹¹ Petit, Raymond, Deytieux, Schaub, Cerf, Omon, Guillot, Olry, Vivier, Piaud, Minette et Nolot, 2012

- *L'implication dans l'action 16 et le réseau « Agronomie-Ecophyto »*

Nous avons également supposé que les enseignants impliqués dans les actions du réseau « Agronomie-Ecophyto » seraient plus à même de co-concevoir des situations éducatives favorisant des alternatives aux pesticides tout en inscrivant leurs propositions dans le cadre de réflexions en lien avec le « produire autrement » et le développement durable. Nous avons donc retenu deux établissements :

- un établissement d'enseignement agricole dont l'exploitation-support est engagée dans l'action 16 et avec un enseignant de sciences et techniques agronomiques intervenant en BTS APV dans la discipline « agronomie » et impliqué dans l'action 16 ;
- un autre établissement sans implication dans le réseau « Agronomie-Ecophyto » et n'émargeant pas à l'action 16 dans lequel l'enseignant de sciences et techniques agronomiques n'intervient que dans la filière Bac pro CGEA sdc (et en agronomie).

- *Le facteur « disponibilité » des acteurs du terrain*

Quand nous avons démarré notre recherche, la conjoncture ne nous a pas permis de structurer un groupe de travail ayant une existence officielle, associant chercheur, enseignants de lycées agricoles et inspection pédagogique. Nous entendons par-là un réseau d'appui pédagogique avec une reconnaissance de la DGER *via* des financements pour permettre des regroupements des parties prenantes autour d'ateliers de travail didactique. La disponibilité limitée des collègues qui ont coopéré à notre expérimentation nous a contraint à renoncer à leur implication dans la co-conception du dispositif de recueil de données. Nous avons construit notre dispositif « sans l'appui d'acteurs sur le terrain ». Très rapidement notre travail s'est structuré sous la forme d'une recherche prospective explorant des croisements disciplinaires nouveaux : agronomie productions végétales et didactique des QSV pour contribuer dans le même temps à alimenter un projet scientifique « APR pesticides », *Didacphyto* [2013-2016], dans lequel nous sommes encore engagée. Le choix d'impliquer concrètement des élèves/étudiants dans la résolution d'un problème visant la conception d'alternatives aux pesticides, nous a fait retenir des établissements proches pour pallier des problèmes éventuels dans le recueil de données et pour réagir vite.

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous (cf. tableau n°31) les trois critères d'exigence et de contrainte qui nous ont conduit à choisir les deux « lycées agricoles » de notre dispositif de recherche.

Tableau n°31 : Les critères de choix des établissements de l'expérimentation

Critères de choix	Etablissement 1	Etablissement 2
Filière Bac pro CGEA sdc		X
Absence de filière Bac pro CGEA sdc	X	
Filière BTS APV	X	
Absence de filière BTS APV		X
Filière en formation initiale par voie scolaire	X	X
Action 16 et engagement de l'exploitation du lycée	X	
Action 16 et implication de l'enseignant d'agronomie dans le réseau « Agronomie-Ecophyto »	X	
Disponibilité de l'enseignant d'agronomie pour implication dans l'expérimentation de recherche	Oui pas plus de 10 heures environ	idem

- *Intérêt de conduire en vraie grandeur le test du modèle de la situation-problème en se calant sur des pratiques ordinaires*

Le test de notre modèle de situation-problème avec des publics en formation doit permettre de voir comment son contenu est appréhendé par ce genre d'élèves/étudiants et s'il est adapté. Les données empiriques vont permettre de discuter la pertinence des niveaux de complexité retenus. Nous avons intégré une contrainte « temps » pour la résolution du problème du cas de l'étude en nous calant sur des pratiques ordinaires de conduite de séances d'enseignements-apprentissages en formation initiale par voie scolaire. Les enseignants évoquent de manière récurrente le manque de temps pour faire des activités « différentes » du cours dialogué. Un créneau de deux heures est couramment dédié à la conduite de travaux dirigés. Nous avons ainsi calé notre dispositif sur ce format horaire.

Notre recherche a un horizon didactique : contribuer à enseigner-apprendre à produire autrement avec moins de pesticides. Nous comptons sur ce recueil de données empiriques et sur ses analyses pour révéler des points d'appui pour aider les enseignants à favoriser des SAR adaptés et pour discuter dans quelle mesure, cet outillage peut aider les élèves/étudiants à apprendre à co-concevoir des systèmes de culture économes et/ou quelles adaptations devrions-nous proposer pour y parvenir.

Quelques traits des deux classes d'élèves/étudiants de l'étude

La classe de terminale Bac pro CGEA compte 13 élèves (tous des garçons) et environ 50 % d'entre eux sont issus du milieu agricole. Le bassin de recrutement est proche de l'établissement. D'après leur enseignante, les élèves sont plutôt scolaires intéressés par le machinisme agricole et la « technique ». L'enseignante s'est dite étonnée de leur intérêt pour les effets des « phytos » sur la santé humaine (interventions de la Mutualité Sociale Agricole). L'établissement a une exploitation support avec des grandes cultures conduites en raisonné et un élevage de bovins. Les systèmes de grandes cultures conventionnels et/ou raisonnés dominent dans le territoire agricole proche de l'établissement.

La classe de BTS APV de deuxième année BTS APV compte 14 étudiants avec 8 garçons et 6 filles et 20% d'entre eux sont issus d'un milieu agricole. La classe est plutôt intéressée par les enseignements en agronomie. L'année de l'expérimentation à la fin de l'hiver, les étudiants se sont impliqués dans l'animation d'une manifestation régionale en lien avec le plan d'action Ecophyto et l'action 16. L'établissement a une exploitation support avec des vignes et des grandes cultures conduites selon les principes de l'agriculture raisonnée. Sur ces systèmes de culture au début de notre étude, des scénarios économes en pesticides étaient en cours de construction et de test dans la perspective de réduire les intrants (pesticides en particulier sur vigne comme sur les céréales de l'assolement).

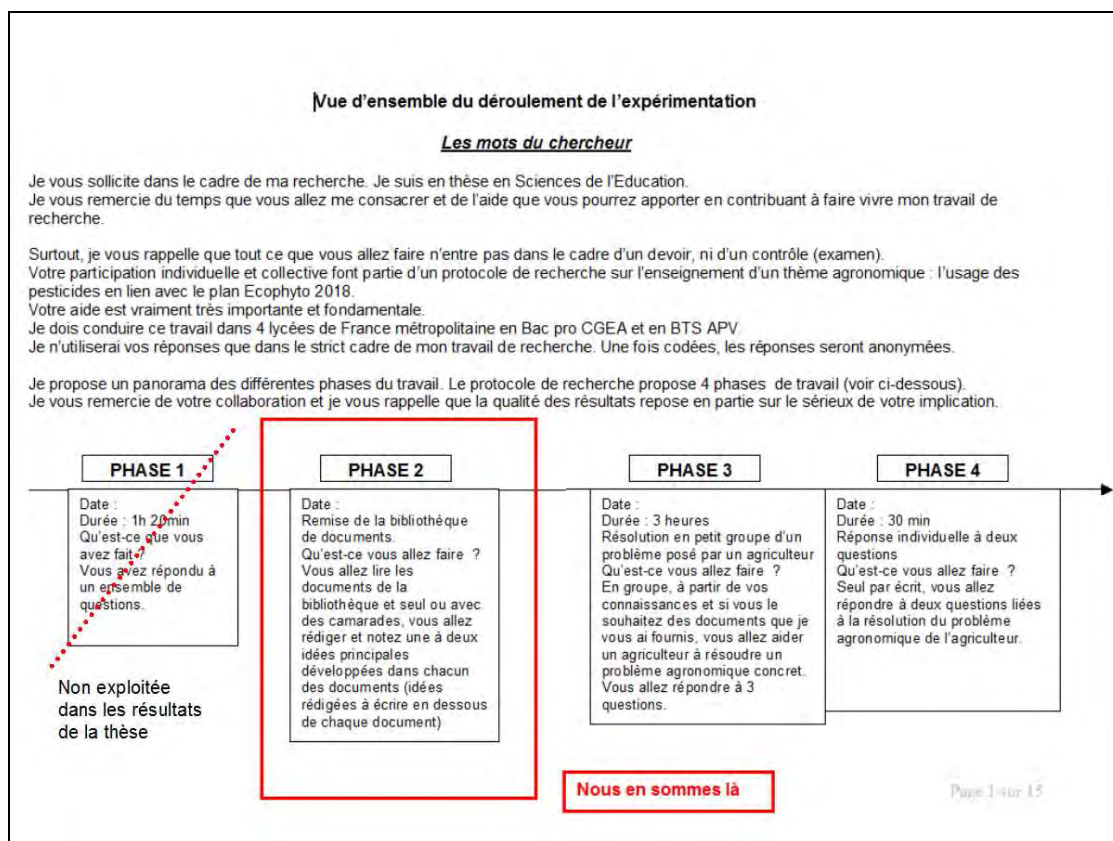
Selon les enseignants qui ont coopéré, les élèves/étudiants ont différents points de vue sur l'usage des pesticides dans l'agriculture. Nous avons repris la terminologie qu'ils ont utilisée pour caractériser *a priori* les profils :

Pro P = plutôt favorable aux pesticides, *conventionnel* = se réfère à une utilisation intensive des pesticides, *Raisonné* = se réfère à des principes de conduite de l'agriculture raisonnée, *alternatif* = plutôt en faveur des solutions alternatives aux pesticides, *substitution* = plutôt en faveur de leviers de substitution, *Bio* = profil marqué par l'agriculture biologique (parents agriculteurs bio), *indifférent* = pas de parti pris tranché décelé par l'enseignant

1.2. Les différentes étapes du recueil de données

Dans la partie 4III de ce chapitre, nous avons présenté une trame chronologique des différentes phases de notre scénario de recherche. La figure n°81 est rappelée ici et nous complétons les commentaires.

Figure n°81 : Les différentes phases de l'expérimentation de la recherche



Quatre phases ont structuré la recherche :

- une phase 1 que nous n'avons pas exploitée dans cette recherche⁶¹²,
- une phase 2 durant laquelle la bibliothèque a été analysée par les élèves/étudiants,
- une phase 3 qui correspond à la résolution de la situation-problème en un temps limité,
- et une phase 4 durant laquelle nous avons posé cinq questions à chaud à chacun des élèves/étudiants (cinq questions au lieu des trois annoncées *a priori*).

Pour la phase 2, les élèves/étudiants avaient pour consignes de lire les documents de la bibliothèque et de noter sur chacune des sources une à deux idées-clés afin de pouvoir s'y référer si nécessaire dans la phase de résolution du cas de l'étude (phase 3). Le chercheur n'a pas exigé des enseignants qu'ils participent à cette activité. Les étudiants ont conduit ce travail en autonomie, tandis que l'enseignante en Bac pro CGEA a décidé d'accompagner ses

⁶¹² A partir d'un questionnaire que nous avons construit, nous avons recueilli des données sur les systèmes de représentations-connaissances des élèves et des étudiants à propos de l'usage des produits phytosanitaires dans la protection des cultures, de leurs alternatives, du plan Ecophyto, sur des risques/incertitudes liés à l'usage des pesticides, leur perception des sciences agronomiques, des scientifiques, des sciences, de la fragilité du milieu biophysique entre autres perceptions, leurs opinions sur les effets des pesticides, sur les alternatives aux pesticides, sur le plan Ecophyto, sur les firmes phytosanitaires, sur l'encadrement de l'agriculture, sur le traitement médiatique de la question de l'emploi, entre autres.

élèves dans cette activité sur un créneau horaire « étude ». Elle voulait s'assurer que le travail préalable allait effectivement être fait avant la séance avec le chercheur.

Pour la phase 3, nous avons organisé les activités des élèves/étudiants en sous-groupes de 3 à 4 participants dans chacune des classes. Les consignes invitaient à discuter et à explorer **à l'oral** des solutions au problème de vulpin résistant. En prenant appui sur l'expertise des enseignants, nous avons veillé à mêler des profils ayant des points de vue différents sur l'usage des pesticides dans l'agriculture (cf. partie 4III de ce chapitre) afin de générer un conflit sociocognitif qui favoriseraient selon nous l'émergence de discussions de type « *exploratory talk* » (Mercer, 1995) (nous expliquons dans le paragraphe suivant des caractéristiques de ce type de discussion). Une seule solution négociée par sous-groupe a été demandée. Une trace écrite très simple a été exigée pour rendre compte des points qui ont fondé la résolution collective dans un groupe. Dans chaque classe, quatre groupes ont fonctionné en parallèle. Les discussions entre les différents participants ont été enregistrées avec un dictaphone placé au centre de chacune des tables de travail. Nous avons également placé en fond de salle, une caméra pour filmer la scène, à la fois pour rendre compte de la dynamique des échanges et pour disposer d'une source d'informations complémentaires si les données audio n'étaient pas bien audibles avec un des dictaphones. Nous avons pris en notes brèves des événements et/ou des impressions tout le long de la conduite de la séance.

Avant de commencer, chaque participant a eu pour consigne de s'identifier en citant : « *Aujourd'hui* », « *date* », à « *lieu établissement de scolarisation* », je suis en « *classe de* » en deuxième année et je m'appelle « *PRENOM NOM* ». Ce préalable facilite l'opération ultérieure de transcription des données audio à l'écrit et il est nécessaire pour identifier qui parle dans les échanges offrant alors la possibilité de suivre la « parole » de chacun des locuteurs dans un sous-groupe. Nous appelons « fil de discussion » le résultat des échanges au sein d'un sous-groupe. A la fin de la résolution, nous avons récupéré la trace écrite simplifiée construite dans chacun des groupes d'élèves/étudiants.

Durant la phase 4, nous avons conduit un entretien semi-directif à chaud, juste après le travail de résolution avec chacun des élèves/étudiants. Nous avons posé les cinq questions suivantes et nous avons veillé à les reformuler pour relancer la discussion lorsqu'elles n'ont pas été comprises et/ou lorsque les réponses « lapidaires » ne nous paraissaient pas assez explicites :

Question 1 : Est-ce que vous pouvez m'expliquer comment, individuellement et puis dans le groupe, vous avez fonctionné pour trouver la solution ?

Question 2 : Est-ce que vous êtes d'accord avec les solutions proposées par le groupe et pourquoi ?

Question 3 : Si vous avez une ou des solutions différentes qui n'ont pas été évoquées dans le groupe ou que vous n'avez peut-être pas osé dire et qui vous viennent maintenant à l'esprit, est-ce que vous pouvez me les citer ?

Question 4 : Est-ce que vous pouvez me dire ce qui a facilité votre travail ?

Question 5 : Est-ce qu'il y aurait quelque chose qui vous aurait gêné ?

- *Les cinq types de données recueillies*

Nous avons ainsi recueilli cinq types de données sur les sites de l'expérimentation :

- des enregistrements audio des discussions entre élèves/étudiants pour résoudre le problème de M. Sorot et un film du déroulement de la séance en salle (données enregistrement audio élèves et données enregistrement audio étudiants),
- une trace écrite de chacun des groupes citant les points retenus pour solutionner le problème de vulpin résistant (données trace écrite résolution élèves et données trace écrite résolution étudiants),
- le bloc « bibliothèque » de chaque élève/étudiant avec les annotations, ce travail devait être réalisé en amont durant la phase 2 (données bibliothèque élèves et données bibliothèque étudiants),
- des enregistrements audio des entretiens post (*données audio post élèves et données audio post étudiants*),
- des notes prises à chaud sur le déroulement des séquences de travail avec les élèves et les étudiants (*données notes anthropo élèves et données notes anthropo étudiants*).

1.3. Les trois niveaux d'analyse

Nous avons évoqué dans le sous-chapitre précédent (partie 4IV) le séquençage du corpus en moments que nous avons appelé épisodes. Nous revenons un peu plus loin dans le texte sur la méthodologie qui a abouti à structurer nos corpus en une suite d'épisodes. Nous présentons les trois niveaux d'analyse retenus pour conduire le traitement des données qui prennent appui sur ce séquençage du corpus de données. Nous proposons un traitement qualitatif et quantitatif.

Le niveau macro

Nous souhaitons comparer les deux niveaux d'enseignement Bac pro CGEA et BTS APV à partir :

- d'informations générales comme la durée de la résolution, le nombre de fois où le groupe a sollicité l'appui d'un référent⁶¹³ (chercheur et/ou enseignant), les nombres de tours de parole et le nombre de lignes par tour de parole, le nombre d'épisodes,
- de la diversité des leviers envisagés et de leurs spécifications,
- du niveau de complexité des SAR construits afin de voir si H2 est vérifiée. Nous avons voulu rendre compte du niveau des raisonnements dans chacun des épisodes et à la fin de la résolution afin de rendre compte de leur construction progressive. Quels sont les différents épisodes de cette construction et quel est leur contenu ? Quel est le niveau de complexité des SAR dans chacun des épisodes pour les leviers envisagés et quel est le niveau de complexité de la solution proposée à la fin de la résolution ? Dans notre échantillon, les étudiants proposent-ils des solutions plus adaptées qui intègrent le changement de paradigme dans la protection des cultures ? Quel est le niveau de dépendance des propositions par rapport au cadre ESR (Hill et MacRae, 1995) ?
- de données quantitatives et/ou qualitatives sur les contenus des argumentations afin de voir comment se déploient les registres de l'argumentation dans les deux filières, sur quel domaine de connaissances ils s'appuient pour raisonner, les erreurs de raisonnement, les

⁶¹³ Les interactions langagières avec un référent font partie du processus d'acquisition des fonctions psychiques supérieures selon Vygotsky (1933/1985) et elles participent à ce que Bruner, Deleau, et Michel (1983) appellent l'étayage. L'étayage correspond à un ensemble d'interactions de soutien temporaires et sur mesure de l'adulte, plus avancé dans la cognition, permettant à l'enfant de résoudre une tâche qu'il ne parvenait pas à faire seul au départ. Pour Vygotsky, le référent est l'adulte. Bruner *et al.* (1983) évoquent *l'expert, le tuteur*. Les interactions permettent le développement de la *zone de développement proche*.

risques/incertitudes envisagées, les arguments en lien avec la santé. Il nous apparaît également important de voir sur quels systèmes de références les élèves/étudiants s'appuient pour construire la proposition. Les élèves/étudiants prennent-ils appui sur leur système de représentations-connaissances (SRC) (Beitoin et Legardez, 1995) et/ou sur la bibliothèque et/ou sur les données du problème pour proposer des solutions ?

Est-ce que le domaine de référence agronomique est plus prégnant que les autres comme nous l'avons présumé ?

Le niveau méso

A partir de l'étude d'épisodes, ce niveau d'analyse précise pour chaque niveau de filière, de quoi et à partir de quoi discutent les élèves/étudiants pour résoudre le problème de vulpin sur l'exploitation de M. Sorot et quelle est la qualité de leurs propositions. Nous explicitons les questions qui vont guider le traitement de données de la manière suivante :

1. Quelle est la dynamique de construction des raisonnements SAR qui débouche sur la solution proposée dans un épisode ?
2. Quels sont les leviers mobilisés dans les SAR ? Sur le plan pratique, un levier peut être décliné de plusieurs manières. Quelles sont alors les spécifications envisagées (déclinaisons pratiques) ? Comment sont-elles discutées ?
3. Quels sont les registres argumentaires utilisés pour fonder les propositions des leviers ?
4. Quels sont les domaines de référence convoqués pour discuter les solutions ?
5. Quels sont les risques/incertitudes envisagés pour les solutions proposées ?
6. Les discussions révèlent-elles des erreurs de raisonnement ?
7. Est-ce que les arguments en lien avec la santé sont évoqués et si oui dans quels termes ?

Le niveau micro : des « moments » du processus de raisonnement « décortiqué »

Dans chacun des corpus BL3 (groupe bac pro) et AC1 (groupe BTS), nous proposons d'analyser de manière précise des passages dans des épisodes permettant :

- d'illustrer comment peuvent se développer des SAR adaptés pour envisager des alternatives aux pesticides à l'échelle du système de culture,
- de mettre en évidence des freins à la construction de SAR,
- de voir comment les élèves/étudiants perçoivent des risques/incertitudes liés à l'usage des pesticides.

Quelles sont les informations à identifier dans le corpus ?

Les trois niveaux d'analyse supposent un traitement des données recueillies afin d'être en mesure de :

- repérer les tours de parole et les locuteurs car certains peuvent avoir un rôle déterminant dans l'orientation des discussions et la « qualité » de la résolution (les élèves/étudiants, mais également les référents) et le nombre de lignes des tours de parole⁶¹⁴,
- séquencer le corpus en épisodes,
- caractériser dans chacun des épisodes le contenu des discussions pour le registre *leviers* (la rotation, le labour, la date de semis, le déchaumage, le faux-semis, le désherbage mécanique et éventuellement la lutte chimique, entre autres), pour le registre *aspect argumentaire* (justification, conséquence et condition) et pour le registre *domaine de référence* (agronomique, économique, social, écologique, entre autres), et d'identifier si la discussion prend appui sur les contextes comme le contexte de la situation-problème (les objectifs de l'agriculteur, le système de culture pratiqué, les règles de décision, le contexte

⁶¹⁴ Le nombre de lignes peut donner des indications sur la qualité des énoncés. Nous pouvons voir si un nombre de lignes plus élevé est corrélé à une argumentation plus élaborée (richesse du registre argumentaire avec des arguments et des contre-arguments de différents types).

pédoclimatique, le contexte socioéconomique et environnemental, le contexte filière) et/ou le contexte élargi (*des préoccupations de qualité des aliments* par exemple) pour être en mesure de préciser le niveau des raisonnements,

- caractériser les domaines d'appui des connaissances et/ou des références (preuves) mobilisés pour résoudre le problème (*le SRC, la bibliothèque, la situation-problème*). Les recherches en didactique sur les QSV/SSI ont montré que les élèves/étudiants mobilisaient d'abord leurs connaissances pour résoudre une QSV. Va-t-on le vérifier dans le cas de la résolution de notre QSV ?

- de repérer des arguments exprimant des risques et/ou en lien avec l'usage des pesticides, et ceux liés à des préoccupations sur la santé,

- mettre en lumière des erreurs dans le raisonnement,

- de préciser des facteurs/conditions qui favorisent l'émergence de SAR adaptés et/ou au contraire qui les gênent leur construction.

Tous ces éléments nous amène à préciser la manière dont a été traité le corpus de données pour être exploitable (les étapes et les principes de codage). Nous distinguons deux phases dans le traitement des données : une phase qui a « transformé » le recueil de données en deux corpus d'étude et l'autre qui a traité les corpus d'étude pour répondre aux questions soulevées dans les trois niveaux d'analyse.

2. La méthodologie de « transformation » du recueil de données pour constituer les corpus d'étude

2.1. Les différentes étapes du traitement des données pour constituer les corpus d'étude

Quatre étapes ont ponctué le traitement des données pour aboutir aux corpus que nous avons étudiés. Pour cette phase, nous avons seulement mobilisé les enregistrements audio liés à la résolution de la situation-problème et nos notes prises à chaud sur le déroulement de la séance de travail.

Les données recueillies ont d'abord été retranscrites pour passer de données audio à des données sous la forme de texte (étape 1). Les transcriptions écrites ont été analysées pour identifier dans les fils de discussion des échanges interpersonnels de type exploratoire (Mercer, 1995) pour choisir un corpus en Bac pro CGEA et un en BTS APV (étape 2). Chacun des corpus a été séquencé en épisodes (étape 3). Dans chaque épisode, une analyse des tours de parole a été réalisée afin de repérer les quatre registres de l'argumentation (leviers, les contextes, aspects argumentaires, domaines de référence), les domaines d'appui des connaissances et/ou des références (preuves) (étape 4). Ces analyses ont ensuite donné lieu à un codage. Pour des épisodes repérés intéressants afin de compte de la construction des raisonnements, nous avons procédé à un niveau de codage très fin reliant les différentes spécifications des leviers aux aspects argumentaires correspondants.

2.2. Etape 1, le traitement des données audio

Chacun des fils de discussion a été transcrit à l'écrit avec des conventions de présentation que nous avons définies. Ces principes ont également été retenus pour la transcription des enregistrements audio des entretiens post semi-directifs durant la phase 4 de l'expérimentation.

La prise de parole d'un locuteur est identifiée avec le codage suivant :

- * «-> puis « nom » en majuscule du locuteur et texte du discours retranscrit au kilomètre,

- * un saut de ligne à chaque changement de locuteur,

* les parties inaudibles impossibles à retranscrire repérées par le temps et surligné en vert fluo (« **temps inaudible** »).

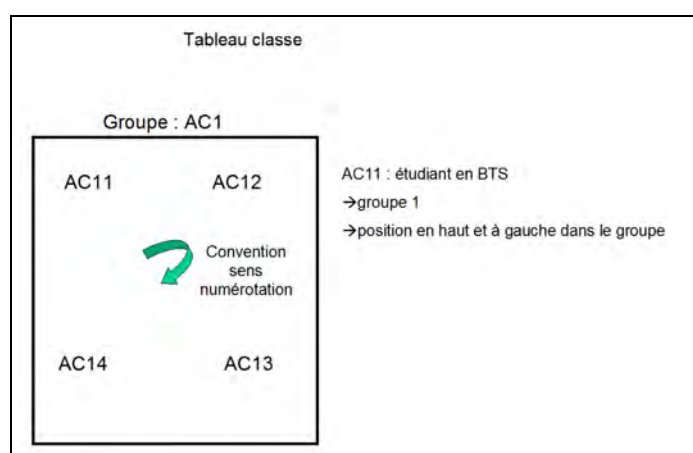
Les lignes et les tours de parole ont été ensuite numérotés pour être en mesure d'y faire référence dans le travail d'analyse. Nous avons procédé à un codage pour anonymiser les prises de paroles :

* le chercheur et/ou l'enseignante par *femme 1* ou *femme 2* selon les sites et l'enseignant par *homme 1*,

* chaque participant élève/étudiant est identifié par son établissement (AC pour l'établissement avec la classe de BTS APV, et BL pour l'établissement avec la classe de Bac pro CGEA), son groupe de travail repéré à partir d'un plan de salle (AC1, AC2, AC3, AC4 ou BL1, BL2, BL3, BL4) puis un numéro d'ordre de '1 à 4' est attribué à chaque participant du groupe (se référer aux annexes n°11 et 12 qui présentent les plans des salles et la configuration des groupes pour chaque classe, cf. figure n°82).

Nous donnons le nom du groupe au fil de discussion produit par celui-ci.

Figure n°82 : Principes de codage pour anonymiser les locuteurs



2.3. Etape 2, le choix de deux fils de discussion : un pour la classe de Bac pro CGEA et un pour la classe de BTS APV

2.3.1. L'intérêt des discussions de type exploratoire (Mercer, 1995)

Notre recherche a une visée compréhensive et exploratoire : nous voulons analyser la construction de raisonnements informels et pluridisciplinaires sur les dimensions agro-écologiques et socioéconomiques afin de clarifier des processus en jeu dans leur construction. Pour cela, il apparaît pertinent de fonder notre travail d'analyse sur les fils de discussion qui montrent effectivement la construction de SAR d'une certaine complexité. Nous avons organisé le dispositif pour la mise en activité des élèves/étudiants dans l'objectif de favoriser les discussions exploratoires.

Les travaux en sociolinguistique dans la lignée de l'approche historico-culturelle de Vygotsky (1933/1985) s'intéressent aux pratiques discursives à partir de l'analyse du contenu, de la fonction et de la façon dont la compréhension est partagée dans un contexte social⁶¹⁵ (Mercer, 2010, p. 9). Dans un cadre scolaire, les résultats empiriques soulignent la difficulté des élèves à construire des discussions fondées sur l'écoute et le dialogue de manière autonome (Mercer

⁶¹⁵ Traduction libre de l'auteur de la citation de Mercer (2010) : « *concerned with (...)content, function, and the ways shared understanding is developed, in social (...)* » (Mercer, 2010, p. 9).

1995). Mercer et Littleton (2007) ont proposé une modélisation de trois types de discussion. Des interactions discursives prenant la forme de disputes *disputational talk* ou de discussions cumulatives *cumulative talk* ou de discussions exploratoires *exploratory talk* (Barnes, 1976) ont été identifiées. Nous avons évoqué ce type de discussions dans le chapitre 3 et nous apportons ici des précisions.

Dans les discussions type « *disputes* », les échanges sont courts et marqués par des oppositions (« *non* », « *ce n'est pas cela* »...). Les interventions sont des revendications et/ou des provocations, les participants se questionnant pour se défier. La discussion prend souvent une tournure défensive. Différents points de vue sont exposés, mais tous les aspects des échanges ne sont pas analysés collectivement car les participants évitent de répondre à certaines questions. La prise de décision sur un sujet est plutôt individuelle.

Dans les discussions cumulatives, les échanges sont marqués par de fréquentes répétitions, des idées sont reprises sans évaluation. Il y a de nombreuses confirmations sans approfondissement. Des idées et des informations sont partagées sans vraiment être articulées entre elles et évaluées. La construction est collective mais par accumulation sans construire un savoir commun. Un consensus au cours des dialogues peut être éventuellement atteint.

Dans les discussions exploratoires, les différents points de vue sont étudiés de manière constructive et critique. Les dialogues sont ponctués par des questions, amenant le partage d'informations. Les contestations sont discutées, justifiées et les contre-propositions explorent des alternatives. Dans tous les cas, des preuves sont recherchées. Dans ce type de discussion, les interactions favorisent la réflexion et l'approfondissement des connaissances sur le sujet à partir d'explorations si les inter-actants le jugent nécessaires.

Mercer et Littleton (2007) définissent en ces termes l'*exploratory talk* : « *partners engage critically but constructively with each other's ideas. Statements and suggestions are offered for joint consideration. These may be challenged and counter-challenged, but challenges are justified and alternative hypotheses are offered. Partners all actively participate, and opinions are sought and considered before decisions are jointly made* » (Mercer et Littleton, 2007, p. 59).

Ces formes d'interactions discursives favorisent des apprentissages de connaissances, la construction de raisonnements et améliorent la compréhension (Rojas-Drummond, Mercer et Dabrowski, 2001 ; Mercer et Littleton, 2007 , Wegerif, Li et Kaufman, 2015) : « *Spoken language enables, in unique ways, the development of relationships amongst teachers and learners and the development of children's reasoning and understanding* » (Mercer, 2010, p. 10). Dans une configuration de discussions exploratoires, le langage permet aux locuteurs un partage de connaissances et/ou d'informations et il se révèle, comme l'a suggéré Vygotsky (1933/1985), être un puissant outil pour construire une pensée collective (intermentale) (Mercer, 2013) : « *there is more to collective thinking than sharing knowledge* » (Mercer, 2013, p. 4). Les décisions à propos du sujet sont prises collectivement : il y a une participation active de tous les participants pour trouver un accord. Les assertions suivantes⁶¹⁶ ponctuent les dialogues « *je pense ; parce-que ; à cause de ; si ; par exemple , alors ; aussi* ». Les approfondissements proposés et conduits par les participants contribuent à améliorer la qualité des raisonnements en prenant appui sur une diversité de considérations que les inter-actants ont suggéré (Morin, 2013).

Nous avons donc choisi de retenir les fils de discussion qui montraient des échanges de type exploratoire.

⁶¹⁶ Les termes de l'exploration rappelés par Wegerif, Li et Kaufman (2015) sont « *'for example', 'I think', 'because/'cause', 'if', 'for example', 'also'* ».

2.3.2. Méthodologie d'analyse des transcriptions écrites pour identifier les deux corpus à analyser

Nous avons procédé à plusieurs lectures rapides des différents fils de discussion afin de nous imprégner du contenu des discussions. Nous nous sommes également appuyée sur des notes prises sur le terrain le jour de la résolution de la situation-problème (*données anthropo*). Nous avons identifié des groupes qui progressaient dans la résolution avec une apparente implication collective.

Pour la classe de Bac pro CGEA, deux des quatre fils de discussion se sont révélés pauvres avec peu d'argumentations, de nombreuses répétitions et de trop nombreuses phases *off-task*, non directement liées à la résolution du cas d'étude. Deux fils de discussions ont été ainsi écartés (BL1 et BL4). Nous avons procédé à de nouvelles lectures des deux derniers fils de discussions, BL2 et BL3, pour identifier des passages avec des *exploratory talk*. Des discussions de ce type apparaissent tôt dans les dialogues. Nous avons retenu le groupe BL3 car à un moment du travail, un des participants a trouvé opportun de proposer à ses camarades l'appui d'une revue de la presse agricole pour aller creuser des informations.

Pour clarifier notre démarche, nous présentons notre analyse sur deux passages identifiés comme des phases de discussions exploratoires dans les deux groupes de Bac pro CGEA BL2 et BL3.

Choix du fil de discussion pour la classe de Bac pro CGEA

Les numéros correspondent aux tours de paroles [TP] et le nom des locuteurs prend la forme de BL2X pour le fil BL2 et BL3X pour le fil BL3. Nos commentaires sont en bleu, nous avons veillé à repérer : les « *je pense ; parce-que ; à cause de ; si ; par exemple , alors ; aussi* ».

- *Extrait du fil de discussion BL2*

Les quatre participants (par ordre d'intervention dans l'extrait, BL23, BL21, BL24, BL22) sont impliqués dans la construction collective.

14. -BL23 Ah oui, là il fait, il fait pas de labour. → discussion autour d'une donnée factuelle (la situation-problème)

15. -BL21 Mmmmm.

16. -BL23 Donc, ce, c'est peut-être pas trop, je...moi j'avais bien pensé, t'sais, l'interculture. → proposition précédente discutée et début d'exposé d'une autre proposition

17. -BL21 C'est-à-dire interculture ? → une question pour demander des approfondissements

18. -BL23 Ben, entre, entre les-

19. -BL21 Un couvert ? → une question, toujours en quête de clarification pour construire une proposition commune

20. -BL23 Hein ? Ouais, un couvert. Entre les...

21. -BL24 Ouais, moi c'est ce que je pensais aussi au début mais bon...

22. -BL23 Entre le blé et l'orge. → du TP17 à TP22 : distribution de la parole et de la construction d'une ébauche de proposition d'alternative

23. -BL21 Je sais pas, il...

24. -BL24 Ouais mais...

25. -BL23 Mais après j'ai vu qu'il, il fait pas de labour. → évaluation de l'opportunité de la proposition à relier à « à cause de.. »

26. -BL21 Il me semble qu'il veut pas y passer beaucoup de temps en plus. → appui sur des données factuelles pour tester la validité

27. -BL23 Il va pas passer beaucoup de temps à quoi ? → encore une question pour reconstruire une représentation commune de la situation étudiée

28. -BL21 En plus. A travailler sur le...

29. -BL23 Ouais, mais bon. Ouais le, moi je pense que le mieux là pour l'instant, c'est ce que je d-, c'est ce que j'ai lu là, le mieux c'est allonger la rotation. → donne son avis à propos d'un levier à mobiliser « je pense »

30. -BL24 C'est ce que y'a marqué. → appui sur la bibliothèque de ressources
31. -BL23 Le mieux, c'est ça. → validation mais sans approfondir
32. -BL21 Ca fait une luzerne euh sous couvert tournesol. La luzerne là, tu la laisses trois ans là sur 20 hectares. Tu la fauches, tu vends le fourrage et comme ça... → encore une nouvelle proposition mais pas validée dans ce passage
33. -BL23 Ouais.
34. -BL22 (Rires)
35. -BL21 Elle, elle va « inaudible »
36. -BL23 Ouais. Je crois que c'est bon. Bon, après, qu'est-ce qui, qu'est-ce que vous en pensez, vous là ? Oh, qu'est-ce que t'en penses, Baptiste, BL22 ? → questionne les membres du groupe pour validation, souci de la construction collaborative et de l'implication de tous, indice « t'en pense »
37. -BL24 Moi, je finis de lire, attends, je finis de lire.
38. -BL22 Ben, moi, je, je disais comme toi, je pensais qu'il fait, t'sais, qu'il-
39. -BL23 Une interculture là, entre les deux là ? → reprise d'une proposition de levier
40. -BL22 Ouais. Mais euh... → contestation de la proposition
41. -BL23 Moi, j'avais pensé ça mais j'sais pas.
42. -BL22 Il fait no labour donc... → appui sur les données de la situation, à nouveau test de la validité
43. -BL23 Il fait non au labour, c'est pour, je sais pas, je pense pas que c'est le top. → discute la proposition faite en amont sur la gestion de l'interculture
44. -BL22 Là, t'as le schéma là. → appui sur les données factuelles à la recherche de preuve
45. -BL23 Ou si, à part s'il broie.
46. -BL22 Regarde. → invitation à collaborer à partager les informations
47. -BL24 Remarque entre le blé et l'orge, y'a pas beaucoup de... → encore à la recherche de preuve pour asseoir l'objection
48. -BL22 C'est marqué tout ce qu'il fait là. → données factuelles
49. -BL23 Ah ouais. Mais là j'ai pas vu encore. Je vais lire ça.
50. -BL21 Moi je trouve que il devrait faire un désherbage. → proposition de lutte chimique
51. -BL23 Hein ?
52. -BL21 Il devrait faire un désherbage. En blé, il fait qu'un seul désherbage.
53. -BL23 Mmmm. → validation
54. -BL21 Fau-, faudrait qu'il en fasse un au printemps, un de rattrapage, si jamais il a besoin. → complète et approfondis la proposition
55. -BL23 Après le printemps ? → une question pour compléter la proposition de levier
56. -BL21 Ouais.
57. -BL23 Ouais. Si... faut pas, si de l'interculture, pas de labour, c'est pas terrible. → discussion de la proposition en mise en relation avec données factuelles
58. -BL21 Après, faut pas qu'il sème plus tard. Parce que les conditions sont plus... → nouvelle proposition de levier
59. -BL23 Ouais. Bon, attends, je finis de lire là. Bioagresseurs là. Gestion de...
60. -BL24 Oh, en blé, il fait qu'une intervention ? → toujours à la recherche de preuves pour valider le bien-fondé du désherbage de rattrapage de printemps

- *Extrait du fil de discussion BL3*

Les quatre participants (par ordre d'intervention dans l'extrait, BL31, BL34, BL32, BL33) sont impliqués dans la construction collective.

59. -BL31 Déjà, il faut alterner, alterner les cultures pour... c'est toujours pareil. → une proposition d'un participant
60. -BL34 Mais attends, c'est quoi la rotation qu'il fait là ? → une question et recherche des informations dans le corps de la situation-problème
61. -BL31 Beh, tiens. Blé, colza, orge. → nouvel éclairage, BL31 et BL34 ont cherché ensemble
62. -BL34 Non. Non, non. Colza, blé, orge d'hiver. → reprise de l'information, la rectifie
63. -BL32 Quel abruti !
64. -BL34 C'est très peu. Hein ? → question pour discuter un point dans le groupe
65. -BL31 Bon, c'est pareil. Qu'il commence par blé ou colza ? C'est blé, colza, orge d'hiver. → contestation discutée
66. -BL34 Eh SAU : 180 hectares. Il a trois cultures.
67. -BL31 Y'a que ça ?
68. -BL32 Bon, alors.
69. -BL34 Ben oui.

70. -BL31 C'est bizarre.
71. -BL34 Eh ! SAU : 180 hectares et c'est unitaire à chaque fois. → du TP60 à TP71 : travail à la construction d'une représentation commune de la situation, interprétée comme une volonté de collaborer et de progresser ensemble
72. -BL32 Ecoutez-moi bien !
73. -BL34 Je t'écoute. → réponse positive en termes d'écoute
74. -BL31 Vas-y BL32.
75. -BL32 Je donne ma réponse. Déjà, en interculture, y'a rien. C'est un déchaumage et voilà. Faudrait qu'il empote en couvert. Avec une ou deux cultures associées. Par exemple de la phacélie pour l'azote et la matière organique. Et une espèce rampante qui couvre le sol pour étouffer les adventices. → une proposition complexe qui ne va pas être discutée ici
76. -BL31 Et qu'il alterne les cultures. Beaucoup plus. → mais la proposition du TP75 est complétée par une nouvelle proposition,
77. -BL32 Après, qu'il allonge sa rotation. → encore précisée
78. -BL33 Ouais, c'est ça. → validation
79. -BL32 Parce que là, y'a trois céréales. → à laquelle s'ajoute une forme de justification « parce que »
80. -BL34 Ouais.
81. -BL32 'fin, ça vaut...
82. -BL34 Trois cultures.
83. -BL32 'fin, ça va pas du tout. → prolonge l'argumentation
84. -BL34 Je dirais, trois cultures 180 hectares, c'est vrai qu'il pourrait rajouter une culture dedans.
85. -BL31 Qu'il alterne, qu'il alterne les familles. → la construction progresse à partir de propositions distribuées
86. -BL32 Il pourrait euh...
87. -BL34 Ouais.
88. -BL32 Attends, -tends, -tends, -tends, -tends. Les semis de blé. → une nouvelle piste soulevée
89. -BL33 Faire des semis plus tardifs. → proposition complétée
90. -BL34 Des semis avant 15 octobre. Voilà. → appui sur données factuelles
91. -BL32 Il sème, il faudrait qu'il sème mi-novembre pour perturber la levée des adventices. Donc éventuellement du vulpin. → une proposition reprise et argumentée
92. -BL34 Putain, il fait un semis précoce. → confirmation
93. -BL32 Après...
94. -BL34 Putain, avant le 15 octobre. T'as quoi comme texte... → prend appui sur ces camarades
95. (*Bruits divers et chuchotements de 9'17 à 9'38*)
96. -BL34 Bon, il faudrait qu'il mette un tournesol entre le, le blé et l'orge. → nouvelle proposition
97. -BL31 Pourquoi ? Monsieur BL34, expliquez. Moi je sais pourquoi mais allez-y. → une question pour demander d'approfondir la proposition
98. -BL32 Non mais il est en sec, il peut pas faire de maïs, n'oubliez pas. 'fin si, il peut en faire mais ça va rien donner. → approfondissement vaut contre-proposition qui est une justification de la proposition au TP 96
99. -BL34 C'est combien la profondeur du, du sol ? → encore complément d'information pour valider ensemble la proposition
100. -BL33 50 à 80. → nouveau complément pour approfondir la proposition

Choix du fil de discussion pour la classe de BTS APV

D'emblée pour la classe de BTS APV, les fils de discussions sont apparus beaucoup plus étoffés avec en apparence moins de phase de type *off-task*. Nous avons écarté le fil de discussion AC3 car les échanges n'ont pratiquement engagé que deux des trois participants⁶¹⁷ et les contributions de AC31 n'ont pas fait avancer la construction collective. Pour les trois sous-groupes restants, nous avons trouvé des discussions exploratoires. Nous avons choisi le fil de discussion AC1 qui proposait à la lumière des lectures répétées la solution la plus complexe et dans lequel, nous avons capté des points qui nous ont semblé mériter d'être approfondis.

⁶¹⁷ Nous précisons les tours de paroles des trois participants au groupe AC3 : TP AC31 = 117, TP AC32 = 442 TP AC33 = 417.

Nous avons donc retenu un fil de discussion en bac pro CGEA BL3 et un fil de discussion en BTS APV AC1.

2.4. Etape 3, le séquençage du corpus en épisodes

Éléments de méthode pour le séquençage du corpus en épisodes

- *Le préalable : numéroter les Tours de Parole (TP)*

Nous avons défini des conventions de codage du corpus pour mettre en évidence la structure des fils de discussion. Les tours de parole sont numérotés chronologiquement et en continu jusqu'à la fin du travail collectif des étudiants/élèves.

- *La démarche de séquençage en épisodes*

Nous avons procédé par itérations et par approches croisées entre chercheurs. Dans un premier temps, seule nous avons procédé à plusieurs lectures successives du corpus transcrit *in extenso* afin de déceler des thématiques. Cette phase nous a permis de reconstruire le sens des contenus des échanges et de repérer des moments structurants. Il s'agit de dialogues sur des leviers proposés et discutés. Nous avons appelé ces moments épisodes. Un épisode correspond soit :

- (1) à des échanges sur un levier envisagé pour résoudre le problème de vulpin résistant. Le levier est énoncé. On peut y retrouver :

* des justifications fournies prenant appui sur (i) le contexte situé décrit dans la situation-problème (objectifs de l'agriculteur, contexte pédoclimatique, environnemental, réglementaire, socioéconomique, éléments du schéma décisionnel de l'agriculteur, pratiques de l'agriculteur et des moyens mobilisés pour la conduite des processus de production, des résultats de la conduite) et/ou prenant appui sur (ii) des données hors contexte situé (contexte global environnemental, réglementaire, socioéconomique, santé, entre autres) ;

* des conditions de la mise en œuvre du levier proposé et des conséquences éventuelles qui peuvent être discutées ou pas. Les discussions peuvent se fonder sur des arguments économiques, agronomiques, environnementaux, sociaux⁶¹⁸, etc.

- soit (2) à des échanges portant sur une combinaison de leviers pour résoudre le problème de vulpin résistant. Les leviers sont énoncés. On peut y retrouver :

* les justifications fournies prenant appui sur (i) le contexte situé décrit dans la situation problème (objectifs de l'agriculteur, contexte pédoclimatique, environnemental, réglementaire, socioéconomique, éléments du schéma décisionnel de l'agriculteur, pratiques de l'agriculteur et des moyens mobilisés pour la conduite des processus de production, des résultats de la conduite) et/ou prenant appui sur (ii) des données hors contexte situé (contexte environnemental, réglementaire, socioéconomique, santé, entre autres) ;

* des conditions sur la mise en œuvre du levier proposé et des conséquences éventuelles qui peuvent être discutées ou pas. Les discussions peuvent se fonder sur des arguments économiques, agronomiques, environnementaux, sociaux, etc.

Un épisode peut apparaître morcelé, entrecoupé par des références et/ou de retours sur un épisode passé.

Dans un deuxième temps, nous avons répété les lectures guidées par l'enchaînement des leviers mobilisés et discutés. Ceci a permis de dégager un premier séquençage de la transcription écrite. Progressivement dans les relectures, nous avons souligné des justifications des propositions de leviers, des conséquences et des conditions envisagées. A de

⁶¹⁸ Nous rappelons que les arguments en lien avec la santé font partie de la dimension sociale.

nombreuses reprises, nous avons dû écouter les enregistrements audio pour ajuster et stabiliser les « bornes » des épisodes. Dans un troisième temps, bien imprégnée par le corpus, nous avons donné un titre synthétique aux épisodes repérés en lien avec le (ou les) levier(s) discuté(s). Nous avons conservé la chronique du corpus et nous avons numéroté les épisodes selon leur place dans la résolution de la situation problème. Dans un quatrième temps, nous avons procédé à une lecture croisée à deux chercheurs pour ajuster et valider une première proposition de séquençage en épisodes, les titres donnés et les aspects argumentaires soulignés et caractérisés. Puis nous avons retravaillé à trois chercheurs une tranche de la transcription (épisode 1 à 6 pour le corpus AC1- BTS APV) pour discuter de nos options et faire de derniers ajustements.

La résolution à l'oral donne des fils de discussions qui fondent la construction des raisonnements complexes spontanés avec une certaine progressivité. La démarche de traitement des corpus s'est avérée délicate en raison de la forme de résolution orale imposée aux élèves/étudiant. Nous avons retrouvé de nombreux énoncés et des argumentations elliptiques⁶¹⁹ (des phrases inachevées, ponctuées par des continueurs comme « *hum* », « *d'accord* », « *oui* », « *ouais* »), des bribes de propositions énoncées dans des tours de parole ou même quelquefois annoncées dans des épisodes en amont, articulées plus loin dans un raisonnement qui les complètent (mémoire didactique), de nombreux retours en arrière et des redites. Cette construction *in itinere* nous a parfois confrontée à des difficultés pour définir des débuts et des fins d'épisodes. Durant la phase 3, nous avons stabilisé le séquençage et donné des titres aux épisodes, nous avons été étonnée par la disparités des longueurs des épisodes nous conduisant parfois au réexamen du séquençage pour l'ajuster ou pour le maintenir. Enfin, en débutant le travail de repérage des aspects argumentaires, distinguer les justifications, les conséquences et les conditions nous avait semblé *a priori* évident. Cependant à la lecture du corpus, cette distinction n'est pas apparue si tranchée et parfois une justification de levier a abondé également des conséquences. Lors de la triangulation entre chercheurs, nous avons en partie discuté de la définition des bornes des épisodes et de la validité des premiers codages des aspects argumentaires.

2.5. Etape 4, choix de la présentation du corpus et définitions des codages « fins » des tours de parole

Cette partie est un peu « technique » et présente concrètement comme se traduisent sur le corpus les conventions de codage que nous avons choisies.

Structure du tableau organisant chaque fil de discussion

Les fils de discussion tracent la résolution du problème du cas de l'étude. Ils donnent accès à des facettes des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques qui permettent d'envisager la gestion des vulpins résistants. Dans cette étape, nous avons analysé le contenu des tours de parole et procédé à leur codage. Ces opérations nous ont permis d'évaluer les niveaux de complexité des SAR pour les leviers mobilisés et de caractériser les contenus des argumentations pour compléter les trois niveaux d'analyse présentés dans le paragraphe 1.3.

Nous avons séquencé les discours en « épisodes ». Nous avons choisi de présenter la succession des tours de parole dans les épisodes sous la forme d'un tableau. Les épisodes sont numérotés, présentés dans l'ordre chronologique. Chacun d'eux est délimité par une trame horizontale grisée pour en faciliter le repérage. Pour introduire un épisode et dans le but de faciliter la lecture, une frise positionnant les différents leviers évoqués par les élèves est présentée (raisonnement en construction). Elle permet d'avoir une vue synthétique de ce qui

⁶¹⁹ Nous voyons plus loin que cela nous a conduit à proposer des inférences pour rendre compte de propositions parfois réduites à « on garde ça », parce que le « ça » était expliqué en amont.

s'est joué dans l'épisode. Nous nous sommes fondée sur la succession des cultures de l'agriculteur de notre étude de cas sur laquelle les élèves/étudiants des deux groupes étudiés se sont appuyés pour raisonner les solutions. Nous avons aussi repris ces éléments schématiques sous la forme d'un texte rédigé synthétique.

Le tableau a cinq colonnes. Nous présentons le contenu de ces différentes colonnes en partant de la gauche. La première colonne indique le numéro de l'épisode, le titre, les numéros de début et de fin des tours de parole de l'épisode. Pour chaque début d'épisode, une trace du raisonnement en construction est présentée avec un résumé de ce qui s'est discuté. Dans la deuxième colonne que nous avons légèrement grisée pour la repérer plus facilement, le texte retranscrit est analysé (codes couleur). Sont repérés en couleurs les leviers en rouge gras, les aspects argumentaires comme les justifications (en bleu), les conséquences (en noir souligné de bleu) et les conditions (en rose). Parfois le fil du discours nous amène à considérer deux aspects argumentaires pour une même proposition. La proposition peut être considérée à la fois comme une justification et une conséquence (le texte sera bleu souligné de bleu), comme une condition et une conséquence (le texte sera rose souligné de bleu). Comme nous l'avons déjà évoqué, dans la configuration de travail proposée aux élèves/étudiants, de nombreuses phrases sont partiellement construites prenant appui sur la mémoire didactique de travail au sein du sous-groupe. Cela nous a amené à proposer des inférences que nous avons explicitées dans la troisième colonne. Elles sont repérées par « *inférons* « *proposition d'inférence* » à « *texte du tour de parole* ». Nous avons inféré des contenus de propositions, mais également des domaines de référence et des systèmes d'appui des connaissances. Dans la quatrième colonne, nous avons précisé parfois des commentaires saisis au fil de la lecture et de l'analyse du corpus : nous avons en particulier noté les appuis sur le registre « contextes » (contexte situé et contexte plus large), les erreurs de raisonnement (notées *Erai* repérées en jaune fluo), des éléments qui renvoient selon nous à des perceptions sur les pesticides (notées *Reprepest* également surlignées en jaune fluo), des indications qui nous permettent d'évaluer la solution proposée par rapport au cadre ESR (notées *cadreESR*). Enfin la cinquième et dernière colonne propose le codage des énoncés en intégrant les éventuelles inférences identifiées par « *(i) + proposition inférée* ».

Ci-dessous sont présentées les entêtes du tableau support de l'analyse du corpus :

Numéro de rang des épisodes	Texte retranscrit avec identification des tours de parole et repérage des leviers et des aspects argumentaires	Inférence	Commentaires et repérage Contextes Erai , Reprepest , cadreESR	Codage des échanges dans les épisodes Codages des leviers et de leurs spécifications , des <u>justifications</u> , des <u>conséquences</u> , des conditions
Titre de l'épisode				
Tours de parole début et fin de l'épisode				

Explicitation du codage fin : les leviers, les justifications, les conséquences et les conditions avec les domaines de référence et les domaines d'appui des connaissances/références

- *Les éléments techniques du codage et exemples*

Le codage des leviers et de leurs spécifications (cf. annexe n°13)

Nous explicitons comment nous avons procédé au codage « fin ». Les transcriptions codées et complètes des fils de discussion BL3 pour le Bac pro CGEA et AC1 pour le BTS APV sont présentées dans les annexes n°14 et n°15.

Dans le codage, nous avons distingué les tours de parole qui sont en lien avec la gestion de la tâche et ceux qui n'en relèvent pas (*off-task* ou hors tâche). Ces derniers sont repérés en italique noir et correspondent à des moments organisationnels pendant lesquels les étudiants recherchent du matériel, décident de la forme d'un croquis ou d'une frise ou discutent de tout à fait autre chose.

Les leviers sont soit exprimés d'une manière générique *i.e.* « *labour* », « *rot* pour la rotation », « *date semis* pour la date de semis », etc. et/ou exprimées sous la forme d'une déclinaison concrète déclinée (*spéci* pour spécification) proposée par les élèves/étudiants au cours de la résolution du cas étudié. Par exemple, « *labour* » devient « *un labour après la luzerne* », « *rotation* » se précise en « *allonger la rotation en introduisant du pois* », « *date semis* » prend la forme « *décaler la date de semis de 15 jours* ». Lorsque la spécification est précisée, nous l'avons indiquée et nous lui avons attribué un numéro respectant la chronologie des propositions pour un même levier (*spéci 1* correspond à la première spécification pour un levier énoncé dans l'épisode considéré). Les leviers et leurs spécifications sont repérés dans les tours de parole par un codage spécifique. **En rouge et en gras, les leviers** sont exprimés sous la forme générique précédés de l'abréviation précisant leur efficacité sur la population de vulpin (*LP* pour Levier Principal, *LS* pour Levier Secondaire, *LC* pour Levier Complémentaire), suivis selon les cas de leurs spécifications repérées par « *spéci* » pour spécification. Les spécifications sont suivies de l'énoncé de la spécification.

Dans l'exemple ci-après (épisode 1, fil de discussion BL3), nous avons défini « *rot* » pour désigner le levier principal « *rotation* » et une de ses spécifications proposées par des élèves est « *alterner, alterner les cultures* ». Sur la transcription analysée cela donne pour le TP 59 correspondant à une proposition de l'élève BL31 :

Texte de départ après analyse

TP 59-BL31 « Déjà, il faut alterner, alterner les cultures pour... c'est toujours pareil »

Qui prend la forme suivante dans la deuxième colonne.

TP 59-BL31 « Déjà, il faut **alterner, alterner les cultures** pour... c'est toujours pareil »

Que nous avons codé dans la cinquième colonne par :

LP rot spéci 1 « alterner les cultures »

Lorsque des leviers sont combinés, le codage devient « *Combi levier a X levier b X levier c X* » avec autant de leviers que la proposition. Dans l'exemple suivant (épisode 7, le fil de discussion AC1). Au TP 412, l'étudiant AC12 proposent les leviers *rotation* et *labour* (*LP rot* et *LP labour*). Chacun des leviers a une spécification (*spéci*). Pour *LP rot* « *place dans la succession blé>pois>blé* » correspond à la troisième spécification pour le levier rotation dans cet épisode (*spéci 3*) et pour *LP labour* « *labour après orge P* » est la première spécification (*spéci 1*) du levier labour. La combinaison est alors notée « *combi LP labour « spéci 1 labour après orge P » x LP rot* ».

Extrait TP 412

Numéro de rang des épisodes ¶ ¶ Titre de l'épisode¶ ¶ Tours de parole début et fin de l'épisode	Texte retranscrit avec identification des tours de parole et repérage des leviers et des aspects argumentaires	Inférence	Commentaires et repérage ¶ Contextes : Erai , Reprepest , cadreESR	Codage des échanges dans les épisodes¶ Codages des leviers et de leurs spécifications , des justifications , des conséquences , des conditions
α	412 -AC12.....Moi je mettrais plus le pois avant parce que regarde là t'as double déchaumage ici et ici, alors que là il en passe qu'un. Donc autant pas poser un labour là et mettre un pois là ou inversement. Quand la culture a été étouffée. Les mauvaises herbes vont être étouffées. Ca évitera de faire un travail en plus. α	Inférons « ¹ labour après orge P ² » à « ² Donc autant pas poser un labour là ³ » Inférons « ⁴ pois place dans la succession blé>pois>blé ⁵ » à « ⁶ mettre un pois là ⁷ » α	Appui situation pb pratique de déchaumage¶ Discussion place du pois par rapport à la succession agriculteur	Combi LP labour x LP rot ¶ ¶ LP labour spéci 1 labour (i) après orge P¶ LP rot pois spéci 3 place dans la succession (i) blé>pois>blé¶ ¶ Justi Combi LP labour spéci 1 labour (i) après orge P x LP rot – étouffement des mauvaises herbes et évitera un travail en plus agro-SP/SRC¶ α

Toujours en nous fondant sur des extraits du corpus analysés, nous continuons l'explicitation de la méthodologie de codage du corpus pour les justifications, les conséquences et les conditions.

Le codage des justifications

Une justification proposée pour un levier ou une de ses spécifications est repérée en bleu. Elle débute par *Justi*. Elle est repérée par le numéro de l'épisode auquel elle appartient et par le levier et son éventuelle spécification. Le contenu de la justification ou de l'inférence que nous proposons est précisé juste après séparé par un tiret. Puis à nouveau après un tiret et le domaine de référence puis le domaine d'appui des connaissances/références sont mentionnés. Nous avons convenu des conventions suivantes :

- les domaines de référence sont repérés par *agro* pour agronomie, par *écono* pour économie, par *écolo* pour écologie et par *social* pour social ;
- les domaines d'appuis des connaissances/références sont caractérisés par *SRC* pour système de représentations-connaissances, *B* pour bibliothèque, *SP* pour situation-problème.

A partir d'un extrait du corpus analysé (voir ci-dessous) et codé dans l'épisode 1 au tour de parole TP75, l'élève BL31 discute du levier *rotation (LP rot)*. Nous ne prenons appui que sur la deuxième colonne et sur la cinquième colonne pour les explications qui suivent.

C'est deuxième spécification de ce levier rotation (*LP rot spéci 2*) « *implante un couvert durant les intercultures* ». La justification de l'intérêt de ce levier est repérée en bleu dans la deuxième colonne « *interculture, y'a rien. C'est un glyphosate et voilà* » (justification dans l'épisode 1, donc *justi 1*) et elle est indiquée juste après la spécification séparé par un tiret. Il s'agit d'un domaine de référence agronomique (*agro*). L'élève mobilise des informations extraites de la situation-problème (*SP*) (le système pratiqué de l'agriculteur) et nous avons également jugé qu'il prenait appui sur son *SRC* car la situation ne lui apparaît pas favorable « *y'a rien* » et décide de proposer d'implanter un couvert. Ainsi un aspect argumentaire peut avoir deux domaines d'appui, *SP* et *SRC*.

	<p>75. → BL31..... Je donne ma réponse. Déjà, en interculture, y'a rien. C'est un glyphosate et voilà. Faudrait qu'il implante un couvert. Avec une ou deux cultures associées. Par exemple de la phacélie pour l'azote et la matière organique. Et une espèce rampante qui couvre le sol pour étouffer les adventices.</p>	<p>Nous inférons «°implante un couvert durant les intercultures°» à «°implante un couvert.¶</p> <p>Nous inférons «°une ou deux cultures associées dans la rotation°» à «°une ou deux cultures associées°». □</p>	<p>La combinaison de intra-levier rotation la plus complexe de toutes les propositions est énoncée au 75^{ème} tour de parole soit à 8min 20s.¶</p> <p>Contextes¶</p> <p>Lever rotation -Appui situation -pb- rotation et gestion de l'interculture. □</p>	<p>LP rot spéci 2 «implante un couvert durant les intercultures¶</p> <p>Justi 1 LP rot spéci 2 «°implante un couvert durant les intercultures°»- interculture, y'a rien. C'est un glyphosate et voilà-agro-SP/SRC¶</p> <p>LP rot spéci 3 «°une ou deux cultures associées dans la rotation°»¶</p> <p>LP rot spéci 4 «°Phacélie°»¶</p> <p>Justi 1 LP spéci 4 «°Phacélie°»- pour l'azote et la matière organique- agro-SRC¶</p> <p>LP rot spéci 5 «°une espèce rampante°»¶</p> <p>Justi 1 LP rot spéci 5 «°une espèce rampante°»- qui couvre le sol pour étouffer les adventices- agro-SRC¶</p> <p>Consé 1 LP rot spéci 5 «°une espèce rampante°»- qui couvre le sol pour étouffer les adventices- agro-SRC¶</p> <p>□</p>
	↑deuxième colonne			↑cinquième colonne

Le codage de la transcription devient alors :

Justi 1 LP rot spéci 2 « implante un couvert durant les intercultures- interculture, y'a rien » - C'est un glyphosate et voilà-agro-SP/SRC.

Le codage des conséquences et des conditions

Une conséquence proposée pour un levier ou une de ses spécifications est repérée en noir souligné de bleu dans la colonne n°2. Elle débute par « Consé ». Une condition débute par « Condi » et elle est repérée en rose. Les autres principes de codage retenus pour le registre des justifications sont appliqués pour les conséquences et les conditions.

Toujours en prenant appui sur l'extrait de l'épisode 1 TP 75, nous illustrons un cas de « double » codage « justification » et « conséquence ». L'élève BL31 propose une cinquième spécification (spéci 5) pour gérer la rotation (LP rot) : il propose d'introduire « **une espèce rampante** » car elle « **couvre le sol pour étouffer les adventices** ». Cet énoncé est à la fois une justification car l'espèce rampante va couvrir le sol et conduire à l'étouffement des adventices. Mais en même temps, une espèce rampante a entre autres pour conséquence de couvrir le sol concurrençant ainsi les adventices. Cet énoncé sera alors codé dans la cinquième colonne à la fois sous la forme d'une justification et d'une conséquence et sera comptabilisée dans les justifications et dans les conséquences.

Le codage de la transcription devient alors :

Justi 1. LP rot spéci 5 «une espèce rampante»- qui couvre le sol pour étouffer les adventices- agro-SRC
et
Consé 1. LP rot spéci 5 «une espèce rampante»- qui couvre le sol pour étouffer les adventices- agro-SRC

- *Un codage encore plus fin des justifications, des conséquences et des conditions pour conduire des analyses au niveau micro*

Pour conduire des analyses au niveau micro, en nous fondant sur les principes de codage définis en amont, nous avons ajouté des éléments de codage pour rendre compte finement du cheminement de la construction des SAR. Ce niveau de détail permet de suivre avec précision les aspects argumentaires pour chacun des leviers et leurs spécifications énoncés dans un épisode. Nous illustrons notre proposition à d'un extrait du corpus AC1 analysé (épisode 2 entre les TP 102 et TP 112-voir ci-après). Au TP 103, AC13 propose une spécification du levier *rotation* et c'est la première dans cet épisode (notée *LP rot spéci 1+son contenu* soit **LP rot spéci 1 allonger la rotation**). Au TP 105, AC13 propose une nouvelle spécification pour la rotation et c'est la deuxième pour ce levier (notée *LP rot spéci 2 + contenu* soit **LP rot spéci 2 introduire une culture été**). Au tour de parole 108, l'étudiant AC11 complète la justification proposée du levier rotation. L'énoncé « *casser le cycle des mauvaises herbes* » est à la fois une justification pour la première et la deuxième spécification du levier rotation. Elle fait appel à des arguments agronomique et de biologie des adventices (*agro*) et en apparence, cet argument s'appuie sur le SRC de l'étudiant (*SRC*). C'est la première justification dans l'épisode 2 (*justi 2.1*) de cette spécification (notée *justi 2.1 LP rot spéci 1 + contenu*).

Le codage précisé dans la cinquième colonne donne :

Justi 2.1 LP rot spéci 1 « allonger la rotation »- *Casser le cycle biologique du vulpin – agro – SRC*.

Au TP 111, AC11 poursuit l'argumentation et avance une deuxième justification (*justi 2.2*) « *casser cycle biologique du vulpin* » qui peut être inférée à la première spécification (*spéci 1*) du levier rotation (*LP rot*). Elle fait encore appel à des arguments agronomique et de biologie de l'adventice vulpin (*agro*) et en apparence, cet argument s'appuie sur le SRC de l'étudiant (*SRC*).

Le codage donne alors :

Justi 2.2 LP rot spéci 1 « allonger la rotation »- *Casser le cycle biologique du vulpin – agro - SRC*

Le tableau ci-après illustre le codage que nous avons expliqué pour conduire des analyses au niveau micro (extrait de l'épisode 2 pour le groupe AC1).

□	102.-AC11-----Basique, trop courte.-□	□	Discuté / contexte-SP□	□
□	103.-AC13-----Tu 13.47inaudible allonger la rotation.-□	□	□	LP-rot-spéci1-allonger-la-rotation□
□	104.-AC11-----Ouais.-□	□	□	□
□	105.-AC13-----Et introduire une... mais il faudrait une, introduire une culture d'été.-□	□	□	LP-rot-spéci2-introduire-une-culture-été□
□	106.-AC11-----Ouais.-□	□	□	□
□	107.-AC13-----Casser le...-□	□	□	□
□	108.-AC11-----Casser le cycle des mauvaises herbes.-□	□	□	Justi 2.1-LP-rot-spéci1-«allonger la rotation»-Casser le cycle des mauvaises herbes -- agro - SRC□ et-¶ Justi 2.1-LP-rot-spéci2-«introduire une culture-été»-Casser le cycle des mauvaises herbes -- agro - SRC□
□	109.-AC14-----Ouais.-□	□	□	□
□	110.-AC13-----Ben surtout casser le vulpin.-□	□	□	□
□	111.-AC11-----Casser le cycle biologique du vulpin.-□	□	□	Justi 2.2-LP-rot-spéci1-«allonger la rotation»-Casser le cycle biologique du vulpin -- agro - SRC□ et-¶ Justi 2.2-LP-rot-spéci2-«introduire une culture-été»-Casser le cycle biologique du vulpin -- agro - SRC□
□	112.-AC14-----Donc une rotation...-□	□	□	□

↑deuxième colonne ↑cinquième colonne

Autres données collectées comme points d'appui

Pour clarifier certaines étapes de la construction des SAR, nous avons pris appui sur la trace écrite construite par les élèves/étudiants qui récapitule la solution qu'ils ont proposée (« données trace écrite résolution élèves et données trace écrite résolution étudiants ». Ces données ont permis de clarifier la frise (raisonnement en construction) que nous présentons au début de chaque épisode dans les corpus codés (BL3 et AC1). Les annotations faites par les élèves/étudiants dans la bibliothèque durant la phase 2 (données bibliothèque élèves et données bibliothèque étudiants) ont contribué à préciser le domaine d'appui des connaissances/références pour certains énoncés dans les tours de parole.

Une fois ces éléments de méthodologie calés, il convient à présent de préciser comment nous avons analysé les corpus pour les trois niveaux annoncés (macro, méso, micro).

3. La méthodologie de traitement des deux corpus de données pour les trois niveaux d'analyse

Nous abordons dans cette partie la méthodologie de traitement du corpus codé. Dans un premier point, nous expliquons les principes des deux matrices des scores qui vont nous permettre de faire à la fois un traitement qualitatif et quantitatif des données. Dans un deuxième point, nous expliquons comment nous déterminons les niveaux de complexité des raisonnements produits par les deux groupes aux niveaux méso et macro. Dans un troisième et dernier point, nous expliquons les principes de l'analyse qualitative sur des aspects des corpus en lien avec des erreurs de raisonnement et des arguments exprimant des risques/incertitudes à l'égard des pesticides.

Nous avons indiqué le niveau d'analyse entre parenthèses pour les différentes propositions.

3.1. La méthodologie de traitement des données du corpus codé

3.1.1. Organisation de matrices des scores

Une fois le corpus analysé et codé, dans chaque épisode et pour chacun des leviers, nous avons relevé le nombre de justifications, de conséquences et de conditions en identifiant le domaine de référence, le domaine d'appui des connaissances/référence. Nous avons ainsi quatre facteurs : facteur levier, facteur aspect argumentaire, facteur domaine de références, facteur domaine d'appui des connaissances. Nous avons organisé ces données dans un tableau (ci-après, une capture d'écran de la structure du tableau- cf. tableau n°32) afin d'être en mesure de faire des calculs en croisant des facteurs sur cette matrice de données. Nous avons également mentionné si un levier était évoqué (croix au niveau du levier concerné) car dans certains épisodes, un levier est proposé et il n'est pas discuté.

Tableau n°32 : Capture d'écran de la matrice de recueil des données codées

The table is a grid with the following structure:

2	levier				LP date de semis	LS déchaumage	LS faux-semis	LC lutte chimique	désherbage mécanique	LS choix variétal	sommes par ligne
17	épisode 2	évocation									
18		justification	agro	SPIC							2
19				SP	2						2
20				B	1						1
21		écono		SPIC	2						2
22				SP							0
23				B							0
24		écoto		SPIC							0
25				SP							0
26				B							0
27		social		SPIC							0
28				SP							0
29				B							0
30		conséquence	agro	SPIC	2						2
31				SP							0
32				B							0
33		écono		SPIC	2						2
34				SP							0
35				B							0
36		écoto		SPIC							0
37				SP							0
38				B							0
39		social		SPIC							0
40				SP							0
41				B							0
42		condition	agro	SPIC							0
43				SP							0
44				B							0
45		écono		SPIC							0
46				SP							0
47				B							0
48		écoto		SPIC							0
49				SP							0
50				B							0
51		social		SPIC							0
52				SP							0
53				B							0

Annotations on the table:

- L'épisode**: points to the 'épisode 2' cell.
- Précise quand un levier est évoqué**: points to the 'x' in the 'levier' column.
- Les leviers**: points to the header row of levers.
- Matrice des scores**: a yellow box highlights the central data area.
- Les aspects argumentaires**: points to the 'justification' column.
- Les domaines de référence**: points to the 'agro', 'écono', 'écoto', 'social' columns.
- Les domaines d'appui des connaissances/références**: points to the 'SPIC', 'SP', 'B' columns.

3.1.2. Approche quantitative et qualitative des argumentations dans les fils de discussions

Un traitement des données a été réalisé à partir :

- des deux matrices des scores des corpus AC1 (groupe BTS) et BL3 (groupe bac pro), donnant lieu à un ensemble de caractérisations quantitatives et qualitatives,
- des analyses des corpus à partir desquelles, le contenu des épisodes caractérisés, les leviers utilisés pour la résolution et les combinaisons entre leviers identifiés.

Le traitement des données à partir des matrices des scores

A partir de la matrice des scores, des calculs simples sur les différents facteurs ont été réalisés pour déterminer au niveau macro et méso :

- la part relative des justifications, des conséquences et des justifications dans les fils de discussion et dans des épisodes (macro),
- la part relative des arguments agronomiques, économiques, écologiques, sociaux dans les argumentations dans les fils de discussion et dans des épisodes (macro),
- la part relative des arguments qui se sont fondés sur le système de représentations-connaissances, la bibliothèque et sur la situation-problème (macro),

Afin de rendre compte de quoi discutent les élèves/étudiants, nous avons ensuite croisé des facteurs pour améliorer la caractérisation qualitative des argumentations. Ceci nous a permis de :

- discuter ce qui fonde la complexité des raisonnements produits par les élèves/étudiants (macro),
- discuter les registres argumentaires privilégiés ou au contraire peu convoqués dans les raisonnements (macro).

Les raisonnements produits se déploient-ils sur les dimensions agro-écologiques et socioéconomiques ? Les élèves/étudiants sont-ils capables d'argumenter leurs propositions ? Sont-ils capables de préciser les effets de leurs choix, d'envisager des conséquences prenant appui sur des considérations variées et sont-ils en mesure de préciser des conditions aux solutions qu'ils proposent ?

Le traitement des données à partir de l'analyse des corpus AC1 (groupe BTS) et BL3 (groupe Bac pro)

A partir des analyses des corpus codés, nous avons identifié l'ensemble des leviers utilisés, leurs différentes spécifications et les combinaisons choisies par les élèves/étudiants. Nous avons caractérisé le contenu des épisodes (niveaux macro et méso). Nous avons également proposé une analyse fine de certains passages du corpus afin de voir comment se déploient les SAR des élèves/étudiants (niveau micro).

3.2. Détermination des niveaux de complexité des SAR

Nous expliquons comment concrètement en croisant la grille d'analyse des niveaux de complexité des SAR, la matrice des scores et les corpus codés, nous avons déterminé les niveaux de complexité des raisonnements construits. Une scorisation des niveaux de complexité s'est avérée un préalable nécessaire pour passer de la phase d'analyse à l'évaluation.

3.2.1. Explicitation de la démarche de détermination des niveaux de complexité des raisonnements

Scorisation des niveaux de complexité

Pour être en mesure de déterminer des niveaux moyens de complexité des raisonnements, nous avons attribué un score à chaque niveau en conservant la même hiérarchie les niveaux définis *a priori* vont de N1 pour les plus bas à N11 pour les plus élaborés et les scores vont de 1 à 11.

Explicitation de la démarche retenue pour évaluer les niveaux de raisonnements produits par les élèves/étudiants

Pour déterminer les niveaux de complexité des raisonnements, nous avons appliqué la grille d'analyse proposée dans le sous-chapitre 4IV sur tous les leviers énoncés dans chacun des

épisodes en prenant appui sur le corpus codé. L'annexe n°16 détaille le codage de l'épisode n°9 afin de mettre en évidence comment nous avons fait correspondre le codage des argumentations dans les tours de parole, le repérage des indicateurs, la définition du niveau de complexité et enfin le score obtenu par le raisonnement collectif sur le levier étudié ou la combinaison de leviers. Le tableau n°33 reprend les éléments-clés développés en annexe.

Tableau n°33 : Correspondance entre le codage des argumentations dans les tours de parole et les niveaux de complexité des raisonnements SAR

Leviers de l'épisode 9	Repérage des indicateurs (ce qui justifie la proposition des niveaux de complexité)	Niveaux	Scores
LP rot	appui situation-problème (sp), justi, consé, condi, agro,écolo, social, Combinaison (combi) avec déchaum x lutte chimique x date semis x faux-semis	N7	7
LS faux-semis	appui sp, justi, consé, condi, agro, Combi avec déchaum x lutte chimique x rot x labour	N6	6
LP date semis	appui sp, justi, condi, agro, Combi avec rot	N6	6
LS déchaumage (déchaum)	appui sp, justi, consé, agro, Combi avec rot x lutte chimique x labour x faux-semis	N6	6
LP labour	PAS appui sp, justi, consé, agro, Combi avec déchaum x lutte chimique x rot x faux-semis	N4	4
LC lutte chimique	appui sp, justi, consé, condi, agro, écolo, social, Combi avec déchaum x faux-semis x rot x labour	N7	7

Explication cf. annexe n°16°

Le levier **rotation** est **discuté** dans le contexte. Il est **combiné** à d'autres leviers. L'**argumentation** construite autour de ce levier comporte l'énoncé d'une **justification**, d'une **condition** et d'une **conséquence** au moins. Les **arguments** sont **discutés** dans les domaines de référence **agronomique**, **économique**, **social**, **écologique**. Toutefois, le levier **n'est pas discuté hors contexte** situé et les solutions sont retenues sans toutefois prendre en compte les objectifs de l'agriculteur. Tous les éléments d'appui du discours sont **pertinents** et **cohérents** pour le problème à traiter.

Si nous reprenons la grille d'évaluation des niveaux de complexité. Cette configuration pour le levier rotation correspond au niveau **N7** auquel nous attribuons le **score de 7**.

Le levier **faux-semis** est **discuté** dans le contexte. Il est **combiné** à d'autres leviers. L'**argumentation** construite autour de ce levier comporte l'énoncé d'une **justification**, d'une **condition** et d'une **conséquence** au moins. Les **arguments** sont **discutés** dans les domaines de référence **agronomique**, **social** et **écologique**. Toutefois, le levier **n'est pas discuté hors contexte** situé et les solutions sont retenues sans toutefois prendre en compte les objectifs de l'agriculteur. Tous les éléments d'appui du discours sont **pertinents** et **cohérents** pour le problème à traiter.

Si nous reprenons la grille d'évaluation des niveaux de complexité. Cette configuration pour le levier rotation correspond au niveau **N 6** auquel nous attribuons le **score de 4**.

Le levier **date de semis** est **discuté** dans le contexte. Il est **combiné** à d'autres leviers. L'**argumentation** construite autour de ce levier comporte l'énoncé d'une **justification** au moins. Les **arguments** sont **discutés** dans le **seul** domaine de référence **agronomique**. Toutefois, le levier **n'est pas discuté hors contexte** situé et les solutions sont retenues sans toutefois prendre en compte les objectifs de l'agriculteur. Tous les éléments d'appui du discours sont **pertinents** et **cohérents** pour le problème à traiter.

Si nous reprenons la grille d'évaluation des niveaux de complexité. Cette configuration pour le levier rotation correspond au niveau **N 6** auquel nous attribuons le **score de 6**.

Le levier **déchaumage** est discuté dans le contexte. Il est combiné à d'autres leviers. L'argumentation construite autour de ce levier comporte l'énoncé d'une justification et d'une conséquence au moins. Les arguments sont discutés dans le seul domaine de référence agronomique. Toutefois, le levier n'est pas discuté hors contexte situé et les solutions sont retenues sans toutefois prendre en compte les objectifs de l'agriculteur. Tous les éléments d'appui du discours sont pertinents et cohérents pour le problème à traiter. Si nous reprenons la grille d'évaluation des niveaux de complexité. Cette configuration pour le levier rotation correspond au niveau N 6 auquel nous attribuons le score de 6.

Le levier **labour** n'est discuté pas dans le contexte. Il est combiné à d'autres leviers. L'argumentation construite autour de ce levier comporte l'énoncé d'une justification et d'une conséquence au moins. Les arguments sont discutés dans le seul domaine de référence agronomique. Toutefois, le levier n'est pas discuté hors contexte situé et les solutions sont retenues sans toutefois prendre en compte les objectifs de l'agriculteur. Tous les éléments d'appui du discours sont pertinents et cohérents pour le problème à traiter. Si nous reprenons la grille d'évaluation des niveaux de complexité. Cette configuration pour le levier rotation correspond au niveau N 4 auquel nous attribuons le score de 4.

Le levier **lutte chimique** est discuté dans le contexte. Il est combiné à d'autres leviers. L'argumentation construite autour de ce levier comporte l'énoncé d'une justification, d'une condition et d'une conséquence au moins. Les arguments sont discutés dans les domaines de référence agronomique, social et écologique. Toutefois, le levier n'est pas discuté hors contexte situé et les solutions sont retenues sans toutefois prendre en compte les objectifs de l'agriculteur. Tous les éléments d'appui du discours sont pertinents et cohérents pour le problème à traiter. Si nous reprenons la grille d'évaluation des niveaux de complexité. Cette configuration pour le levier rotation correspond au niveau N 7 auquel nous attribuons le score de 7.

3.2.2. Les différents niveaux de complexité déterminés

Nous avons déterminé les niveaux de complexité des SAR produits par les élèves/étudiants (niveaux méso et macro) :

- pour l'ensemble des épisodes structurant la résolution et par fil de discussion (niveau macro) et par épisode dans chacune des filières d'enseignement (niveau méso),
- pour chacun des types de leviers proposés (selon leur efficacité LS, LS ou LC ; selon le type [rotation, labour, etc.]).

3.3. Les erreurs de raisonnement et des « propositions/arguments » exprimant des risques/incertitudes vis-à-vis des pesticides

Pour le niveau micro, nous avons repéré des erreurs de raisonnements et des indices qui rendent compte de conceptions sur l'usage des pesticides que nous avons identifiés au fil du traitement des corpus AC1 (groupe BTS) et BL3 (groupe Bac pro). Nous en avons produit une analyse qualitative. Le questionnaire adressé aux deux enseignants à la fin de notre expérimentation (cf. annexe n°17) qui ont coopéré a été mobilisé pour discuter certaines de nos analyses.

En synthèse, nous allons produire des résultats quantitatifs et qualitatifs pour les niveaux macro et méso. Nous proposons une analyse qualitative pour le niveau micro. Nos analyses vont permettre de valider ou de rejeter nos premières hypothèses de recherche et de discuter nos présupposés. Les résultats doivent également nous permettre de critiquer la pertinence de notre grille d'analyse des raisonnements, le modèle de situation-problème et son scénario didactique.

Dans le chapitre suivant, nous présentons l'ensemble des résultats issus de notre expérimentation de recherche.

Chapitre 5

Résultats et discussion

Rappels des visées de la recherche et choix de présentation des résultats

Notre recherche a donné lieu à plusieurs résultats. Nous avons conduit l'enquête socio-épistémologique des savoirs en jeu et des controverses sur la QSV étudiée. Nous avons produit une analyse approfondie des *curricula* prescrits et potentiels pour le Bac pro CGEA et pour le BTS APV, nous amenant à mettre en évidence l'intérêt de développer chez les futurs agriculteurs des raisonnements complexes informels de types agro-écologiques et socioéconomiques. Ils sont selon nous adaptés pour envisager des solutions alternatives aux pesticides pour protéger les cultures en lien avec les recommandations du plan Ecophyto, tout en les inscrivant dans une perspective de développement durable. Nous avons conçu et testé un modèle de situation-problème afin de faire émerger des raisonnements informels et d'analyser comment ils se construisent pour résoudre une impasse agronomique liée à la présence d'une adventice résistante aux herbicides du programme de désherbage de l'agriculteur de notre cas d'étude. Nous avons proposé une modélisation de ces raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques attendus *a priori* pour envisager des alternatives aux produits phytosanitaires pour gérer la protection des cultures et une grille d'analyse de leurs niveaux de complexité. Dans ce dernier chapitre de la thèse, nous présentons les résultats des traitements de données recueillies lors de la résolution de la situation-problème par un groupe d'élèves en bac pro CGEA sur le site BL et par un groupe d'étudiants en BTS APV sur le site AC. Nous proposons ensuite de discuter la contribution de l'ensemble des résultats de notre recherche à la didactique des QSV et à la didactique de l'agronomie dans la perspective du enseigner-apprendre à produire autrement.

Les élèves/étudiants parviennent-ils à envisager des alternatives aux pesticides et à résoudre le problème qui leur est soumis ? Les étudiants sont-ils mieux armés que les élèves pour envisager des systèmes de cultures économes en pesticides satisfaisant les recommandations du plan Ecophyto ? Notre situation-problème permet-elle de faire émerger des SAR ? Notre méthodologie d'analyse permet-elle de rendre compte de leur construction ? Quelle est leur niveau de complexité ? Notre situation-problème permet-elle de révéler chez les élèves/étudiants des conceptions sur les technosciences, les sciences agronomiques, les scientifiques, le milieu biophysique et des risques/incertitudes perçus en lien avec le recours des pesticides et/ou leurs alternatives ? Des arguments en termes de santé humaine ont-ils été produits par des participants aux sous-groupes de travail retenus et si oui, quels en ont été les effets ?

Dans une première partie, nous présentons l'ensemble des résultats de notre analyse aux niveaux macro, fondée sur l'étude des deux fils de discussions des sous-groupes AC1 pour le BTS APV et BL3 pour le Bac pro CGEA. Dans une deuxième partie, nous discutons la complexité de la construction des raisonnements à partir de l'analyse de deux épisodes en particulier (niveau méso). Dans une troisième partie, nous présentons et discutons quelques

arguments permettant de rendre compte de conceptions sur les pesticides des participants que notre dispositif a permis de faire émerger et des moments particuliers qui se révèlent être des freins et/ou des appuis à la construction de SAR. Enfin dans une quatrième partie, nous discutons l'ensemble de nos résultats de recherche à la fois en termes de contribution à l'enseigner-apprendre à produire autrement et en termes de contribution scientifique dans le champ des sciences de l'éducation.

1. L'analyse au niveau macroscopique

Nous présentons dans une première partie des éléments de caractérisation très généraux des deux corpus. Dans une deuxième partie, nous abordons un ensemble de résultats issus de l'analyse quali-quantitative du corpus. Dans une troisième partie, nous présentons une synthèse des contenus des discussions dans les épisodes pour le sous-groupe en Bac pro CGEA et le sous-groupe en BTS APV. Dans une quatrième partie, nous présentons les résultats de l'analyse des niveaux de complexité des raisonnements construits par les élèves/étudiants.

1.1. Une première caractérisation générale des corpus

Cette partie souligne des traits saillants de ces deux corpus : le pari réussi de la résolution en moins de deux heures, les contenus elliptiques des fils de discussion, l'appel de demande d'appui des référents variable.

Un pari réussi : un exercice réalisé en moins de deux heures

Tous les sous-groupes en Bac pro CGEA et en BTS APV ont été capables de travailler à partir de notre modèle de situation-problème et ils sont parvenus à proposer des solutions avec des alternatives aux pesticides. Ils n'ont pas utilisé complètement les deux heures et le sous-groupe BL3 en Bac pro CGEA a terminé au bout d'une heure⁶²⁰ et AC1 en BTS APV au bout de 1h20 min.

Des échanges brefs, des énoncés elliptiques, usage de la mémoire didactique : des points communs pour BL3 et AC1

Le fil de discussion BL3 compte 1575 tours de parole et 1782 lignes et AC1, 1186 tours de parole et 1345 lignes. Les échanges entre les participants sont nombreux avec une distribution de la parole. Les interventions sont courtes avec un nombre de lignes par tour de parole (TP) de 1,31 (ligne/TP). La construction de l'argumentation est distribuée entre les participants (nous allons y revenir au niveau de l'analyse méso). Dans chacun des sous-groupes, un locuteur prend davantage la parole. C'est très net dans le groupe BTS APV avec AC11 qui couvre presque 41 % du nombre des (TP) (TP =640 sur les 1575)⁶²¹. La distribution des TP est moins déséquilibrée⁶²² dans le groupe BL3. Un peu moins de 30% de TP sont attribués à BL31 (27, 8%). Nous n'avons pas relevé de disputes dans les tours de parole en BTS, bien que leur enseignant les ait désignés comme ayant des avis *a priori* différents sur le recours aux pesticides dans l'agriculture. Nous avons mis en évidence dans le corpus de BL3 un passage révélant des approches différentes sur la possibilité de ne pas utiliser les pesticides dans l'agriculture (nous analysons en particulier ce point dans un des volets de l'analyse micro au sujet des conceptions sur les pesticides).

⁶²⁰ Nous avons du passer auprès des différents sous-groupes de l'établissement BL pour les inviter à creuser leur proposition.

⁶²¹ Pour les autres, nous avons compté pour AC12, 160 TP, AC13, 280 TP, AC14, 416 TP.

⁶²² Nous avons relevé à BL32, 304 TP (307-3) TP de présentation, BL33, 111 (113-2), BL34, 281 (283-2).

La modalité orale de la résolution a favorisé une construction partielle de phrases, ponctuées par des continueurs comme « *oui, humm, ouais,...* » validant les bribes de propositions, mettant en lumière une certaine mémoire didactique de travail. Les élèves se connaissent et ont vécu un ensemble d'activités communes dans le cadre de leur année de formation. Nous avons souvent observé des phrases inachevées qui ont pourtant permis une construction collective des arguments et des argumentations entre plusieurs élèves/étudiants sur plusieurs tours de parole. Cela nous a amené à proposer des inférences dans notre codage du corpus pour qu'il soit compréhensible. Ces inférences sont plus ou moins nombreuses selon les épisodes et les argumentations elliptiques sont particulièrement importantes lorsque le raisonnement gagne en niveau de complexité (*i.e.* épisode 10 pour AC1).

Un appel de demandes d'appui des référents variable

Les étudiants font très peu appel au chercheur et/ou à leur enseignant (nous les appelons référents et ils sont repérés dans les corpus par femme 1 ou 2, homme). Nous avons compté environ 50 TP imputables aux référents. Les élèves en Bac pro ont eu davantage besoin d'appui pour valider leurs propositions ou pour être remis dans l'activité et/ou pour approfondir le contenu argumentaire. Nous avons relevé 167 TP imputables aux référents pour le fil BL3. Nous évoquons les résultats de l'analyse d'un passage à ce sujet dans la partie qui aborde le niveau micro (pour BL3).

1.2. Sur quoi se fondent les discussions des élèves et des étudiants pour résoudre le problème de vulpins résistants ?

Nous présentons les leviers mobilisés dans un premier point. Nous présentons les différentes analyses des contenus des argumentations dans les fils de discussion dans un deuxième point.

1.2.1. Des résultats concernant les leviers mobilisés

Les deux groupes ont échangé et construit des argumentations plus ou moins complexes avec des propositions sans argumentaires, d'autres avec des justifications et/ou des conséquences et/ou des conditions structurant les raisonnements. Les élèves/étudiants ont mobilisé en tout les huit mêmes leviers. Ceux-ci sont caractérisés par un nombre de spécifications variables selon les leviers et les épisodes. Des leviers définis *a priori* comme mobilisables pour gérer les adventices (cf. sous-chapitre 4IV) ne sont jamais évoqués. Ce sont tous des leviers secondaires. La qualité sanitaire des semences, la propreté des équipements, l'adaptation de la densité de semis, l'adaptation de la fertilisation et de l'irrigation⁶²³ n'ont pas été retenues et pouvaient également être discutées. Parmi les leviers choisis par les élèves/étudiants, tous les leviers principaux ont été proposés : ce sont la *rotation*, le *labour* et la *date de semis*. Les leviers secondaires *déchaumage*, *faux-semis* et le levier complémentaire le *désherbage mécanique*, le *choix variétal* ont été envisagés. Ce dernier levier est cité, mais il n'a pas fait l'objet d'une construction argumentaire ensuite. Aucun des groupes n'a écarté la *lutte chimique* comme moyen de gestion.

Les leviers sont soit envisagés seuls ou combinés à d'autres. Nous n'avons pas décelé dans les discussions des indices qui permettent de rendre compte que les élèves/étudiants s'appuient sur la hiérarchie de l'efficacité des leviers pour raisonner les propositions. Le levier *rotation* est le plus utilisé dans les propositions et les groupes BL3 et AC1 débutent tous les deux par ce levier. La *lutte chimique* est ensuite la deuxième solution la plus envisagée. Pour les autres leviers, l'appui est variable selon les sous-groupes.

⁶²³ Ce dernier levier n'est pas complètement pertinent dans la configuration de notre étude de cas car nous avons imposé un cadre de conduite des cultures sans irrigation.

Le levier rotation

Le levier rotation représente environ 44,4% de tous les aspects argumentaires (justifications, conséquences et conditions⁶²⁴) pour AC1 (BTS) et presque 70% (69, 3%) dans le sous-groupe BL3. Il est soit envisagé seul ou combiné à un nombre variable de leviers principaux et/ou secondaires et/ou complémentaires et à la lutte chimique. Ce levier est discuté dans tous les épisodes et structure tous les raisonnements dans les deux sous-groupes.

Pour AC1, la combinaison la plus complexe articule la *rotation* avec cinq autres leviers. Pour le groupe BL3, la combinaison la plus complexe articule la *rotation* avec quatre autres leviers. La *rotation* est déclinée sous de nombreuses spécifications jusqu'à 9 en BTS et 10 en Bac pro. Nous avons également relevé de nombreuses combinaisons entre les spécifications de ce levier dans un même épisode comme *allonger la rotation*, *introduire une culture de printemps*, *alterner les cultures d'hiver et de printemps*, *introduire un pois*, *introduire des légumineuses*, *introduire la luzerne*, *introduire de l'orge de printemps*, entre autres.

La lutte chimique

Ce moyen de gestion est le plus employé par les étudiants après la rotation avec 17,3% des aspects argumentaires en BTS et il n'est évoqué qu'en 5^e rang (2,7%) en Bac pro. Contrairement à la *rotation*, il n'est pas discuté dans tous les épisodes. Les groupes BL3 et AC1 se distinguent nettement sur ce levier. En effet, la *lutte chimique* est très prégnante en BTS avec des épisodes entiers qui lui sont consacrés : elle est l'objet d'un raisonnement agronomique (et économique) très poussé avec plus de 18 spécifications pour un seul épisode pour décider des choix des produits phytosanitaires et de leur positionnement dans la rotation. Le groupe BL3 a proposé un raisonnement moins élaboré sur le plan technique. La lutte chimique fait cependant l'objet de spécifications en Bac pro.

L'indication « *résistance des vulpins* » et ce pour deux familles chimiques herbicides, a beaucoup occupé les étudiants, les conduisant à avancer des arguments erronés (cf. 3.), une maîtrise insatisfaisante de la distinction entre un faux-semis et un déchaumage et a fait émerger des arguments en lien avec les perceptions des pesticides. Ces arguments font écho à des résultats issus de l'analyse des controverses que nous avons réalisée dans le sous-chapitre 4II. La partie 3 traite spécifiquement des aspects en lien avec la perception des pesticides. Notre dispositif permet ainsi de révéler des facettes des raisonnements en construction.

Le levier labour

Ce levier a un rôle particulier dans notre situation-problème. Le système de notre cas d'étude est conduit en non labour. Nous avons évoqué la bonne technicité de M. Sorot et souligné qu'il avait un parc matériel en bon état et adapté. Nous sous-entendions par-là qu'il ne labourait plus et par voie de conséquence, qu'il n'avait plus de charrue. Nous avons veillé à faire apparaître dans les objectifs de l'agriculteur le souhait de rester en non labour (« *simplifier son itinéraire de travail du sol pour implanter ses cultures (recours au non labour)* »). Le *labour* est un levier principal, mais dans le cas de la situation-problème, il doit être impérativement discuté et confronté aux objectifs du « porteur d'enjeux ». Les étudiants ne l'ont pas d'emblée discuté dans cette optique, proposant un compromis fondé sur le temps de retour du labour (1 labour tous les 4 ans) tandis que les élèves ont été plus vigilants et ont d'abord écarté la solution et proposé un compromis ensuite.

C'est le deuxième levier le plus discuté dans le groupe BL3. Les TP autour de ce levier ont permis de mettre en lumière une plus grande connaissance du référentiel des pratiques

⁶²⁴ Nous avons pour cela, à partir de notre matrice des scores, pu isoler chaque registre argumentaire pour chaque domaine de référence.

professionnelles de référence de la région chez les élèves de Bac pro. Ils discutent le recours au labour également en termes de protection de la ressource sol, révélant des facettes de la complexité des raisonnements à construire et la nécessité de conduire une réflexion systémique pour appréhender les interactions entre l'agroécosystème, les pratiques et le milieu. Ils sont parfois étonnés de s'écarter de l'objet direct de la résolution (limiter le salissement par les vulpins) alors que le travail qu'ils conduisent est directement connecté à la prise en compte de effets et des conséquences des choix à différentes échelles de temps et d'espace (épisode 3).

Les tableaux n°34 et n°35 présentent l'ensemble des scores de tous les leviers dans les TP pour BL3 et AC1, tous aspects argumentaires confondus (justifications, conséquences et conditions). Nous ne discutons pas le levier densité de semis (seulement énoncé).

Tableau n°34 : Scores et pourcentages des aspects argumentaires pour les huit leviers mobilisés par BL3 (Bac pro CGEA)

Récapitulation des scores/levier groupe BL3			
Les grandes masses : les totaux généraux	scores obtenus	%	rang
total aspects argumentaires	264		
Total pour le levier LP rotation	183	69,3	1
Total pour le levier LP labour	49	18,6	2
Total pour le levier LP date de semis	6	2,3	5
Total pour le levierLS déchaumage	3	1,1	6
Total pour le levier LS faux-semis	8	3,0	3
Total pour le levier LC lutte chimique	7	2,7	4
Total pour le levier LC désherbage mécanique	8	3,0	3
Total pour le levier LS densité semis	0	0,0	7

Dans les TP en Bac pro, les leviers, autres que la *rotation* et le *labour*, sont très peu discutés avec moins de 3% des TP. Soulignons que le *désherbage mécanique*, 3ème levier le plus évoqué (avec seulement 3% des TP), est explicitement cité comme une alternative aux pesticides dans le curriculum potentiel (cf. sous-chapitre 4I).

Tableau n°35 : Scores et pourcentage des aspects argumentaires pour les huit leviers mobilisés par AC1 (BTS APV)

Tableau récapitulatif des scores/leviers pour AC1			
Les grandes masses : les totaux généraux	scores obtenus	%	rang
total aspects argumentaires	788		
Total pour le levier LP rotation	350	44,4	1
Total pour le levier LP labour	64	8,1	5
Total pour le levier LP date de semis	48	6,1	6
Total pour le levierLS déchaumage	77	9,8	4
Total pour le levier LS faux-semis	30	3,8	7
Total pour le levier LC lutte chimique	138	17,5	2
Total pour le levier LC désherbage mécanique	81	10,3	3
Total pour le levier LS densité semis	0	0,0	8

Pour le niveau BTS, la disparité entre les leviers est moins nette, le levier *rotation* excepté. Sauf pour le levier *faux-semis* (3,8%), les scores obtenus sont très proches entre 10,3 et 36,1%. Le *désherbage mécanique* est le troisième levier le plus évoqué avec 10,3%.

1.2.2. Analyse quali-quantitative des argumentations

On compte près de 3 fois plus d'aspects argumentaires pour le groupe AC1 en BTS avec au total 788 justifications, conséquences et conditions évoquées sur les 1186 tours de parole (TP). Le groupe BL3 en Bac pro a produit 264 aspects argumentaires sur les 1575 TP. Ceci correspondrait en moyenne à un aspect argumentaire tous les 1,5TP pour le groupe AC1 et

seulement à un aspect argumentaire en moyenne tous les 6 TP (5, 6) en Bac pro. Les tours de parole apparaissent plus « efficaces » en BTS pour faire avancer la qualité des raisonnements.

Des justifications qui dominent

Les registres justifications et conséquences⁶²⁵ sont les plus mobilisés pour construire l'argumentaire dans les deux sous-groupes avec respectivement 48,5% de justifications et 46,6% de conséquences pour BL3 e 43,5% et 32, 2 % pour AC1. Le niveau Bac pro et le niveau BTS se distinguent sur le nombre et le type de conditions aux propositions qu'ils avancent. Très peu de ces aspects argumentaires sont considérés en Bac pro avec moins de 5% des aspects argumentaires. Pour le niveau BTS, les proportions entre les différents aspects argumentaires sont plus équilibrées (cf. figures n°83 et n°84).

Figure n°83 : Répartition des registres argumentaires pour le groupe BL3 (bac pro)

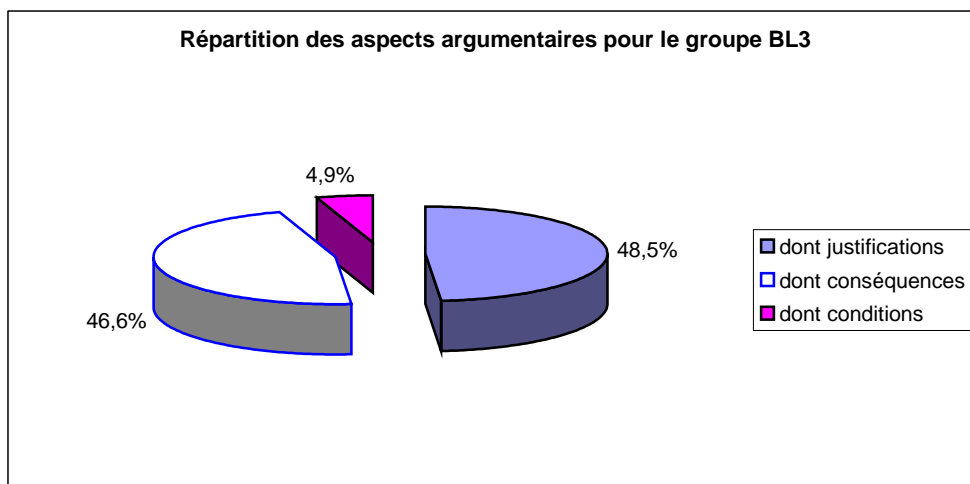
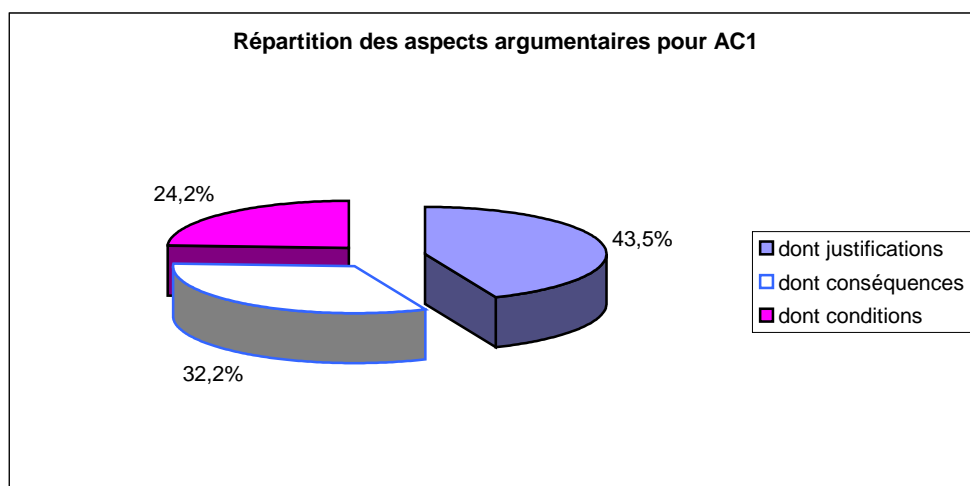


Figure n°84 : Répartition des registres argumentaires pour le groupe AC1 (groupe BTS)



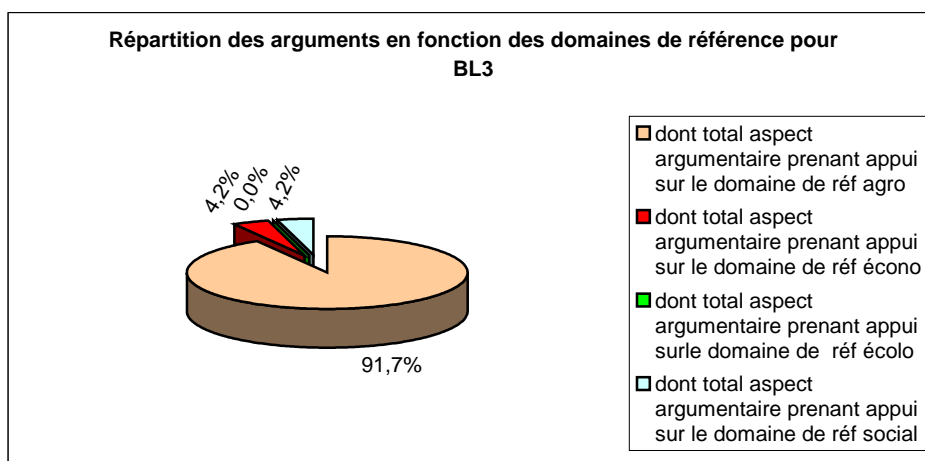
Le groupe en BTS déploie une argumentation plus riche dans le registre des conditions avec 24,2% du total.

⁶²⁵ Nous illustrons dans le paragraphe quelle est la forme d'une justification, d'une conséquence et d'une condition dans le paragraphe 2. qui aborde le niveau d'analyse « méso ».

Le domaine de référence agronomique est le plus prégnant

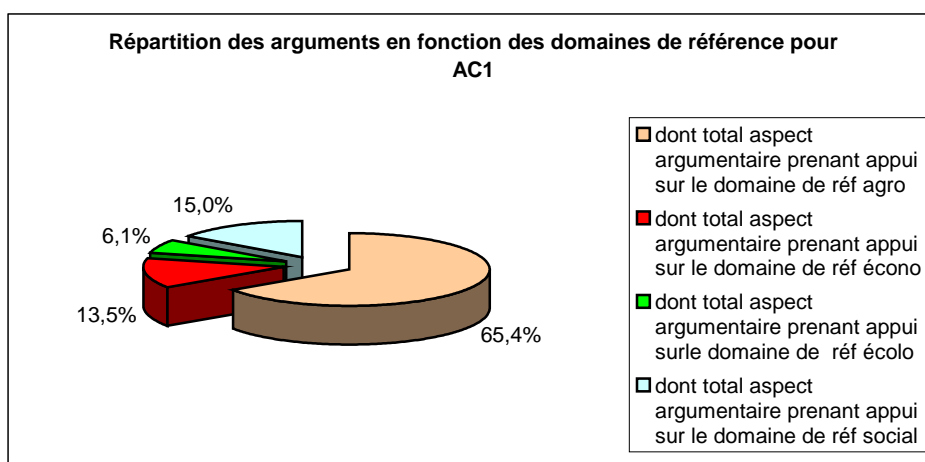
Les groupes BL3 et AC1 fondent d'abord leur argumentation sur le domaine de référence agronomique. Ils le mobilisent d'emblée dès les premiers épisodes. Pour le niveau Bac pro, les arguments s'appuient quasi-exclusivement sur ce domaine de référence avec près de 91,7% du total des propositions. Pour le niveau BTS, le déséquilibre n'est pas aussi marqué mais le score est tout de même de 65,5% (cf. figures n°85 et n°86).

Figure n°85 : Répartition des aspects argumentaires pour le groupe BL3 (bac pro)



Les domaines économique et social sont mobilisés au même niveau avec moins de 5% des aspects argumentaires. Les élèves ne mobilisent pas d'arguments écologiques en lien avec la protection de l'environnement, malgré la contrainte environnementale imposée dans le corps de la situation-problème (« *La petite région agricole est une zone spécialisée en grandes cultures. La commune vient d'être intégrée dans la zone vulnérable. En effet, la zone de captage doit être protégée. La qualité de l'eau sur le périmètre s'est dégradée : augmentation des teneurs en nitrates et en produits phytosanitaires* »).

Figure n°86 : Répartition des arguments en fonction des domaines de référence pour AC1 (groupe BTS)



De leur côté, les étudiants du groupe AC1 s'appuient presque autant sur le domaine économique et sur le domaine social, avec respectivement 13,5% et 15% des aspects

argumentaires. Nous remarquons cependant la faible prise en compte du domaine de référence écologique.

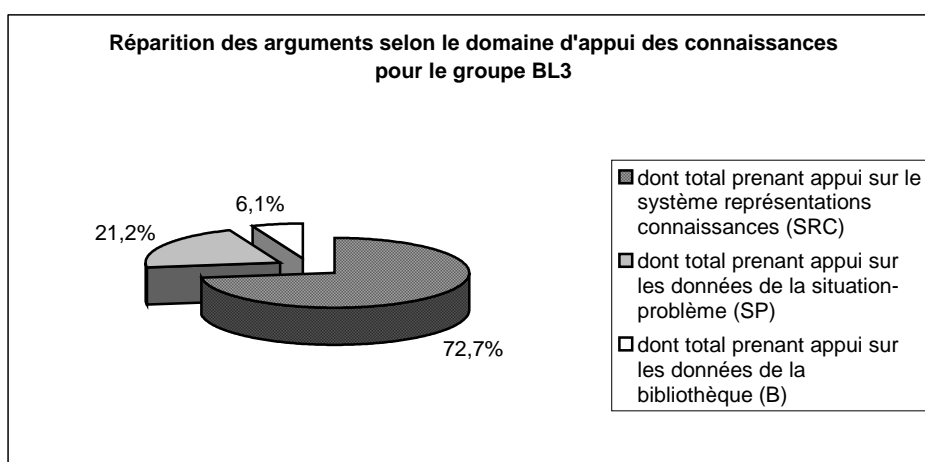
Nous avons présupposé que les élèves/étudiants mobiliseraient des arguments reliant les effets des pesticides sur la santé des utilisateurs pour choisir des alternatives. Aucune proposition dans ce sens n'est évoquée dans les deux corpus. Quand les élèves/étudiants se fondent sur le domaine de référence « social », ce sont des arguments en termes de temps de travail et d'acceptabilité du nouveau système de culture. Les discussions portent sur des compromis liés à une spécification du levier *labour* (ne pas labourer tous les ans, mais une fois tous les trois ou quatre ans). Des aspects sociaux sont également posés en termes d'acceptabilité du nouveau système (passer de trois cultures à neuf a été un sujet discuté en BTS). Les effets délétères des pesticides sont surtout exprimés dans le domaine de référence écologique pour AC1 et en termes d'énoncés permettant d'avoir accès aux conceptions sur les pesticides pour le groupe BL3 (cf. partie 3.).

Nous avons présupposé que notre dispositif favoriserait la mobilisation d'arguments en agronomie, nous le vérifions dans les deux sous-groupes de travail.

La forte mobilisation du système de représentations-connaissances (Bétoine et Legardez, 1995) chez les élèves/étudiants

Les élèves comme les étudiants de notre échantillon s'appuient d'abord sur leurs connaissances et leurs représentations préalables pour construire la solution au problème rencontré avec presque 73% (72,7%) des arguments pour le niveau Bac pro et presque 66% (65,5%) pour le niveau BTS (cf. figures n°87 et n°88). Ils mobilisent également dans une moindre mesure la bibliothèque. Le scénario didactique visant à éviter la saturation cognitive le jour de la résolution de la situation-problème se révèle pertinent. En effet, le bloc de données « bibliothèque » a en particulier été utilisé pour discuter de l'efficacité de leviers (nombre de cultures dans la rotation et effet du salissement, intérêt d'introduire des fabacées, décalage de la date de semis et effet sur le salissement, choix des produits phytosanitaires en lien avec les familles chimiques et des données sur la biologie du vulpin [date de levée]). Cependant, comme nous l'avons précisé en amont, les élèves/étudiants passent très vite en revue les solutions et n'ont pas pris le temps d'approfondir certains autres aspects de la QSV à traiter. Ils sont cependant parvenus à proposer une solution complexe sur le plan agronomique à la fin de la résolution.

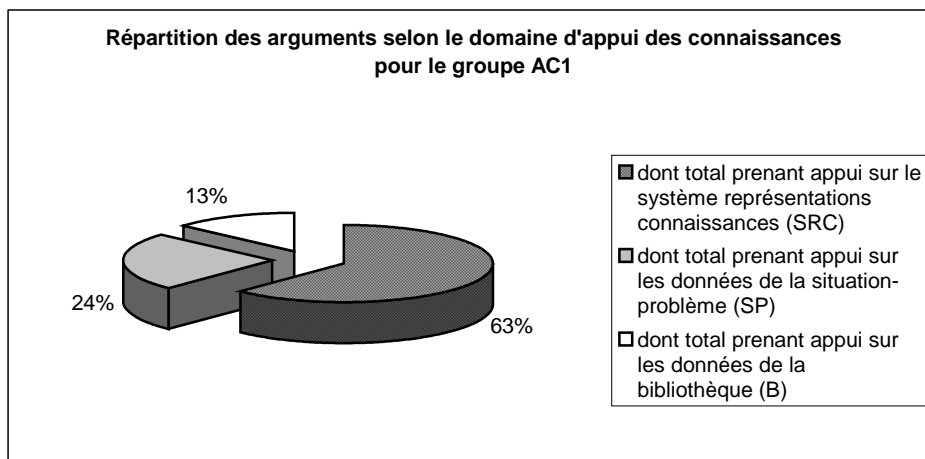
Figure n°87 : Répartition des arguments selon le domaine d'appui des connaissances pour BL3 (groupe Bac pro)



Les élèves de Bac pro prennent appui sur la situation-problème pour discuter des choix de pratiques dans le nouveau système proposé en termes de cohérence par rapport aux objectifs

de l'agriculteur, aux pratiques de références professionnelles du contexte agricole qu'ils connaissent et par rapport aux contraintes à considérer émanant du contexte pédoclimatique (les pluies en automne et le type de sol). De nombreux TP ont permis de révéler chez le sous-groupe étudié une connaissance du futur contexte d'exercice professionnel.

Figure n°88 : Répartition des arguments selon le domaine d'appui des connaissances pour AC1 (groupe BTS)



Les étudiants de BTS s'appuient plus souvent sur la situation-problème que les élèves de Bac pro, en croisant les informations avec la bibliothèque à la recherche de preuves. Ils discutent en particulier des familles de pesticides et du type de cultures à introduire dans la nouvelle rotation et de leurs intérêts économiques et agronomiques.

Il semblerait que les élèves/étudiants se soient installés dans un genre « élèves/étudiants en agronomie » pour résoudre un problème posé en des termes agronomiques certes, mais qui n'a pas été exploité au-delà d'un cadre de référence « ordinaire » dans des filières professionnelles : les aspects liés à la santé préoccupent des élèves de Bac pro CGEA (Frère, 2014) et en nous fondant sur les réponses au questionnaire de l'enseignante du lycée BL, les élèves de l'expérimentation ne sont pas indifférents (cf. annexe n°18). L'enseignante en Bac pro CGEA considère indispensables « *des connaissances sur les conséquences des phyto sur l'environnement et la santé : en 1ère, nous avons abordé les risques des phyto sur la santé et j'ai été très étonnée des intérêts positifs des élèves, car souvent ils disent : « les EPI : on les met pas ; ça sert à rien... » mais en réalité ils les utilisent...et heureusement !!!* » (femme BL, réponse question n°2). Elle souligne dans le même temps l'intérêt que ses élèves portent à ces aspects en lien avec leur santé : « *Ensuite je fais intervenir un conseiller de la MSA (il faut pas le dire car ils ont plus le droit...!!!! mais « OH combien efficace !!! ») qui vient 2 heures dans la classe pour nous parler des produits phytosanitaires et leurs risques sur la santé (ils adorent...)* » (femme BL, réponse question n°3).

Une analyse plus fine des argumentations

Des tableaux de synthèse en annexe (annexes n°19, 20, 21, 22) récapitulent les points que nous présentons et discutons ici.

Nous présentons des résultats qui caractérisent les argumentations en croisant les registres « aspects argumentaire » et « domaine de référence » et les domaines d'appui des connaissances. Nous commençons par présenter des résultats sur les aspects argumentaires justifications, puis sur les conséquences et les conditions.

Que révèle l'analyse des justifications ?

Quand les élèves/étudiants justifient leurs propositions, ils s'appuient très majoritairement sur le domaine de référence agronomique avec respectivement 91,4 % pour le groupe BL3 en Bac pro et 72,3% pour le groupe AC1 en BTS. Pour les deux niveaux de classe, le domaine social est le deuxième domaine le plus mobilisé avec 19% des justifications en BTS et 3,1% en Bac pro. Les domaines économique et écologique sont paradoxalement très peu explorés avec respectivement pour le groupe BL3, 5,5% et 0%, et pour le BTS, 5% et 3,8% (cf. figures n° 89 et 90).

Figure n°89 : Répartition des justifications/domaine de référence pour le groupe BL3

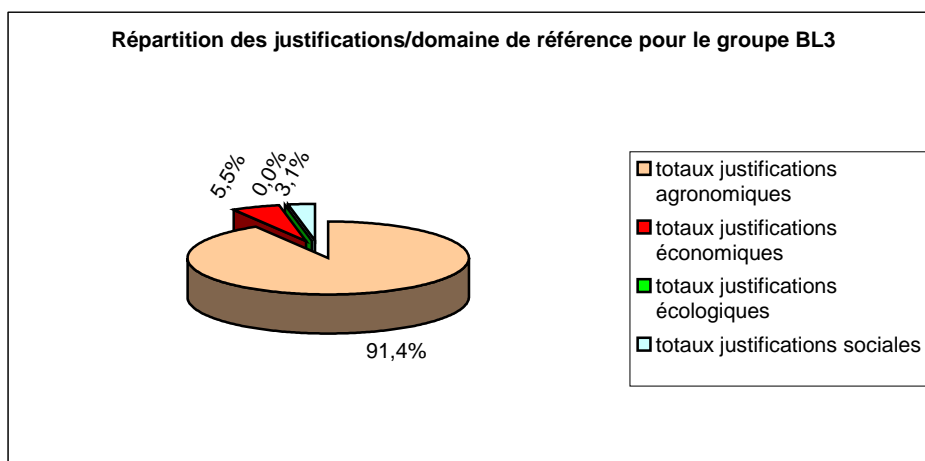
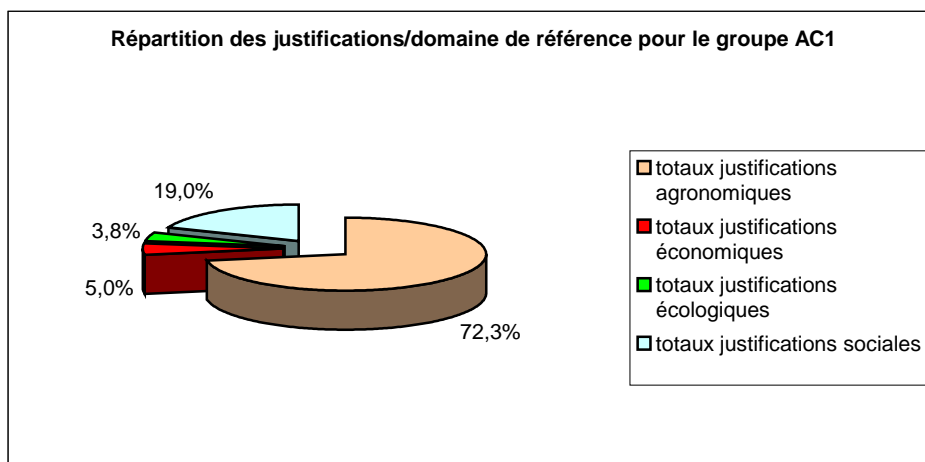
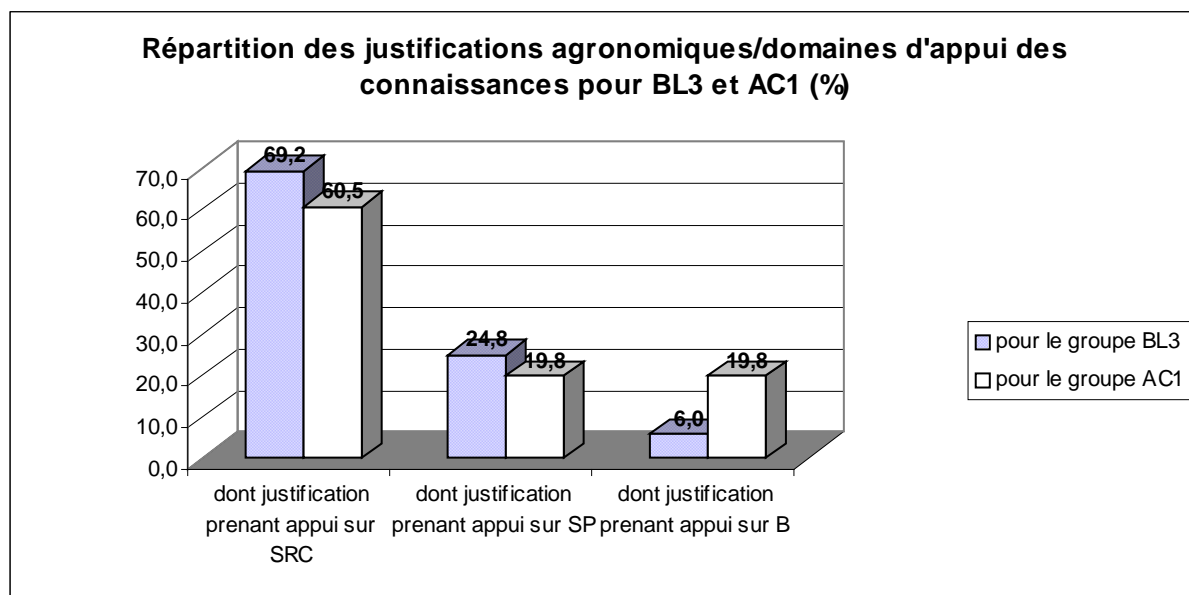


Figure n°90 : Répartition des justifications/domaine de référence pour le groupe AC1



Quand ils justifient leurs propositions, les élèves comme les étudiants s'appuient d'abord sur leur SRC (69,3% pour BL3 et 60,5% pour AC1). Nous avons relevé au fil du corpus de BL3 des discussions autour des pratiques agricoles qu'ils connaissaient (SRC). Dans les deux sous-groupes, les données de la situation-problème sont une deuxième source d'appui pour argumenter. Pour la groupe en Bac pro, les données factuelles apparaissent plus pertinentes que celles de la bibliothèque (avec seulement 6% des appuis). Le groupe BTS utilise de manière équilibrée la bibliothèque (B) et les données de la situation-problème (SP) (19,6% des justifications agronomiques) (cf. figure n° 91).

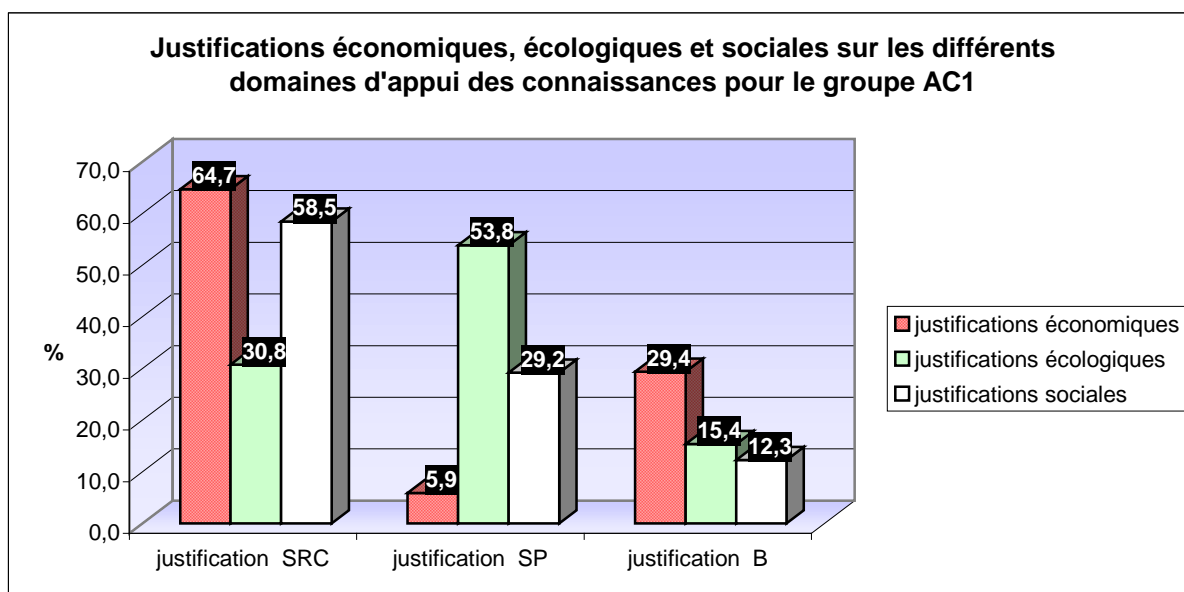
Figure n°91 : Approche comparée de la répartition des justifications agronomiques par domaine d'appui des connaissances en Bac pro et en BTS.



Les élèves de Bac pro ne justifient pas leurs propositions sur le domaine écologique et lorsqu'ils évoquent des justifications sur le domaine de référence social, ils s'appuient complètement sur leur SRC. Pour le groupe AC1 en BTS, les résultats sont moins tranchés (cf. figure n°92). Les justifications sont réparties entre les trois domaines économique, écologique et social. Ils fondent très majoritairement leurs justifications économiques sur le SRC (64,7%) puis sur la bibliothèque (20,4%). Les justifications écologiques s'appuient sur la situation-problème, les étudiants ayant bien intégré l'exigence réglementaire de protection des ressources en eau liée à la définition de la zone vulnérable (« *La commune vient d'être intégrée dans la zone vulnérable. En effet, la zone de captage doit être protégée. La qualité de l'eau sur le périmètre s'est dégradée : augmentation des teneurs en nitrates et en produits phytosanitaires* »). Ils mobilisent peu la bibliothèque avec 15,4% des justifications écologiques. Les justifications sur le domaine social se fondent à près de 59% (58,5%) sur le SRC. Les aspects sociaux sont abordés en termes d'acceptabilité des propositions des étudiants par l'agriculteur. Nous l'illustrons à partir de trois exemples :

- le premier est lié à la perspective d'intégrer le labour dans le système de M. Sorot. Le système sera plus acceptable s'il ne laboure qu'une année sur trois ou quatre. Mais, les étudiants n'étudient pas la contradiction entre leur proposition et le système en non labour ;
- le deuxième concerne l'implantation de la luzerne sur des parcelles. Les étudiants proposent de maintenir cette culture pendant trois ans (épisode 5) et ils considèrent que le suivi technique simple de cette culture ne va pas contribuer à alourdir ses charges de travail ;
- le troisième exemple s'appuie sur la décision de ne plus employer du « Fusilade » dans le programme de désherbage. Au TP 967, nous avons inféré « *qui est mauvais fusilade* » à la fois aux dimensions sociales, agronomiques et écologiques. « *Mauvais* » dans le sens où continuer à l'employer ne va qu'aggraver la pression de sélection en faveur des vulpins résistants et compliquer encore la situation de M. Sorot (le produit appartient à une des familles impliquées dans les phénomènes de résistance).

Figure n°92 : Justifications économiques, écologiques et sociales sur les différents domaines d'appui des connaissances pour le groupe AC1

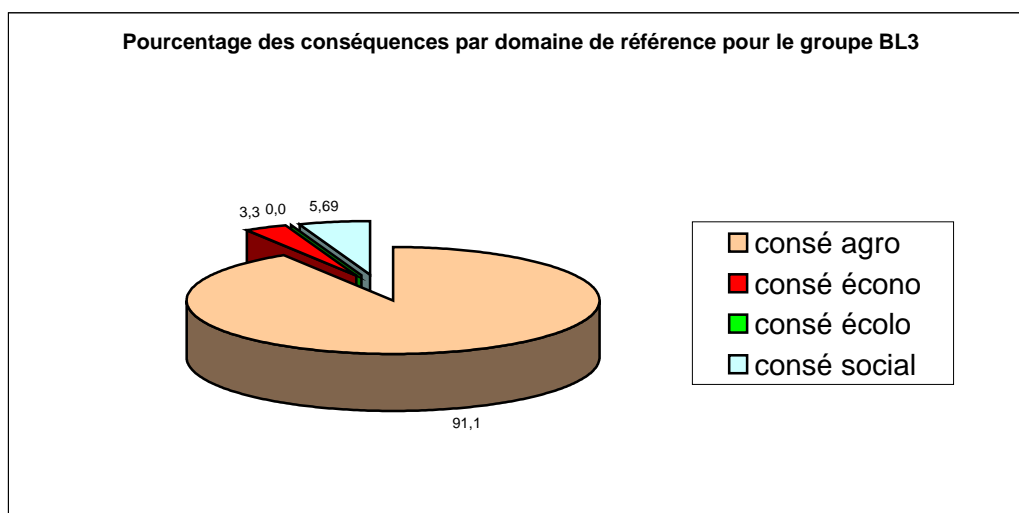


Que révèle l'analyse des conséquences et des conditions ?

Nous avons analysé comment se répartissent les conséquences et les conditions selon le domaine de référence et les domaines de connaissances pris en appui. Nous avons déterminé des pourcentages et pour ne pas induire des erreurs dans l'interprétation des valeurs, nous avons précisé entre crochets les proportions considérées (le nombre des aspects argumentaires est parfois faible).

Les conséquences et les conditions que les élèves/étudiants envisagent se fondent d'abord sur le domaine agronomique en BTS et en Bac pro et sur leurs connaissances préalables (cf. figures n°93, n°94, n°95, n°96, n°97, n°98).

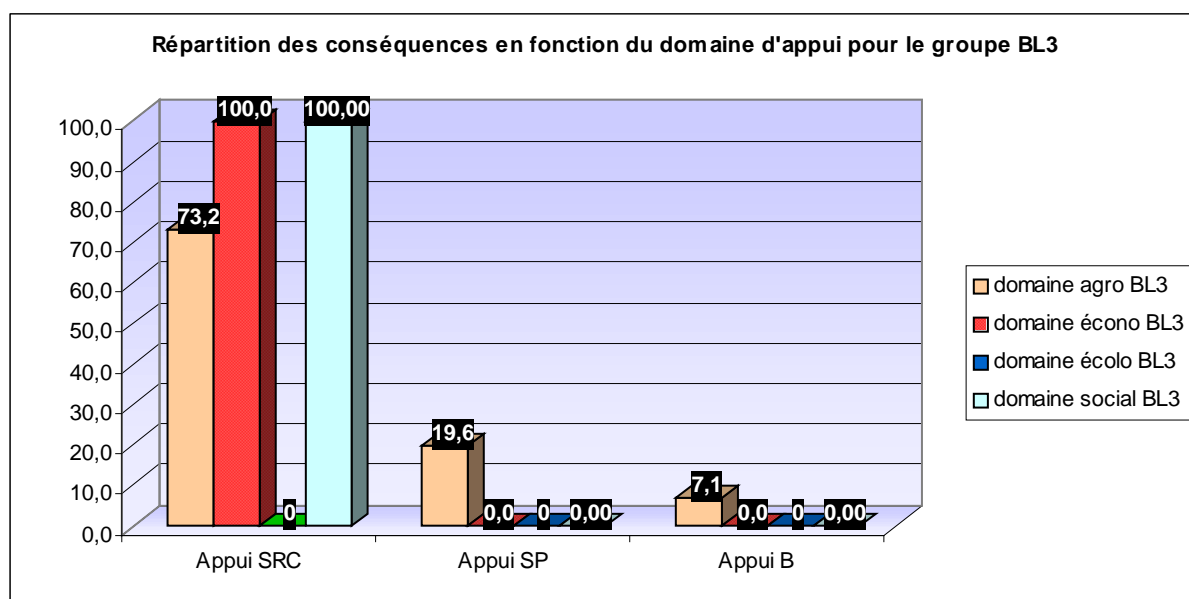
Figure n°93 : Pourcentage des conséquences par domaine de référence pour le groupe BL3 (bac pro)



Conséquences dans le fil de discussion BL3(bac pro) (cf. figure n°93)

Pour BL3, 91% [117/128] des conséquences évoquées se fondent sur le domaine agronomique. Très peu de conséquences sur les autres domaines sont envisagées (3,3% [4/128] pour le domaine économique et environ 5,6% [7/128] pour le domaine social). Aucune conséquence écologique des solutions retenues n'est proposée par le groupe. Les élèves envisagent des conséquences agronomiques à partir de ce qu'ils savent déjà : 73,2% [82/112] prennent appui sur leur SRC (cf. figure n°94). La situation-problème sert à construire environ 20% [22/112] des conséquences agronomiques. La bibliothèque est très peu utilisée (environ 7% [8/112]). Les conséquences économiques et les conséquences sociales sont exclusivement envisagées à partir du SRC des élèves (cf. figure n°94).

Figure n°94 : Répartition des conséquences par domaine de référence et par d'appui des connaissances pour le groupe BL3 (bac pro)



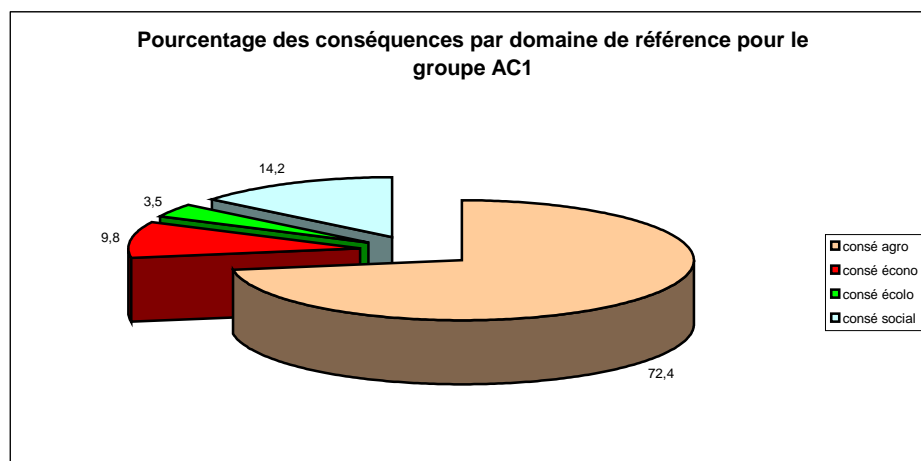
Conditions dans le fil de discussion BL3 (bac pro)

Les élèves du groupe BL3 n'envisagent que des conditions agronomiques des solutions qu'ils proposent et elles se fondent à près de 77% [10/13] sur leur SRC et pour le reste ce sont des données issues de la situation-problème (23,1% [3/13]).

Conséquences dans le fil de discussion AC1 (groupe BTS)

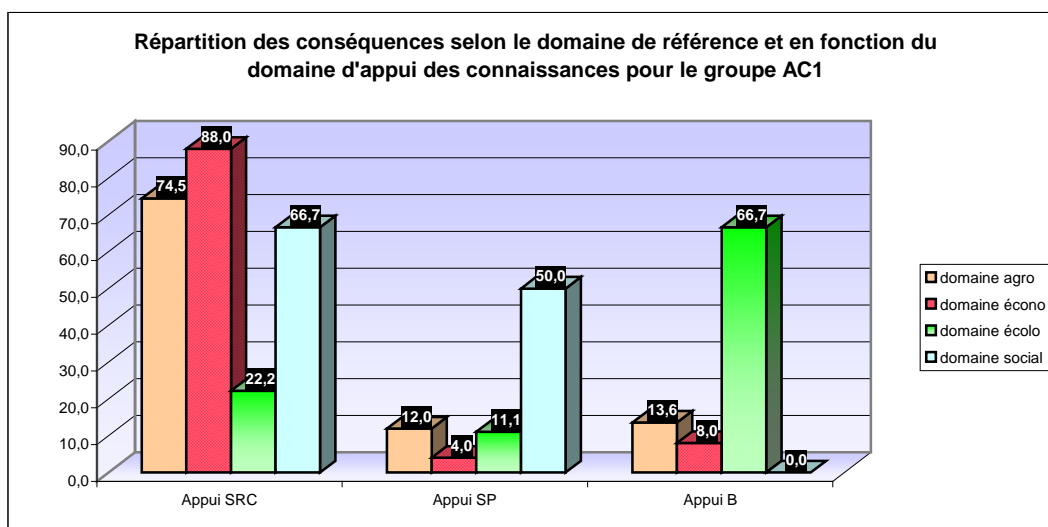
Pour le groupe en BTS les résultats sont plus nuancés. 72,4 % [184/254] des conséquences se fondent sur le domaine agronomique. Le domaine social est ensuite le plus exploré (14,2% ; 36/254) (lien avec la proposition de recourir au labour), cf. figure n°95.

Figure n°95 : Pourcentage des conséquences par domaine de référence pour le groupe AC1 (groupe BTS)



74,5% [137/184] des conséquences agronomiques proposées prennent appui sur le SRC des étudiants, reléguant les autres sources d'informations au second plan (les données de la situation-problème et de la bibliothèque) (cf. figure n°96). Les conséquences économiques sont très majoritairement envisagées à partir du SRC des étudiants (respectivement 88% [22/25] et 66,7% [24/36]). En revanche, les conséquences écologiques sont discutées à partir de la bibliothèque pour 6 des 9 propositions. Le domaine écologique est étonnement peu creusé. Nous supposons que la prise en compte de cette dimension écologique est une évidence pour les étudiants.

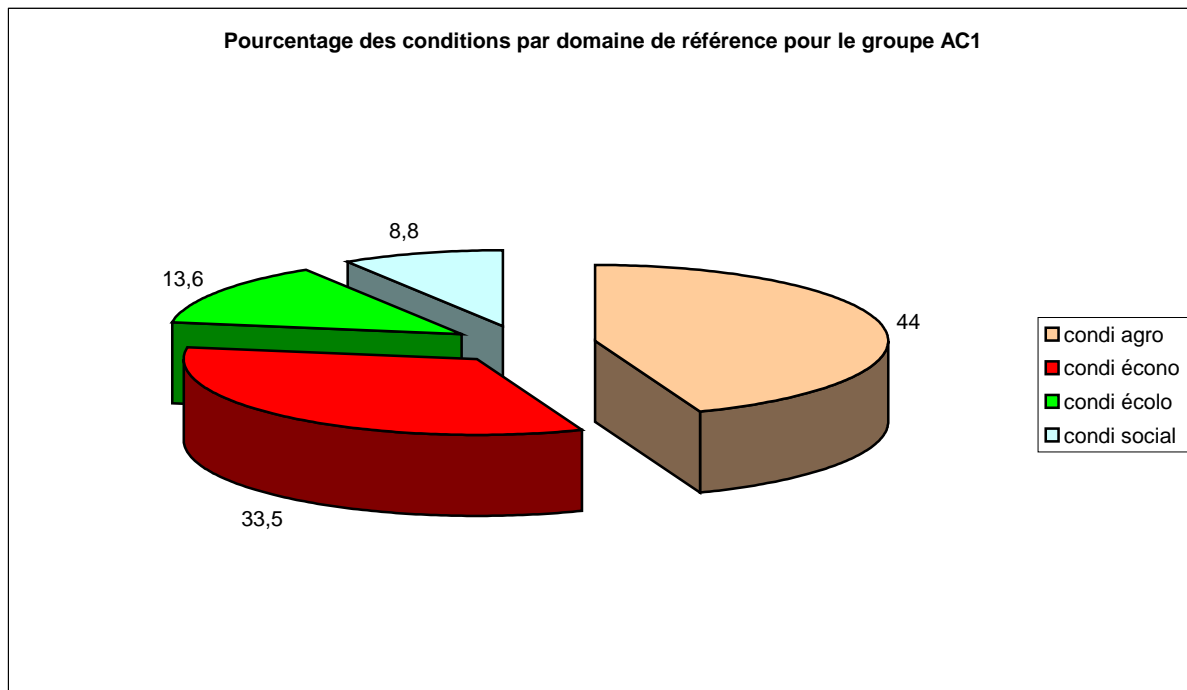
Figure n°96 : Répartition des conséquences en fonction du domaine d'appui du groupe AC1 (groupe BTS)



Conditions dans le fil de discussion AC1 (groupe BTS)

Les conditions couvrent les quatre domaines de référence avec une prégnance des arguments agronomiques et économiques (respectivement 44% et 33,5%, [84/191] et [64/191]). (cf. figure n°97).

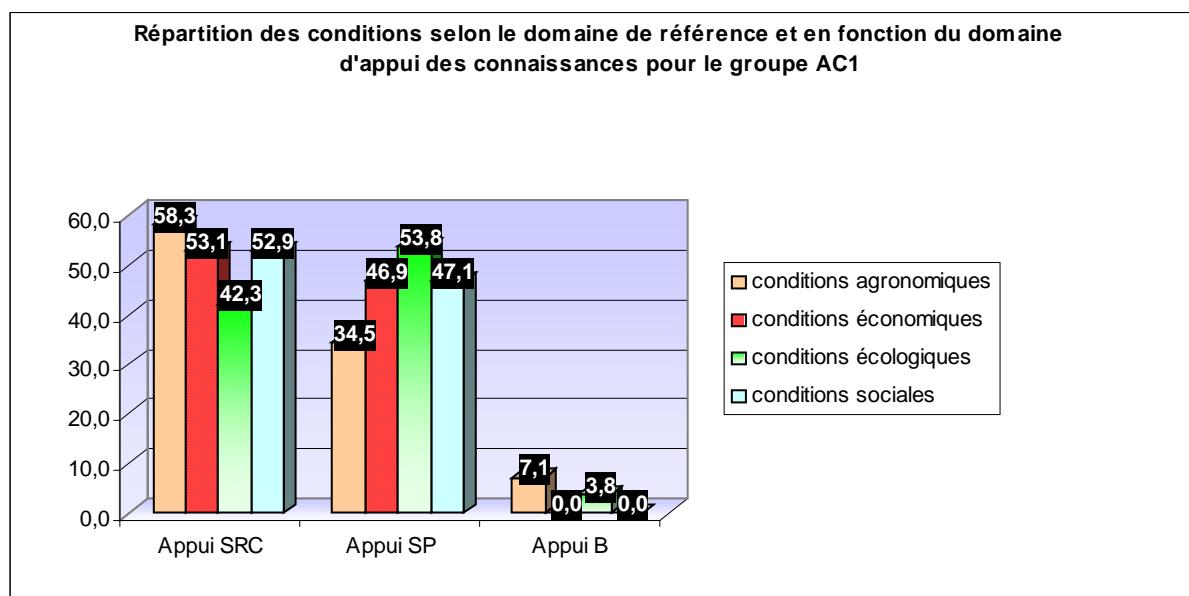
Figure n°97 : Pourcentage des conditions par domaine de référence pour le groupe AC1 (groupe BTS)



Le déjà-là et des données de la situation-problème abondent systématiquement de manière prépondérante les conditions évoquées sur les quatre domaines de référence avec respectivement (la bibliothèque est très peu mobilisée) (cf. figure n°98) :

- 58,3% [49/84], 34,5% [29/84] ([7,1% [7/84] pour B) pour le domaine agronomique,
- 53,1% [34/64] et 46,9% [34/64] ([0/64] pour B) pour le domaine économique,
- 42,3% [11/26] et 53,8% [14/26] ([1/26] pour B) pour le domaine écologique,
- et 52,9 % [9/17] et 47,1% [8/17] ([0/17] pour B) pour le domaine social :

Figure n°98 : Répartition des conditions en fonction du domaine d'appui du groupe AC1 (groupe BTS)



Synthèse

Les aspects argumentaires sont majoritairement des justifications, suivies de près de conséquences. Les conditions sont peu abordées. Les justifications, comme les conséquences et les conditions, sont de surcroît très majoritairement agronomiques.

Les élèves de Bac pro de notre échantillon proposent des argumentations très agronomiques et ils n'envisagent que des conditions agronomiques de leurs propositions. En BTS, les étudiants explorent davantage de domaines de référence pour les conséquences et les conditions. Les conditions des solutions envisagées après la dimension agronomique sont économiques, un peu écologiques et la dimension sociale est très peu abordée.

Aucun des sous-groupes n'a évoqué des aspects sur la santé humaine liés à l'usage des phytosanitaires comme-ci le « genre élève/étudiant en agronomie » en bridait l'expression.

Les argumentations sont de types Agro-sociales économiques pour le groupe bac pro (BL3) et de types Agro-écologique et socio-économiques pour le groupe BTS (AC1). Nous avons exposé les résultats de l'analyse des tours de parole. Nous abordons maintenant le contenu des épisodes avant de présenter les résultats de l'analyse des niveaux de complexité des raisonnements produits par les élèves/étudiants.

1.3. L'enchaînement des épisodes et leurs contenus

Nous présentons brièvement et par ordre chronologique les contenus des épisodes pour le groupe BL3 et le groupe AC1, sous la forme d'une liste de points dans lesquels, nous précisons le titre, les tours de parole bornant l'épisode, quelques lignes de résumé et le raisonnement en construction (RC). Les leviers sont précédés du signe « ↓ » et le signe « > » sépare deux cultures dans une succession culturale. Les cultures de la rotation de l'agriculteur sont repérées en gras (**colza**, **blé hiver**, **orge hiver**). Le raisonnement s'est progressivement construit au cours des échanges dans les épisodes.

1.3.1. Les douze épisodes de la résolution pour le sous-groupe BL3 en Bac pro CGEA

- Episode 1 (TP59 à TP104) – « La rotation est trop courte, il faut l’allonger »

Pour les élèves, la rotation est trop courte sur les 180 ha. L’interculture pose un problème, il est nécessaire d’implanter un couvert intermédiaire de phacélie, mais sans en décider la place dans la rotation. Des cultures associées sont envisagées, là encore sans préciser concrètement les cultures associées et leur place dans la rotation. Selon les élèves, la date de semis du blé est trop précoce, il est nécessaire de retarder le semis à la mi novembre. Il convient d’allonger la rotation en alternant les familles de plantes, le tournesol est retenu entre le blé et l’orge et le maïs est écarté. Les élèves proposent 10 spécifications pour la rotation. La combinaison de différentes spécifications du levier *rotation* (combinaison intra levier) la plus complexe de toutes les propositions est énoncée au 75^{ème} tour de parole soit à 8min 20s.

RC : **Colza** + ↓ culture associée > ↓ couvert intermédiaire ↓ phacélie > ↓ retarder le semis de blé **Blé Hiver** ↓ culture associée > ↓ couvert intermédiaire ↓ phacélie > ↓ allonger la rotation en alternant les familles ↓ tournesol > **Orge Hiver** ↓ culture associée > ↓ couvert intermédiaire ↓ phacélie > **Colza**

- Episode 2 (TP105 à TP194) – « La succession des cultures y compris l’interculture et les familles d’herbicides à employer doivent être revues »

Les élèves explorent les leviers *rotation* et lutte chimique en les discutant d’abord séparément. Ils envisagent dans un premier temps et de manière générale, l’introduction d’un couvert intermédiaire de légumineuses dans l’interculture, la nécessité d’alterner les familles de cultures, d’implanter des cultures associées et de diversifier les familles chimiques d’herbicides. Ils focalisent leur discussion sur l’interculture blé>orge d’hiver pour discuter concrètement du couvert intermédiaire « tournesol » conduit en dérobée. Cet épisode illustre la construction distribuée du raisonnement. Les élèves déclinent les propositions de spécifications pour la *rotation* et ils sont capables d’en proposer dix différentes.

RC : Frise **Colza** > ↓ introduire un couvert de légumineuses ? ↓ alterner les espèces de cultures ?, ↓ alterner les familles de plantes cultivées ?, ↓ alterner les familles d’herbicides ? > ↓ alterner les familles d’herbicides ? **Blé Hiver** > ↓ introduire un couvert de légumineuses ? ↓ alterner les espèces de cultures ? ↓ alterner les familles de plantes cultivées ?, ↓ alterner les familles d’herbicides ? ↓ introduire le tournesol en dérobée > ↓ alterner les familles d’herbicides ? **Orge Hiver** > ↓ introduire un couvert de légumineuses ?, ↓ alterner les espèces de cultures ?, ↓ alterner les familles de plantes cultivées ?, ↓ alterner les familles d’herbicides ? > **Colza**

- Episode 3 (TP194 à TP239) – « La gestion de l’interculture et l’introduction des couverts associés avec de la luzerne »

Dans cet épisode, les élèves explorent un ensemble de leviers qu’ils commencent à combiner. Ce ne sont que des arguments agronomiques. Les premières conditions émergent. **Le labour est envisagé dans un premier temps sans qu’en soient précisées les modalités concrètes. La solution est écartée car l’agriculteur est en non labour.** Les élèves reviennent sur les avantages de l’implantation de couverts intermédiaires dans l’interculture, néanmoins aucune précision n’est donnée sur l’interculture considérée. La phacélie comme dans les épisodes précédents est pressentie. La technique de semis sous couvert en associant la luzerne à une autre culture est proposée. Pour détruire les couverts intermédiaires, un déchaumage avec un déchaumeur à disques est envisagé en substitution du glyphosate. La gestion des adventices ensuite en culture est très brièvement évoquée avec des herbicides. Un énoncé⁶²⁶ met en lumière des conceptions sur les pesticides.

⁶²⁶ TP233 : « pour détruire, pour détruire son...son couvert ap-, avant de semer, il a pas forcément besoin d’un **glyphosate**, il peut faire un désherbage mécanique »

RC : Raisonnements en construction ↓ labour ? ↓ semis sous couvert de luzerne ? ↓ herbicides ? **Colza**> ↓ couverts intermédiaires ↓ phacélie ↓ désherbage mécanique > ↓ labour ? ↓ semis sous couvert de luzerne ? ↓ herbicides ? **Blé Hiver**> ↓ couverts intermédiaires ↓ phacélie ↓ désherbage mécanique > ↓ labour ? ↓ semis sous couvert de luzerne ? ↓ herbicides ? **Orge Hiver**> ↓ couverts intermédiaires ↓ phacélie ↓ désherbage mécanique > **Colza**...

- Episode 4 (TP240 à TP293) - « Il faut faire des faux semis dans les intercultures et du semis sous couvert pour installer les 3 cultures de la rotation »

Les élèves discutent le système pratiqué et prennent appuis sur le contexte situé. Il semble qu'il leur soit nécessaire de le rediscuter pour en saisir la cohérence. Peu de propositions sont faites. La lutte chimique et le levier labour sont évoqués sans qu'ils soient concrètement déclinés, les élèves s'appuient sur l'épisode précédent. Des faux-semis dans les intercultures et le semis direct dans un couvert d'interculture sont discutés. On note une erreur⁶²⁷ de raisonnement lié au semis direct en partie du à une mauvaise interprétation du document 4 de la bibliothèque.

RC : ↓ alterner les familles de désherbants ? ↓ labour ? ↓ semis direct dans le couvert **Colza**> ↓ semis couvert intermédiaire ? ↓ faux-semis > ↓ alterner les familles de désherbants ? ↓ labour ? ↓ semis direct dans le couvert **Blé Hiver**> ↓ alterner les familles de désherbants ? ↓ labour ? ↓ semis direct dans le couvert **orge hiver** ↓ alterner les familles de désherbants ? ↓ labour ? ↓ semis direct dans le couvert **Colza**> ↓ semis couvert intermédiaire ? ↓ faux-semis > **Colza**...

- Episode 5 (TP294 à TP381) - « Pour gérer le problème de vulpin, il faut envisager différents leviers (allongement de la rotation, choix des variétés, choix des herbicides et faire des faux-semis) »

Les élèves prospectent et ils ne s'appuient sur la rotation que pour annoncer la nécessité de l'allonger avec deux ou trois cultures, dont une peu exigeante en azote. Les familles chimiques d'herbicides devraient être alternées sur la rotation, selon eux. Le choix de cultures adaptées est annoncé sans être discuté. Le labour et les faux-semis (sans en préciser son positionnement dans la rotation) sont discutés. Cet épisode est assez pauvre en aspects argumentaires. Des tours paroles révèlent dans cet épisode des conceptions sur les pesticides⁶²⁸ et sur la perspective de limiter leurs emplois. Sur 87 tours de parole, 47 sont hors conduite de la résolution du problème posé (off task).

RC : ↓ allonger la rotation ↓ ajouter 2 ou 3 cultures ↓ introduire une culture peu exigeante en azote ↓ alterner les familles chimiques d'herbicides ↓ Choix variétal ↓ labour ↓ Faux semis
Colza>interculture colza-blé>**Blé Hiver**> interculture blé hiver-orge hiver >**Orge Hiver**> interculture orge hiver-colza> **Colza**

⁶²⁷ TP TP228 : « Et après pendant *qu'il commence à geler, quand il commence à geler, les, les couverts gèlent, et voilà.* » Le couvert est évoqué et le luzerne et ce n'est pas un couvert qui va geler dans le contexte.

⁶²⁸ TP323 « *Eh, je suis maraicher, pas agriculteur.* » et TP325 : « *Beh, c'est pareil. Si t'as, tu vas avoir des adventices dans le, dans le jardin, non le potager.* » . Il est question de gérer le vulpin et il apparaît dans le TP323 que le raisonnement à construire pour limiter les pesticides sur les grandes cultures lui soit spécifique. Cette approche cloisonnée écarte la vision de fondements communs pour gérer les bioagresseurs.

- Episode 6 (TP381 à TP427) - « Diversifier la rotation et le travail mécanique pour contenir le vulpin et le plan Ecophyto 2018 est-il un objectif raisonnable ? »

Les élèves discutent brièvement le levier secondaire « désherbage mécanique » et annonce une nouvelle fois la nécessité de diversifier la *rotation*. Toutefois, l'appui sur la rotation de l'agriculteur est sous-entendu et les discussions ne débouchent pas sur une proposition de rotation émanant de leurs raisonnements. L'épisode est marqué par une dispute apparente autour de la possibilité d'atteindre l'objectif de 50% de réduction des pesticides préconisé dans le plan Ecophyto 2018.

RC : ↓ désherbage mécanique ? ↓ diversifier la rotation ?

Colza>interculture colza-blé>**Blé Hiver**> interculture blé hiver-orge hiver >**Orge Hiver**> interculture orge hiver-colza> **Colza**

- Episode 7 (TP428 à TP500) - « Planter des couverts intermédiaires et semer sous couvert, introduire des légumineuses et du tournesol, jouer sur les familles de pesticides : des solutions »

Les élèves estiment déjà être dans une phase de récapitulation. Ce sont encore des dialogues très ancrés dans un registre agronomique. Toutefois, un aspect économique est évoqué dans cet épisode. Les élèves s'appuient sur la situation-problème pour évoquer l'allongement de la rotation et la nécessité de couvrir le sol en interculture. Seul le levier *rotation* fait l'objet de propositions concrètes de mise en œuvre et seulement pour 2 spécifications sur 6. Ce levier est toujours l'objet de nombreux échanges. Les élèves évoquent la combinaison de la *lutte chimique* et de la *rotation* sans qu'elle soit l'objet d'une proposition concrète pour le système étudié. Les élèves ont besoin dans cet épisode d'être rassurés⁶²⁹.

RC : ↓LP rot faire des semis direct dans le couvert **Colza**>↓LP rot planter des couverts en interculture >↓LP rot faire des semis direct dans le couvert **Blé Hiver**> ↓LP rot planter des couverts en interculture ↓LP rot introduire du tournesol blé>tournesol>orge Tournesol >↓LP rot faire des semis direct dans le couvert **Orge Hiver**> ↓LP rot planter des couverts en interculture > ↓LP rot faire des semis direct dans le couvert **Colza** **mais aussi ces leviers ...** ↓LC lutte chimique réduire l'emploi des pesticides ? ↓LP rot faire évoluer la rotation ? ↓LP rot introduction de légumineuses ? ↓LP rot allonger la rotation ? ↓LS Faux-semis ↓LP rot faire des semis direct dans le couvert ? ↓LC lutte chimique diversifier les phytos ? ↓LC lutte chimique diversifier les familles chimiques de phytosanitaires ?

- Episode 8 (TP501 à TP603) – « Et si l'agriculteur labourait ? »

Cet épisode est marqué par de nombreux tours de parole traitant de l'opportunité du labour, cette fois décliné sous plusieurs spécifications. Les arguments agronomiques sont les seuls convoqués dans les justifications et les conséquences et dans la seule condition envisagée. Le levier date de semis est lui aussi décliné et très discuté en prenant appui sur le contexte de la situation problème. Le levier faux-semis est discuté mais n'est pas envisagé de manière concrète. Dans cet épisode aucun levier n'est décliné de manière opérationnelle. Les solutions ne sont encore considérées que comme des pistes, et elles ne sont pas traduites dans un projet complet cohérent. On retrouve une erreur de raisonnement récurrente⁶³⁰ liée à une mauvaise interprétation d'un des documents de la bibliothèque (document 4).

RC : ↓LP Labour ? ↓LP Labour un an sur deux ? ↓LP Labour un an sur trois ? ↓Faux-semis ? ↓LP date semis décaler les dates de semis ?

⁶²⁹ Le chercheur est interpellé au TP 433, s'ensuivent des échanges jusqu'au TP 500 : -BL32 : « *Boh, beh Madame euh* » et TP437 « BL31 : « *On a tout dit eh !* ». BL31 se demande si le groupe a fait le tour de la question.

⁶³⁰ TP 541 BL32 « *Il pourrait revendre sa charrue, ça pourrait lui faire gagner de l'argent* ». Mais l'agriculteur n'a pas de charrue puisqu'il est en non labour. Il y a des indications dans la bibliothèque qu'il utilise sans les adapter au contexte

Colza>interculture colza-blé>**Blé Hiver**> interculture blé hiver-orge hiver >**Orge Hiver**> interculture orge hiver-colza> **Colza**
Colza>interculture colza-blé>**Blé Hiver**> interculture blé hiver-orge hiver >**Orge Hiver**> interculture orge hiver-colza> **Colza**

- Episode 9 (TP603 à TP708) – « La rotation est le levier-clé pour gérer le vulpin et le labour est lui écarté »

Les élèves s'organisent pour récapituler les propositions faites dans les épisodes précédents. Ils s'appuient sur le contexte situé pour choisir des solutions à conserver ou à écarter. Malheureusement, peu de propositions sont discutées et concrètement organisées dans un ensemble cohérent. Il s'agit davantage de solutions énoncées et juxtaposées. Les élèves tiennent compte des objectifs de l'agriculteur pour écarter le labour. Encore une fois, c'est le levier *rotation* qui est le plus discuté, en particulier dans le cadre de la gestion de l'interculture. Nous avons décelé une erreur de raisonnement à ce sujet (un élève a « oublié » la situation en non labour et il propose d'arrêter de labourer). Le levier *rotation* présente le plusieurs de spécifications. Les leviers *labour* et *rotation* sont combinés et discutés, les leviers *rotation* et *faux-semis* sont combinés mais la combinaison n'est pas discutée. La lutte chimique et le levier déchaumage sont proposés mais ne sont pas déclinés concrètement.

Les arguments agronomiques dominent, mais c'est la première fois depuis le début des échanges que la dimension sociale est abordée. On observe une nouvelle fois la « pauvreté » de l'argumentation avec peu de conséquences et l'absence de condition.

RC : ↓LC Lutte chimique un herbicide ? ↓LP Labour travail profond ? ↓LS déchaumage ? ↓LS déchaumage après la récolte ? ↓LS faux-semis ? ↓LP rot rallonger la rotation ? ↓LP rot allonger la rotation en changeant d'espèces ? ↓LP rot couvert intermédiaire avec un mélange d'une ou deux cultures ? ↓LP rot couvert intermédiaire avec un mélange de deux variétés ? ↓LP rot féverole dans les couverts intermédiaires ?

Colza> ↓LP Labour avant semis tournesol ↓LP rot tournesol dans la rotation ? Tournesol ? >**Blé Hiver**> ↓LP rot planter des couverts dans l'interculture blé/orge > ↓LP Labour avant semis tournesol ↓LP rot tournesol dans la rotation ? Tournesol ? >**Orge Hiver**> interculture orge hiver-colza> **Colza**

- Episode 10 (TP 709 à TP806) – « Des intercultures avec des couverts indissociables du non labour : effet de protection des sols et concurrence pour les adventices »

Cet épisode est encore une récapitulation marquée par la construction d'un document écrit, le levier *rotation* occupe la grande majorité des tours de parole. Les leviers retenus ne sont pas combinés. Les élèves décident de rester dans la configuration non labour conformément au système pratiqué de l'agriculteur. Ils vantent son intérêt pour la conservation des sols (protection contre l'érosion, accroissement du taux de matières organiques et effet favorable sur les charges de mécanisation). Le levier faux-semis est envisagé sans que l'on sache concrètement à quel moment il est placé dans l'itinéraire technique cultural. Il n'est pas discuté en termes d'intérêts pour la gestion des adventices. Les élèves décident de faire des couverts dans les intercultures de la rotation. C'est une pratique qui selon eux doit être associée au non labour. Les couverts sont proposés sans préciser concrètement leur place dans la rotation. Une modalité de culture associée « colza/fabacées » est retenue pour la fourniture en azote pour les effets de concurrence vis-à-vis du vulpin (étouffement). Les élèves retiennent aussi sur les effets supposés allélopathiques de certains couverts pour gérer la flore adventice (appui sur une source extérieure, un numéro de la revue France Agricole).

RC : ↓Faux-semis ? ↓ LP rot spéci 3 « introduire une fabacée dans la rotation » ? ↓ LP rot spéci 4 « cultures associées » ?

↓LP rot spéci 1 « semis de colza sous couvert de féverole » **Colza** ↓LP rot spéci 2 « couvert sur interculture »
>Blé Hiver> ↓LP rot spéci 2 « couvert sur interculture » >**Orge Hiver**> ↓LP rot spéci 2 « couvert sur interculture » > **Colza**

- Episode 11 (TP 807 à TP906) - « Le glyphosate n'est pas bon pour l'environnement, les couverts intermédiaires sont toujours aussi importants et c'est trop dur ! »

Cet épisode est intéressant car il révèle des éléments liés aux risques perçus/pesticides (glyphosate) « pas bon », « bobo », « hyper sale », ce sont donc les atteintes au milieu biophysique qu'ils retiennent en reprenant les éléments de la revue *France agricole* d'avril 2013. Cet épisode montre aussi la difficulté des élèves à construire un raisonnement complexe, ils appellent le chercheur pour leur souffler des idées (TP 886 à 907). Cependant cet épisode n'a pas d'intérêt pour révéler la complexité des raisonnements. Il n'y a pas de nouveauté dans les leviers mobilisés : la *rotation* avec les couverts pendant l'interculture, le faux-semis sont énoncés sans être discutés ou déclinés.

RC : Faux-semis ?

Colza ↓LP rot spéci 1 « couvert sur interculture » >**Blé Hiver**> ↓LP rot spéci 2 « couvert sur interculture » >**Orge Hiver**> ↓LP rot spéci 2 « couvert sur interculture » > **Colza**

- Episode 12 et fin du travail (TP 907 à TP1182) - « La solution est reprise dans sa complexité les leviers rotation, labour, faux semis sont combinés »

C'est le dernier épisode marqué par de longs passages qui ne sont pas liés à la résolution de la situation-problème. Toutefois avec l'aide du chercheur, les solutions proposées en amont sont reprises et articulées entre elles. Il y a toujours désaccord entre les élèves sur l'intérêt du labour dans ce système. Il est écarté pour les intérêts du non labour avec des cultures associées dans la rotation et des couverts intermédiaires dans la protection des sols. Le faux-semis est encore énoncé mais c'est la première fois que son intérêt est justifié, son effet semble « tellement évident » qu'il n'est pas détaillé. La lutte chimique est évoquée simplement par la nécessité d'alterner les familles de produits. Les élèves décident de remplacer le glyphosate par « autre chose ». La lutte chimique, les leviers *rotation*, faux-semis sont articulés. Le levier date de semis est écarté à cause du contexte pédoclimatique.

Tous les leviers de cette liste ne sont pas concrètement déclinés :

RC : ↓LS Faux-semis ↓LC lutte chimique spéci 1 « alterner les familles de produits phyto » ? ↓LP Labour ↓LP labour spéci 1 « labour une année sur trois » ↓LS « alternatives au labour » ↓LP rot spéci 3 « faire des couverts de céréales » ↓LC lutte chimique spéci 1 « glyphosate » ↓LP date semis ↓LP rot spéci 4 « des légumineuses » ↓LP rot spéci 5 « des radis en, en couvert » ↓LP rot spéci 6 « semis sous couvert » ↓LP rot spéci 7 « association de couverts » ↓LP rot spéci 8 « semis sous couvert » ↓LP rot spéci 9 « luzerne sous un tournesol » ↓LC Lutte chimique spéci 2 « alterner les familles de phyto »

Colza ↓LP rot spéci 1 « d'intégrer des couverts » ↓LP rot spéci 2 « des couverts avec des cultures associées » >**Blé Hiver**> ↓LP rot spéci 1 « d'intégrer des couverts » ↓LP rot spéci 2 « des couverts avec des cultures associées » >**Orge Hiver**> ↓LP rot spéci 1 « d'intégrer des couverts » ↓LP rot spéci 2 « des couverts avec des cultures associées » > **Colza**

1.3.2. Les seize épisodes de la résolution pour le sous-groupe AC1

- Episode 1 (TP40-TP97) – « Allonger la rotation trop courte de la situation-problème »

Les étudiants ont pointé la nécessité d'allonger la rotation de l'agriculteur, jugée trop courte, mais ne précisent pas de succession culturale. Le travail se met en place, les documents sont manipulés, les étudiants prennent leur marque. La *rotation* est le premier levier proposé pour orienter le travail (introduire une autre culture, mais laquelle ?).

RC : Colza Hiver>↓? Autre culture>Blé Hiver>↓? Autre culture >Orge Hiver>↓? Autre culture >Colza...

- Episode 2 (TP98-TP157) - « Allonger Rotation avec introduction d'une culture été : Tournesol ou pois ? »

Les étudiants poursuivent la proposition d'allongement de la rotation de l'agriculteur en introduisant du tournesol ou du pois et ils commencent à préciser la succession des cultures envisagées. Des spécifications intra LP rot sont articulées entre elles.

RC : Colza> ↓ tournesol ou pois?>Blé Hiver >↓ tournesol ou pois?>Orge Hiver>↓ tournesol ou pois?> Colza...

- Episode 3 (TP158-TP225)- Recours au labour et alterner les familles chimiques de pesticides sur blé et colza »

Les étudiants combinent les leviers principaux *rotation* (allongement de la rotation avec introduction tournesol), *labour* (après le tournesol) avec *la lutte chimique*. L'argumentation de déploie à partir de justifications agronomiques.

RC : Colza> ↓ tournesol?>Blé Hiver >↓ ?>Orge Hiver >↓?> Colza...

RC : Tournesol>↓ labour 1 fois tous les 4 ans ↓glyphosate

RC : Colza ↓ alterner les familles chimiques autre pesticide type hors FOP DIME >Blé Hiver ↓ alterner les familles chimiques garder FOP DIME sur blé>

- Episode 4 (TP226-TP257) – « Recours au labour et alterner les familles de plantes pour introduire des cultures de printemps et d'été place et discuter la place du pois »

Les étudiants travaillent plus précisément à l'allongement de la rotation en discutant la position du pois et de l'orge de printemps dans la rotation initiale. L'effet précédent est pris en compte pour explorer les choix. Les leviers ne sont pas articulés car les étudiants sont en phase de recherche de propositions à faire valider au groupe.

RC : Colza> ↓ pois?>Blé Hiver >Orge Hiver ↓ orge de printemps>↓ pois ?> Colza

- Episode 5 (TP258-TP321)- « Introduction de la luzerne dans la rotation longuement discutée »

Les étudiants discutent des intérêts, des conséquences et des conditions d'introduire la luzerne et/ou le pois dans la rotation sans définir leur place dans la succession des cultures. Ils valident l'intérêt d'alterner les familles de plantes de type printemps/été avec des types automne/hiver. L'introduction de la luzerne pousse les étudiants à prendre appui hors du contexte situé pour appréhender des débouchés de la luzerne. Des aspects organisationnels impliquant l'exploitant sont discutés.

RC : Colza> ↓ pois, luzerne ?>Blé Hiver >↓ orge de printemps↓ pois, luzerne ?> Orge Hiver > ↓ pois, luzerne ?> Colza

- Episode 6 (TP322- TP391)- « Gestion de l'interculture colza>pois et définition de la succession de cultures adaptées entre colza, blé, pois et orge de printemps »

Une culture intermédiaire piège à nitrates est envisagée si la succession colza>pois était retenue. La date des semis de blé doit être décalée de 15 jours pour gérer la population de vulpin. La succession finalement discutée retenue colza>blé>pois orge de printemps. Le premier argument « écolo » est énoncé au TP 326 (zone vulnérable). Cet épisode révèle une bonne connaissance des repères de pratiques professionnelles en lien avec les effets suivants et précédents dans la rotation en construction. Des leviers sont articulés.

RC : Colza> ↓ CIPAN interculture CIPAN > ↓ retarder semis fin octobre Blé Hiver > ↓ introduire pois ? pois> ↓ introduire orge de printemps orge de printemps> ↓ introduire pois ? pois >

- Episode 7 (TP392 –TP461)- « Rotation sur 9 ans avec 3 ans de luzerne et moitié de céréales »

Les étudiants construisent une rotation sur 9 ans en introduisant la luzerne pour 3 ans, considérée comme une tête de rotation. Le labour est envisagé pour gérer le vulpin, la position de cette opération culturale n'est pas tranchée : avant la luzerne ou avant le colza ?

RC : ↓ labour Luzerne 3 ans >Blé1> Orge > > ↓ labour Colza >Blé2>Pois>Blé3

- Episode 8 (TP462-TP532) – « Le labour, pois et 3 ans de luzerne à concilier dans la rotation »

Les étudiants construisent une rotation sur 9 ans en conservant le blé d'hiver, le colza et de l'orge d'hiver. Ils discutent de la place du pois par rapport aux blés et au colza et ils proposent des conséquences et des conditions de l'introduction de la luzerne maintenue 3 ans dans la rotation. Ils combinent les effets de 3 ans de luzerne et de la position de deux labours dans la succession des cultures, en termes de débouchés en particulier.

Il y a un passage (TP 524) durant lequel, les étudiants discutent de l'acceptabilité sociale du labour par l'exploitant. Le LP rot luzerne est beaucoup discuté dans le contexte situé et élargi, le nombre de dimensions considérées est plus important (agronomique, économique, sociale [acceptabilité], écologique [une des rares fois où cet aspect est abordé]). C'est un épisode qui permet d'illustrer le niveau N7.

RC : ↓ labour Luzerne 3 ans >blé1> orge > orge P> ↓ labour Colza > ↓ introduire blé Blé2> pois> ↓ introduire blé Blé3 > ↓ labour ↓ 3 ans de Luzerne ↓ débouchés ?

- Episode 9 (TP533-TP628) – « Phase de stabilisation de la rotation sur 9 ans »

Cet épisode marque une phase de stabilisation de la proposition presque aboutie. Les étudiants s'appuient sur la rotation définie en amont et combinent plusieurs leviers pour gérer préventivement d'abord la population de vulpins hors culture de la rotation : des faux-semis, des déchaumages, le décalage des dates de semis des céréales sont proposés et la lutte chimique est envisagée durant l'interculture. La protection phytosanitaire est conservée sur pois, sur colza et sur orge. Les leviers LP rot, LS faux semis, LP labour sont articulés, seul le levier rotation est discuté dans le contexte.

RC : ↓ labour 3 ans de Luzerne > ↓ faux-semis déchaumages orge P> > ↓ labour Colza > ↓ faux-semis déchaumages ↓ retarder de 15j la date de semis blé Blé1> > ↓ CIPAN > pois> ↓ faux-semis déchaumages ↓ retarder de 15j la date de semis blé Blé2>

- Episode 10 (TP629 –TP694) – « La rotation la plus courte analysée et la plus longue stabilisée »

La rotation plus courte (sur 7 ans) est analysée et les grandes options retenues et discutées dans les épisodes précédents sont considérées comme validées et reprises dans cet épisode (transfert uniquement). Les leviers sont articulés mais certains discutés en amont ne le sont plus (c'est acquis, les étudiants ne reviennent pas sur les dates de semis, les faux-semis) : des passages illustrent la construction progressive par les étudiants d'unités de sens pour progresser dans la résolution. Le désherbage mécanique est envisagé pour la première fois (TP 642). Cet épisode est marqué par des discussions sur l'articulation de la lutte chimique et du désherbage mécanique. A la lumière du contenu, nous pouvons en déduire que soit la hiérarchie des leviers n'est pas acquise ou que soit elle ne constitue pas un préalable dans les phases d'exploration des solutions.

RC : ↓ labour Colza > ↓ faux-semis déchaumages ↓ retarder de 15j la date de semis blé **Blé1** > ↓ CIPAN > pois > ↓ faux-semis déchaumages ↓ retarder de 15j la date de semis orge >

- Episode 11 TP695- TP P804– « La protection phytosanitaire articulée avec d'autres leviers »

Les étudiants se concentrent sur la protection phytosanitaire en analysant les effets de la succession stabilisée. Après la luzerne, aucune intervention de désherbage n'est préconisée car son effet nettoyant en tant que précédent est avancé. Sur l'orge, l'argumentation met en balance le désherbage chimique avec le faux-semis combiné à 2 déchaumages. Ces derniers sont évalués aussi efficaces et plus acceptables que l'usage des phytosanitaires. Globalement une protection phytosanitaire sur blé 2, blé 3 et sur pois est proposée. Les leviers sont discutés dans le contexte situation-problème. En particulier, les solutions proposées sont confrontées aux pratiques de l'agriculteur « 3 cultures *versus* 9 proposées », des opérations de déchaumage, des faux-semis et une gestion de l'interculture conformes aux pratiques actuelles. Les étudiants sont tentés par le niveau S du cadre ESR. On peut relever des erreurs de raisonnement sur les phénomènes de résistance du vulpin aux familles d'herbicides et des énoncés en lien avec des conceptions sur les pesticides.

RC : 3 ans de Luzerne > ↓ rien sur blé1 **Blé1** > ↓ faux-semis et 2 déchaumages sur orge **Orge** > ↓ produit désherbant hors FOP et DIME en rattrapage sur colza **Colza** > ↓ désherbage chimique FOP et DIME sur blé2 **Blé2** > ↓ autre produit désherbant sur pois Pois > ↓ désherbage chimique FOP et DIME sur blé3 **Blé3** >...

- Episode 12 (TP805-TP979)- « la lutte chimique finement déclinée »

Cet épisode aborde les moyens de désherbage et le raisonnement est très technocentré : ce moment de la résolution révèle l'exigence en termes de technicité liée à la mise en œuvre de la lutte chimique (positionnement, spécialité commerciale, mode d'action/famille chimique). Cet épisode poursuit la phase des récapitulations : des premières unités de sens construites en amont servent de fondements pour élaborer un raisonnement plus fin sur les aspects explorés. La dimension agronomique est prégnante. Les conséquences sont envisagées pour la lutte chimique.

Cet épisode donne encore à voir des erreurs de raisonnements et des énoncés en lien avec la perception des pesticides.

RC : ↓ labour 3 ans de Luzerne > ↓ double déchaumage sur blé1 **Blé1** > ↓ double déchaumage et ↓ post-levée précoce avec Lexus (type B) sur orge **Orge** > ↓ labour sur colza ↓ post levée Colzor Trio ↓ suppression du Fusilade Max **Colza** >...

- Episode 13 (TP980-TP1105)- « Des discussions sur le positionnement des 18 spécifications de la lutte chimique »

Les étudiants en s'appuyant sur la succession des cultures passent en revue les interventions pesticides potentielles et décident de leur opportunité et le cas échéant les définissent (positionnement, type de famille et éventuellement spécialité commerciale). La luzerne sera implantée après un labour et restera sur les parcelles dédiées 3 ans. Il n'y aura pas d'intervention herbicide sur le blé1. Sur orge, les étudiants positionnent un herbicide, choisissant d'alterner les familles chimiques (groupe B). Lexus en post-levée précoce est proposé. Après l'orge, pour implanter le colza, un labour est retenu. Sur colza, culture jugée salissante, sont envisagés la lutte chimique et/ou un désherbage mécanique. Sur le blé2, un herbicide du groupe A, alternant avec le groupe B du Lexus est retenu en post-levée précoce : le Célio. Pour gérer les problèmes de vulpin dans l'interculture blé2> pois, sur un ton ironique, un débroussaillant est évoqué. Enfin sur pois, un herbicide du groupe A en pré-levée est retenu. Cet épisode révèle de nombreux passages en lien avec des conceptions sur les pesticides.

RC : Orge > ↓ intervention sur colza lutte chimique et/ou désherbage mécanique **Colza** > ↓ herbicide groupe A ↓ herbicide alternant avec groupe B/orge ↓ post-levée précoce ↓ Célio sur blé **Blé2** > ↓ débroussaillant interculture > ↓ herbicide groupe A pré levée pois Pois >

- Episode 14 (TP1106-TP1223) – « Les intercultures et dans la rotation »

Les étudiants s'attardent sur l'interculture entre le Blé2 et le pois de la rotation, jugée trop longue et ainsi favorable à l'accroissement du risque vulpin (levée et montée à graines). Brièvement est évoqué le labour avant le colza, considéré comme une culture salissante (le labour a un effet nettoyant). Pour ne pas voir le vulpin se développer dans l'interculture, le semis d'un couvert intermédiaire, gélif est discuté. Il sera détruit par le froid hivernal et par un passage de rouleau. Pour pallier le risque de destruction partielle du vulpin, du glyphosate en plein, plusieurs déchaumages avant le semis du pois, voire un traitement herbicide antidi-cotylédone, sont proposés et discutés. Le pois doit être désherbé avec un produit dont la substance active respecte l'alternance des familles chimiques. Il faut intervenir tôt dans le cycle (traitement de pré-levée). Une substance active alternative aux FOP et aux DIME et si possible aux groupes A et B sera retenue.

Cet épisode est très agronomique et il révèle encore des conceptions sur les pesticides.

RC : ↓ labour avant colza **Colza** > **Blé2** > ↓ semis de couvert intermédiaire ↓ couvert gélif ↓ passage de rouleau destruction ↓ glyphosate en plein ↓ herbicide monocotylédone ↓ plusieurs déchaumages > ↓ désherbage précoce (pré-levée) pois ↓ alterner les familles chimiques de pesticides ↓ choix substances actives alternatives FOP et DIME et groupe A et B Pois

- Episode 15 (TP1224-TP1304) – « Les récapitulations des raisonnements sur les cultures de la rotation »

Les étudiants poursuivent la récapitulation des solutions proposées et les complètent. Différentes cultures de la rotation sur 9 ans sont passées en revue pour préciser des interventions et en discuter les effets : il est question de décider de les valider ou non. L'orge de printemps et le pois de printemps sont retenus pour alterner cultures de printemps et culture d'hiver. Le Blé2 sera désherbé avec du Célio et par voie de conséquence, les étudiants retiennent sur le Blé3 d'autres produits Isoproturon+Prowl 400 ou Prowl 800 positionnés en post-levée précoce à l'automne. La Luzerne maintenue pour 3 ans sera installée après un labour. Le programme de désherbage est méthodiquement évoqué pour presque chacune des cultures de la rotation. **L'échelle système de culture est bien mise en évidence.** Des tours de

parole font écho à notre cartographie des controverses⁶³¹ et il y a encore des énoncés qui donnent des indices sur des conceptions liées à l'usage des pesticides.

RC : ↓ Orge de printemps Orge de printemps > ↓ Célio sur Blé2 **Blé2** > ↓ Pois de Printemps Pois de Printemps > ↓ désherbage chimique ↓ Célio autre produit que Célio sur Blé3 ↓ Isoproturon ↓ post-levée précoce ↓ Isoproturon à l'automne ↓ Prowl+Isoproturon ↓ Prowl 400 **Blé3** > ↓ labour avant luzerne 3 ans de Luzerne

- Episode 16 (TP1305-TP1557) - Titre : Tous les points d'appui de la rotation sur 9 ans sont récapitulés

La récapitulation s'achève dans ce dernier épisode. Les étudiants finalisent le schéma décisionnel et le mettent au propre. Les interventions phytosanitaires sont repérées depuis l'épisode précédent. Les étudiants reprennent les autres idées fortes et les notent sur le schéma décisionnel : les leviers et les effets escomptés sont organisés en lien avec l'action sur le stock semencier et le travail mécanique est positionné. La luzerne maintenue 3 ans va étouffer les adventices agissant sur le stock de graines d'adventices. Les étudiants ne prévoient pas d'intervention visant la gestion des adventices sur le blé1 de la rotation. Le désherbage mécanique avec une herse étrille, d'abord discuté, ne sera pas retenu. L'orge de printemps sera précédée par deux déchaumages jugés équivalents à un faux-semis. Le labour avant la luzerne est évoqué. Une CIPAN détruite fin hiver par roulage est retenue dans l'interculture entre le pois et le blé2. Un herbicide anti-germinatif sur pois ou sur blé3 est discuté. Le pois de printemps est envisagé pour son action sur le stock.

La combinaison proposée est discutée par rapport aux objectifs de l'agriculteur que les étudiants se représentent.

Des erreurs de raisonnement et des énoncés liés à des conceptions sur les pesticides sont présentes dans cet épisode.

RC : CIPAN > ↓ alterner les familles de plantes ↓ herbicide ↓ anti-germinatif Pois de printemps > ↓ herbicide ↓ anti-germinatif ↓ 2 déchaumages = faux-semis ↓ retarder la date de semis de 15j Blé3] **discuté /objectifs supposés de l'agriculteur**

1.4. Les niveaux de complexité des raisonnements

Nous avons déterminé à partir du corpus codé et de la grille d'analyse des niveaux de complexité des SAR. Dans une première partie, nous présentons successivement, les résultats d'analyse :

- du niveau de complexité pour chacun des huit leviers proposés par les élèves/étudiants dans les épisodes,
- de la moyenne des niveaux tous leviers confondus sur l'ensemble des épisodes,
- du niveau moyen atteint dans un épisode, tous leviers confondus,
- du niveau moyen de complexité de chacun des leviers sur toute la résolution.

Dans une deuxième partie, nous présentons l'analyse du niveau de complexité de chaque levier dans chacun des épisodes et l'évaluation du niveau de complexité atteint par la solution finale à la fin de la résolution et le positionnement de cette dernière par rapport au cadre ESR.

Selon nous, il est important de distinguer des scores moyens obtenus à des moments de la résolution et le niveau de complexité de la solution proposée à la fin de celle-ci. Cette dernière détermination permet de prendre en compte le processus de construction des raisonnements complexes marqués par une exploration progressive ou pas de la complexité qui contribue à accroître ou pas le niveau épistémique du raisonnement. Par exemple, certains domaines de référence n'ont pas été explorés dans un épisode, mais ils l'ont été dans un autre. De même, le

⁶³¹ Nous abordons ces aspects dans le paragraphe 2.

contexte situé et le contexte élargi peuvent être discutés dans des épisodes différents. Cependant à la fin de la résolution, les contextes ont bien été pris en appui pour construire le raisonnement. Cette dernière détermination est possible avec les notes recensées au cours du codage du corpus.

Nous présentons nos résultats en suivant l'ordre des rubriques proposées plus haut pour les groupes en même temps et nous commençons à les discuter.

1.4.1. Présentation de résultats moyens

La moyenne des niveaux tous leviers confondus sur l'ensemble des épisodes,

Le groupe en BL3 obtient un score moyen de 3,8 sur l'ensemble de la résolution et le groupe AC1 un score 5,1. Comment interpréter ces deux scores à partir de notre grille d'analyse des raisonnements attendus *a priori* ? Nous avons récapitulé dans le tableau n°35 ce que recouvre le score à partir de l'extrait de la grille d'analyse de la complexité des raisonnements (ligne fond jaune) et nous avons commenté ce que nous avons capté avec l'analyse fine du corpus.

En nous appuyant sur la grille d'analyse proposée (extrait proposé cf. tableau n°36), cela signifie pour le groupe BL3 que :

- des combinaisons de leviers n'ont pas été envisagées et les propositions sont faites systématiquement sans référence au contexte situé,
- au moins un aspect argumentaire a été associé à une proposition de levier ou à une combinaison de leviers,
- et la proposition de levier a été argumentée sur au moins un domaine de référence.

Pour AC1, en général, cela implique que :

- un seul levier a été discuté,
- des éléments du contexte situé ont été intégrés pour discuter les leviers proposés,
- les objectifs de l'agriculteur n'ont pas été systématiquement pris en appui pour discuter la cohérence des propositions,
- au moins un aspect argumentaire est évoqué avec une proposition de levier,
- et la proposition de levier a été argumentée sur au moins un domaine de référence.

Le texte en bleu correspondant à ce que nous avons capté lors de l'analyse fine des deux corpus.

Tableau n°36 : Extrait de la grille d'analyse *a priori* de la complexité des SAR et positionnement des scores

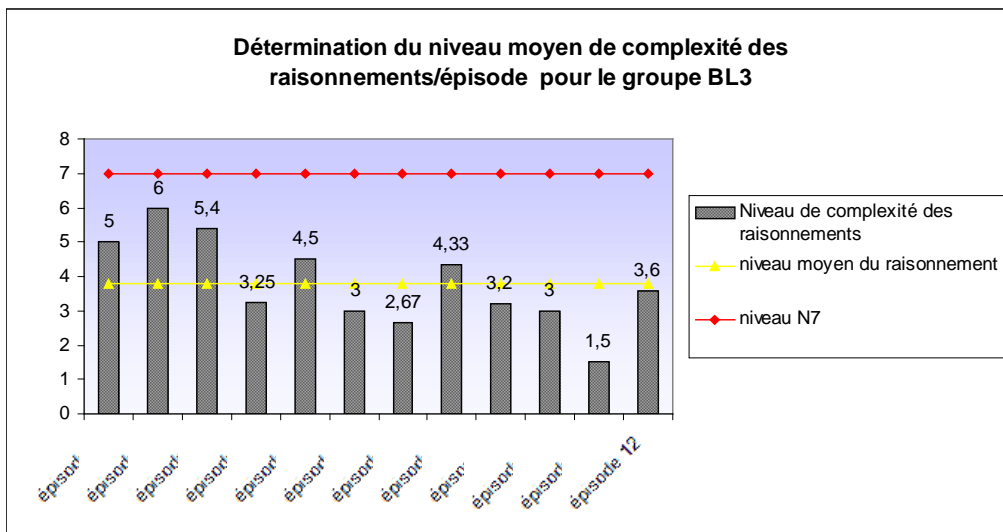
Niveaux de complexité des raisonnements	Leviers	Registre contextes	Registre aspects argumentaires	Domaine de référence
N6	Combinaison de leviers	Autres éléments du contexte situé pris en compte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence
Score de 5,1 pour AC1	↑ *Apparement pas de combinaison au regard de la note moyenne *Mais oui d'après l'analyse du corpus ↓	↑ Apparement oui pas de différence sur cet aspect entre N5 et N6 ↓	↑ Apparement oui pas de différence sur cet aspect entre N5 et N6 ↓	↑ Apparement oui pas de différence sur cet aspect entre N5 et N6 ↓
N5	Un seul levier	Autres éléments du contexte situé pris en compte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence
N4	Combinaison de leviers	Sans référence au contexte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence
Score de 3,8 pour BL3	↑↑ * Apparement non au regard de la note moyenne *Mais oui d'après l'analyse du corpus	↑↑ *Apparement oui au regard de la note moyenne *Mais non d'après l'analyse du corpus	↑ Apparement oui pas de différence sur cet aspect entre N3 et N4 ↓	↑ Apparement oui pas de différence sur cet aspect entre N3 et N4 ↓
N3	Un seul levier	Sans référence au contexte	Au moins un aspect argumentaire	Au moins un domaine de référence

En moyenne donc, les étudiants du sous-groupe filière BTS APV sont parvenus à construire des solutions plus complexes que les élèves du sous-groupe filière Bac pro CGEA.

Le niveau moyen atteint dans un épisode, tous leviers confondus,

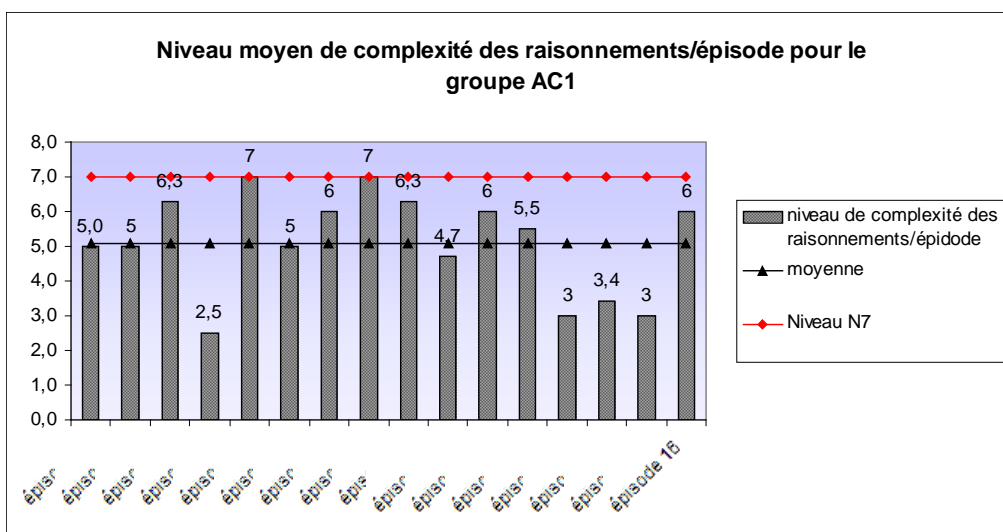
Les figures n°99 et n°100 présentent les niveaux moyens de complexité des raisonnements pour chacun des épisodes des deux fils de discussion BL3 et AC1. Nous constatons dans les deux groupes une variation dans les niveaux de complexité au fil des épisodes sans que l'on puisse déterminer une tendance. Néanmoins, est-ce à dire qu'au fur et à mesure que la résolution avance, la complexité des raisonnements, elle, ne progresse pas forcément ?

Figure n°99 : Détermination du niveau moyen de complexité des raisonnements/épisode pour le groupe BL3



Pour BL3, le N6 est le niveau maximum atteint dans l'épisode 2 durant lequel le levier *rotation* est très exploré. Les propositions sont assorties de justifications et de conséquences et il y a l'articulation de leviers (la *rotation* et la *lutte chimique*). Le niveau le plus bas est observé pour l'avant dernier épisode, l'épisode 11 avec un score de 1,5 (entre les niveaux N1 et N2) : il correspond à une phase durant laquelle les élèves ont eu l'impression d'avoir déjà tout dit. Aucun des épisodes n'atteint le score 7 correspondant au niveau structurant.

Figure n°100 : Niveau moyen de complexité des raisonnements/épisode pour le groupe AC1



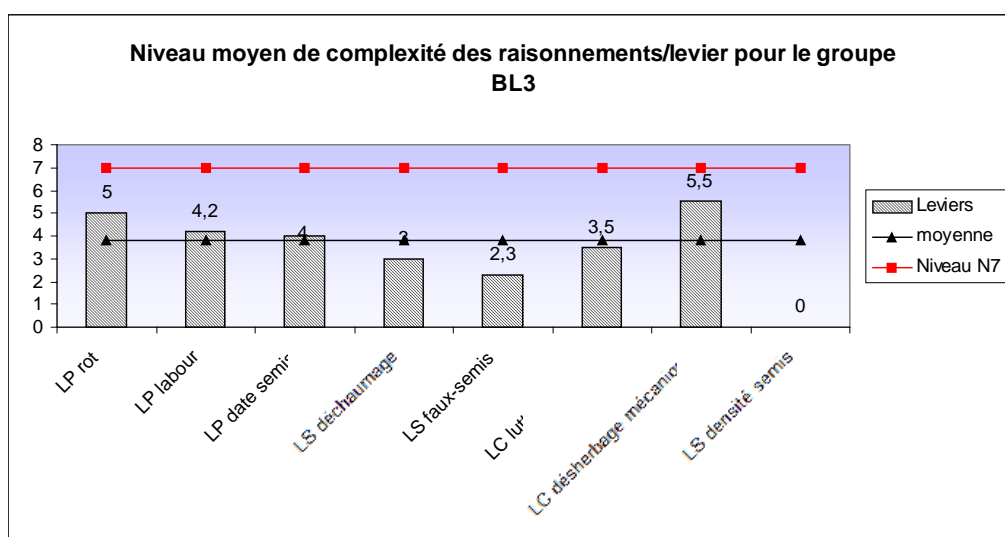
Pour le groupe AC1, le niveau le plus élevé atteint en moyenne est le niveau N7 et ce dans deux épisodes, l'épisode 5 et l'épisode 8 (cf. figure n°100). Dans l'épisode 5, l'introduction de la luzerne est longuement discutée et les explorations conduisent les étudiants à se fonder à la fois sur des aspects du contexte situé et sur des aspects hors contexte pour discuter ce levier. Dans l'épisode 8, c'est encore un travail « fin » sur l'introduction de la luzerne. Nous analysons de manière spécifique l'épisode 8 dans le niveau méso (partie 2.)

Le score pour le niveau de complexité le plus bas est de 2,5 (niveau de complexité compris entre N3 et N4) et il est observé à l'épisode 4 qui correspond à une phase d'exploration où peu de propositions sont stabilisées.

Le niveau moyen de complexité de chacun des leviers sur toute la résolution,

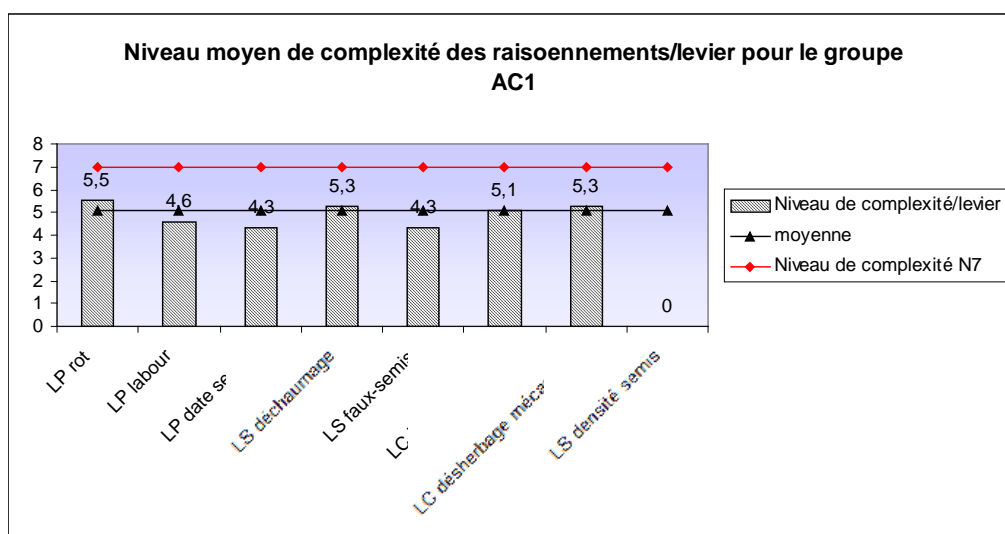
Nous présentons à présent les scores des niveaux de complexité pour les huit différents leviers de la résolution (cf. figures n°101 et n°102). Pour les deux sous-groupes BL3 et AC1, aucun des leviers principaux, secondaires et complémentaires n'atteint en moyenne le niveau de complexité N7. Les leviers rotation et désherbage mécanique obtiennent les scores les plus élevés pour le groupe en Bac pro et celui en BTS.

Figure n°101 : Niveau moyen de complexité des raisonnements/levier pour le groupe BL3



Le levier *désherbage mécanique* et le levier *rotation* obtiennent respectivement les deux scores les plus élevés, avec 5,5 et 5. Les raisonnements pour le levier *faux-semis* sont en apparence les moins élaborés avec un score de 2,3. Il y a 3,2 points d'écart entre les extrêmes.

Figure n°102 : Niveau moyen de complexité des raisonnements/levier pour le groupe AC1



Les leviers *rotation*, *déchaumage* et *désherbage mécanique* obtiennent respectivement les scores les plus élevés avec 5, 5 et 5,3. Les leviers les moins bien explorés en moyenne sont les

leviers *date semis* et *faux-semis*. Il y a 1,2 point d'écart entre les extrêmes. Les leviers sont mieux explorés par le groupe en BTS par rapport à celui en bac pro :

Levier <i>rotation</i>	→ niveau complexité BTS > niveau complexité Bac Pro
Levier <i>labour</i>	→ niveau complexité BTS > niveau complexité Bac Pro
Levier <i>date semis</i>	→ niveau complexité BTS > niveau complexité Bac Pro
Levier <i>déchaumage</i>	→ niveau complexité BTS > niveau complexité Bac Pro
Levier <i>faux-semis</i>	→ niveau complexité BTS > niveau complexité Bac Pro
Levier <i>lutte chimique</i>	→ niveau complexité BTS > niveau complexité Bac Pro
Levier <i>désherbage mécanique</i>	→ niveau complexité BTS < niveau complexité Bac Pro

Notre analyse curriculaire du Bac pro CGEA a révélé la mention à plusieurs reprises du levier *désherbage mécanique* dans le curriculum potentiel. Est-ce que ce nous avons capté est l'effet de la prescription ou est-ce lié à la pratique elle-même ? Ce levier peut être mobilisé en substitution d'une intervention phytosanitaire sans bouleverser l'organisation du système et sans exiger un investissement cognitif important pour apprendre à le maîtriser.

1.4.2. Le niveau de complexité de chaque levier dans chacun des épisodes

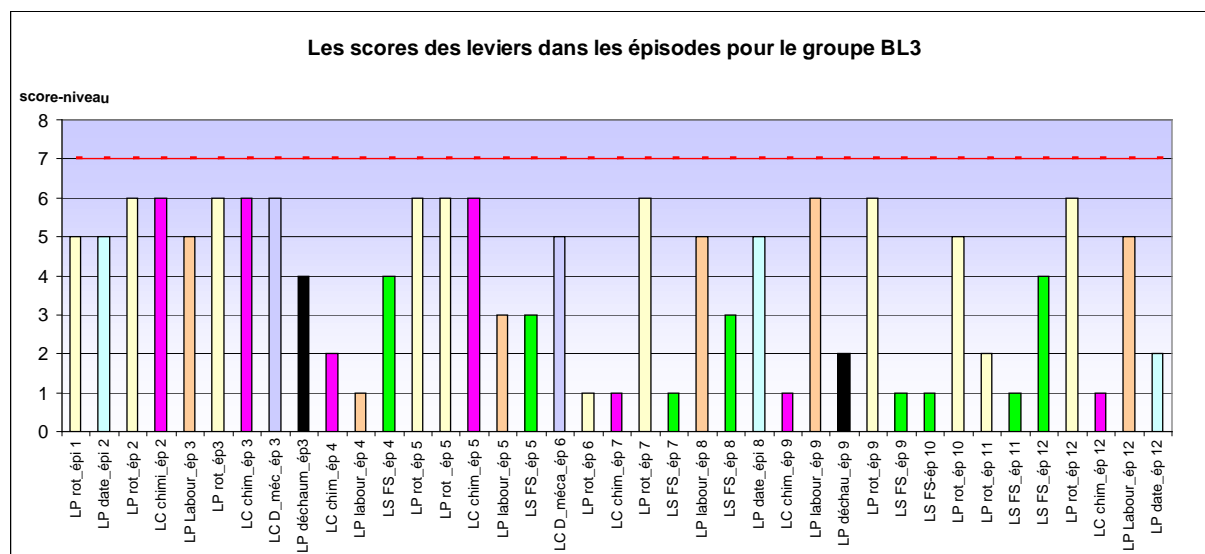
L'étude des niveaux de complexité de chaque levier donne des indications sur le processus de construction des raisonnements dont nous complétons l'analyse dans le niveau d'analyse méso. L'analyse plus fine des résultats obtenus par les groupes BL3 et AC1 à l'échelle des épisodes (cf. figures n°103 et n°104) apporte un nouvel éclairage (i) sur la qualité des raisonnements construits et donne des indications (ii) sur leur processus de construction.

Nous présentons d'abord une analyse de la qualité des raisonnements pour BL3 et AC1 et nous abordons ensuite l'analyse du processus de construction de ces raisonnements.

- (i) *La qualité des raisonnements*
- *La qualité des raisonnements pour BL3*

Les élèves de Bac pro parviennent à produire au mieux des raisonnements de niveau N6 pour les leviers *rotation*, *labour* et pour la *lutte chimique*. Ce niveau N6 est atteint à douze reprises, au cours de la résolution. La *lutte chimique* est discutée dans sept épisodes sur douze, même si un élève (BL31) a évoqué au TP 389 qu'il fallait éviter les phytosanitaires et gérer les vulpins autrement, argument que les autres locuteurs partagent : « *Le vulpin mécaniquement, mais pas chimiquement. Pour contribuer à l'Ecophyto 2018. Monsieur BL34, il connaît bien cette...* ». Le groupe BL3 ne parvient pas à dépasser le deuxième niveau épistémique que nous avons identifié qui permet le passage de N6 vers N7 : comme l'ont révélé les analyses des argumentations, les élèves n'adosent pas de manière systématique à ce qu'ils proposent, des conséquences et des conditions. De plus, ils restreignent très souvent la discussion de la validité de leurs propositions au domaine agronomique.

Figure n°103 : Les scores des leviers dans les épisodes pour le groupe BL3



Légende des couleurs : rotation (jaune), date semis (bleu ciel), lutte chimique (rose), labour (marron), désherbage mécanique (gris), faux-semis (vert), déchaumage (noir).

- *La qualité des raisonnements pour AC1*

Pour le groupe AC1, le niveau N7 est atteint par quatre leviers, le *labour*, la *lutte chimique*, le *désherbage mécanique* et la *rotation* (cf. figure n°103). Pour ce dernier levier, le niveau « structurant » est atteint à plusieurs reprises et dans l'épisode 8, le niveau N8 est atteint montrant une amélioration de la prise en compte de la complexité dans les raisonnements pour le levier *rotation* (troisième saut épistémique identifié marquant le passage de N7 vers N8). Les scores les plus faibles pour la *lutte chimique* résultent d'erreurs récurrentes de raisonnement sur les mécanismes de résistance croisée des adventices à des familles d'herbicides. Nous revenons sur cet aspect dans le niveau d'analyse micro.

Nous récapitulons les résultats obtenus pour les deux groupes à partir d'un extrait de la grille d'analyse des SAR attendus (cf. Tableau n°37). Nos commentaires sont en rouge dans le tableau.

Tableau n°37 : Les niveaux de complexité des leviers *rotation, labour, désherbage mécanique* et la *lutte chimique* pour les groupes BL3 et AC1

Niveaux de complexité des raisonnements	Leviers	Registre contextes	Registre aspects argumentaires	Domaine de référence
N8 Pour le groupe AC1	Un seul levier ↑ Le levier rotation	Autres éléments du contexte situé pris en compte et Contexte élargi considéré ↑ Le levier <i>rotation</i> est discuté en prenant appui sur des éléments du contexte élargi et sur le contexte situé, hors objectifs agriculteurs	Justification Conséquence Condition ↑ le levier est justifié, une ou des conséquence(s) et une ou des condition(s) envisagées	Plusieurs agronomique et les trois dimensions DD [environnemental, économique, social] ↑ La <i>rotation</i> est discutée sur le plan agronomique et sur les trois dimensions du DD
3è saut épistémique				
N7 Pour le groupe AC1	Combinaison de leviers ou un seul levier ↑ Les leviers labour, désherbage mécanique et lutte chimique sont combinés	Autres éléments du contexte situé pris en compte ↑ ces leviers sont discutés en prenant appui sur des éléments du contexte situé, hors objectifs agriculteurs	Justification Conséquence Condition ↑ Ces leviers sont justifiés, une ou des conséquence(s) et une ou des condition(s) envisagées	Plusieurs (agronomique éventuellement, environnemental, économique, social) ↑ Ces leviers sont discutés sur le plan agronomique et au moins sur deux des trois dimensions du DD
2è saut épistémique				
N6 Pour le groupe BL3	Combinaison de leviers ↑ Les leviers <i>rotation, labour</i> et la lutte chimique sont combinés	Autres éléments du contexte situé pris en compte ↑ Des éléments du contexte sont pris en appui pour discuter les leviers <i>rotation, labour</i> et la <i>lutte chimique</i>	Au moins un aspect argumentaire ↑ Un aspect argumentaire pour discuter les leviers <i>rotation, labour</i> et la <i>lutte chimique</i>	Au moins un domaine de référence ↑ Au moins un domaine de référence pour discuter les leviers <i>rotation, labour</i> et la <i>lutte chimique</i>

Ces résultats semblent encore une fois concourir à valider notre hypothèse de départ : les étudiants semblent mieux armés pour argumenter les solutions qu'ils proposent et en particulier les alternatives aux pesticides (la gestion de la *rotation*, le *labour* et le *désherbage mécanique*). La lutte chimique est discutée dans neuf des seize épisodes et de manière plus approfondie que pour le niveau Bac pro (N7).

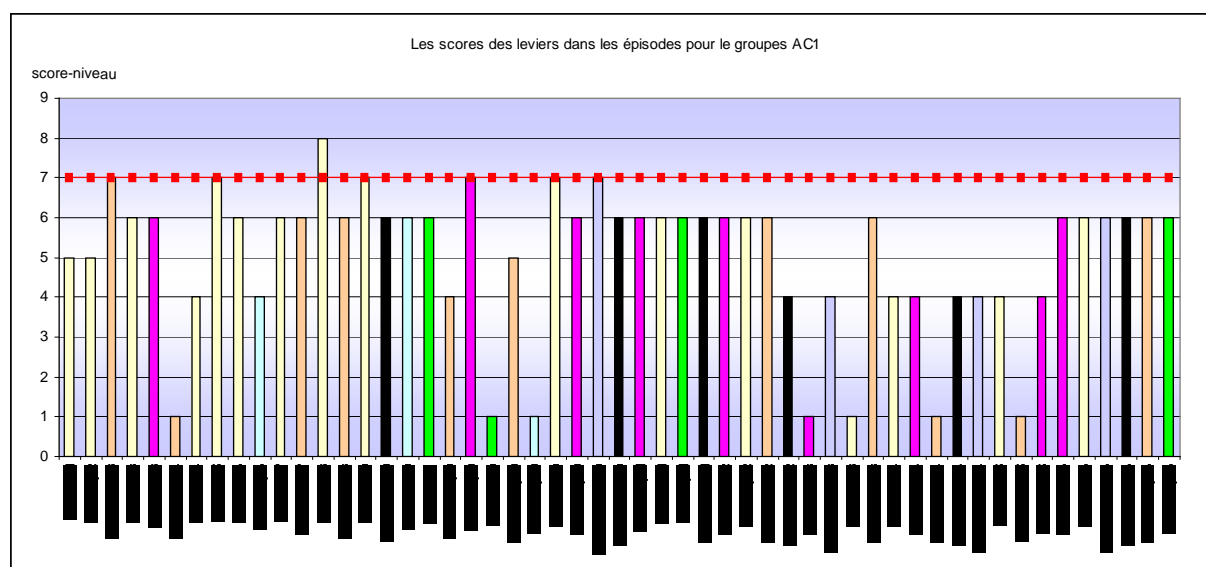
- (ii) *Le processus de construction des raisonnements*
- *Le processus de construction des raisonnements pour BL3*

Quatre leviers au plus sont évoqués dans des épisodes. Ils peuvent être déclinés sous la forme de plusieurs spécifications. Ils sont discutés seuls ou à partir de combinaisons simples d'abord : des propositions de leviers deux à deux sont explorées ou des propositions de combinaisons intra-leviers (inter spécifications). L'analyse des contenus des épisodes montre que ce groupe propose très vite⁶³² une combinaison de x leviers sans qu'elle soit complètement discutée. Cette proposition spontanée leur a laissé penser que proposer une solution rassemblant l'énoncé d'une combinaison de levier (pertinente et cohérente) était le terme et l'enjeu de l'exercice soumis. Cette représentation floue de ce que l'on attend d'eux en termes de raisonnements apparaît comme un frein au développement de la complexité des SAR.

- (ii) *Le processus de construction des raisonnements pour AC1*

Les étudiants explorent progressivement le levier *rotation* dans les huit premiers épisodes, en proposant différentes spécifications. Le raisonnement gagne en complexité à la fois parce que les propositions sont justifiées et des conséquences de leur mise en œuvre envisagées et parce que de nouveaux leviers sont progressivement introduits et articulés entre eux. A partir de l'épisode 9, après avoir stabilisé une succession culturelle, d'autres leviers sont envisagés pour réduire les populations de vulpins (cf. figure n°104) et, dans le même temps, le cadre des références dépasse le domaine agronomique pour discuter des solutions. Ces phases de stabilisation du raisonnement constituent des unités de sens et l'intégration de nouvelles facettes de la complexité à ces unités contribue à améliorer la qualité des SAR et la taille de ces unités. Ces phases de stabilisation d'un niveau de complexité apparaît structurer des apprentissages en lien avec la construction de SAR adaptés.

Figure n°104 : Les scores des leviers dans les épisodes pour le groupe AC1



⁶³² Pour mémoire, c'est durant l'épisode 1 : La combinaison de intra levier rotation la plus complexe de toutes les propositions est énoncée au 75^{ème} tour de parole soit à 8min 20s.

Légende des couleurs : rotation (jaune), date semis (bleu ciel), lutte chimique (rose), labour (marron), désherbage mécanique (gris), faux-semis (vert), déchaumage (noir).

A la lumière de ces premiers résultats, le groupe en BTS semble mieux armé que le groupe Bac pro pour proposer des solutions alternatives aux pesticides cohérentes et pertinentes. Ils ont deux années de formation supplémentaires par rapport aux élèves de Bac pro.

A quel niveau de complexité la proposition finale correspond t'elle pour chacun des groupes ?

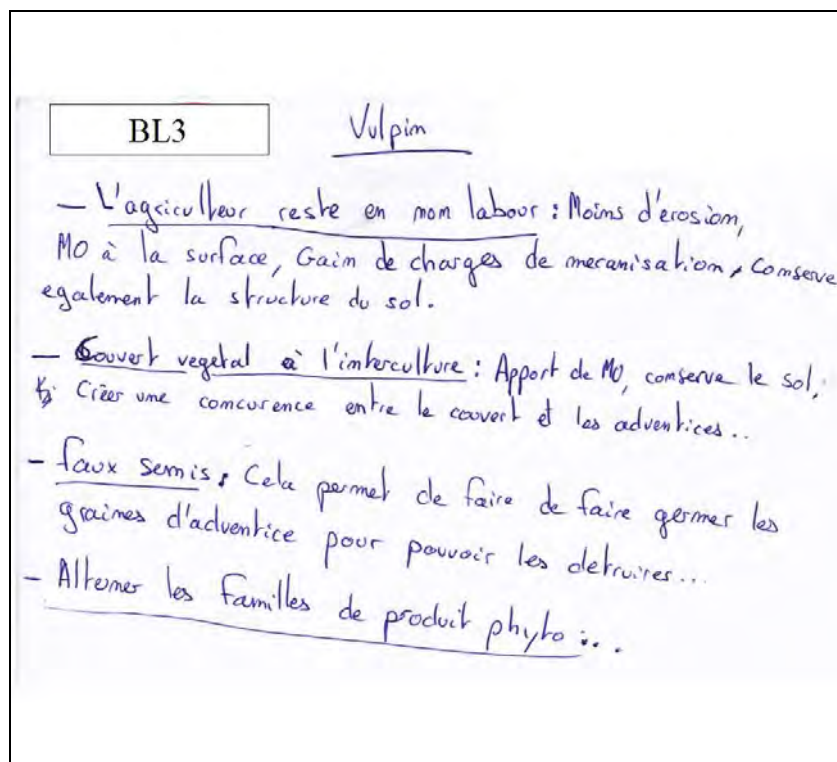
Les élèves du groupe BL3 ont proposé des combinaisons pertinentes et cohérentes de leviers. Ils ont pris appui pour les discuter sur le contexte situé y compris en considérant des objectifs de l'agriculteur. Ils ont justifié leurs propositions de leviers et considéré des conséquences agronomiques, économiques, écologiques et sociales de leur mise en œuvre. Mais ils ont évoqué que des conditions agronomiques, sans proposer des conditions économiques et/ou écologiques et/ou sociales. Ils n'ont pas pris appui sur des aspects hors du contexte situé. La solution collective qu'ils proposent correspond à la fin du processus est de niveau N7.

Le raisonnement traduit sous la forme d'une combinaison de leviers sur la rotation est présenté ci-dessous et la figure n°105 correspond à la trace écrite remise au chercheur par le groupe BL3.

Colza> ↓LP rot « d'intégrer des couverts » ↓LP rot « des couverts avec des cultures associées »>Blé Hiver> ↓LP rot « d'intégrer des couverts » ↓LP rot « des couverts avec des cultures associées »>Orge Hiver> ↓LP rot 1 « d'intégrer des couverts » ↓LP rot spéci 2 « des couverts avec des cultures associées »> Colza

↓LS Faux-semis ↓LC lutte chimique « alterner les familles de produits phytos » ? ↓LP Labour ↓LP labour spéci « labour une année sur trois » ↓LS « alternatives au labour » ↓LP rot « faire des couverts de céréales » ↓LC lutte chimique « glyphosate » ↓LP date semis ↓LP rot « des légumineuses » ↓LP rot « des radis en, en couvert » ↓LP rot « semis sous couvert » ↓LP rot « association de couverts » ↓LP rot « semis sous couvert » ↓LP rot « luzerne sous un tournesol » ↓LC Lutte chimique « alterner les familles de phytos »

Figure n°105 : Trace écrite du groupe BL3 remis au chercheur à la fin de la résolution



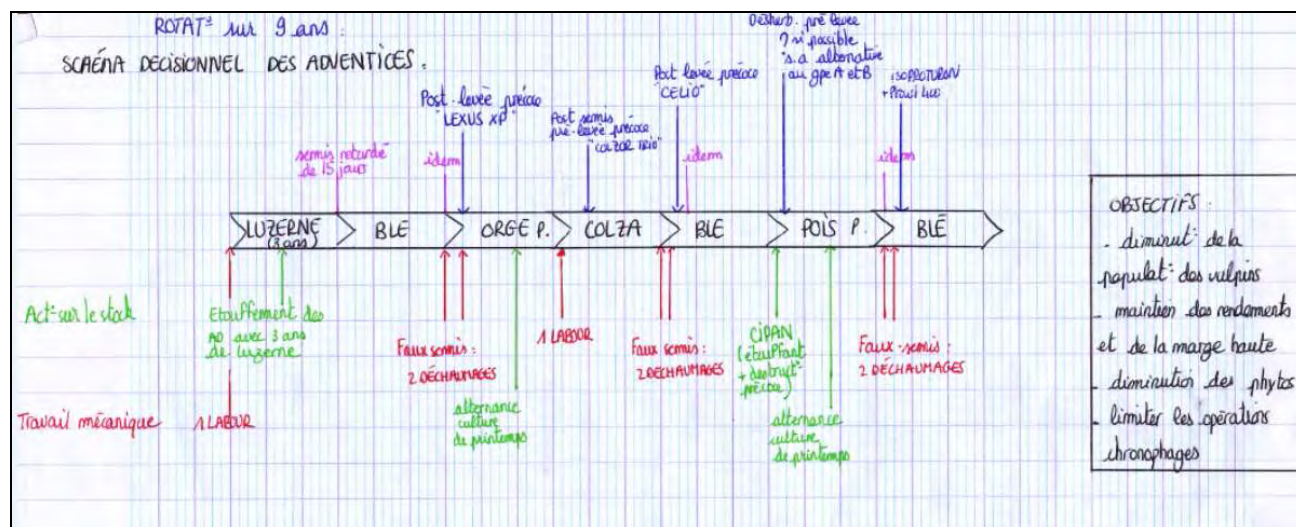
Les étudiants du groupe AC1 ont proposé des combinaisons pertinentes et cohérentes de leviers. Ils ont pris appui pour les discuter sur le contexte situé y compris en considérant des objectifs de l'agriculteur. Ils ont justifié leurs propositions de leviers et considéré des conséquences et des conditions agronomiques, économiques, écologiques et sociales de leur mise en œuvre. Ils ont pris appui hors du contexte situé pour discuter de propositions de leviers. Cependant, la proposition du levier labour, tout en étant pertinente, n'est pas complètement en cohérence avec le système de l'agriculteur qui souhaite rester en non labour. Ainsi la solution collective proposée par les étudiants ne peut pas prétendre au niveau de complexité le plus élevé de notre grille d'analyse. La solution proposée correspond cependant au niveau N9.

Le raisonnement traduit sous la forme d'une combinaison de leviers sur la rotation est présenté ci-dessous et la figure n°105 correspond à la trace écrite remise au chercheur par le groupe AC1.

La base de la rotation est la suivante : Luzerne>interculture luzerne-luzerne>Luzerne>>interculture luzerne-luzerne> Luzerne>interculture luzerne-Blé hiver >Blé Hiver>interculture Blé hiver-orge de printemps >Orge Printemps>orge hiver-colza>Colza>interculture colza-blé hiver >Blé Hiver> interculture blé hiver-pois printemps> Pois Printemps>-pois printemps-blé hiver> Blé> interculture blé-luzerne>luzerne 3 ans>...

Le schéma décisionnel vient compléter la présentation (cf. figure n°106).

Figure n°106 : Schéma décisionnel remis au chercheur à la fin de la résolution



Les deux groupes sont parvenus à introduire des « nouveautés » par rapport au système initial (colza>blé>orge) et cela en moins de deux heures. Le groupe BL3 a utilisé 7 leviers différents et la durée de la rotation pas stabilisée

La proposition du groupe AC fondée sur une articulation argumentée de 7 leviers sur une rotation de 9 ans rejoint des résultats des systèmes expérimentés dans le cadre de l'action 16 au sein du réseau « Agronomie-Ecophyto » : « En moyenne, une exploitation articule 7,3 leviers agronomiques dans sa stratégie d'innovation avec une variabilité de 2 à 14 leviers. L'orientation productive a une forte influence sur le nombre moyen de leviers par exploitation qui est plus élevé en grandes cultures (9 leviers) » (MAAF-DGER-IEA, 2013, p. 7).

Evaluation de la solution proposée en référence au cadre ESR (Hill et MacRae, 1995)

Les solutions proposées par les deux groupes sont de niveau R. Les élèves comme les étudiants se sont fondés sur l'allongement de la rotation. Certes la proposition en Bac pro est moins élaborée, mais la démarche correspond davantage à une démarche de conception pas à pas, mise en œuvre dans le cadre de l'accompagnement des agriculteurs en phase de transition : les innovations sont progressivement intégrées dans le système qui se reconfigure (Mischler et al., 2008). En revanche, les étudiants de BTS ont proposé un scénario avec une solution en très forte rupture par rapport au système initial, correspondant davantage à une démarche de conception de novo, en particulier mise en œuvre dans le cadre de la recherche et du développement (Lançon et al., 2008) et dans les expérimentations « système » de l'action 16.

2. Le niveau d'analyse mésoscopique

Nous présentons dans cette partie l'analyse compréhensive de 2 épisodes qui permettent d'illustrer des aspects particuliers dans la construction des raisonnements. Les raisonnements distribués apparaissent efficaces pour améliorer leur complexité. La proposition de solutions pour gérer les adventices est complexe. La construction distribuée permet aux participants de construire des unités de sens dont la taille pourra progressivement s'accroître au cours de la résolution. Nous nous fondons sur deux exemples différents : l'épisode 1 pour BL3 et l'épisode 8 pour AC1.

Dans l'épisode 1, l'élève BL31 annonce au tour de parole 75 (grisé) une solution qui va servir de fondement pour construire un raisonnement distribué entre les locuteurs (8min 20 s après le début de l'exercice). Cette première proposition qui n'est pas explicitement validée par les autres locuteurs va être partagée car le groupe prend appui dessus pour continuer la résolution. Sur cet extrait, la répartition des tours de parole est proche pour trois participants (BL31 :11 ; BL32 : 14 ; BL34 : 18). Seul, BL33 est un peu en retrait (BL33 : 4).

L'extrait révèle comment se construit la complexité du raisonnement au fil des tours de parole des tours de parole. Des leviers (en rouge) sont cités et des justifications (en bleu) et/ou des conséquences (souligné en bleu) sont proposées. Un seul domaine de référence est mobilisé (agronomie). Les locuteurs se distribuent la parole et construisent une solution intégrant plus de complexité dans la proposition départ, tout en cherchant des preuves pour valider ou écarter des solutions (nos commentaires sont en italique en jaune fluo).

TP75 BL31 Je donne ma réponse. Déjà, en **interculture, y'a rien. C'est un glyphosate et voilà.** Faudrait qu'il **implante un couvert.** Avec **une ou deux cultures associées.** Par exemple de la **phacélie pour l'azote et la matière organique.** Et **une espèce rampante qui couvre le sol pour étouffer les adventices.** *La solution de départ déclenche le processus de raisonnement.*

TP76 BL31 Et qu'il **alterne les cultures.** Beaucoup plus *L'élève prend appui sur la situation-problème.*

TP 77 BL32 Après, qu'il **allonge sa rotation.** *C'est une autre formulation qui complète le tour de parole précédent.*

TP84 BL34 Je dirais, **trois cultures 180 hectares, c'est vrai qu'il pourrait rajouter une culture dedans.** Beaucoup plus *L'élève prend appui sur la situation-problème.*

TP85 BL31 Qu'il **alterne, qu'il alterne les familles.** *Une proposition après l'alternance des cultures, l'allongement se conçoit également en choisissant différentes familles de cultures.*

TP88 BL32 Attends, -tends, -tends, -tends, -tends. **Les semis de blé.** *L'élève prend appui sur la situation-problème.*

TP 89 BL33 **Faire des semis plus tardifs.** *Cet appui sur la situation-problème amène une nouvelle proposition de levier.*

TP 90 BL34 Des semis avant 15 octobre. Voilà *L'élève prend appui sur la situation-problème pour vérifier et valider ce que BL32 a précisé au TP 88.*

TP91 BL32 Il sème, il faudrait qu'il sème **mi-novembre pour perturber la levée des adventices.** **Donc éventuellement du vulpin.** *Le levier est décliné et son effet sur le vulpin est justifié.*

TP92 BL34 Putain, **il fait un semis précoce.** *L'élève prend appui sur la situation-problème pour vérifier et confrontation à son référentiel professionnel de pratiques.*

TP96 BL34 Bon, il faudrait qu'il mette un **tournesol entre le, le blé et l'orge.** Le levier **rotz**tion est précisé, la proposition est présenté

TP98 BL32 **Non mais il est en sec, il peut pas faire de maïs, n'oubliez pas. 'fin si, il peut en faire mais ça va rien donner.** *L'élève prend appui sur la situation-problème pour discuter le rejet de la proposition, c'est contre-argument.*

TP100 BL33 **50 à 80.** *L'élève prend appui sur la situation-problème pour évaluer la profondeur du sol et l'exigence racinaire du tournesol.*

TP101 BL34 **50 à 80 ? Et beh voilà, il peut faire une...une culture à pivot** *La solution tournesol est validée.*

TP102 BL32 Et c'est pour ça qu'il fait du colza. L'élève prend appui sur la situation-problème pour évaluer la pratique de l'agriculteur.

Nous commentons un autre extrait, cette fois pris dans le corpus AC1. Nous discutons une partie de l'épisode 8. Les tours de parole ne sont pas équitablement répartis : AC11 mobilise 32 tours de parole (TP), AC14 22 TP, AC13 10TP et AC12 7 TP. AC11 a un rôle particulier car il est souvent à l'initiative de nombreuses propositions. Cet épisode est intéressant car il illustre la complexité de la construction du raisonnement sous l'angle de la prise en charge collective de la validation des solutions ou des contre-propositions. Cette distribution de la construction du raisonnement va conduire à :

- intégrer des données des contextes (pédoclimatique, de l'exploitation, du territoire élargi),
 - enrichir le domaine de référence, en particulier sur les dimensions économiques et sociales,
 - et aller développer des aspects argumentaires comme les conséquences et les conditions.
- C'est pourquoi dans cet épisode, le raisonnement sur le levier rotation gagne en niveau de complexité.
-

158. -AC14 Donc alors on fait **colza, luzerne, luzerne, luzerne**. *Cet extrait se situe dans phase de stabilisation de la rotation de 9 ans. La pertinence de la luzerne pour contenir les vulpins a été précisée dans des épisodes en amont. A présent, les étudiants explorent d'autres facettes de la complexité.*

159. -AC13 Parce que moi, si tu veux la luzerne, moi je sais pas. Je...

160. -AC11 Mais, mais, mais !

161. -AC13 Tu m'as endormi là !

162. -AC11 Sous réserve eh !

163. -AC14 Oui.

164. -AC11 **Sous réserve qu'il trouve.**

165. -AC13 Parce qu'au niveau du matos, on sait pas trop s'il a... *L'étudiant s'appuie sur la situation-problème pour consolider la validité de la proposition « luzerne ».*

166. -AC11 **Voilà, sous réserve qu'il trouve un agriculteur avec un bon débouché économique. Et ça le dérange pas trop –** *Une condition est évoquée sur le domaine économique.*

167. -AC14 Je l'ai marqué.

168. -AC13 Ca et puis je-

169. -AC11 **A la fois du temps et du matériel aussi.** *Une conséquence et une condition sur les dimensions socio-économiques sont avancées. Le registre argumentaire se déploie.*

170. -AC13 J'ai pas l'impression qu'il soit en irrigué donc. *L'étudiant s'appuie sur la situation-problème pour consolider la validité de la proposition « luzerne ».*

171. -AC14 Non mais -

172. -AC11 Non **mais la luzerne tu la, ça passe très bien en...** *C'est un argument d'autorité.*

173. -AC14 Ouais.

174. -AC11 **Ca –inaudible** que ça pousse pas.

175. -AC14 Pluviométrie 650 millimètres, ils ont dit. *L'étudiant s'appuie sur la situation-problème à la recherche de preuves.*

176. -AC11 Ah, c'est, c'est pas peu. Ici, il fait combien ? Il fait combien ici, 400 ?
177. -AC14 Dans le Lauragais, il était à 350 millimètres.
178. -AC11 On doit pas être à plus. Ici, on doit pas être à se-, à plus.
179. -AC14 Donc, pour la luzerne, je marque sous réserve ?
180. -AC13 Encore que cette année ! (Rires)
181. -AC11 Ouais. Sous réserve de, de, de trouver des débouchés. Plus... débouchés et euh et arrangements avec agricul- avec voisin éleveur. Entre parenthèses matériel, marges, temps de travail etc. la proposition construite à pla L'étudiant prospecte au-delà du contexte situé et pose des conditions
182. -AC12 Oh, de la luzerne, ça demande pas tant de temps de travail que ça par rapport aux semis. Une nouvelle preuve pour asseoir la validité de la proposition luzerne, et c'est la dimension sociale qui est prise en appui
183. -AC11 Non mais bon.
184. -AC12 Une fois, que c'est implanté, tu surveilles. Une nouvelle preuve pour asseoir la validité de la proposition luzerne.
185. -AC11 Mais les luzernes, non. Mais par contre, t'as –
186. -AC12 Quand tu commences à avoir un peu trop de bebêtes, tu coupes et - Une nouvelle preuve pour asseoir la validité de la proposition luzerne.
187. -AC11 T'as trois c- oui, mais t'as trois coupes.
188. -AC12 Ca repart de zéro.
189. -AC14 Par an.
190. -AC11 T'as trois coupes sur laquelle il faut quand même être, sur les fenêtres de temps.
191. -AC12 Oui, mais oui.
192. -AC11 De températ-, de temps.
193. -AC14 Oui, une fois qu'ils sont...
194. -AC11 De soleil. S'il a, il a 180 hectares, donc s'il a 40 hectares de luzerne à faucher, c'est pas...
195. -AC13 34'37-inaudible
196. -AC14 Si, si mais j'ai pas fini le... **Blé, orge** et donc après-
197. -AC11 Qu'est-ce que vous voulez faire ? Vous voulez proposer laquelle ? La longue sur neuf ans ou sur, sur sept ans ? Moi je trouve que **sur neuf ans elle est pas plus mal.**
198. -AC14 Oui.
199. -AC11 Du coup ça réduit en fait. Ca réduit le, le –
200. -AC14 Le travail. Une conséquence en faveur de la luzerne est proposée sur le domaine social.
201. -AC13 La part de la -
202. -AC11 Ouais et la, la masse de luzerne, qui est pas très intéressante pour un céréalier. Un contre-argument est avancé.
203. -AC14 Ouais.
204. -AC11 Par rapport au nombre d'années quoi. Trois pour sept ans, ça fait quasiment la moitié de luzerne. C'est une nouvelle proposition pour valider la part de luzerne dans la rotation.
205. -AC14 Ouais.
206. -AC11 Trois pour neuf ans, ça fait à peine, ça fait un tiers quoi.

207. -AC14 On y met la, la grande sur neuf ans ?
208. -AC11 Ouais. Beh...C'est pas que moi qui la met, c'est si ça vous va.
209. -AC14 Donc **blé, orge, colza**.
210. -AC11 **Colza, blé, pois**.
211. -AC12 Parce que le pois, c'est plus facile de trouver une filière pour le revendre. Une nouvelle contre proposition est argumentée alimentant à la fois le domaine de référence social et économique.
212. -AC11 Ouais, le, le pois, tu l'emmènes à la coopérative, ça c'est sur. AC11 apporte une preuve pour le TP précédent et les domaines social et économique sont abondés.
213. -AC14 Et après **le pois, on remet un blé ?**
214. -AC11 Ouais, un dernier, un dernier blé et puis après, va **pour trois ans de luzerne**. Et après on va, on lui positionne les **labours** aussi donc ?
215. -AC14 Ouais.
216. -AC11 **Un avant la luzerne**.
217. -AC12 Et un **avant le colza**.
218. -AC11 Et un **avant le colza**. Ce qui fait un labour tous les cinq ans en fait. Un, deux, trois, quatre.
219. -AC13 Et ouais, ça fait quatre.
220. -AC11 Tous les, tous les quatre, cinq ans. C'est assez honnête quand même en labour. On peut-Un nouveau levier est discuté mais pas par rapport aux objectifs de l'agriculteur.
221. -AC14 Donc c'est un labour avant la luzerne.
222. -AC11 Ouais.
223. -AC13 Il faut voir parce qu'après la luzerne, des fois c'est un peu...
224. -AC11 Ouais. Mais bon. Vu que c'est le blé, le blé ça pousse bien dans les terres un peu grossières. Il y a encore ici une nouvelle validation de l'intérêt de la luzerne.
225. -AC14 Un avant le colza. C'est tout ?
226. -AC11 Et ouais, faut... ouais du coup on dit un labour tous les quatre, cinq ans. Déjà, d'où suppression du problème du vulpin.
227. -AC14 Ouais.
228. -AC11 Dont le TAD est à... TAD 80%.

L'étude des épisodes a révélé la construction progressive d'unités de sens aussi bien chez les élèves que chez les étudiants. Dans l'épisode 2, quand les élèves du groupe BL3 discutent beaucoup du levier *rotation*, ils sont capables à partir d'une petite unité de sens liée à la gestion de l'interculture entre les cultures de la rotation initiale d'en construire collectivement une plus grande dans laquelle pas moins de dix spécifications différentes de la rotation sont évoquées. Certaines sont argumentées et articulées entre elles. Dans l'épisode suivant, la gestion des cultures intermédiaires amène à discuter la protection des sols. En plus de la dimension gestion des adventices, le levier *rotation* est relié à la perspective d'améliorer la qualité des sols. Nous voyons qu'une unité de sens « protection et qualité des sols » construite à un autre moment de leur formation est venue s'intégrer dans le raisonnement en construction : « TP 227 BL32 *Et de toute façon, c'est bien, bien mieux pour son sol. Ca lui créera de la matière organique* ». Les élèves discutent des intérêts de couverts pour la

protection de la ressource sol sans revenir sur l'enjeu de gestion des vulpins : l'état structural du sol est discuté.

« TP 219-BL32 *Ça fixera l'azote.* ». Les élèves reprennent une solution évoquée à l'épisode précédent : la culture retenue en couvert intermédiaire est une légumineuse qui va protéger la structure du sol, mais qui contribue également à améliorer ses réserves en azote.

Nous avons observé une démarche épistémique similaire dans l'épisode 13 pour le groupe AC1 durant lequel pas moins de dix-huit spécifications pour la lutte chimique sont évoquées, discutées et articulées. De manière plus nette en BTS, on perçoit un accroissement de la taille des unités de sens articulées entre elles pour parvenir à la solution : la rotation est d'abord bien stabilisée pendant neuf épisodes, puis progressivement d'autres unités de sens sont construites et intégrées les unes aux autres. Les épisodes de récapitulation ont un rôle-clé dans la construction de la complexité des raisonnements. Les élèves ont d'ailleurs à un moment dans l'épisode fait appel au chercheur pour valider l'unité de sens qu'ils avaient construite. Ainsi, face à la complexité des apprentissages en jeu, pour enseigner apprendre des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques adaptés, il convient d'aider les élèves/étudiants à construire des unités de sens de plus en plus importantes.

3. Le niveau micro

Dans cette partie, nous faisons une présentation rapide des erreurs de raisonnement que nous avons pu observer dans un premier point. Nous présentons une analyse des énoncés et/ou arguments permettant de caractériser des conceptions des pesticides chez les élèves/étudiants dans un deuxième point. Nous présentons une analyse des appuis pour faire progresser la complexité des raisonnements dans les troisième et quatrième points.

Des erreurs de raisonnements et des contours flous d'effets de leviers, l'effet régulateur du groupe

Nous présentons des points saillants retenus parce qu'ils donnent des indications en termes d'appui et/d'obstacle à la progression de la qualité des raisonnements. Pour le groupe BL3 en bac pro, les erreurs sont davantage liées à une mauvaise appropriation du contenu des informations, pas à leur compréhension. En revanche, nous avons noté une erreur de raisonnement récurrente en BTS concernant la compréhension des phénomènes de résistance croisée aux familles d'herbicides : il y a une réelle difficulté à comprendre les résistances aux herbicides des familles A et B. Cette conception fautive a gêné la construction de raisonnements complexes (TP 204, TP 867, TP1024, TP202, TP1036, TP1043 entre autres). En effet, notre grille d'analyse propose de sanctionner les propositions erronées. Toujours en BTS, une mauvaise interprétation des principes et des effets des leviers empêche la construction des unités de sens et leur articulation : les principes des effets et de la conduite du déchaumage et du faux-semis ne sont pas distingués de manière nette, freinant la construction de solutions complexes.

Cependant la construction distribuée des raisonnements a permis une régulation des erreurs lorsque les discussions sont exploratoires car les preuves avancées sont étudiées et testées par les participants (TP1006, mais ce n'est pas vraiment suivi d'effet). Il apparaît donc important de favoriser ce type de discussion au sein de groupes de travail.

Des risques/incertitudes vis-à-vis des pesticides, aucun argument en lien avec la santé des utilisateurs

Au niveau micro, nous avons conduit l'analyse des propositions et/ou des énoncés en lien avec des conceptions sur les pesticides. Notre modèle de situation-problème a bien permis de mettre en lumière des facettes des conceptions sur les pesticides des participants. Cependant, aucun énoncé ne relie les effets des pesticides et la santé humaine. Notre première hypothèse n'est pas vérifiée car nous pensions que l'argument santé allait être décisif chez les futurs agriculteurs pour promouvoir les alternatives aux pesticides.

Nous présentons une analyse des conceptions sur le glyphosate pour les deux groupes et nous proposons ensuite une étude des conceptions exprimées sur les pesticides en général. Nous proposons enfin une étude détaillée d'un moment dans l'épisode 6 (groupe BL3) durant lequel, une dispute apparente oppose les locuteurs au sujet du plan Ecophyto.

Dans les deux groupes, le *glyphosate* a un statut ambigu, pour le même locuteur et/ou au cours du même épisode, il est parfois considéré comme un incontournable alors qu'à d'autres moments, il faut l'éviter. Nous avons mis dans la bibliothèque des références écotoxicologiques et toxicologiques sur le *glyphosate*, présentées sous une forme conventionnelle pour la profession agricole (lien avec l'index phytosanitaire Acta). Nous avons également relevé dans le corpus BL3 un point important lié à une conception du glyphosate véhiculé par un média, la France Agricole. Dans l'épisode 11 pour le groupe BL3, la revue *France Agricole* est prise en appui pour explorer le levier *rotation* (couverts intermédiaires). Le média pose comme une nécessité d'avoir recours au glyphosate dans les systèmes en non labour (qui correspond au cas de de M. Sorot). La lecture à voix haute du contenu rapporté par l'élève BL32 donne au TP821 : « *Et apparemment, il est considéré comme indispensable dans les systèmes... simplifiés et en semis direct* ». Ce passage permet de voir comment les médias peuvent contribuer à façonner les opinions...

Le statut du glyphosate pour AC1		
Incontournable	Comment nous l'avons interprété	A éviter
Episode 3. TP 178-AC11 <i>Pendant l'automne, après tu le désherbes, un coup de glyphosate. Vite fait, bien fait.</i> TP183-AC11 <i>Ouais, efficace et pas cher ! T'as de quoi faire.</i>	C'est la solution universelle et rentable sur le plan économique, mais c'est de l'ironie que les autres ne relèvent pas	
Episode 9 TP 626 -AC11 <i>ce que Pete appelle le désherbage Round'up là.</i>	C'est une invitation à régler le problème par une solution qui a fait ses preuves évoqués	
	Mais en même temps, des effets sur l'environnement sont redoutés.	Episode 9 TP 628 AC11-« <i>C'est pas top mais bon...</i> »
	Des alternatives aux pesticides sont promues.	Episode 11 TP803 « <i>C'est mieux que le</i>

		<i>glyphosate, ça c'est sûr »</i>
	Les étudiants soulignent qu'ils peuvent se laisser enfermer dans une convention professionnelle pour laquelle le recours au glyphosate est courant.	Episode 11 TP 749 « AC11 <i>Après c'est vrai que ça serait bête de réduire, 'fin de faire une rotation... pour réduire les produits phytos et de, de lui prescrire des, des glyphosates à tout venant quoi »</i>
Episode 16 TP 1508 « <i>un peu lég' nous »</i> TP1511 « <i>On pourra rajouter un glypho, si ça lui fait plaisir »</i>	Les pesticides sont incontournables et leur recours apparait comme un gage d'efficacité et technicité, garantissant le niveau de performance : les solutions n'ont pas le même poids selon qu'elles intègrent ou non des pesticides. « Faire plaisir » est à relier aux valeurs. Ce registre fait donc explicitement partie des considérations qui fondent selon les étudiants le choix de l'agriculteur.	
Le statut du glyphosate pour BL3		
	Nous nous appuyons sur un extrait impliquant trois locuteurs. Ils partagent le même point de vue. Ils font référence au effet polluant du glyphosate sur les ressource en eau. Ils s'appuient sur une ressource extérieure pour construire leur argumentaire. La connotation « sale » fait référence au cadre d'analyse de Douglas et Wildavsky, (1983). Mais cette fois, le « sale » a changé de camp : du salissement de la parcelle, les élèves passent au « salissement » des ressources en eau.	Episode 11 TP807 BL 32 : « <i>je pense que le glyphosate c'est pas bon du tout »</i> : TP 808 BL34 : « <i>Non, ça fait bobo»</i> TP 809 BL33 : « <i>C'est hyper sale en plus.»</i>
	Il semble que le retrait des traitements glyphosate soit une grande avancée pour le système de l'agriculteur.	Episode 11 TP 1084 BL31 - « <i>Bon, ça c'est bien déjà. »</i> :

Cette ambivalence est également observée pour les autres pesticides et nous en livrons quelques extraits.

Ambivalence pour les pesticides pour AC1		
Incontournables	Comment nous l'avons interprété	A éviter
	Un pesticide est dénoncé et la formulation fait selon nous référence au registre des valeurs.	Episode 12 TP967 : « Qui est mauvais quoi. » TP969 : « <i>Mauvais, mauvais !</i> »
Episode 13 TP : « <i>Si on a un anti-monocot pur et dur, le vulpin il résistera pas ? Puisque, vu qu'y a pas de, de sélection</i> »	Avec « pur » et « dur », les pesticides sont considérés comme efficaces en toutes circonstances, même dans des cas de résistances comme dans notre cas d'étude.	
	L'usage des pesticides est annoncé comme une évidence « on met d'abord », inscrit dans une démarche coutumière pour résoudre des problèmes de protection des cultures. Mais en même temps « le meilleur est pour la fin », les alternatives semblent plus adaptées à leur conception pour envisager la protection des cultures.	Episode 13 TP 981 « <i>Ouais, on va mettre, on garde le meilleur pour la fin. On met d'abord le chimique et après on prend le mécanique.</i> »
	Le recours aux pesticides n'est pas une visée qui guide les actions et les raisonnements.	Episode 13 TP988 : « <i>C'est pas le but, c'est pas le but.</i> »
Episode 13 TP1090 : « Débroussaillant. On lui colle un bon débroussaillant dans le... »	Il y a toujours une solution « pesticides », même pour des problèmes insolubles. Un débroussaillant, produit agressif et peu sélectif, résoudrait le problème de vulpin résistant. La proposition bien qu'ironique révèle combien les étudiants sont désarmés et combien l'idée de la solution universelle est prégnante en arrière-plan.	
Episode 13 TP1092 : « <i>Et le pois en plus je crois par contre ça... Ca demande pas mal de, de désherbant, ouais.</i> »	Dans la conception de cet étudiant, des cultures seraient forcément dépendantes de l'usage des pesticides. Le problème est posé à l'échelle de l'itinéraire technique culturel et non à celle du système de culture.	

<p>Episode 14 TP1201 ; « <i>Encore une fois, tu vas pas, tu vas pas foutre un désherbant sur une culture intermédiaire.</i> »</p>	<p>C'est un contre-argument à une proposition faite en amont. Pour un des locuteurs, l'usage des pesticides est valide coûte que coûte, il devrait faire partie de la solution</p>	
	<p>La conversion en bio apparaît comme la solution pour simplifier la résolution compliquée avec des pesticides...</p>	<p>Episode 14 TP1166: « <i>Sinon il passe en bio, il arrête de nous faire chier !!</i> »</p>
<p>Episode 15 TP 1230 : « <i>Parce que on a, on lui en a pas trop mis des produits chers</i> »</p>	<p>Le raisonnement est étonnant, l'efficacité est reliée au prix d'achat (dans la bibliothèque, les pesticides qui ne développent des résistances chez le vulpin sont plus coûteux). Les étudiants s'autorisent à ajouter des produits phytosanitaires puisque le coût du programme de protection qu'ils ont conçu le permet.</p>	
<p>Episode 15 TP1236: « <i>Un truc bien quoi. Qui, qui sonne bien. Isoproturon, ça sonne bien</i> »</p> <p>TP 1237 : « <i>Ca sonne bien. Ca va, ça, ça sent le truc qui claque</i> »</p> <p>TP1239 : « <i>Je sais pas ce que ça veut mais ça, ça t'inspire confiance. Isoproturon, j'achète</i> ».</p>	<p>Cette succession de tours de parole révèle l'imaginaire associé aux produits phytosanitaires et au nom « chimique » des substances actives qui fondent la validité de la preuve scientifique de leur efficacité. Ceci a été révélé à la fois dans notre approche socio- historique et dans l'analyse des cartographies des controverses. Les étudiants semblent avoir confiance dans les technosciences. Notre dispositif permet donc de faire émerger des conceptions des sciences.</p>	
<p>Episode 16 TP1306: « <i>Alors, là, on va s'amuser par contre.</i> »</p>	<p>Ce TP débute la dernière phase de récapitulation. Le programme de désherbage vient d'être récapitulé. C'est maintenant au tour de la combinaison des alternatives. Cet énoncé traduit la complexité perçue de la tâche à accomplir qui apparaît moins facile que</p>	

	celle prenant appui sur les pesticides : plus difficile alors pourquoi changer ?	
Ambivalence pour les pesticides pour BL3		
Incontournables	Ce que nous interprétons	A éviter
	Très tôt dans la résolution, un élève pose son point de vue et l'argumente : les pesticides ne sont pas une solution à envisager systématiquement.	Episode 3 TP 233 : « <i>pour détruire, pour détruire son...son couvert ap-, avant de semer, il a pas forcément besoin d'un glyphosate, il peut faire un désherbage mécanique</i> »

Enfin, l'étude d'un moment dans l'épisode 6, montre comment la situation peut basculer dans un groupe : d'impossible à envisager, la perspective de réduire fortement les pesticides peut se concevoir.

Ambivalence A propos du plan Ecophyto		
Episode 6		
Nous avons retenu un ensemble de tours de parole dans l'épisode 16 de TP 390 à 418. Des conceptions sur les pesticides sont révélées dans la discussion et elles s'opposent (BL32 contre BL31 et BL34). Au premier abord, il s'agit en apparence d'une dispute, ...		
Incontournables	Ce que nous interprétons	A éviter
TP 400-401 -BL31 « <i>Je pense que cela est limite impossible</i> »	L'objectif de réduction du plan Ecophyto est impossible à atteindre pour cet élève.	
	Nous sommes en apparence dans une situation de dispute selon Mercer (1995). L'objectif est tout à fait réaliste pour cet élève (ses parents sont des maraichers bio).	TP 402 BL32 : « <i>Mais non. C'est très bien. C'est pas impossible du tout.</i> »
TP 403 BL31 : « <i>Non mais pas impossible du tout mais je dirais</i> »	Le point de vue commence à être ébranlé.	
TP 405 BL34 : « <i>Enculé, le bio</i> »	Cet énoncé révèle une conception sur la conduite de systèmes alternatifs.	
TP 408 BL 31 : « <i>Oui mais je suis pas sûr que, qu'ils y arrivent. A 50% du résultat.</i> »	L'objectif de 50% ne semble pas atteignable, le point se maintient.	
	Le point de vue est ferme et	TP409 BL32 : « <i>Mais bien sûr</i> »

	la conviction est profonde, mais les preuves ne sont pas explicites mais implicites (ses parents font fonctionner un système bio, complètement indépendant des pesticides de synthèse.	<i>que si</i> ».
TP 410 BL31 : « <i>Moi, je pense pas</i> »		
	L'argumentation démarre : l'objectif est atteignable, mais il faut compter sur le temps (projection dans le futur).	TP 411 BL32 « <i>Y'aura un peu de temps mais...</i> ».
TP 412 BL34 : « <i>Mais n'importe quoi !</i> »	Là aussi, le point de vue est ferme.	
	BL33 commence à douter.	TP 413 BL33 : « <i>5 ans, ça fait peut-être trop court.</i> »
	C'est au tour de BL31 de douter.	TP 414 BL31 : « <i>Ouais, c'est court quand même.</i> »
	BL32 approfondit son argumentation et dans le « y'en a », il en fait partie, c'est un témoin « concret ».	TP 415 BL32 : « <i>Oui, d'accord, c'est court, c'est parfaitement possible mais y'en a qui arrivent très bien à limiter de 50% des phytos alors.</i> »
TP 416 BL31 : « <i>Oui mais... Oui. Moi, je suis d'accord mais...</i> »	Les objections viennent bousculer le consensus.	
	Ce n'est pas un argument, mais l'énoncé veut faire autorité.	TP 417BL32 : « <i>C'est moi qui a raison !</i> »
	Jeu, set et match, BL32 a fait en apparence bouger les conceptions des opposants au plan Ecophyto	TP 418 BL31 : « <i>Oui, tu as raison. Excuse-m- C'est pas une raison de me frapper !</i> »

La diversité des points de vue permet de creuser les contre-argumentations et des conceptions peuvent alors être ébranlées pour favoriser des attitudes plus adaptées favorisant le recours aux alternatives des pesticides.

Une mise au travail marquée par une attention difficile sur la durée pour BL3

La mise au travail est rapide, mais le travail d'exploration s'essouffle vite (cette observation est récurrente pour la classe BL). Les demandes adressées au chercheur et/ou à l'enseignant présent sont plus nombreuses qu'en BTS pour en particulier relancer l'activité et/ou pour aider à valider des unités de sens construites entre les locuteurs. Cet étayage du référent est indispensable : il a permis en particulier dans l'épisode d'améliorer la qualité du raisonnement et/ou de rassurer :

- dans l'épisode 7 du TP 436 au TP 500, le chercheur fait reformuler ;
- dans l'épisode 11 du TP 887 à TP907, le chercheur « rassure », les locuteurs déroutés par la complexité du raisonnement à construire.

Mais au cours des activités cognitives complexes, la reformulation des attendus est un aspect fondamental.

Le référent peut être un pair considéré comme plus expert. En particulier dans le groupe AC1, 11, l'étudiant AC11 a joué un rôle moteur en posant des phases de récapitulations.

Si le scénario didactique n'avait pas prévu un travail anticipé et préparatoire à l'activité de résolution, les élèves comme les étudiants ne seraient pas parvenus à construire un raisonnement aussi élaboré.

Une ressource externe sur les couverts de l'interculture fait progresser les raisonnements

Durant, l'épisode 11, du TP 807 au TP 816, l'exploration se fonde sur une ressource externe, la revue *France Agricole*. Elle a permis de faire avancer la construction argumentaire. Les élèves ont retenu et formulé des arguments pour faire avancer le niveau de complexité de la résolution.

En guise de synthèse

Nous retenons cinq points et nous exposons des freins et des appuis que nous avons pu recenser.

Cinq points permettent de cerner les grandes lignes de nos résultats :

- les élèves/étudiants sont parvenus à construire une solution complexe combinant des alternatives et réduisant le niveau de dépendance aux pesticides. Notre dispositif a contribué à limiter le risque de surcharge cognitive liée à l'activité complexe de résolution en prévoyant une phase de travail en amont. Nous avons cependant mis en évidence la forte prégnance du système de représentations-connaissances pour construire les argumentations. Dans les entretiens, les élèves précisent l'intérêt de la bibliothèque avec « *Oui, on avait relu les documentaires, y'avait des, des tableaux intéressants là, des... des graphiques intéressants là qui citaient bien les, les choses. C'était... on a, on a, c'est grâce à ça en fait, c'est grâce à la bibliothèque qu'on a trouvé les idées.* » mais aussi avec « *Non. Non, c'était bien sur la feuille y'avait tous les renseignements, on a bien... la bibliothèque aussi nous a servi, pour les, pour les produits tout ça, qui...* ».
- les étudiants du groupe AC1 construisent des raisonnements plus complexes que les élèves de bac pro du groupe BL3 validant notre hypothèse de départ (H2),
- la mise en activités à partir de la situation-problème a permis de faire émerger des conceptions parfois contradictoires sur l'usage des pesticides,
- les discussions d'exploratoires favorisent la construction d'unités de sens pour approfondir des connaissances en situation,
- le niveau 7 n'est pas atteint pour les leviers proposés en Bac pro CGEA et il n'est pas atteint pour tous les leviers en BTS. Nous pensons que ce niveau charnière a vraiment un rôle structurant pour les apprentissages et nous avons imaginé qu'*a priori*, les étudiants parviendraient à discuter tous les leviers à ce niveau de complexité. Or, seuls les leviers *rotation* et *désherbage mécanique* et la *lutte chimique* atteignent ce niveau.
- les élèves/étudiants n'ont pas éprouvé le besoin de développer des arguments en lien avec les effets des pesticides sur la santé.

- *Des appuis*

- La configuration de la situation éducative avec des blocs d'informations et des blocs de sens, reposant sur un travail collaboratif (raisonnement distribué) a limité le risque de surcharge cognitive. Les élèves, comme les étudiants ont été rassurés à l'idée de construire une solution collective dans un groupe : « *Ca qu'on est, par exemple, quand on est seul, euh, on a peut-être pas trop d'idées qui viennent alors que quand y'en a qui dit...un truc de bien, qui lance un p'tit sujet quoi. Tac, de suite, ça va nous...* ».

- La problématisation fondée sur une impasse agronomique a permis d'avoir accès aux connaissances agronomiques mobilisées pour envisager des alternatives,
- La bibliothèque a fait progresser les raisonnements en améliorant ponctuellement les contenus des argumentations,
- Les interactions entre pairs parviennent parfois à réguler les conceptions erronées et permettre des apprentissages.
- Dans le même ordre d'idées, les interactions avec le référent ont permis de repréciser aux élèves les attendus, améliorant dans le même temps la qualité des raisonnements.

- *Des obstacles*

- La non prise en compte des objectifs des porteurs d'enjeu n'a pas permis de construire des raisonnements suffisamment complexes et adaptés à la situation,
- l'absence d'argumentation approfondie avec des justifications, des conséquences et des conditions exprimées reposant au moins sur les trois dimensions de la durabilité ne permet pas d'inscrire les solutions dans le développement durable,
- Des conceptions sur les pesticides ont bloqué les raisonnements. Certaines conceptions proposent une vision encore empreinte de la toute puissance de la chimie sur le vivant,
- Une assise disciplinaire insuffisante, liée à la mauvaise compréhension des phénomènes de résistance du vulpin aux familles de produits phytosanitaires a généré des erreurs dans les raisonnements. De même, des connaissances insuffisantes sur les effets des leviers ont gêné la construction de solutions complexes.

4. Discussion générale et conclusion

Nous discutons la contribution de notre recherche à la fois en termes de valorisation dans le cadre de l'enseignement agricole et en termes de contribution scientifique dans les recherches en sciences de l'éducation.

Des résultats pluriels et de natures différentes

Notre thèse a donné lieu à plusieurs résultats aussi bien sur le plan méthodologique que sur le plan conceptuel que nous discutons ici.

Nous avons produit une analyse des controverses sur l'usage des pesticides à deux dates, 1983 et 2007, et nous avons également proposé une méthodologie pour les construire. Ces explorations nous ont permis de mettre en évidence des reconfigurations dans les controverses avec la montée en puissance des arguments en lien avec la santé des consommateurs et des utilisateurs. Les cartographies des controverses sont des outils de recherche permettant de conduire l'analyse socio-épistémologique des savoirs en jeu et des controverses liés à l'usage des pesticides dans l'agriculture ou à la perspective de favoriser leurs alternatives.

Nous avons construit un modèle de situation-problème favorisant *a priori* l'émergence de raisonnements complexes visant la promotion d'alternatives aux pesticides. Selon nous les raisonnements adaptés pour intégrer le changement de paradigme dans la protection des cultures doivent explorer les trois piliers de la durabilité et se fonder sur des connaissances agronomiques. Aujourd'hui, le ministre en charge de l'agriculture a défini un horizon agro-écologique pour le développement de l'agriculture, réaffirmant l'exigence de concilier la triple performance. Le plan de la DGER « enseigner à produire autrement » a été mis en place pour impulser une nouvelle dynamique dans la formation et dans l'enseignement agricole afin de soutenir ce projet d'agriculture. Si l'agronomie doit être remise au cœur des raisonnements pour concevoir des systèmes de culture innovants économes en pesticides, les raisonnements complexes doivent permettre de mobiliser des principes agro-écologiques pour concevoir des systèmes alternatifs. Le concept d'agroécosystème devient central : les effets des pratiques mais également les effets de l'environnement sur le système structurent les objectifs de

pilotage des systèmes agricoles afin de favoriser l'expression et/ou l'intensification de services écosystémiques. En particulier pour la gestion des bioagresseurs, il convient de favoriser et d'amplifier les services de régulation naturelle.

Nous avons fait entrer dans la classe une question socialement vive agronomique. Notre modèle de situation-problème a permis de faire émerger des raisonnements complexes. Nous avons conduit une analyse quali-quantitative des discussions à partir d'une grille d'analyse de la complexité de raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques attendus *a priori* favorables à la promotion des alternatives aux pesticides. Les résultats révèlent des facettes du processus des raisonnements construits pour résoudre un problème d'adventice, imposant la reconception du système de culture. Mais les raisonnements produits par les élèves/étudiants ne correspondent pas aux raisonnements attendus *a priori*. Nous observons des raisonnements de type agrosociaux économiques. Ils s'appuient très majoritairement sur des connaissances agronomiques et explorent peu les deux autres dimensions de la durabilité. La dimension écologique est très peu développée et les arguments sur la santé sont absents. Les raisonnements ne sont pas structurés à partir de principes de gestion du système cultivé agro-écologiques.

L'analyse des *curricula* prescrits et potentiels des deux référentiels Bac pro CGEA et BTS APV a révélé des forces et des faiblesses. Ces derniers mettent en exergue la nécessité de remettre l'agronomie au cœur des raisonnements. Ils permettent d'outiller les élèves et les étudiants sur les plans conceptuels et méthodologiques pour qu'ils construisent des raisonnements agronomiques complexes. Mais l'inscription du processus de construction de ces raisonnements dans une perspective agro-écologique est moins évidente. La dimension agroécosystémique est plus prégnante en BTS APV, mais la pluralité des savoirs, la prise en compte de leur caractère distribué, émergent et non stabilisé et la nécessité d'élargir le cadre des références pour appréhender les enjeux et les risques/incertitudes des solutions à promouvoir et les controverses sous tendues ne sont pas assez soulignées.

Dans le cadre de notre expérimentation, les élèves/étudiants ont vécu « une expérience » de résolution d'un problème complexe, à laquelle ils pourront être confrontés dans le cadre de leur activité professionnelle. Les agriculteurs devront construire des raisonnements pour concevoir leurs propres systèmes de culture innovants. Les conseillers seront amenés à être impliqués dans des démarches d'accompagnement pour épauler des agriculteurs en transition. Nous avons vu que les expériences antérieures conditionnaient ce que les individus étaient prêts à apprendre. Des élèves/étudiants sont parvenus à proposer des solutions au problème qui leur a été soumis et ils en ont même exprimé une certaine satisfaction : le scénario didactique que nous avons conçu a permis aux élèves/étudiants de résoudre le problème complexe en moins de deux heures, ce qui peut parfaitement s'inscrire dans les pratiques ordinaires d'enseignement.

Les savoirs pour construire des systèmes alternatifs ne sont pas stabilisés et ils émergent chemin faisant et dans des contextes situés. La résolution des problèmes complexes liés à la reconception des systèmes de culture repose sur la mobilisation de connaissances et de références qu'un travail collectif et en réseau peut faciliter et soutenir. Ces démarches de reconception se fondent sur des apprentissages complexes mobilisant une plus grande diversité de disciplines et de références que dans le cadre de la conduite des systèmes de culture en raisonné : les connaissances en écologie, en agronomie, en biologie, en économie, en sociologie, entre autres et des connaissances émergeant de croisement de champs disciplinaires.

L'école doit initier les élèves/étudiants à développer des démarches qui les préparent à concevoir et à piloter des systèmes dans un contexte incertain à partir de savoirs en construction, tout en étant aptes à évaluer la validité des savoirs pour leur situation. Dans ce cadre, l'incertitude ne se résume pas à la seule prise en compte de considérations

économiques (*i.e.* cours des produits agricoles erratiques). Elle est dépendante des dynamiques de coévolution dans les socioécosystèmes (aux échelles macro, méso et micro). Le concept d'agroécosystème redevient pertinent pour appréhender les incertitudes à chacun des niveaux afin de déterminer en quoi les incertitudes peuvent constituer un appui pour définir des choix de pilotage.

- *En quoi ces premiers résultats de la recherche constituent-ils un outillage didactique pour construire des situations éducatives visant la promotion des alternatives aux pesticides répondant aux exigences du développement durable et inscrites dans une perspective agro-écologique ?*

Notre modèle de situation-problème et son scénario favorise *a posteriori* l'émergence de raisonnements agro-socioéconomiques. Il conviendrait de les tester dans d'autres situations afin de confirmer ou pas ces premiers résultats.

La méthodologie de construction des cartographies des controverses que nous avons proposée peut être mobilisée dans le cadre de l'enseignement : elle permet de dresser un état des savoirs et de références, de mettre en lumière les controverses et les points de désaccords et d'appréhender la complexité des questions. Dans les écoles d'ingénieur, Latour et son équipe utilisent l'outil cartographie pour permettre aux futurs décideurs et aux citoyens de mieux cerner les enjeux des controverses, de comprendre les objets des disputes afin d'être en mesure de prendre des décisions en connaissance de cause et de manière autonome et responsable. Dans l'enseignement agricole, les cartographies des controverses ont été testées en situation de classe (Hervé, 2014) ou dans des dispositifs de recherche avec des enseignants (Lipp, à paraître). Les premiers résultats permettent de révéler les difficultés des élèves et/ou des enseignants à appréhender les différents niveaux de complexité des questions (sur le bien être animal pour Lipp, *ibid.*), sur les problèmes de choix énergétique avec l'exploitation des gaz de schistes pour Hervé, *ibid.*). Il n'y a pas en revanche de travaux en didactique de l'agronomie qui ont testé des modèles de situation-problème visant l'émergence de raisonnements informels complexes.

Nous entrevoyons le test de nos travaux dans la formation initiale et continue des enseignants. Dans la formation initiale dans le cadre du master MEEF, l'exercice de cartographie devrait permettre aux étudiants/Professeurs/professeurs stagiaires en formation de co construire une démarche pour conduire une réflexion didactique sur les savoirs et les références en jeu pour enseigner-apprendre à concevoir des systèmes économes en pesticides. L'intérêt de cette approche est d'une part de les outiller sur le plan didactique et d'autre part de mener avec eux un travail d'adaptation de l'exercice de cartographie pour qu'ils se l'approprient (nous proposons un travail de recherche dans ce sens avec le projet Parrise évoqué plus loin). Nous envisageons qu'ils le testent lors de leur stage en établissement scolaire. Nous comptons également conduire avec ces futurs enseignants un travail d'analyse critique du modèle de la situation-problème afin de mener avec eux une réflexion sur les cadres théoriques mobilisés en sciences de l'éducation fondant la conception des situations éducatives. Dans le cadre de notre expérience de formation des enseignants, nous avons remarqué une certaine réticence des collègues en formation vis-à-vis des concepts et des théories des sciences de l'éducation. Pour beaucoup d'entre eux, un solide bagage technique serait suffisant pour conduire des enseignements-apprentissages efficaces. Or dans le cas de la protection des cultures cet argumentaire ne peut tenir :

- il n'y a plus de bon bagage technique fondé sur des savoirs stabilisés, il faut compter sur les savoirs en construction et controversés

- la seule considération des dimensions techniques ne permet pas de proposer des solutions tenables pour les parties prenantes,
- les apprentissages reposent sur des processus dynamiques de (co)-construction de connaissances et le système de représentations-connaissances conditionne ce que les personnes sont prêtes à apprendre.

La situation-problème devient alors un outil didactique pour analyser la prescription curriculaire et mettre en relation les contenus et des visées éducatives qui peuvent émerger au fil de l'eau. Il s'agit de discuter avec les enseignants en formation comment un dispositif didactique peut s'appuyer sur des forces et des faiblesses d'une prescription curriculaire pour conduire des enseignements adaptés et efficaces. Il est question de pointer plus précisément dans un premier temps les intérêts et les limites :

- de proposer des situations éducatives innovantes fondées sur la problématisation d'objet d'enseignement-apprentissage sous la forme de QSV,
- de bien intégrer le concept de zone de développement proche et ses conséquences en termes de construction des apprentissages de fonctions psychiques de haut niveau,
- de prendre appui sur des démarches collaboratives pour aider les élèves/étudiants à appréhender la résolution de problèmes complexes.

- *Prendre appui sur des enseignants d'agronomie « développeurs »*

Nous envisageons également de constituer un groupe d'appui inscrit dans le Système National d'Appui (SNA), mobilisant des enseignants volontaires de lycées agricoles, des formateurs de l'Enfa (en Sciences de l'Education et en agronomie) et des inspecteurs en agronomie, en étroite relation avec des acteurs de la DGER chargés d'animer le réseau thématique « Agronomie-Ecophyto » et de l'animation du suivi de référents en agro-écologie. Cette cellule d'appui en didactique de l'agronomie devrait nous permettre de conduire une réflexion didactique avec des parties prenantes plus aguerries afin de discuter la pertinence de nos outils dans la perspective de leur valorisation pour l'« enseigner-apprendre à produire autrement ». Il sera question de discuter la méthodologie des cartographies des controverses, le dispositif didactique de la situation problème et la grille d'analyse de la complexité des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques. Mais au-delà des outils, nous souhaitons faire évoluer le modèle de la situation-problème à partir d'une collaboration enseignement technique et enseignement supérieur en sciences de l'éducation et engager une réflexion didactique sur :

- la contribution de notre modèle de situation-problème à l'outillage didactique utile pour enseigner apprendre à concevoir des systèmes de culture innovant,
- les adaptations du dispositif qui favoriseraient la mobilisation d'arguments liés à la santé humaine pour promouvoir des alternatives aux pesticides,
- l'intérêt de proposer des situations éducatives fondées sur la construction de blocs de sens et en quoi elles permettraient d'améliorer l'efficacité des apprentissages dans des situations complexes. En particulier, nous voudrions voir comment cela pourrait permettre de faire construire chez les élèves des unités de sens pour résoudre les problèmes de gestion des bioagresseurs prenant appui sur des principes agro-écologiques,
- les variétés des adaptations que proposeront les collègues enseignants pour s'approprier les outils et pour conduire des situations éducatives dans différents niveaux de classe. Notre situation-problème est fondée sur cinq blocs d'informations. Nous avons structuré ces derniers en blocs de sens. Le modèle de la situation est suffisamment souple et ouvert pour permettre une adaptation et une complexification des cas étudiés en jouant sur la nature des informations dans les blocs et/ou le niveau de prise en charge de la construction des blocs par l'enseignant et les élèves/étudiants. La construction du bloc bibliothèque peut être complètement déléguée aux élèves/étudiants qui seront chargés alors de conduire les investigations et de préciser en même temps la pertinence des références pour le problème à

résoudre et de tester la validité des sources retenues, avec l'aide de leurs enseignants bien entendu. Le bloc problématisation peut être également pour tout ou pour partie défini par les apprenants qui définiront les aspects qu'ils jugent pertinents à explorer. Dans une même classe, des problématiques différentes pourraient émerger amenant les élèves/étudiants à prendre conscience de la diversité des possibles pour appréhender un problème et pour le résoudre.

Dans les deux configurations d'étude visant la valorisation de notre production scientifique, nous sommes animée par une même visée : nous souhaitons développer chez les enseignants des comportements de développeur-expérimentation en Sciences de l'Education afin qu'ils construisent des démarches favorisant l'analyse réflexive conduisant à adapter leur stratégies didactiques et de manière adaptée.

Contribution dans le domaine des sciences de l'éducation

Notre recherche à la croisée des didactiques des QSV et de l'agronomie ouvre un nouveau courant de recherche. La didactique de l'agronomie a été peu explorée (Prévost, 1997) et aujourd'hui des travaux en didactique professionnelle s'intéressent de près à des problématiques liées à l'agronomie dans le cadre du produire autrement (Chrétien, 2013). Le projet Didacphyto (APR pesticides) dans lequel nous sommes impliquée propose une approche scientifique croisant des cadres scientifiques différents (sociologie, didactique professionnelle et didactique de l'agronomie, entre autres). Les objectifs du projet sont (i) d'identifier les savoirs pratiques et des modes opératoires développés par l'expérience chez des directeurs d'exploitation de lycée, des agriculteurs et des élèves en formation et (ii) de mettre en évidence des freins et des leviers à l'émergence de pratiques pédagogiques/stratégies didactiques adaptées à la promotion d'alternatives aux pesticides. Ce projet original vise à initier la mise en place d'un champ de recherche en didactique de l'agronomie au service de l'enseignement d'agronomie dans les formations de l'enseignement agricole, technique et supérieur. Nous avons dans ce cadre des perspectives de valorisation concrètes de notre recherche et de développement ultérieurs, mais également en lien avec notre participation dans le RMT SdCI.

Notre recherche complète des travaux conduits dans le cadre des raisonnements socio-scientifiques. Morin (2013) a discuté les processus de construction des raisonnements socio-scientifiques dans une perspective de durabilité. Il a montré comment des dispositifs fondés sur l'étude de QSV et favorisant des dérangements socio-épistémologiques améliorent la prise en compte de la complexité des questions et comment ils permettent aux parties prenantes de prendre des décisions à partir d'une opinion éclairée (Simonneaux, 2010). L'exploration concrète des contenus des savoirs en jeu dans les QSV n'a pas été un des objets de sa recherche. Jimenez-Aleixandre et Enduran (2008), Jimenez-Aleixandre et Puig (2010) et Bravo-Torija (2012) ont quant-à elles exploré la construction des argumentations et des raisonnements complexes prenant appui sur des données factuelles et sur des concepts et des théories en biologie et en écologie. La recherche d'indicateurs favorisant l'amélioration des apprentissages en sciences a guidé leurs choix méthodologiques. Leurs travaux explorent moins la prise en compte de différentes facettes de la complexité en lien avec des aspects sociaux et/ou économiques.

Notre recherche propose d'amener les élèves/étudiants à prendre en compte différentes facettes de la complexité liées à la résolution de problèmes de gestion de la protection des cultures, tout en permettant de discuter l'inscription de ses dernières dans le développement durable. Notre recherche a accordé de l'importance à des contenus disciplinaires et pluridisciplinaires en jeu dans les raisonnements. Nous avons posé un niveau intermédiaire de complexité des raisonnements qui nous est apparu structurant pour conduire les

enseignements-apprentissages. Nous souhaitons explorer la validité de ce niveau charnière N7 et poursuivre nos recherches dans ce sens. Notre implication dans un Projet européen de recherche « Parrise » (Promoting Attainment of Responsible Research & Innovation in Science Education) peut être une opportunité pour le faire.

Le projet a débuté en janvier 2014 et les équipes de recherche impliquées s'appuient en particulier sur des éléments de conclusion du rapport Rocard de 2007 (Rocard *et al.*, 2007). Dans la perspective de promouvoir une éducation à la citoyenneté scientifique et démocratique, il s'agit de former à la démarche d'enquête SSIBL sur des QSV (SocioScientific Inquiry Based Learning) pour favoriser les prises de décision et l'action. Le projet vise à promouvoir des formations innovantes d'enseignants en formation initiale et formation continue fondées sur l'intégration des questions sociales et des connaissances scientifiques. Les didacticiens du projet vont partager des outils produits et validés dans le cadre des recherches sur les QSV, en particulier des démarches de construction des cartographies des controverses.

Pour nous, il s'agit d'amener des futurs enseignants et/ou des enseignants en poste à s'approprier des principes de la démarche d'enquête sur des QSV, qui est différente de la démarche d'investigation qu'ils ont coutume de mettre en œuvre en classe, pour ensuite implémenter la démarche dans leurs établissements d'affectation ou de stage. Un des résultats attendus de la recherche est de co construire des indicateurs pour évaluer les effets de ce type de stratégies sur un ensemble d'apprentissages. Une des originalités du dispositif est de placer, les enseignants en position de « *learner* », « *developer* » ou « *researcher* ». Nous comptons, comme nous l'avons souligné plus haut, organiser certaines de nos activités de formation avec des enseignants dans ce sens afin de contribuer à alimenter ce projet scientifique.

Conclusion

Notre thèse livre une approche sociohistorique de la construction de la dépendance aux pesticides en mettant en particulier en relief le rôle joué par le champ agronomique. L'état de l'art sur le cadre conceptuel permettant de conduire la protection des cultures nous a amené à discuter des changements de paradigmes liés à la perspective de réduire de 50 % l'usage des pesticides imposée par le plan Ecophyto dans une perspective agro-écologique. L'état de l'art lié aux questions d'enseignement-apprentissages des questions socialement vives nous a permis de relever l'intérêt des QSV dans les *curricula* et en particulier dans le cadre des enseignements-apprentissages de la discipline scolaire agronomie. Le croisement de ces cadres conceptuels nous a permis de construire une situation éducative favorisant l'émergence de raisonnements informels. Dans le cas de la réduction de l'usage des herbicides pour contrôler une flore d'adventices, nous avons défini des raisonnements agro-écologiques et socioéconomiques attendus *a priori*. Nous avons développé une méthodologie complexe fondant la construction d'un modèle de situation-problème qui a permis de construire des situations éducatives visant la promotion des alternatives aux pesticides, de la tester auprès d'élèves de Bac pro CGEA et d'étudiants en BTS APV en formation initiale dans des lycées agricoles et d'analyser les raisonnements produits. Les élèves comme les étudiants sont parvenus à construire des raisonnements de type agrosociaux et économiques. Notre situation-problème a permis de mettre en lumière les leviers mobilisés pour gérer le problème du cas étudié, mais la configuration de notre dispositif a très fortement orienté les raisonnements sur le domaine de référence agronomie, semblant brider des discussions élaborées sur d'autres domaines de référence. Au cours du processus de résolution, le niveau de complexité des raisonnements n'atteint le niveau N7 que pour trois de l'ensemble des leviers en BTS et ce niveau n'est pas atteint pour les élèves de Bac pro. Au terme de la résolution, les étudiants,

comme les élèves ont construit des solutions complexes et innovantes par rapport à l'existant. Le niveau de complexité de la solution finale est N9 pour le groupe d'étudiants en BTS APV et N7 pour le groupe d'élèves en Bac pro CGEA. Ces résultats montrent que les étudiants sont en général mieux armés pour envisager des alternatives que les élèves. Ils soulignent également la nécessité de s'intéresser au processus tout autant qu'au résultat des raisonnements. Le dispositif a permis en particulier de mettre en lumière une erreur de raisonnement qui a empêché de faire progresser la complexité du raisonnement. Les conceptions sur les pesticides ont pu être captés par notre recherche et certaines ne favorisent pas les alternatives aux pesticides.

Nous comptons valoriser notre recherche dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants afin de faire évoluer nos résultats pour qu'ils deviennent des outils didactiques au service de l'enseigner-apprendre autrement avec moins de pesticides dans l'enseignement agricole. Notre recherche ouvre la perspective de conduire des recherches afin de contribuer à structurer la didactique des sciences et des techniques agronomiques abondée par le courant de la didactique des QSV. Notre cadre de recherche s'insère dans des recherches nationales mais également contribue à une dynamique européenne de recherche en didactique des sciences et techniques.

Bibliographie

- Adams, J. (1995). *Risk*. London: UCL Press. xii + 228 p.
- ADES (BRGM) (2013). Agences et offices de l'eau-Collectivités, Syndicats d'eau. Réseaux RCS-RCO, 2012 / consultable à partir de [Contamination globale des eaux souterraines par les pesticides](#), SOeS, 2013
- AFPP (2014). *CR Réunion AFPP Biovigilance Plénière ACTA 19 juin 14*. consultable sur <http://www.afpp.net/apps/accueil/autodefault.asp?d=5121> consulté le 02 janvier 2015
- Afsset (2010). *Exposition de la population générale aux résidus de pesticides*.
- Agreste (2012). *Agreste Primeur- Recensement agricole 2010 : formation des chefs d'exploitation jeunes agriculture, parmi les actifs les mieux formés*, n° 281 février 2012
- Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. Teachers College Press. 186 p.
- Aikenhead, G.S. (2010). Towards a cultural view on quality science teaching. In D. Corrigan, D., Dillon, J. et Gunstone, R. (Eds.), *The professional knowledge base of science teaching* (inpress). New York: Springer.
- Akrich, M., Callon, M. et Latour, B. (2006). *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs*. Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 304 p.
- Albaladejo, C. (2012). Former les ingénieurs agronomes à de nouveaux paradigmes ou à la diversité des paradigmes en agriculture ? In Goulet, F., Magda, D., Girard, N., et Hernandez, V. *L'agroécologie en Argentine et en France. Regards croisés*. Sociologies et Environnement. Paris, FRA : Harmattan. pp. 171-197
- Albe, V. (2006). Procédés discursifs et rôles sociaux d'élèves en groupes de discussion sur une controverse socio-scientifique. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (157), 103-118.
- Albe, V. (2008a). When scientific knowledge, daily life experience, epistemological and social considerations intervene : students' argumentation in group discussions on a socio-scientific issue. *Research in Science Education*, 38, 67-90
- Albe, V. (2008b). Students' positions and considerations of scientific evidence about a controversial socioscientific issue. *Science and Education*, 17, 805-827.
- Albe, V. (2009). *Enseigner des controverses*. Rennes: Presses universitaires de Rennes. coll. «Paideia ». 223 p.
- Albe, V., et Simonneaux, L. (2002). L'enseignement des questions scientifiques socialement vives dans l'enseignement agricole: Quelles sont les intentions des enseignants?. *Aster*, 34, p. 131-156.
- Albertini, L. (2013). *Essor de l'agriculture en al-Andalus (Ibérie arabe): Xe-XIVe siècle, performances des agronomes arabo-andalous*. L'Harmattan, collection histoires et perspectives méditerranéennes.
- Albretch, H., Kühn, N. et Filser, J. (2001). Site effects on plant and animal distribution at the Scheyern farm. *Ecological studies*, Vol 147., pp. 209-228

- Alexander, P. A. (2003). The development of expertise: The journey from acclimation to proficiency. *Educational Researcher*, 32(8), pp. 10-14.
- Allaire, G. et Boyer R., (1995). *La grande transformation de l'agriculture. Lectures conventionnalistes et régulationnistes*. Paris, INRA, coll. « Économie agricole et alimentaire », 444 p.
- Alter, N. (2002). L'innovation : un processus collectif ambigu. in Alter N. (sous la direction de.). *Les logiques de l'innovation*, Paris : La Découverte, pp. 13-40
- Althaus, C. E. (2005). A disciplinary perspective on the epistemological status of risk. *Risk Analysis*, 25(3), pp. 567-588.
- Altieri, M.A., (1995). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press, Boulder, CO, 433 p.
- Altieri, M.A., Dankelman, I., Davidson, J., Goodman, D., Redclift, M., Daly, H. E., et Tunstall, D. B. (1987). *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture* (No. GTZ-425). IIED, London (RU).
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological review*, 89(4), 369.
- Angenot, M. (2008). *Dialogue de sourds. Traité de rhétorique antilogique*. Paris : Mille et une nuits
- Anscombe, J. C., et Ducrot, O. (1983). L'argumentation dans la langue. Mardaga, Coll. "Philosophie et langage", 184p.
- ANSES (2013). *Avis de l'Anses relatif à l'actualisation des indicateurs de risque alimentaire lié aux résidus de pesticides*. Saisine n°2013-SA-0138 téléchargeable à l'adresse <https://www.anses.fr/en/system/files/AUT2013sa0138.pdf> consulté le 25 juin 2015
- ANSES et ORP (2010). *Recommandations et perspectives pour une surveillance nationale de la contamination de l'air par les pesticides*. Rapport de synthèse. Anses et Orp (eds) téléchargeable à l'adresse http://www.observatoire-pesticides.fr/upload/bibliotheque/121747523685433608969151273009/pesticides_contamination_air_2010.pdf consulté le 6 mai 2015
- Assouline, G. (1989). L'évolution technologique de l'industrie des phytosanitaires: quelles interactions avec l'agriculture? *Économie rurale*, 192(1), pp. 42-48.
- Astolfi, J. P. (2008). La saveur des savoirs. Paris, ESF. Bautier E., Rochex J.-Y.(1998), *L'expérience scolaire des nouveaux lycéens. Démocratisation ou massification*.
- Astolfi, J. P. (2011). *L'erreur, un outil pour enseigner*. ESF éditeur.
- Astolfi, J. P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., et Toussaint, J. (2008). Chapitre 3. Conflit cognitif, conflit socio-cognitif. *Pratiques pédagogiques*, pp. 35-48.
- Astolfi, J.-P. (2005). Problèmes scientifiques et pratiques de formation. In Maulini, O. & Montandon, C. (Ed.), *Formel ? Informel ? Les formes de l'éducation*. Bruxelles : De Boeck (Collection «Raisons éducatives »), pp. 65-82
- Astolfi, J.P. et Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. PUF, Coll. Que sais-je?.
- Attoumani-Ronceux, A., Aubertot, J-N., Guichard, L., Jouy, L., Mischler, P., Omon, B., Petit, M-S., Pleyber, E., Reau, R. et Seiler A. (2011). *Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture*. Ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement, RMT Systèmes de culture innovants.

Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas P., Savary, S., Savini, I., et Voltz, M. (editeurs) (2005a). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64p.

Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas P., Savary, S., Savini, I., et Voltz, M. (editeurs) (2005b). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France), 902p. consultable à partir de <http://www.aspro-pnpp.org/wp-content/uploads/2012/01/Rapport-dexpertise-Pesticides.pdf> consulté le 20 septembre 2015

Audigier, F. (2006). L'éducation à la citoyenneté aux prises avec la forme scolaire. *Y. Lenoir, C. Xypas et C. Jamet (eds.), École et citoyenneté. Un défi multiculturel*. Paris: Armand Colin, pp. 185-206.

Audigier, F. (2007). L'éducation à la citoyenneté dans ses contradictions. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 44, pp. 25-34.

Audigier, F. (2008). Formes scolaires, formes sociales. Un point de vue de didactiques des sciences sociales-Histoire, géographie, éducation à la citoyenneté. *Babylonia*, 3, pp. 8-13

Auricoste, C., Cerf, M., Doré, T., et Olry, P. (2013). Accompagner le changement de pratiques des conseillers agricoles en mobilisant un dispositif de conception-évaluation de formation: l'exemple de la formation conseiller demain en agronomie. *Agronomie, Environnement et Sociétés*, 3(2), pp. 93-100.

Auricoste, C., Colombo, E., Gailleton, J.-J., Moronval, J.-R., Pervanchon, F., Robert, F. et Rousval, S., (2012). Former pour concevoir, évaluer et mettre en oeuvre des systèmes de culture innovants : état des lieux, principaux acquis et perspectives. *Innovations Agronomiques*, 20, pp. 123-141

Auricoste, C., Compagnone C., Albaladejo, C., Cerf, M., Lardon, S. (2009). *Les formations aux métiers du développement agricole et territorial : quelles compétences développer ? In Conseil et développement en agriculture : quelles nouvelles pratiques ?* C. Compagnone, C. Auricoste, B. Lemery (Eds.), Dijon (FRA) : Editions Quae et Educagri Editions ; Sciences en Partage. 2009, pp. 219-233.

Aznar, O., Jeanneaux, P. et Déprés, C. (2009). *Les services environnementaux fournis par l'agriculture, entre logique sectorielle et logique territoriale : un cadre d'analyse économique*. 3^{èmes} journées de recherche en sciences sociales Inra Sfer Cirad, 9-11 décembre 2009.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique: contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Vrin.

Bachelard, G. (1977). *La Formation de l'esprit scientifique*. Librairie philosophique Vrin

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford University Press

Bader, B. (2003). Interprétation d'une controverse scientifique : stratégies argumentatives d'adolescentes et d'adolescents québécois. *La Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, p. 231-250.

Baggiolini, M. (1998). La production intégrée en Europe : 20 ans après le message d'Ovronnaz. 2 .1. Historique : 50 ans de souvenirs. *Bulletin OILB/SROP* 21, pp. 3-7

Bailly, D. (1998). *Les mots de la didactique des langues: le cas de l'anglais; lexique*. Ophrys.

- Bain, C., Bernard, J.L. et Fougereux, A. (2010). *Histoire de la protection des cultures de 1850 à nos jours*. Edition Champ libre, groupe France Agricole, 255 p.
- Bairoch, P. (1989). Les trois révolutions agricoles du monde développé : rendements et productivité de 1800 au 1985. *Annales Économies, Sociétés, Civilisations*, Vol. 44 , 2, pp. 317-353.
- Baker, H.G. (1965). Characteristics and modes of origin of weeds. In *The genetics of colonizing species*. Baker, H.G. et Stebbins, G.L. (eds.), pp. 147-168.
- Baker, H.G. (1974). The evolution of weeds. *Annu Rev Ecol Syst*, 5, pp. 1-24.
- Baker, M.J. (2002). Argumentative interactions, discursive operations and learning to model in science. in Brna, Baker, Stenning & Tiberghien (éds.) *The Role of Communication in Learning to Model*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale N.J.
- Baker, M.J., (1996). Argumentation et co-construction des connaissances. *Interaction et Cognitions*, vol. 1, n°2/3, pp. 157-191.
- Bandura, A. (1997), *Self-efficacy : The exercise of control*, Freeman, New York
- Barab, S., Sadler, T., Heiselt, C., Hickey, D., et Zuiker, S. (2007). Relating narrative, inquiry, and inscriptions: A framework for socioscientific inquiry. *Journal of Science Education and Technology*, 16, pp. 59-82.
- Barnéoud, L. (ed.) (2013). *La biodiversité?: comprendre vite et mieux*. Editions Belin. 80 p.
- Barnes, D. (1976). *From communication to curriculum*. Harmondsworth, UK: Penguin.
- Barralis, G . (1996). Recherche agronomique et malherbologie : L'INRA et la protection des plantes. *Phytoma-La Défense des végétaux*, n°483, pp. 28-29
- Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New directions for teaching and learning*, 1996(68), 3-12.
- Basu, C., Halfhill, MD, Mueller, TC, et Stewart, CN (2004). Weed genomics: new tools to understand weed biology. *Trends in plant science*, 9 (8), pp. 391-398
- Baudrit, A. (2005). *L'apprentissage coopératif: origines et évolutions d'une méthode pédagogique*. De Boeck Supérieur.
- Bawden, R.J. (1997). Learning to Persist : A Systemic View of Development. In Stowell, F.A., Ison, R.L., Armson, R., Holloway, J., Jackson, S., et McRobb, S. (eds). *Systems for Sustainability*. Plenum Press, New York and London, pp. 1-5.
- Beck, U. (1986). *La société du risque, sur la voie d'une autre modernité*. Paris : Flammarion, traduction française 2001, (édition 2008)
- Beitone, A. et Legardez, A. (1995) Enseigner les sciences économiques : pour une approche didactique. *Revue française de pédagogie*, Volume 112, pp. 33-45.
- Bellon, S., et Ollivier, G. (2012). L' agroécologie en France : l' institutionnalisation d' utopies. In *L'agroécologie en Argentine et en France, Regards croisés*. Goulet, F., Magda, D., Girard, N., et Hernandez, V. (Eds). L'Harmattan, pp. 55-90
- Bellon, S., Perrot, N., Navarrete, M., Fauriel, J., et Lamine, C. (2007). *Converting to organic horticulture as socio-technical trajectories*. In 22. Congress of the European Society for Rural Sociology: Mobilities, Vulnerabilities and Sustainable: new questions and challenges for rural Europe. 2007-08-20/2007-08-24, Wageningen, NLD.

Belpomme D. (2007). *Rapport d'expertise concernant la pollution par les pesticides en Martinique. Conséquences agrobiologiques, alimentaires et sanitaires et proposition d'un plan de sauvegarde*. Association pour la Recherche Thérapeutique Anti-Cancéreuse, 54 p.

Bencze, L., Sperling, E. et Carter, L. (2012). Students' research informed socio-scientific activism. *Re/visionforasustainable future. Res.Sci.Educ.*42(1), pp. 129–148.

Benoît, M., Bonicelli, B., Guichard, L., Delorme, R., Faloya, V., et Ruelle, B. (2005). Connaissance de l'utilisation des pesticides. Chapitre 2. in *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*, Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas P., Savary, S., Savini, I., et Voltz, M. (éditeurs). Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France). Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France), 902p. consultable à partir de <http://www.aspro-pnpp.org/wp-content/uploads/2012/01/Rapport-dexpertise-Pesticides.pdf> consulté le 20 septembre 2015

Bensin, B.M. (1928). *Agroecological Characteristics Description and Classification of the Local Corn Varieties Chorotypes*

Berger, G, Massé, P., et de Bourbon-Busset, J. (1967). *Les étapes de la prospective française. Prospective*. Presses universitaires de France, Paris

Berger, G., de Bourbon Busset, J., et Massé, P. (2007). *De la prospective : textes fondamentaux de la prospective française (1955-1966)*. l'Harmattan. 212 p.

Bériot, D. (2006). *Manager par l'approche systémique*. Editions Eyrolles. 72 p.

Bernard de Raymond, A., Israël, L., Jimenez, R., Mallard, G. et Revillard, A. (2004). Droit, réflexivité et sciences sociales. Autour du livre de Bruno Latour : La Fabrique du droit (confrontations). *Terrains & travaux* 2004/1 (n° 6), pp. 159-180. consultable <http://www.cairn.info/revue-terrains-et-travaux-2004-1-page-159.htm> consulté le 10 juillet 2015

Bernicot M.-H., Rolland B., Fontaine L., Lécuyer J. (2010). Wheat varieties in competition with weeds for sustainable agriculture, in particular organic farming. In *Breeding for resilience : a strategy for organic and low-input farming systems ?* EUCARPIA IInd Conference of the "Organic and Low-Input Agriculture" Section, December 1-3, Paris, France, pp. 77-80.

Bernicot, MH., Fontaine, L., Rolland, B., et Lécuyer, J., (2010). *Compétitivité vis-à-vis des adventices de variétés de blé en agriculture biologique*. 21e Conférence du Columa, Actes de la Conférence, 8 et 9 décembre 2010. 11 pages.

Berthelot, J-M. (2000). *Sociologie: Épistémologie d'une discipline*. De Boeck Supérieur, 24 mars 2000, 479 p.

Bichaud, J., Lauriaut, C., et Lépeule, H.(2004). *Pourquoi écrire l'Histoire des CIVAM ?* <http://w2.civam31.org/wp-content/uploads/2010/02/Histoire-Civam.pdf>

Bidaud, F. (2013). Transitions vers la double performance : quelques approches sociologiques de la diffusion des pratiques agroécologiques. http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Analyse_CEP_63_Transitions_vers_la_double_performance_cle8627ba.pdf consulté le 06/12/2014

Bijker, W. E., Hughes, T. P., et Pinch, T. (1987). *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and technology of history*. MIT press

Billig, M. (1987), *Arguing and Thinking*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Blanchet, P. (2012). Rapport, synthèse de l'évaluation *in itinere* de l'axe 5 du plan Ecophyto 2018. CGAAER n°121104, 23 p.
- Bloor, D. (1976). *Knowledge and Social Imagery*. Chicago, University of Chicago Press, 211 p.
- Boholm, A. (2015). *Anthropology and Risk*. Routledge, 24 avr. 2015. 190 p.
- Boiffin, J. (2014). *Contribution du comité d'experts du plan Écophyto : bilan à mi-parcours et à la révision du plan*. Synthèse établie par Boiffin, J. Président du comité d'experts novembre 2014
- Boiffin, J., et Doré, T. (eds)(2012). *Penser et agir en agronome. Hommages à Michel Sebillotte*. Quae Editions
- Boiffin, J., et Sebillotte, M. (1982). Fertilité, potentialité, aptitudes culturelles, signification actuelle pour l'agronomie. *Bulletin Technique d'Information* (370-372), pp. 345-353.
- Boimare, S. (2004). *L'enfant et la peur d'apprendre*. Paris : Dunod, 2004 (2ème éd.)
- Boinon, J-P, Gomez, S. et Roux, B. (2008). *La prise en compte du développement durable dans la politique agricole française: une lecture institutionnaliste*. Communication présentée au colloque international Organisé par le CLERSÉ (CNRS et Université de Lille 1) *La problématique du développement durable vingt ans après : nouvelles lectures théoriques, innovations méthodologiques et domaines d'extension* Lille 20-22 novembre 2008 consultable à partir de <http://www2.dijon.inra.fr/cesaer/fichiers/pagesperso/boinon/S3%20Boinon%20et%20alii.pdf>
- Bonneuil, C. (2006). Cultures épistémiques et engagement public des chercheurs dans la controverse OGM. *Natures Sciences Sociétés*, 14(3), pp. 257-268.
- Bonneuil, C., et Thomas, F. (2009). *Gènes, pouvoirs et profits: recherche publique et régimes de production des savoirs de Mendel aux OGM*. Éditions Quae.
- Bonneviale, J.R., Jussiau, R. et Marshall, E. (1989). Approche globale de l'exploitation agricole. Comprendre le fonctionnement de l'exploitation agricole : une méthode pour la formation et le développement. Ed. INRAP, 329
- Bonny, S. (1994). Les Possibilités d'un Modèle de Développement Durable en Agriculture. Le cas de la France. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*. Vol. 213, pp. 5-15.
- Bonny, S. (1997). L'agriculture Raisonnée, l'agriculture intégrée et FARRE Forum de l'agriculture Raisonnée respectueuse de l'environnement. *Natures, Sciences et Sociétés*, 5, pp. 64-71.
- Bonny, S. (2010). L'intensification écologique de l'agriculture : voies et défis. *In Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food - Actes du symposium ISDA 2010, Montpellier 28 juin - 1 juillet 2010* (p. 1-11). Presented at ISDA 2010. Innovation and sustainable development in agriculture and food, Montpellier, FRA (2010-06-28 - 2010-07-01). Montpellier, FRA : Editions du CIRAD; INRA; Montpellier SupAgro.
- Bordogna Petriccione, B. (2004). De l'utilisation de la notion de risque dans le débat public sur les biotechnologies. *Revue européenne des sciences sociales*. pp. 73-108.
- Boudon R. et Clavelin M. (dir.) (1994). *Le relativisme est-il résistant ? Regards sur la sociologie des sciences*. Paris : PUF.
- Boudon, R. (1984). *La place du désordre. Critique des théories du changement social*. Paris, Presses universitaires de France.

- Boudon, R. (1992). Action. in *Traité de sociologie*. Boudon, R. (dir.), Paris, Presses universitaires de France, pp. 21-55
- Boulaine, J. (1992). *Histoire de l'Agronomie*. Paris, Tec et Doc Lavoisier, 392 p.
- Boulanger, P-M. (2008). Une gouvernance du changement sociétal : la transition management. *La Revue Nouvelle*, 11, pp. 61-73
- Bourdieu, P. (2001). *Science de la science et réflexivité*. Paris, Éditions Raisons d'agir
- Bousquet, N. (2014). Peut-on disposer de seuils de traitement pour tous les bioagresseurs. *Perspectives Agricoles*, 240, avril 2014, p. 8
- Boy, D. (2010). Le Grenelle de l'environnement : une novation politique ? *Revue française d'administration publique* 2010/2 (n° 134), pp. 313-324
- Boy, D., Brugidou, M., Halpern, C., et Lascoumes, P (dirs). (2012). *Le Grenelle de l'environnement: Acteurs, discours, effets*. Armand Colin/Recherches, 320 p.
- Bransford, J., Vye, N., Stevens, R., Kuhl, P., Schwartz, D., Bell, P., Meltzoff, A., Barron, B. Pea, R., Reeves, B., Roschelle, J. et Sabelli, N. (2006). *Learning Theories and Education : Toward a Decade of Synergy*. in Alexander, P.A et Winne P.H. (éd.), *Handbook of Educational Psychology* (2e édition), Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, pp. 209-244
- Bravo-Torija, B. (2012). *El desempeño de las competencias científicas de uso de pruebas y modelización en un problema de gestión de recursos marinos*. Thèse de doctorat, Universidade de Santiago de Compostela, Facultade de Ciencias da Educación
- Bravo-Torija, B., et Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Progression in complexity: contextualizing sustainable marine resources management in a 10th grade classroom. *Research in Science Education*, 42(1), 5-23.
- Brenot, J., Bonnefous, S., et Marris, C. (1998). Testing the cultural theory of risk in France. *Risk analysis*. 18 (6), pp. 729-739
- Briquel, V., Vilain, L., Bourdais, J. L., Girardin, P., Mouchet, C., et Viaux, P. (2001). La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles) : une démarche pédagogique. *Ingénieries-EAT*, (25), p. 29-39
- Brossard, M. (2004). Vygotski, lectures et perspectives de recherches en éducation [Vygotsky, lectures and perspectives on educational research]. *Villeneuve d'Ascq, France: Presses universitaires du Septentrion*.
- Brossier, J. (1980). De la recherche sur les décisions des agriculteurs à la formation économique des agriculteurs. *Économie rurale*. n°136, pp. 39-46. doi : 10.3406/ecoru.1980.2697
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ecoru_0013-0559_1980_num_136_1_2697
- Brossier, J., Chia, E., Marshall, E. et Petit, M. (1997). *Gestion de l'exploitation agricole familiale. Éléments théoriques et méthodologiques*. Dijon : Educagri ; 221 p.
- Brousseau, G. (1984). Le rôle du maître et l'institutionnalisation. in *Recueil de textes et comptes rendus ; IIIème école d'été de didactique des mathématiques 2-13 juillet 1984 ; Olivet (Orléans) ; Edition des actes ; équipe de didactique des mathématiques et de l'informatique Université 1 de Grenoble et CNRS Institut IMAG , Saint Martin d'Hères*.

- Bruner, J. S., Deleau, M., et Michel, J. (1983). *Le développement de l'enfant: savoir faire, savoir dire*. Presses universitaires de France
- Buchs, C., Darnon, C., Quiazade, A., Mugny, G., et Butera, F. (2008). Conflits et apprentissage. Régulation des conflits sociocognitifs et apprentissage. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (163), pp. 105-125.
- Burger, P. Berton, S., Billaz, R., et Lebreton, A. (2013). *Agroécologie, une transition vers des modes de vie et de développement viables. Paroles d'acteurs*. Editions Cari 2012 Centre d'actions et de réalisations internationales http://www.gtdesertification.org/IMG/pdf/agro2012_VF.pdf consulté le 14 avril 2015
- Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I. et Volay T. (2010). *Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ?* Synthèse du rapport d'études, INRA Editeur (France), 90 p.
- Butault, J. P., Delame, N., Jacquet, F., Rio, P., Zardet, G., Benoit, M., ... & Varchavsky, M. (2009). *Ecophyto R&D. Vers des systèmes de culture économes en pesticides. Volet 1. Tome VI: analyse ex ante de scénarios de rupture dans l'utilisation des pesticides*.
- Butault, J-P., Delame, N., Jacquet, Fl., et Zardet, G. (2011). L'utilisation des pesticides en France : état des lieux et perspectives de réduction. *Notes et Études Socio-Économiques (NESE)*, 35, MAAPRAT-SG-SSP, octobre 2011, pp. 7-26
- Buttel, F., H. (2003). *Envisioning the Future Development of Farming in USA : agroecology between extinction and multifunctionality?* Wiszconsin, University of Wisconsin (présentation sur le site de l'Université du Wisconsin à l'adresse www.agroecology.wisc.edu/downloads/buttel.pdf consulté le 25 avril 2012
- Buty, C., Badreddine, Z., et Régnier, J. C. (2012). Didactique des sciences et interactions dans la classe: quelques lignes directrices pour une analyse dynamique. *ENSAIO Pesquisa em educação em ciências*, 14(1), pp.147-165
- Buty, C., et Plantin, C. (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Paris, France : Institut national de recherche pédagogique
- Cabell, J. F., et M. Oelofse. 2012. An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society* 17(1): 18. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- Cadet, B., et Kouabéban, D. R. (2005). Évaluer et modéliser les risques : apports et limites de différents paradigmes dans le diagnostic de sécurité. *Le travail humain*, 1/2005, Vol. 68, p. 7-35 URL : www.cairn.info/revue-le-travail-humain-2005-1-page-7.htm. DOI : [10.3917/th.681.0007](https://doi.org/10.3917/th.681.0007).
- Callon, M. (1986). Éléments pour une sociologie de la traduction: la domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année sociologique (1940/1948-)*, 36, pp. 169-208.
- Callon, M. (2003). Science et société: les trois traductions. *Cahiers du Mouvement universel de la responsabilité scientifique*, 42, fascicule thématique: " Remettre la science en culture".
- Callon, M., et Ferrary, M. (2006). Les réseaux sociaux à l'aune de la théorie de l'acteur-réseau. *Sociologies pratiques*, 2006/2 (n° 13), p. 37-44. DOI 10.3917/sopr.013.0037
- Callon, M., et Latour, B. (1981). Unscrewing the big Leviathan: how actors macro-structure reality and how sociologists help them to do so. *Advances in social theory and methodology: Toward an integration of micro-and macro-sociologies*, pp. 277-303.

Callon, M., Lascoumes, P et Barthe, Y., (2001). *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*. Paris: Le Seuil, 358p.

Callon, M., Law, J., et Rip, A. (1985). *Texts and their Powers: Mapping the Dynamics of Science and Technology*. London Macmillan

Calvet, A., et Vergnolle Mainar, C. (2011). Enseigner la géographie dans une perspective d'éducation au développement durable (EDD). In *Environnement et développement durable*. Dugrip, O. (dir.). *Pastel, La Revue de l'Académie de Toulouse*, 2, pp. 11-16

Calvez, M. (2004). *Incertitude, risque et handicap. Jalons d'analyse culturelle*. Mémoire pour l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches. Université de Rennes2 Haute Bretagne. présentée le 11 juin 2004, directeur scientifique : Armel Huet, 162 p + Annexes (23 p, 132 p., 143 p.) <http://halshs.ccsd.cnrs.fr/halshs-00005903/en/> <http://tel.archives-ouvertes.fr/halshs-00005903/fr/>

Calvez, M. (2006). L'analyse culturelle de Mary Douglas: une contribution à la sociologie des institutions. *SociologieS*. [En ligne], Théories et recherches, mis en ligne le 22 octobre 2006, consulté le 14 août 2014. URL : <http://sociologies.revues.org/522>

Cancian, N. et Magne, MA. (2015). Module de formation "M58/BTS ACS", l'approche fonctionnelle. AAT accompagnement de la rennovation du BTS ACSE. Sessions de Paris et de Toulouse

Cancian, N. et Simonneaux, L. (2012) – Mapping controverses about the use of pesticides and agronomy teaching"- 9th conference of European Researchers in Didactics of Biology (Eridob)- Berlin 18 au 21 septembre 2012

Cancian, N., Bousquet B., et Magne M.A., (2013). Former les enseignants d'agronomie de l'enseignement agricole technique à enseigner à produire autrement. In Conseil et formation en agronomie : adaptation aux nouveaux défis de l'agriculture. *Agronomie, Environnement et Sociétés*, vol.3, n°2, décembre 2013, pp. 73-81

Cancian, N., et Simonneaux, L. (2013). Construire et analyser des cartographies des controverses sur l'usage des pesticides de synthèse en agriculture en 1983 et en 2007 : enjeux pour l'enquête socio-épistémologique - *Penser l'éducation*. Hors série. 503-520.

Capillon, A., et Sebillotte M. (1982). *Etude des systèmes de production des exploitations agricoles. Une typologie*. In Servant J., Pinchinat A. (Dir.). *Caribbean Seminar on Farming Systems Methodology*. Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, FWI, may 4-8,1980, San José, Costa Rica, 1982, iica/inra, p. 85-111

Cardona, A. (2011). Initiatives innovantes en grandes cultures : des pratiques alternatives reconnues aux transformations silencieuses. *Pour*, 2011/5 N° 212, pp. 87-93. DOI : 10.3917/pour.212.0087 <http://www.cairn.info/revue-pour-2011-5-page-87.htm> consulté le 15 janvier 2014

Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., et Abel., N. (2001). From metaphor to measurement: Resilience of what to what? *Ecosystems* 4, 8, pp. 765-781 <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9> consulté le 14 avril 2015

Carpentier, A., Dedryver, C. A, Reau, R., Volay, T. (coord.) (2005). VOLET 1. Tome I : méthodologie générale Groupe d'experts «Méthodes». In Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas P., Savary, S., Savini, I., et Voltz, M. (éditeurs) (2005b). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux.. Rapport d'Expertise scientifique collective*, INRA et

Cemagref (France), 902p. consultable à partir de <http://www.aspro-pnpp.org/wp-content/uploads/2012/01/Rapport-dexpertise-Pesticides.pdf> consulté le 20 septembre 2015

Carr, W., et Kemmis, S. (1986). *Becoming Critical : Education, Knowledge and Action research*. Lewes : The Falmer Press.

Carson, R. (1994). *Silent Spring*. 1962.

Carver, C. (2003). Pleasure as a sign you can attend to something else: Placing positive feelings within a general model of affect. *Cognition & Emotion*, 17(2), pp. 241-261.

Caussanel J.P, Barralis G., Vacher C., Fabre F., Morin, C. et Branthome X., (1986). La détermination des seuils de nuisibilité des mauvaises herbes : Méthodes d'études. Perspectives agricoles, 108, pp. 58-65

Caussanel, J.P. (1989). Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomy for Sustainable Development*, 9, 3, pp. 219-240

Caussanel, J.P., (1988). Nuisibilité et seuil de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle. Situation de concurrence bispécifique. Doc. COLUMA, Dijon (France), I , pp. 99-112.

Cavelier, N., Leroux, P., Hanrion, M., et Cure, B. (1985). Résistance de *Pseudocercospora herpotrichoides* aux benzimidazoles et thiophanates chez le blé d'hiver en France1. *EPPO Bulletin*, 15(4), pp. 495-502.

Cavet, A. (2007). L'enseignement des « questions vives » : lien vivant, lien vital, entre école et société ? . *Dossier d'actualité Veille et Analyse*. n°27
En ligne : <http://ife.ens-lyon.fr/vst/DA/detailsDossier.php?parent=accueil&dossier=27&lang=fr> consulté le 22 février 2013

Cazal, D., (2007). *Traductions de la traduction et acteur-réseau : sciences, sciences sociales et sciences de gestion ?* Colloque Organiser le tâtonnement Perspectives social-constructionnistes en sciences de gestion, Université Paris-Dauphine, 14 juin.

CCMSA (2010). *Phytosanitaires et pratiques agricoles : Phyt'attitude au cœur de la prévention 1997-2007 : 10 années de bilans*. Téléchargeable http://ssa.msa.fr/lfr/documents/21447876/0/11155_PHYTOSANITAIRES+ET+PRATIQUES+AGRICOLES_PHYT+ATTITUDE.pdf consulté en juillet 2015

Cella, R., Boursault, A., Petit, S., et Chauvel, B. (2010). *Estimation et analyse de la prédation des semences d'adventices par deux communautés biologiques - phasianidae et carabidae*. AFPP, 21ème conférence du Columa. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. Dijon, 8 et 9 décembre 2010, communication

Cerf M., Guillot, M-N., et Olry P. (2010). Réélaborer ensemble les situations de conseil agricole : l'accès à la tâche par la formation-action. *Travail & Apprentissages*, 6, pp. 125-149.

Cerf, M. (1996). Les connaissances mobilisées par des agriculteurs pour la conception et la mise en œuvre de dispositifs d'intervention culturale. *Le Travail Humain*, tome 59, 4, pp. 305-334.

Cerf, M., et Meynard, J.M., (1988). Enquête sur la mise en oeuvre des méthodes de fertilisation raisonnée. 3e Forum national de la fertilisation raisonnée. Ed. COMIFER, Nancy, juin 1988, pp. 5-12.

- Cerf, M., Omon, B., Barbier, C., David, O., Delbos, C., Gagneur, C. A, Guillot, M.N., Lusson, J.M., Minas, A., Mischler, P., Olry, P., et Petit, M.S. (2012a). Les métiers d'agent de développement agricole en débat: comment accompagner des agriculteurs qui changent leur façon de cultiver en grandes cultures? *Innovations agronomiques*, 20, pp. 49-78, Colloque RMT Systèmes de culture innovants du 21 octobre 2011
- Cerf, M., Omon, B., Barbier, C., David, O., Delbos, C., Gagneur, C.-A., Guillot, M.N., Lusson, J.M., Minas, A., Olry, P., et Petit, M.S. (2012b). Agents de développement : des métiers en débat. Comment accompagner des agriculteurs qui changent leur façon de cultiver ? *Innovations Agronomiques*, 20, pp. 27-47.
- Cerf, M., Papy, F., et Angevin, F. (1998). Are farmers expert at identifying workable days for tillage? *Agronomie*, 18 (1), pp. 45-59.
- Champeaux C. (2006). *Recours à l'utilisation de pesticides en grandes cultures. Evolution de l'indicateur de fréquence de traitement au travers des enquêtes « Pratiques Culturelles » du SCEES entre 1994 et 2001*. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), UMR 211 Agronomie Grignon. 101 p.
- Champy, P., et Etévé, C. (Eds.). (2011). *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation: 3ème version*. Retz.
- Chang Rundgren, S. N., et Rundgren, C. J. (2010). SEE-SEP: From a separate to a holistic view of socioscientific issues. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(1).
- Chang, S. N., et Chiu, M. H. (2008). Lakatos' scientific research programmes as a framework for analysing informal argumentation about socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1753-1773.
- Chantre, E. (2011). *Apprentissages des agriculteurs vers la réduction d'intrants en grandes cultures : Cas de la Champagne Berrichonne dans les années 1985-2010*. Thèse (PhD), AgroParisTech, Paris Institute for Life, Food and Environmental Sciences, 397 p.
- Chantre, E. (2013). L'apprentissage des agriculteurs en transition agroenvironnementale. *Pour*, 219, p. 141-150.
- Charlot, B. (1997). *Du rapport au savoir. Eléments pour une théorie*. Anthropos. Poche éducation
- Charlot, B. (1999). Le rapport au savoir. In Bourdon, J. et Thélot Cl. (dir), *Education et formation : l'apport de la recherche aux politiques éducatives*. Paris : Editions du CNRS, pp. 17-34.
- Chateauraynaud, B., (2004). L'Epreuve du tangible. Expériences de l'enquête et surgissements de la preuve (2004). In *La croyance et l'enquête. Aux sources du pragmatisme. Raisons pratiques*. EHESS, Vol 15, pp. 167-194
- Chateauraynaud, F. (2011). *Argumenter dans un champ de forces. Essai de balistique sociologique*. Paris : PETRA.
- Chateauraynaud, F., et Torny, D. (1999). *Les Sombres précurseurs, une sociologie pragmatique de l'alerte et du risque*. Paris, Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, 1999, 480 p.
- Chauvin, B., et Hermand, D. (2008). Contribution du paradigme psychométrique à l'étude de la perception des risques : une revue de littérature de 1978 à 2005. *L'Année psychologique*, 108, pp 343-386

- Chazelle, R., et Pecqueux, M. (2013). *Evaluation des stratégies et résultats de positionnement des EPLEFPA sur les principaux plans d'action publique : Ecophyto 2018, plan AB horizon 2012, HVE, SNB, EDD, PNA*. Diaporama de présentation de l'inspection de l'enseignement agricole, Séminaire ÉCOPHYTO : 27 novembre 2013 consultable à l'adresse <http://www.adt.educagri.fr/index.php?id=215> consulté le 24 septembre 2014
- Chevallard, Y. (1985) *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble, La Pensée sauvage Éditions
- Chevallard, Y. (1997). *Questions vives, savoirs moribonds : le problème curriculaire aujourd'hui*. Communication au Colloque Défendre et transformer l'école pour tous, Marseille, 3-5 octobre 1997, pp. 3-5
- Chevallard, Y. (2010). La didactique, dites-vous ?. *Education et didactique*, 4(1), pp. 139-148.
- Chevallier-Gaté, C. (2014). La place des émotions dans l'apprentissage : vers le plaisir d'apprendre. *Educatio* [En ligne], 3 | 2014, mis en ligne juillet 2014. URL : <http://revue-educatio.eu> consultée 18 juillet 2015
- Chollet, P., Fleury, B., Le Clanche, J-F. et Petermann, P. (2001). *Mettre en œuvre le module EATC en classe de seconde*. Educagri Editions
- Chomsky, N. (1975). *Reflections on language*. New York, 3.
- Chrétien, F. (2013). Les conceptions de la nature et du vivant, quelles places ont-elles dans les espaces agricoles d'apprentissage agricole ? *Pour*, 219, pp. 131-140
- Cochran-Smith, M. (1991). Learning to teach against the grain. *Harvard educational review*, 61(3), pp. 279-311.
- Coenen-Huther, J. (2010). Les sociologues et le postulat de rationalité. *Revue européenne des sciences sociales* [En ligne], XLVIII-145 | 2010, mis en ligne le 01 mars 2013, consulté le 25 juillet 2015. URL : <http://ress.revues.org/735> ; DOI : 10.4000/ress.735
- Coïc, Y. (1949). L'apport, à dose normale et à une époque favorable, d'engrais azotés immédiatement assimilables peut provoquer ultérieurement un besoin supplémentaire d'azote. *CR Acad. Agric. Fr*, 35(2), 79-82.
- Cointat, M. (2007). Modernité et mémoire. In Robin, P. (eds). *Histoire et agronomie: entre ruptures et durée*. IRD Editions. pp.173-180
- Colbach N., Gibot-Leclerc S., Granger S., Moreau D., Voisin A.-S., et Bockstaller C., (2014). *Analyse et modélisation des effets des pratiques agricoles sur les services et disservices écosystémiques dépendant des adventices. Application à l'évaluation et la conception de systèmes de culture économes en herbicides (Florsys)*, rapport intermédiaire, programme Pesticides (APR 2011), 25 p.
- Cole, M. (1996). *Cultural Psychology: A Once and Future Discipline*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Collectif (2002). Loi d'orientation agricole, savoirs et qualifications professionnelles. Analyse des enjeux et perspectives pour l'évolution des savoirs. *Actes des séminaires des 9-10 octobre 2001 et 29-30 janvier 2002 Paris et rapport de synthèse du chantier Prospea*. Educagri éditions.
- Colledge, S (1998) Identifying pre-domestication cultivation using multivariate analysis. In: Damania AB, Valkoun J, Willcox G, Qualset C (eds) *The origins of agriculture and crop domestication*. ICARDA, Aleppo (Syria), pp. 121-131

- Collins, A. M., et Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Memory and Language*, 8(2), 240.
- Collins, H. M. and S. Yearley (1992). Epistemological Chicken. In A. Pickering (Ed.) *Science as Practice and Culture*. Chicago, Chicago University Press, pp. 301-326.
- Compagnone, C. (2011). Quelles formes d'accompagnement des agriculteurs à l'innovation ? *Pour*, 5, 212, pp. 123-128
- Conway G. (1987). The properties of agrosystems. *Agricultural systems*, 24, 2, pp. 95-117.
- Coquidé, M., Fortin, C., et Lasson, C. (2010). *Quelles reconfigurations curriculaires dans le cadre d'un enseignement intégré de science et de technologie?* Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF). Université de Genève (septembre), <https://plone.unige.ch/aref2010/communications-orales/premiers-auteurs-en-c/Quelles%20reconfigurations%20curriculaires.pdf>. Consulté 12 juillet 2014
- Courtois, R. (2011). *Les conduites à risque à l'adolescence: Repérer, prévenir et prendre en charge*. Dunod. 304 p.
- Cousinié, P. (2014). Les effets de l'innovation agronomique dans les établissements d'enseignement agricole de l'action 16 d'Ecophyto. *Pour*, n°211, avril 2014, pp. 15-20
- Cowan, N. (1996). Short-Term Memory, Working Memory, and Their Importance in Language Processing. *Topics in language disorders*, 17(1), pp. 1-18.
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory?. *Progress in brain research*, 169, pp.323-338
- Cranney, J. (1996). *Inra-50 ans d'un organisme de recherche*. Editions Quae
- Cros, F., et Raïsky, C. (2010). Référentiel. *Recherche et formation* [En ligne], 64 | 2010, mis en ligne le 01 mai 2014. URL : <http://rechercheformation.revues.org/215>
- Crowder, N. A. (1960). Automatic tutoring by intrinsic programming. In Lumsdaine A.A. & R. Glaser (dir.), *Teaching machines and programmed learning: A source book*. Washington, D.C. : National Education Association, Department of Audiovisual Instruction, pp. 286-298
- Curd, M., et Cover, J. (eds) (1998). *Philosophy of science: The central issues*. New York Norton and Compagy
- Dake, K. (1991). Orienting Dispositions in the Perception of Risk: An Analysis of Contemporary Worldviews and Cultural Biases. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 22, pp. 61-82.
- Damasio, A.R. (1995). *L'erreur de Descartes : la raison des émotions*. Paris : Odile Jacob
- Danvers, F. (2003). *500 mots-clefs pour l'éducation et la formation tout au long de la vie*. PU du Septentrion. 2è édition, 698 p.
- Darré, J.P. (2004). Bases théoriques et antécédents de l'étude des formes de connaissances dans les activités pratiques. In *Le sens des pratiques: conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes* Darré, J. P., Mathieu, A., et Lasseur, J. (eds). Editions Quae, pp. 53-69
- David, P. A. (1985). Clio and the economics of QWERTY. *American Economic Review*, 75(2), pp. 332-337
- De Corte, E. (2010). Les conceptions de l'apprentissage au fil du temps in Comment apprend-on ? : La recherche au service de la pratique. pp. 39-65 In OCDE (2010). *Comment apprend-*

on ? : *La recherche au service de la pratique*, Éditions OCDE. Téléchargeable à partir de <http://dx.doi.org/10.1787/9789264086944-fr> consulté le 02 août 2013

De Gasquet O., (2002). *Comprendre notre agriculture et la PAC. Stratégie, vérités et mensonges de 1945 à nos jours*, Paris, Vuibert, 226 p. (Gestion internationale).

De Landsheere, G. (1979). *Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation*. Paris, P.U.F.

De Landsheere, G., et Mialaret, G. (1982). *Introduction à la recherche en éducation*. Liège G Thone

De Raymond, A.B., et Goulet, F. (2014). *Sociologie des grandes cultures : Au cœur du modèle industriel agricole*. Editions Quae, 224 p.

De Schutter, O. (2011). *Agroécologie et droit à l'alimentation*. Rapport présenté à la 16ème session du Conseil des droits de l'homme de l'ONU [A/HRC/16/49], 8 mars 2011 téléchargeable <http://www.srfood.org/fr/rapport-agroecologie-et-droit-a-l-alimentation> consulté en 22 février 2015

De Vecchi, G. et Carmona-Magnaldi, N (2015). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Hachette éducation. 252p.

De Vecchi, G. et Carmona-Magnaldi, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Paris : Hachette

Debaeke, P. (1997). Le désherbage intégré en grande culture : bases du raisonnement et perspectives d'application. *Cahiers Agricultures*, 6, pp.185-194

Debatisse, M. (1963). *La révolution silencieuse: le combat des paysans*. Calman-Lévy.

Dedieu, B., Faverdin P., Dourmad J.Y., et Gibon A. (2008). Système d'élevage, un concept pour raisonner les transformations de l'élevage. In *Numéro spécial, 20 ans de recherches en productions animales à l'INRA*. Charley B., Herpin P., Perez J.M. (Eds). INRA Prod. Anim., 21, pp. 45-58.

Deguine, J.-P., Ferron, P., et Russel, D. (2008). *Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie*, Versailles, Editions Quae, 187 p.

Delannoy, C. (2005). *La motivation : désir de savoir, décision d'apprendre*. Paris : CNDP-Hachette Education,

Delbos, C., David, O., Minas, A., Cerf, M., Falgas, C., Gagneur, C.A., Gilet, J.D., Laudinot, V., Sigwalt, A., et Waldmeier, E. (2014). Conseil agronomique et réduction des pesticides : quelles ressources pour affronter ce nouveau challenge professionnel ? *Innovations Agronomiques*, 34, pp. 367-378

Delchambre, J.P., et Marquis, N. (2013). Les modes d'existence expliqués aux modernes, ou le monde pluriel selon Bruno Latour. *SociologieS* [Online], Discussion, La situation actuelle de la sociologie, Online since 19 November 2013, consulté le 20 août 2015. URL : <http://sociologies.revues.org/4478>

Delory-Momberger, C. (2003). *Biographie et éducation : figures de l'individu-projet*. Paris : Anthropos

Délye, C., Deulvot, C., et Chauvel, B. (2013). DNA analysis of herbarium specimens of the grass weed *Alopecurus myosuroides* reveals herbicide resistance pre-dated herbicides. *PLoS one*, 8(10), e75117.

Denis, G. (2007). L'Agronomie au sens large. Une histoire de son champ, de ses définitions et des mots pour l'identifier. In Paul Robin, Jean-Paul Aeschlimann et Christian Feller (éds.). *Histoire et agronomie*, Paris, IRD, pp. 605-624

Derock, D., Douville, C., Dupuis, E. et Levrel, B., (2008). *Eléments pour un plan d'action Plantes messicoles et compagnes remarquables des cultures du département de l'Eure*. Etude réalisée dans le cadre des Espaces Naturels Sensibles du département de l'EURE

Develay, M., (1993). De l'apprentissage à l'enseignement. Pour une épistémologie scolaire, Paris, ESF éditeur, 1992, 163 p.

Dewey, J. (1915). Introductory Address. *Science*, Vol. 41, No. 1048 (Jan. 29, 1915), pp. 147-151

Dewey, J. (2005). La réalité comme expérience. Tracés. *Revue de Sciences humaines*, (9), pp. 83-91.

Deytieux, V., Vivier, C., Minette, S., Nolot, J. M., Piaud, S., Schaub, A., Lande, N., Petit, M.S., Reau, R., Fourrié, L., et Fontaine, L. (2012). Expérimentation de systèmes de culture innovants: avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innovations agronomiques*, 20, pp. 49-78

DGCCRF (2012). *Surveillance et contrôle des résidus de pesticides dans les produits d'origine végétale en 2010 - 11/12/2012*. consultable en ligne <http://www.economie.gouv.fr/dgccrf/surveillance-et-contrôle-des-résidus-pesticides-dans-produits-dorigine-vegetale-en-2010> consulté le 25 juin 2015

DGER (2009). Ecriture des référentiels de diplômes professionnels. Diaporama en ligne produit dans le cadre du lancement de la rénovation du Bac pro CGEA. consultable à l'adresse http://www.chlorofil.fr/fileadmin/user_upload/diplomes/ref/bacpro/bacpro-NouvelleEcritureRefDipProf.pdf

DGER (2009). [Le guide d'écriture des référentiels de diplômes professionnels](#) - consultable à l'adresse <http://www.chlorofil.fr/diplomes-et-referentiels/formations-et-diplomes/baccalaureat-professionnel/infos-communes.html#c4057> consulté le 30 janvier 2014

DGER (2009). Une nouvelle écriture des référentiels de diplôme professionnel. Diaporama de présentation consultable à l'adresse <http://www.chlorofil.fr/diplomes-et-referentiels/formations-et-diplomes/baccalaureat-professionnel/infos-communes.html#c4057> consulté le 30 janvier 2014

DGER (2010). Ecriture des référentiels de diplômes professionnels - Glossaire. Avril 2010. consultable à l'adresse http://www.chlorofil.fr/fileadmin/user_upload/diplomes/ref/bacpro/bacpro-GlossaireAvril2010.pdf

DGER-IEA (2009). *Rapport de L'Inspection de L'Enseignement Agricole 2007-2008*. Educagri Editions consultable en ligne http://www.chlorofil.fr/fileadmin/user_upload/systeme/organisation/IEA/rapport-IEA-2007-2008.pdf

DGER-IEA. (2013). Expertise des résultats d'examen du baccalauréat professionnel à la session 2013. Rapport R13 010, 36 p.

Doise, W., et Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris : InterEditions.

- Doise, W., Mugny, G., et Perret-Clermont, A.-N. (1975). Social interaction and the development of cognitive operations. *Eur. J. Social Psychol.*, 5 (1975), pp. 367–383
- Doré T., Le Corre-Gabens N., et Meynard J.M., (2011). Le Grenelle de l'Environnement : implications pour l'agronomie et les métiers d'agronomes. *Agriculture, environnement et sociétés*, 1(1), pp. 13-20
- Doré, T. (2013). Communication dans l'atelier 2 : enseigner à produire autrement. *Concertation pour l'avenir de l'enseignement agricole*. Paris, 29 mars 2013
- Doré, T. (2014). *Intervention orale lors de la conférence nationale « Produisons autrement » du 2 avril 2014*. Vidéo consultable sur <http://agriculture.gouv.fr/enseignement-et-formation/enseigner-produire-autrement-le-defi-de-la-recherche-et-de-l-enseignement> consulté le 30 octobre 2015
- Doré, T., (2012). L'art et la manière d'enseigner l'agronomie. in *Hommages à Michel Sebillotte. Penser et agir en agronome*. Paris : Quae.
- Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., et Roger-Estrade, J. (2006). *L'agronomie aujourd'hui*. Editions Quae.
- Dortier, J.F. (Dir) (2004). *Le dictionnaire des sciences humaines*. Auxerre : Sciences Humaines Editions
- dos Santos, W. L. P. (2014). Debate on global warming as a socio-scientific issue: science teaching towards political literacy. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), pp. 663-674.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11, pp. 147-62.
- Douaire, J. (2004)(coord.). *Argumentation et disciplines scolaires*. INRP
- Douglas, M. (1966). *Purity and Danger. An Analysis of the Concepts of Pollution and Taboo*. London/New York: ArkPaperbacks.
- Douglas, M. (1978). Cultural Bias. Occasional Paper no. 35. *Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*
- Douglas, M. (2001). *De la souillure : Essai sur les notions de pollution et de tabou*, Paris, La Découverte, Coll. 104, 205 p.
- Douglas, M. (2003). Being Fair to Hierarchists. *University of Pennsylvania Law Review* .Vol. 151, No. 4 (Apr., 2003), pp. 1349-1370
- Douglas, M. (2007). Pour ne plus entendre parler de la « culture traditionnelle. *Revue du MAUSS* 1/2007 (n° 29), p. 479-516 URL : www.cairn.info/revue-du-mauss-2007-1-page-479.htm. DOI : [10.3917/rdm.029.0479](https://doi.org/10.3917/rdm.029.0479).
- Douglas, M. (ed.). (1982) *Essays in the Sociology of Perception*. London/Boston, Routledge and Kegan Paul with Russell Sage Foundation
- Douglas, M. et Calvez, M. (1990). The self as risk taker: a cultural theory of contagion in relation to AIDS. *The Sociological Review* , vol. 38, 3, pp. 445-464.
- Douglas, M., et Wildavsky, A. (1983). *Risk and culture: An essay on the selection of technological and environmental dangers*. Univ of California Press.

Douglass, G.K. (1984). The Meanings of Agricultural Sustainability. In). *Agricultural Sustainability in a Changing World Order*. Douglass G.K (eds.). Westview Press, Boulder, Colorado.

Doury, M. (2009). « Sans faire allégeance » : l'euphémisme dans l'expression des accords et désaccords dans un débat politique. *Synergies Italie*, pp. 111-122.

Dreyfus, F. (2014). Rapport, synthèse de l'évaluation *in itinere* du réseau DEPHY (axe 2 action 14 du plan Ecophyto 2018. CGAAER n°1017724, p. 24

Driver, R., Leach, J., Millar, R. et Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. McGraw-Hill Education (UK), 172 p.

Driver, R., Newton, P., et Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science education*, 84(3), pp. 287-312.

Dubois, M. (2007). La construction métaphorique du collectif : dimensions implicites du prêt-à-penser constructiviste et théorie de l'acteur-réseau. *L'Année sociologique* 2007/1 (Vol. 57), p. 127-150. DOI 10.3917/anso.071.0127

Duby, G., et Wallon, A. (1980). La fin de la France paysanne. *in Histoire de la France rurale* tome 4, Editions seuil

Ducamp, C., et Simonneaux, L. (2012). *Connaissances et opinions des enseignants de l'enseignement agricole sur la chimie verte et le plan Ecophyto 2018*. Actes des 7ième rencontres scientifiques de l'ARDIST (Bordeaux, mars 2012), pp. 141-148.

Duclos, D. (1994). Quand la tribu des Modernes sacrifie au dieu Risque. *Déviance et société*, Vol. 18, 3, pp. 345-364. doi : 10.3406/ds.1994.1353 consultable en ligne à l'adresse http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ds_0378-7931_1994_num_18_3_1353 consulté le 25 juin 2015

Dufumier, M. (2012). *Famine au Sud, malbouffe au Nord. Comment le bio peut nous sauver ?* Nil, Paris, 196 p.

Dumas-Carré, A., et Weil-Barais, A. (eds)(1998). *Tutelle et Médiation dans l'enseignement scientifique*. Berne : Peter Lang.

Dumez, H. (2011). L'Actor-Network-Theory (ANT) comme technologie de la description Ou pourquoi nous sommes tous des fourmis décrivant. *Le Libellio d'AEGIS*, Vol. 7, n° 4–Hiver 2011

Dupuy, R., et Le Blanc, A. (2001). Enjeux axiologiques et activités de personnalisation dans les transitions professionnelles. *Connexions* 2/2001, 76, pp. 61-79

Duru, M., Papy, F., et Soler, L. G. (1988). Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, volume 74, 1988, pp. 81-91

Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 13 août 2014 URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/u-i-c-n-union-internationale-pour-la-conservation-de-la-nature/>

Endure (2010). *La protection intégrée dans l'agriculture européenne*. INRA, 36 p.

Erduran, S. et Jiménez-Aleixandre M. P. (dir.) (2007). *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Springer Science & Business Media, 14 déc. 2007. 294 p.

- Erduran, S., Simon, S., et Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science education*, 88(6), pp. 915-933.
- Evagorou, M. (2011). Discussing a socioscientific issue in a primary school classroom. Sadler, T. D. (Ed.). (2011). *Socio-scientific issues in the classroom: Teaching, learning and research* (Vol. 39). Springer Science & Business Media. pp. 133-166
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoirs scolaires*. Paris .
- Fabre, M. (2009). *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris, Vrin
- Fabre, M., et Musquer, A. (2009). Vers un répertoire d'inducteurs de problématisation. *Spiral-E 2009*, pp. 45-68.
- FAO (2014). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2014: Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation*. Rapport consultable sur <http://www.fao.org/publications/sofa/2014/fr/> consulté le 16 février 2015
- FAO, (1968). *Report of the first session of the FAO panel of experts on integrated pest control*. Rome, , September 18-22 1967. FAO-UN, Rome, 1968 ; Meet Rep PL/19671M/7, 19 p.
- Fardon, R. (2002). *Mary Douglas : An intellectual Biography*. Routledge, 4 janv. 2002,336p.
- Favre, D. (2007). *Transformer la violence des élèves : Cerveau, Motivations et Apprentissage*. Dunod, Paris, 312 pages, Réédition en mars 2008.
- Favre, D. (2010). *Cessons de démotiver les élèves: 18 clés pour favoriser l'apprentissage*. Dunod.
- Férat, F. (2006). L'enseignement agricole : une chance pour l'avenir des jeunes et des territoires. *Rapport d'Information du Sénat no, 27*.
- Féret, S., et Douguet, J.M. (2001). Agriculture durable et agriculture raisonnée. Quels principes et quelles pratiques pour la soutenabilité du développement en agriculture ? *Natures, Sciences, Sociétés*, 9(1), pp. 58- 64.
- Ferron, P. (1999). Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. In *La lutte biologique (II)*. Fraval, A., et Silvy, C. *Dossiers de l'Environnement de l'INRA n°19*, INRA Éditions, Paris, 274 p. En ligne à www.inra.fr/dpenv/ferpid19.htm
- Ferron, P., (1999). Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricultures*. Vol 8, n°5, Sept/octo 1999, pp. 389-396
- Feunteun, A., et Simon, D. L. (2009). Négociation perceptive et altérité en classe de langues. *Lidil. Revue de linguistique et de didactique des langues*, (39), pp. 57-71 [En ligne], mis en ligne le 28 septembre 2011, consulté le 29 août 2013. URL : <http://lidil.revues.org/3126>
- Fink, N., et Audigier, F. (2008). *Histoire, géographie, citoyenneté et éducation en vue du développement durable*. Communication présentée au Colloque international des didactiques de la géographie, de l'histoire et de l'éducation à la citoyenneté, Nantes.
- Fink, N., et Audigier, F. (2011). Grands principes et petits arrangements entre élèves: débats scolaires à propos du développement durable. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, (13), pp. 79-95.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., et Combs, B. (1978). How safe is safe enough ? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. *Policy Sciences*, 9, pp. 127-52.

- Flamant, J.C. (2010). *Une brève histoire des transformations de l'agriculture au 20^e siècle*. Publication agrobioscience 20 p. consultable sur www.agrobiosciences.org consulté le 01 aout 2014
- Flamant, J-C., (2010). *Cent ans d'agronomie à Toulouse – INP-ENSAT 1909-2009*. Editions de l'Aube.
- Fleury, B et Fabre, M. (2005). Psychanalyse de la connaissance et problématisation des pratiques pédagogiques : La longue marche vers le processus «apprendre, *Recherche et Formation, Formation et Problématisation*, INRP, Paris, 48, pp. 75–90.
- Fontaine, L., Bernicot, M.-H., Rolland, B., et Poiret, L. (2009). Des variétés rustiques concurrentes des adventices pour l'agriculture durable, en particulier l'agriculture biologique. *Innovations Agronomiques*, 4, pp 115-124
- Fontaine, L., Bonin, L., Lieven, J., Garnier, J.-F., Zaganiacz, V., Rodriguez, A., et Lemarié, P. (2013). Optimiser et promouvoir le désherbage mécanique en grandes cultures. *Innovations Agronomiques*, 28, pp. 113-125
- Fontaine, L., Rolland, B., Bernicot, M.H. (2008). *Contribution to organic breeding programmes of wheat variety testing in organic farming in France*. Proceedings XVIth IFOAM Organic World Congress, IInd ISO FAR scientific Conference, 18-20 June 2008, Modena, Italy. vol. 1, pp. 692-695. oral communication
- Fortin, C., Lasson, C. et Coquidé, M. (2013). Etude de cas de l'enseignement d'énergie : variation de contenus de l'enseignement intégré de sciences et de technologie au collège. In *Les contenus disciplinaires : approches comparatistes. Association internationale pour des recherches comparatistes en didactique*. Dir. Daunay, B. Reuter, Y. et Thépaut, A. Colloque (2 : 2011 : Lille), Presses Univ. Septentrion, 10 janv. 2013, pp. 37-50
- Foucault, M. (1993). *Surveiller et punir : naissance de la prison*, [Paris], Gallimard
- Fourche, R. (2004). Contribution à l'histoire de la protection phytosanitaire dans l'agriculture française, 1880-1970. *Ruralia* [En ligne], 15 | 2004, mis en ligne le 30 septembre 2005, consulté le 29 juillet 2014. URL : <http://ruralia.revues.org/1049>
- Fourez G. (dir.) (2006) *Approches didactiques de l'inter-disciplinarité*. De Boeck, Bruxelles, 283 p.
- Fourez, G. (1994). Des objectifs opérationnels pour l'A.S.T. [alphabétisation scientifique et technique] et îlots de rationalité. in Fourez, G., de Englebert-Lecomte, V., Grootaers, D., Mathy, P. et Tilman, F. (dir.). *L'alphabétisation scientifique et technique. Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles : De Boeck, pp. 49-67)
- Fourez, G. (1997). Qu'entend-on par îlot de rationalité? Et par îlot interdisciplinaire de rationalité?, *Aster*, 1997, 25. pp. 217-225
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiendehoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Porter, J., Flora, C. and Poincelot, R. (2003). Agroecology : the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22, pp. 99-118
- Frère, N. (2014). *Le raisonnement collaboratif, un processus d'apprentissage favorisant la co-construction de nouveaux savoirs situés en agro-écologie*. Mémoire de master2, ENFA.
- Friederichs, K. (1930) *Die Grundfragen und Gesetzmäßigkeiten der land-und forstwirtschaftlichen Zoologie*. Vol. 1: Ökologischer Teil, Vol. 2: Wirtschaftlicher Teil. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, Germany, pp. 417-443

- Frijda, N.H. (1986). *The Emotions*, Cambridge University Press, Cambridge, RU
- Funtowicz, S. O., et Ravetz, J. R. (1993). The emergence of post-normal science. In *Science, politics and morality*. Springer Netherlands, pp. 85-123
- Gaba S., Fried G., Kazakou E., Chauvel B. et Navas M-L. (2014). Agroecological weed control using a functional approach: a review of cropping systems diversity. *Agronomy for Sustainable Development*; 34, pp. 103-109. Synthèse
- Gaba, S., Chauvel, B., Dessaint, F., Bretagnolle, V., et Petit S. (2010). Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 138, pp.318-323
- Gaffard, J.L. (1990). Innovations et changements structurels : Revue critique de l'analyse moderne de l'innovation et des changements structurels. *Revue d'Économie Politique*, 3, p. 325-382.
- Gagneur, C.A. (2012). *Modélisation de la relation de conseil. Projet Casdar 9068 « Conseillers Demain » Action 1.3*. 69 p. téléchargeable à l'adresse http://www.chambre-agriculture-28.com/fichiers/documents/sdet_conseillers_demain/livrables/2_Modelisation%20relation%20conseil%202012%2001%2025%20VF2.pdf consulté le 15 juillet 2015
- Gailleton, J.J., et Moronval J.R. (2013). Comment la formation fait face à l'évolution des besoins de compétences des agriculteurs. In *Conseil et formation en agronomie : adaptation aux nouveaux défis de l'agriculture. Agronomie, Environnement et Sociétés*, vol.3, n°2, décembre 2013, pp. 49-54
- Gardner, GE., et Jones, MG. (2011). Sciences instructors' perceptions of risks of biotechnology : implications for science instruction. *Research in Science Education*, 41(5), pp. 711-738
- Gardner, H. (1985). *The mind's new science*. Basic Books.
- Garnier, E., et Navas, M.-L. (2011). A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*
- Gatignol, C. et Etienne, J-C (2010). *Rapport sur Pesticides et Santé, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques*, 262 p.
- Gauthier, G. (2002). L'argumentation éditoriale. Le cas des quotidiens québécois. *Studies in communication sciences*, n° 2 (2), pp. 21-46.
- Gauthier, G. (2005). Une caractérisation opératoire du raisonnement à l'épreuve d'un corpus d'éditoriaux. *Mots. Les langages du politique*, (78), pp. 93-104.
- Gazeau, B., Grimfeld, A., Jouzel, J., Le Grand, J.F., , Liebard, A., Notat, N., et Pelletier, P. (2010). Rapport d'évaluation du Grenelle de l'Environnement. Cabinet ERNST ET YOUNG Paris, 2010 - 211 p. consultable http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/EY_Evaluation_Grenelle_Rapport_Final_101026_entier.pdf consulté 29 novembre 2014
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., et Mangun, G. R. (2000). *Neurosciences cognitives: la biologie de l'esprit*. De Boeck Supérieur.
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes : a multi-level perspective and a case study. *Research Policy*, 31 (8/9), pp. 1257-1274

- Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental innovation and societal transitions*, 1(1), pp. 24-40.
- Geels, F. W., et Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research policy*, 36(3), pp. 399-417.
- Gerbaud, E. (2002). *Dynamique des communautés végétales en écosystèmes perturbés : Le cas des espèces adventives des cultures extensives du Parc Naturel Régional du Lubéron*. Thèse de doctorat, IMEP, Université d'Aix-Marseille I.
- Giddens, A. (1999). Risk and responsibility. *The modern law review*, 62(1), pp. 1-10.
- Gilly, M. (1995). Approches socio-constructives du développement cognitif de l'enfant d'âge scolaire. In Gaonach', G. et Golder, C. (Eds.). *Manuel de Psychologie pour l'enseignement*. Paris : Hachette. pp.130-167
- Giordan, A. (1996). Les conceptions de l'apprenant : Un tremplin pour l'apprentissage. *Sciences humaines* Hors série n°12, fév.-mars 1996. pp. 48-50
- Giordan, A. (1997). Nouvelles idées sur apprendre. in *Didactiques : Recherches et pratiques. Les Cahiers du CERF* n°5, 1^{er} sem. 1997. p. 161-197
- Giordan, A., et de Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir: des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel-Paris: Delachaux & Niestlé.
- Giordan, A., et Vecchi, G. D. (1990). *Les origines du savoir* (2e éd.). Lausanne: Delachaux et Niestlé. (*Œuvre originale publiée en 1987*).
- Giordan, A., Girault, Y., et Clément, P. (1994). *Conceptions et connaissances*. Peter Lang, Berne
- Girard, T. (2013). Comment pense Mary Douglas ? Risque, culture et pouvoir. *Ethnologie française*, XLIII, 1, pp. 137-145.
- Gitay, H., et Noble, I. R. (1997). What are functional types and how should we seek them. In Smith, T.M., Shugart, H.H., et Woodward, F.I. (eds). *Plant functional types : their relevance to ecosystem properties and global change..* Cambridge University Press, Cambridge, pp. 51-56
- Gliessman, S.R. (1998). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Gliessman, S.R. (2007). *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*. 2nd edn. Boca Raton: CRC Press
- Gloria, C. (2012) L'ergot en expansion en France. Réussir Grandes cultures consultable à partir de <http://grandes-cultures.reussir.fr/public/index.php?a=article&codeArticle=IKPB541B&fldSearch=elevage>
[L'ergot dépasse le seigle cet ancien compagnon de l'homme ressort les griffes](http://grandes-cultures.reussir.fr/public/index.php?a=article&codeArticle=IKPB541B&fldSearch=elevage) consulté de 09 août 2014
- Gorini, R. (2006). L'Affaire du pain maudit : empoisonnement dû à l'ergot ?. *Antropo*, 11, pp. 33-35. www.didac.ehu.es/antropo
- Goulet ,F., Magda, D., Girard, N., et Hernandez, V. (2012). L'agroécologie au cœur des interrogations sur la coexistence entre modèles de développement agricole. In *L'agroécologie en Argentine et en France, Regards croisés*. Goulet, F., Magda, D., Girard, N., et Hernandez, V. (Eds). L'Harmattan, pp. 239-251

- Goulet, F., et Meynard, J-M. (2012). Quelle agroécologie pour quelle agriculture ? Regards croisés en France et en Argentine et place de la question environnementale. *In L'agroécologie en Argentine et en France, Regards croisés*. Goulet, F., Magda, D., Girard, N., et Hernandez, V. (Eds). L'Harmattan, pp. 225-238
- Goulet, F., Pervanchon, F., Conneau, C., et Cerf, M. (2008). Les agriculteurs innoveront par eux-mêmes dans leurs systèmes de culture. *in ? R. Reau et T. Doré (Eds) Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*. Educagri, Dijon, pp. 53-69
- Graillet, V., Takakura, N., Le Hegarat, L., Fessard, V., Audebert, M. et Cravedi, J-P. (2012). Genotoxicity of pesticide mixtures present in the diet of the french population. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 53, pp. 173-184.
- Granier, G., et Veyret, Y. (2006). *Développement durable. Quels enjeux géographiques ?*, dossier n° 8053, Paris, La Documentation française, 3^e trimestre 2006, ([ISSN 0419-5361](#)), 63p.
- Grecco Morasso, S., Miserez-Caperos, C. et Perret-Clermont, A-N (2015). L'argumentation à visée cognitive chez les enfants. Une étude exploratoire sur les dynamiques argumentatives et psychosociales. *In Muller Mirza N. et Buty C. (eds). L'argumentation en contexte d'éducation*. Peter Lang SA Editions scientifiques internationales, Bernes, pp. 39-82
- Greeno, J. G. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American psychologist*, 53(1), pp. 5-26
- Greeno, J. G., Moore, J. L. et Smith, D. R. (1993). Transfer of situated learning. In D. K. Detterman et R. J. Sternberg (dir.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation. pp. 99-167
- Griffon, M. (2006). *Nourrir la planète*. Odile Jacob, Paris
- Griffon, M. (2013). *Qu'est ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Editions Quae, 221 p.
- Grimaldi, A. (2010). Les différents habits de l'« expert profane ». *Les Tribunes de la santé* 2/2010, 27, pp. 91-100 URL : www.cairn.info/revue-les-tribunes-de-la-sante-2010-2-page-91.htm. DOI : [10.3917/seve.027.0091](https://doi.org/10.3917/seve.027.0091)
- Grisez, C. (2011). Grenelle de l'environnement : un processus original, un projet pour l'agriculture. In Revue AE&S « *Agronomie et Grenelle de l'Environnement* » vol.1, n°1 septembre 2011, pp. 4-12
- Grize, J. B. (1982). *De la logique à l'argumentation*. Librairie Droz. 267 p.
- Grossetti, M. (2006). « Les limites de la symétrie », *SociologieS* [En ligne], La recherche en actes, Les limites de la symétrie, mis en ligne le 22 octobre 2007, consulté le 17 août 2014. URL : <http://sociologies.revues.org/712>
- Grundstein, M. (2002). *Gameth : un cadre directeur pour repérer les connaissances cruciales pour l'entreprise*. Rapport d'étude cabinet MG Conseil, 18 p. consultable en ligne https://www-sop.inria.fr/intech/knowledge_management/RRGrundstein.pdf consulté le 16 mars 2015
- Guichard, L., Ballot, R., Halska, J., Lambert, E., Meynard, J.M., Minette, S., Petit, M.S., Reau, R., et Soullignac, V. (2015). AgroPEPS, un outil web collaboratif de gestion des connaissances pour produire, Echanger, Pratiquer, S'informer sur les systèmes de culture durables. *Innovations Agronomiques*, 43, pp. 83-94

- Guillou, M., Guyomard, H., Huyghe, C. et Peyraud, J.L. (2013). *Le projet agro-écologique : Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement -Propositions pour le Ministre*. Rapport d'étude, Agreenium, INRA, 163 p. consultable sur <http://agriculture.gouv.fr/remise-du-rapport-sur-lagro-ecologie-par-marion-guillou-stephane-le-foll> consulté le 10 janvier 2015
- Gunderson, L. H., et Holling, C. S. (2002). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington, D.C., USA
- Halpern, C., Boy, D., Lascoumes, P., Evrard, A., Pollard, J., Denord, F., Brudigou, M., Gaultier-Voituriez, O. et Senit, C. A. (2012). *Le Grenelle Environnement, acteurs, discours, effets*. [Research Report] Ministère de l'Ecologie, du Développement durable. 2012. <halshs-00665116>
- Hamblin, C. L. (1970). *Fallacies*. London: Methuen.
- Hartman, H. J. (2001). *Metacognition in learning and instruction: Theory, research and practice* (Vol. 19). Springer Science & Business Media.
- Hatano, G. et Inagaki, K. (1986). Two courses of expertise. In H. Stevenson, H. Azuma et K. Hakuta (dir.), *Child development and education in Japan*, New York, NY: W. H. Freeman, pp. 262-272.
- Hatano, G. et Osuro, Y. (2003). Commentary Reconceptualising School Learning Using Insight from Expertise Research. *Educational Researcher*, vol. 32, n° 8, pp. 26-29.
- Haudricourt A.G., (1987). *Technologie science humaine. Recherches d'histoire et d'ethnologie des techniques*, Maison des sciences de l'homme
- Hecht S.B. (1995). The evolution of agroecological thought. in Altieri M.A. (Ed.), *Agroecology: the science of sustainable agriculture*, Westview Press, Boulder, CO, USA, pp. 1-19
- Hennion, A. (2013). D'une sociologie de la médiation à une pragmatique des attachements. *SociologieS* [En ligne], Théories et recherches, mis en ligne le 25 juin 2013, consulté le 16 août 2014. URL : <http://sociologies.revues.org/4353>
- Henry, A., Toupet, A-L., Deytieux, V., et Reau, R. (2012). Préfiguration du dispositif DECI Ecophyto Recueil et analyse critique des règles de décision. Rapport d'étude Inra, 490 p.
- Hermand, D., et Chauvin, B. (2008). Contribution du paradigme psychométrique à l'étude de la perception des risques : une revue de littérature de 1978 à 2005. In: *L'année psychologique*. 2008 vol. 108, n°2, pp. 343-386.
- Herth, A., et Lemaire, B. (2011). Le bio-contrôle pour la protection des cultures : 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes. Rapport parlementaire, 156 p.
- Herve, N. (2014). Cartographier des controverses pour apprendre la complexité des technosciences : l'étude des gaz de schiste en lycée agricole. *Revue francophone du développement durable*, 4, 155-170.
- Hill, S. B. (2005). Enabling redesign for deep industrial ecology and personal values transformation: a social ecology perspective. in *Industrial Ecology and Spaces of Innovation*, Green, K. et Randles, S. (eds). Edward Elgar, Londres, pp. 255-271
- Hill, S.B., et MacRae, R. (1995). Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture », *Journal Sustainable Agriculture*, 7, pp. 81-87.

- Hodson, D. (2011). *Looking to the future*. Springer Science & Business Media, 25 oct. 2011, 419 p.
- Holling, C. S. (1978). Adaptive environmental assessment and management. *Adaptive environmental assessment and management*. John Wiley & Sons, Chichester, UK [ISBN 0 471 99632 7] IIASA International Series, Vol. 3
- Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4, pp. 1-23
- Holling, C.S. (1979). Myths of ecological stability in Smart, G. et Stansbury, W. (Eds) *Studies in Crisis Management*. Montreal, Butterworth
- Holt-Giménez, E. et Altieri, M.A. (2013). Agroecology, food sovereignty and the new green revolution. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37, pp. 90-102
- Hottois, G. (1977). *L'inflation du langage dans la philosophie contemporaine*, thèse de doctorat, Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles
- Hubert, B. (2002b). *Agriculture et développement durable*. in Collectif -Loi d'orientation agricole, savoirs et qualifications professionnelles. *Analyses des enjeux et perspectives pour l'évolution des savoirs*. Actes des séminaires des 9-10 octobre 2001 et 29-30 janvier 2002 et rapport de synthèse du chantier Prospea. Educagri Editions, pp. 75-90
- Hubert, B. (2010). L'agronomie, science de l'agriculture ? *Le Mouvement Social*, 233, pp. 111-125
- Hubert, B. (2012). L'agroécologie : une mise en tension de la pensée agronomique ? In *L'agroécologie en Argentine et en France, Regards croisés*. Goulet, F., Magda, D., Girard, N., et Hernandez, V. (Eds), pp.121-150
- Hubert, B.(2002a). *Penser en avance, agir à présent- Agricultures et développement durable enjeux de connaissances et attitudes de recherche*. in *Dossier de l'environnement de l'INRA n°27*, pp. 41-54 consultable en ligne <http://www7.inra.fr/dpenv/do27.htm> consulté le 17 juin 2014
- Hubert, B., Coudel, E., Coomes, O., Soulard, C.-T., Faure, G., et Devautour, H. (2012). En route, mais laquelle ? In Coudel, E., Devautour, H., Soulard, C.T., Faure, G., et Hubert, B. (eds.). *Apprendre à innover dans un monde incertain : concevoir les futurs de l'agriculture et de l'alimentation Synthèses*. Versailles, FRA : Editions Quae, pp. 215-224
- Hughes, T. P. (1983). L'électrification de l'Amérique. *Culture Technique*, 10, pp. 21-41
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. Cambridge, MIT Press Conein B. (2004). Cognition distribuée, groupe social et technologie cognitive. *Réseaux* 2004/2, n° 124, p. 53-79.
- IFEN (2006). Les dossiers de l'Ifen. Les pesticides dans les eaux données de 2003 à 2004. n°5, août, 2006
- Inhelder, B., et Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*.
- INRA (2010). *Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ?* Janvier 2010, Résumé, 8 p. consultable sur <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Ecophyto-R-D> consulté juillet 2013
- INRA (2012). Rio+20 : comment rechercher un développement durable ? *Les dossiers de l'environnement de l'Inra*, Editions Quae c/o INRA RD, n°33.

INRA et CEMAGREF (2009). *Ecophyto R&D. Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires*. Rapport d'étude (9 tomes), Ed. INRA

INSERM (2013). Pesticides et effets sur la santé. Synthèse et recommandations. Expertise collective. Les éditions Inserm, 161 p. téléchargeable

<http://www.inserm.fr/actualites/rubriques/actualites-societe/pesticides-effets-sur-la-sante-une-expertise-collective-de-l-inserm> consulté en 17 juillet 2014

INSERM (2014). *Mémoire*. Dossier en ligne réalisé en collaboration avec le Pr. Francis Eustache, Directeur de l'unité Inserm-EPHE-UCBN U1077 "Neuropsychologie et neuroanatomie fonctionnelle de la mémoire humaine consultable à l'adresse <http://www.inserm.fr/thematiques/neurosciences-sciences-cognitives-neurologie-psihiatrie/dossiers-d-information/memoire> consulté le 18 avril 2015

ITAB, (2014). *Guide des produits de protection des cultures utilisables en France en agriculture biologique*. 49 p. consultable en ligne http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/guide-protection-plantes5_cle093f89.pdf consulté le 21 février 2015

Jacquin, D., Délos, M. et Reboud, X. (2010). L'ergot dépasse le seigle, cet ancien compagnon de l'homme ressort les griffes. *Phytoma-La Défense des végétaux*, 633, avril 2010, pp. 38-42.

Jacquin, F. X., et Tatin, G. (2013). Quelle prise en compte du «changement» dans les référentiels de diplôme de l'enseignement technique agricole?. *Pour*, (3), pp. 103-113.

Jas, N. (2005). Déqualifier le paysan, introniser l'agronome, France 1840-1914. *Ecologie & politique*, 31(2), pp. 45-55

Jas, N. (2007). Public health and pesticide regulation in France before and after Silent Spring. *History and technology*, 23(4), pp. 369-388.

Jas, N. (2010). Pesticides et santé des travailleurs agricoles en France. Questions anciennes, nouveaux enjeux. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n° 59, octobre 2010

Jiménez-Aleixandre, M. P., et Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. In S. Erduran et M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education. Perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Doetinchem, Netherlands: Springer

Jiménez-Aleixandre, M. P., et Puig, B. (2010). Research on argumentation about genetics and determinism. *Genomics Education for Decision-making*, 2, pp. 63.

Jiménez-Aleixandre, M.P. (2006). Les personnes peuvent-elles agir sur la réalité ? La théorie critique et la marée noire du Prestige. In Legardez et Simonneaux (dir.). *L'école à l'épreuve de l'actualité*. Issy-les-Moulineaux : ESF , pp. 105-117

Jimenez-Aleixandre, M.-P., et Pereiro-Munoz, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers?. Argumentation and decision making about environmental management. *International Journal of Science Education*, 24(11), pp. 1171-1190.

Johnson, D. W. et Johnson, R. T. (1999). Structuring academic controversy. In S. Sharan, *Handbook of cooperative learning methods*. Westport, CT : Greenwood, pp. 66-81.

Jonnaert, P. (2001). Un recadrage des didactiques contemporaines des disciplines. *Les didactiques des disciplines: un débat contemporain*, pp. 29-56.

Jonnaert, P. (2011). Curriculum, entre modèle rationnel et irrationalité des sociétés. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, pp. 135-145

Jonnaert, P., Ettayebi, M. et Defise R. (2009). *Curriculum et compétences: Un cadre opérationnel*. De Boeck Supérieur, 19 juin 2009, 111 p.

- Joshua, S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'aux mathématiques ? In Raisky, C. et Caillot, M. (Dir) *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs*, Bruxelles, De Boeck, 61-73
- Jourdheuil, P., Grison P., et Fraval A., (1999). La lutte biologique : un aperçu historique. *Les Dossiers de l'environnement de l'INRA*, (19), 213-233. <http://www7.inra.fr/dpenv/jourdc15.htm> consulté le 10 juillet 2013
- Jussiau, R., Louis Montméas, L., et Parot, J.C. (1999). *L'élevage en France - 10 000 ans d'histoire*. Educagri Editions, 539 p.
- Kahn, P., Lannoy, A., Person-Silhol, D. et Vasseur, D.(2010). *Anticipation, innovation, perception : Des défis pour la maîtrise des risques à l'horizon 2020*. Lavoisier Tec et Doc-312 p.
- Kalfa, N., Paris, F., Philibert, P., Orsini, M., Broussous, S., Fauconnet-Servant, N., Audran, F., Gaspari, L., Lehors, H., Haddad, M., Guys, J-M., Reynaud, R., Alessandrini, P., Merrot, T., Wagner, K., Kurzenne, J-Y., Bastiani, F., Bréaud, J., Valla, J-S., Morisson Lacombe, G., Dobremez, E., Zahhaf, A., Daures J-P. et Sultan, C (2015). Is Hypospadias associated with prenatal exposure to endocrine disruptors? A french collaborative controlled study of a cohort of 300 consecutive children Without Genetic Defect. *European Urology* sous presse <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0302283815004091>
- Kellerhals, J., Languin, N., et Pattaroni, L. (2000). Ces risques qui nous menacent : enquête sur les inquiétudes des helvètes. *Revue suisse de sociologie*, 26, 2, pp. 297-317.
- Kelly, G. J., et Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86, pp. 314-342.
- Kelly, T. E. (1986). Discussing controversial issues: Four perspectives on the teacher's role. *Theory & Research in Social Education*, 14(2), pp. 113-138.
- Kermisch, C. (2010). *Les paradigmes de la perception du risque*. Lavoisier, 12 avr. 2010, 270 p.
- Kermisch, C. (2012). Vers une définition multidimensionnelle du risque. *VertigO* [En ligne], Volume 12,2, septembre 2012, mis en ligne le 15 octobre 2012, consulté le 21 juillet 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/12214> ; DOI : 10.4000/vertigo.12214
- Kervern, G. Y., et Rubise, P.(1991). *L'archipel du danger. Introduction aux cindyniques*. Paris: Economica.
- King, P. M., et Kitchener, K. S. (1994). *Developing Reflective Judgment: Understanding and Promoting Intellectual Growth and Critical Thinking in Adolescents and Adults*. Jossey-Bass Higher and Adult Education Series and Jossey-Bass Social and Behavioral Science Series. Jossey-Bass, 350 Sansome Street, San Francisco, CA 94104-1310
- Knight, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. New York: Hart, Schaffner and Marx.
- Kolstø, S. D. (2001). "To trust or not to trust,..." - pupils' ways of judging information encountered in a socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 23, pp. 877-901.
- Kolstø, S. D. (2006). Science students' critical examination of scientific information related to socioscientific issues. *Science Education*, 90, pp. 632-655.
- Kolstø, S. D., Bungum, B., Arnesen, E., Isnes, A., Kristensen, T., Mathiassen, K., Mestad, I. Quale, A. Sissel, A., Tønning, V. et Ulvik, M. (2006). Science students' critical examination

of scientific information related to socioscientific issues. *Science Education*, 90(4), pp. 632-655.

Kolstø, S. D., et Ratcliffe, M. (2008). Social aspects of argumentation. In Erduran, S. et Jiménez-Aleixandre, M. P. (Eds.), *Argumentation in science education. Perspectives from classroom-based research* (pp. 117-136). Doetinchem, Netherlands: Springer.

Kolstø, S.D. (2001). Scientific literacy for citizenship : Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85, pp. 291–310. DOI : [10.1002/sce.1011](https://doi.org/10.1002/sce.1011)

Kortenkamp, A., Martin, O., Faust, M., Evans, R., McKinlay, R., Orton, F. et Rosivatz, E. (2011). *State of the Art Assessment of Endocrine Disrupters*. Final Report Consultable en ligne

http://ec.europa.eu/environment/endocrine/documents/4_SOTA%20EDC%20Final%20Report%20V3%206%20Feb%2012.pdf Consulté en juillet 2014

Kosslyn, S. M., et Koenig, O. (1992). *Wet mind: The new cognitive neuroscience*. Simon and Schuster.

Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge University Press, 324 p.

Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. International Encyclopedia of Unified Science , Volume 2, Number 2, Chicago: Chicago University Press.

Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*.

Labreuche, J., Le Souder, C., Castillon, P., Ouvry, J.F., Real, B., Germon, J.C, et De Tourdonnet, S. (2007). *Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour en France*. ADEME-ARVALIS Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=51256&p1=00&p2=11&ref=17597>

Lamerre, J. et Verschwele, A. (2013). *Effects of crop management and stubble tillage on weed seed predation*. In: AFPP, 22th COLUMA Conference International Meeting on Weed Control, Dijon, France, 22

Lamine C., Ricci P., Meynard J-M., Barzman M., Bui S. et Messéan A. (2008). *Intensification of winter wheat production: a path-dependency analysis*. Endure international conference, Montpellier, octobre 2008

Lamine, C. (2011). Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *Journal of Rural Studies*, 27, pp. 209-219

Lamine, C., et Bellon, S. (2009). Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review. *Agronomy for sustainable development*, 29(1), pp. 97-112.

Lamine, C., Messéan, A., Paratte, R., Hochereau, F., Meynard, J. M., et Ricci, P. (2011). La lutte chimique au cœur de la construction du système agri-alimentaire. in Ricci, P., Bui, S. et Lamine, C. (coord.). *Repenser la protection des cultures : innovations et transitions*. Editions Quae, pp. 30-58.

Lamine, C., Meynard, J.-M., Bui, S. et Messéan, A., (2010b). Réductions d'intrants : des changements techniques, et après ? Effets de verrouillage et voies d'évolution à l'échelle du système agri-alimentaire. *Innovations Agronomiques*, 8 , pp. 121-134

- Lamine, C., Meynard, J.M., Perrot, N., et Bellon S. (2009). Analyse des formes de transition vers des agricultures plus écologiques : les cas de l'Agriculture Biologique et de la Protection Intégrée. *Innovations Agronomiques*, 4, pp. 483-493.
- Lamine, C., Tétart, G. et Chateauraynaud, F. (2010a). *Le bio comme reconfigurateur des controverses sur les pesticides et les OGM (1995-2008)*. Colloque « Pesticides » de la SFER, Lyon mars 2010, 12 p.
- Lançon, J., Reau, R., Cariolle, M., Munier-Jolain, N., Omon, B., Petit, M.S., Viaux, P. et Wery, J. (2008). Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. in Reau, R. et Doré, T. (eds). *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer?*. Educagri Editions. 175p.
- Landais, E. (1998). Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social ? *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 33, pp. 5-22.
- Landais, E., et Balent, G. (1995). *Pratiques d'élevage extensif: identifier, modéliser, évaluer* (No. 27). Editions Quae.
- Lange, J-M. et Martinand, J-L. (2010). Curriculum de l'EDD : principes de conception et d'élaboration. Colloque International "*Education au développement durable et à la biodiversité : concepts, questions vives, outils et pratiques*", Digne les Bains, 2010, Oct 2010, Digne Les Bains, France. pp.118-136,
- Lange, J-M., et Victor, P. (2006). Didactique curriculaire et « éducation à... la santé, l'environnement et au développement durable » : quelles questions, quels repères ? *Didaskalia*, 28, pp. 85-100
- Larousse agricole (2002). *Larousse agricole : le monde paysan au XXIe siècle*. Paris, Larousse, 767 p.
- Lascoumes, P. (2011). Des acteurs aux prises avec le « Grenelle Environnement ». Ni innovation politique, ni simulation démocratique, une approche pragmatique des travaux du Groupe V, *Participations*, 2011/1 N° 1, pp. 277-310. DOI : 10.3917/parti.001.0277
- Latour B. (2005), *Re-Assembling the Social. An Introduction to Actor-Network Theory*, Oxford, Oxford University Press ; trad. franç. Latour, B. (2006). *Changer de société. Refaire de la sociologie*, Paris, La Découverte.
- Latour, B. (1984). *Les Microbes guerre et paix, suivi de Irréductions*. Paris : Métailié, 281 p. (Pandore)
- Latour, B. (1987). *Science in Action, How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge, Harvard University Press ; trad. fr. *La Science en action*, Paris, La Découverte, 1989.
- Latour, B. (1992). *Aramis ou l'amour des techniques*. Editions La Découverte
- Latour, B. (1995). *Science In Action. 1987. Paris, Gallimard*. 521 p.
- Latour, B. (2001). *Pasteur: guerre et paix des microbes; suivi de Irréductions*. La découverte.
- Latour, B. (2004). Comment finir une thèse de sociologie. *Revue du MAUSS*, (2), pp. 154-172.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. (Clarendon Lectures in Management Studies).
- Latour, B. (2006). *Changer de société, refaire de la sociologie*. La Découverte, 2006, 402 p.,

- Latour, B. (2011). Nous construisons des outils pour évaluer les controverses. *La recherche*, 456, pp. 76-79
- Latour, B. et Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire: la production des faits scientifiques*. Paris: La Découverte.
- Latour, B., et Woolgar., S. (1979). *Laboratory Life: The social construction of scientific facts*. Beverley Hills (Sage).
- Laurent, C., Maxime, F., Mazé, A., et Tichit M. (2003). Multifonctionnalité de l'agriculture et modèles de l'exploitation agricole. *Économie rurale*, n°273, pp. 134-152. doi : 10.3406/ecoru.2003.5395
- Lavorel, S., et Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional ecology*, 16(5), pp. 545-556.
- Law, J. (1986). On the methods of long-distance control: vessels, navigation and the Portuguese route to India. *Power, action and belief: A new sociology of knowledge*, pp. 234-263.
- Law, J. (1999). After ANT: complexity, naming and topology. *The Sociological Review*, 47(S1), pp. 1-14.
- Law, J. et Hassard, J. (1999). *Actor network theory and after*. Blackwell publishers, Oxford, Royaume-Uni, 256 p.
- Le Breton, D. (1995). *La sociologie du risque*. Paris, PUF.
- Le Gal, P.-Y., Mérot, A., Moulin ,C.-H., Navarette, M., et Wéry J. (2009). A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environnemental Modelling & Software* 25, pp. 258-268.
- Le Kama, A. A., Lagarenne, C., et Le Lourd, P. (2004). *Indicateurs nationaux du développement durable: lesquels retenir?: rapport du groupe de travail interministériel sur les indicateurs, présenté à la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement*. La Documentation française, 236 p.
- Le Moigne, J.L. (1984). *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*. (2e éd.), PUF, Paris.
- Le Moigne, J.L. (1999). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris.
- Le Pichon V., Romet L., et Lambion J., (2008). Approche multi-niveaux de la gestion des bio-agresseurs : moyen d'analyse des expérimentations du Groupe de Recherche en Agriculture Biologique. *Innovations Agronomiques* 4, pp. 91-99.
- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Estrade, JR, Sarthou, JP, Trommetter, M.(éds) (2008). *Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France). 116 p. téléchargeable sur <http://www6.paris.inra.fr/depe/Projets/Agriculture-et-biodiversite>
- Lebaume, J., (2001). Pratiques socio-technique de référence, un concept pour l'intervention didactique : diffusion et appropriation par les enseignants de technologie.in G. Lemoyne, A. Mercier et A. Rouchier (dir.), *Le génie didactique, usages et mésusages des théories de l'enseignement*, Bruxelles, De Boeck Université, pp. 127-142.

- Lebeaume, J. (1999). *Perspectives curriculaires en éducation technologique. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches*. Université Paris Sud.
- Lecomte, C., Heumez, E., et Pluchard, P. (2000). Identification de différences génotypiques dans la réponse aux contraintes environnementales : cas de la concurrence due aux mauvaises herbes dans une culture de blé tendre d'hiver. In : *Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales*. P. Maillard , R. Bonhomme (Eds.), INRA Editions, Paris, pp. 539-558.
- Lecomte, J. (2013). *Les 30 notions de la psychologie*. Paris : Dunod
- Legardez, A. (2006). Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères. In Legardez, A., Simonneaux, L. (dir). *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives*. Esf Editeur, 246 p.
- Legardez, A., et Simonneaux, L. (dirs) (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives*. Esf Editeur, 246 p.
- Legendre, R. (1993). Dictionnaire actuel de l'éducation. 2^e édition . Montréal : Guérin, Éditeur limitée ; Paris : Édition EKA. 1 500 pages
- Lelorrain, A. M. (1995). Le rôle de l'école laïque et des instituteurs dans la formation agricole (1870-1970). *Histoire de l'éducation*, 65, pp. 51-69. doi : 10.3406/hedu.1995.2770 http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/hedu_0221-6280_1995_num_65_1_2770
- Lemieux, C. (2007). À quoi sert l'analyse des controverses ? Mil neuf cent. *Revue d'histoire intellectuelle*, 25, pp. 191-212.
- Lepoivre, P. (2003). *Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte*. De Boeck ; Gembloux : les Presses agronomiques de Gembloux
- Leroux, P, et Gredt M (1988) Caractérisation des souches de Pseudocercospora herpotrichoides, agent du piétin-verse des céréales, résistantes à des substances antimétabolites et à des inhibiteurs de la biosynthèse des stérols. *Agronomie*, 8, pp. 719-729
- Leroux, P. et Cavelier, N. (1983) Phénomènes de résistance du piétin-verse des céréales aux benzimidazoles et aux triophanates. *Phytoma*, 351, pp. 40-47
- Leroy, D. (2005). Un cas d'analyse didactique comparée : les aides-éducateurs et les professeurs des écoles. *Revue française de pédagogie*, 151, pp. 91-109.
- Levinson, R. (2012). A perspective on knowing about global warming and a critical comment about schools and curriculum in relation to socio-scientific issues. *Cultural Studies of Science Education*, 7(3), pp. 693-701.
- Levison, R. (2004). Teaching bioethics in science: Crossing a bridge too far? *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4, pp.353-369
- Levison, R., et Turner, S. (2001). *The teaching of social and ethical issues in the school curriculum, arising from developments in biomedical research: a research study for teachers*. London; Institute of Education, University of London.
- Lewis, J., et Leach, J. (2006). Discussion of socio-scientific issues: The role of science knowledge. *International Journal of Science Education*, 28(11), pp. 1267-1287.
- Licoppe, C. (2008). Dans le « carré de l'activité » : perspectives internationales sur le travail et l'activité. *Sociologie du Travail, Volume 50, Issue 3, July–September 2008, Pages 287-302*

- Lieury, A. (1995). Mémoire des images et double codage. *L'année psychologique*, 95(4), pp. 661-673.
- Lieury, A. (2003). Mémoire et apprentissages scolaires. *Ela. Études de linguistique appliquée* 2/2003 (n° 130), p. 179-186 URL : www.cairn.info/revue-ela-2003-2-page-179.htm.
- Lipp, A. (à paraître). Enseignement et apprentissage du bien-être animal en élevage en lycée professionnel agricole. Thèse en sciences de l'éducation. Enfa -Université Jean Jaurès
- Lobato, J. (2006). Alternative perspectives on the transfer of learning: History, issues, and challenges for future research. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(4), pp. 431-449.
- Lopez Facal, R., Jimenez- Aleixandre, M.P., Arcidiacon, F. (2015). Le territoire comme composante de l'identification nationale dans l'argumentation des élèves du secondaire. In Muller Mirza N. et Buty C. (eds). *L'argumentation en contexte d'éducation*. Peter Lang SA Editions scientifiques internationales, Bernes, pp. 323-353
- Loreau, M., Naeem, S., et Inchausti, P. (2002). *Biodiversity and ecosystem functioning : synthesis and perspectives*. Oxford University Press on Demand.
- Lowe, P., Murdoch, J., Marsden, T. Munton, R. et Flynn, A. (1993). Regulating the new rural spaces: the uneven development of land. *Journal of Rural Studie*, 9, pp. 205-222
- Loyce, C. (1998). Mise au point d'itinéraires techniques pour un cahier des charges multicritère : le cas de la production de blé éthanol en Champagne crayeuse. Thèse doctorat. INA P-G, 196 p.
- Lucas, P. (2007). Le concept de la protection intégrée des cultures. *Innovations Agronomiques*, 1, pp.15-21
- MAAF (2012). *Hors-Série n°26 : les chiffres de l'agriculture, de l'agroalimentaire, et de la forêt*. Édition 2012
- MAAF- DGER- IEA (2013). *Produire autrement à partir de l'agroécologie : Réalités et perspectives pour les référentiels, les pratiques pédagogique et les exploitations de l'enseignement agricole*. Rapport thématique de l'inspection de l'enseignement agricole. 68p. Téléchargeable à l'adresse <http://www.chlorofil.fr/index.php?id=252> consulté le 15 janvier 2015
- MAAF-DGER (2012). Analyse de l'insertion-Cheminement scolaire et insertion professionnelle des diplômés du Brevet de technicien supérieur agricole (BTSA) Technologie Végétale (TV) en 2007 - Enquête 2010 Dénomination actuelle : BTSA Agronomie productions végétales (APV). Avril 2012 Consultable en ligne http://www.chlorofil.fr/fileadmin/user_upload/systeme/insertion/fiches/btsa-scol-tv-1209.pdf
- MAAF-DGER (2013a). Analyse de l'insertion- Cheminement scolaire et insertion professionnelle des diplômés du Baccalauréat professionnel (Bac Pro) option Conduite et gestion de l'exploitation agricole (CGEA) Productions Végétales (PV). Juillet 2013. Consultable en ligne http://www.chlorofil.fr/fileadmin/user_upload/systeme/insertion/fiches/bacpro-scol-cgea-pv-1312.pdf
- MAAF-DGER (2013b). *L'expérience de l'enseignement agricole. Ecophyto « Axe 2 - Action 16. Rapport 2009 – 2012*. 27 novembre 2013. 68p. consultable à partir de http://www.chlorofil.fr/fileadmin/user_upload/systeme/adt/Appel_Projets/Ecophyto/Bilan_tech_nique_3_ans_ONEMA_2013_v9.pdf consulté le 15 janvier 2015

- MAAF-DGER (2014). Le projet stratégique national pour l'enseignement agricole. 15p consultable en ligne à l'adresse <http://www.chlorofil.fr/systeme-educatif-agricole/organisation-orientations-et-evolution-de-lea/projet-strategique-pour-lea.html> consulté le 18 avril 2015
- MAAP- DGER (2010d). Référentiel de diplôme Brevet de technicien supérieur agricole option : Agronomie-Productions végétales. consultable en ligne sur www.chlorofil.fr/
- MAAP- DGER (2010e). Document d'accompagnement – Inspection de l'Enseignement Agricole. Référentiel de diplôme du Brevet de technicien supérieur agricole option : Agronomie-Productions végétales., module M55- 18 mai 2010 consultable en ligne sur www.chlorofil.fr/
- MAAP- DGER (2010f). Document d'accompagnement – Inspection de l'Enseignement Agricole. Référentiel de diplôme du Brevet de technicien supérieur agricole option : Agronomie-Productions végétales., module M58- 18 mai 2010 consultable en ligne sur www.chlorofil.fr/
- MAAP- DGER (2010g). Document d'accompagnement – Inspection de l'Enseignement Agricole. Référentiel de diplôme du Brevet de technicien supérieur agricole option : Agronomie-Productions végétales., module M59- 18 mai 2010 consultable en ligne sur www.chlorofil.fr/
- MAAP-DGER (2010h). Référentiel de diplôme du Baccalauréat professionnel « Conduite et Gestion de l'Exploitation Agricole ». consultable en ligne sur www.chlorofil.fr/
- MAAP-DGER (2010i). Document d'accompagnement – Inspection de l'Enseignement Agricole. Référentiel de diplôme du Baccalauréat professionnel « Conduite et Gestion de l'Exploitation Agricole », option « Système à dominante cultures » », module MP 41- 31 mai 2010, consultable en ligne sur www.chlorofil.fr/
- MAAP-DGER (2010j). Document d'accompagnement – Inspection de l'Enseignement Agricole. Référentiel de diplôme du Baccalauréat professionnel « Conduite et Gestion de l'Exploitation Agricole », option « Système à dominante cultures », module MP 42- 31 mai 2010, consultable en ligne sur www.chlorofil.fr/
- MacLean, P. D. (1993). Cerebral evolution of emotion. *Handbook of emotions* , pp.67-83.
- Magne, L. (2010). *Histoire sémantique du risque et de ses corrélats : suivre le fil d'Ariane étymologique et historique d'un mot clé du management contemporain*. 15ème Journées d'Histoire de la Comptabilité et du Management, Paris, Mars 2010. consultable en ligne à https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/465954/filename/Magne_Histoire_semantique_du_risque_et_de_ses_correlats.pdf consulté avril 2012
- Maraux, F., Malézieux, E., et Gary, C. (2013). From Artificialization to the Ecologization of Cropping Systems. In *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture* Springer Netherlands, pp. 45-90
- March, J. G. et Simon H. A. (1979). *Les Organisations : problèmes psychosociologiques*. Dunod
- Marris, C., Langford, I. H., et O'Riordan, T. (1998). A quantitative Test of the Cultural Theory of Risk Perception : Comparison with the Psychometric Paradigm. *Risk Analysis* , 18, pp. 635-647

- Marshall, E. (2002). Introduction. In Prospea Collectif. (2002). *Loi d'orientation agricole, savoirs et qualifications professionnelles: analyse des enjeux et perspectives pour l'évolution des savoirs*. Educagri. pp. 13-16
- Marshall, E. (2006a). *D'un enseignement agricole pour les agriculteurs à un enseignement agricole pour notre société*. Intervention aux rencontres régionales de l'enseignement agricole le 24 novembre 2006 au Conseil régional de Rhône Alpes. Consultable en ligne à l'adresse https://www.agropolis.fr/formation/pdf/2006_marshall.pdf consulté en 20 janvier 2015
- Marshall, E. (2006b). *Les spécificités de l'enseignement technique agricole : comment les définir, comment les maintenir ?* 04 Mars 2006 consulté en ligne le 02 mai 2014
- Marshall, E., (2012). *L'EPL de l'enseignement agricole : diagnostic et projet d'établissement. Repères historiques et méthodologiques*. Educagri Editions
- Martinand, J. L. (2007). Savoirs robustes et contenus instables en éducation scientifique et technologique. In *Actes du colloque " Questions à Gérard Vergnaud*, pp. 203-210
- Martinand, J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. In L'éducation technologique à l'école moyenne en France : Problèmes de didactique curriculaire. Martinand, J.-L. (dir.). Berne : Peter Lang. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 3, 1, pp. 101-116.
- Martinand, J.-L. (2003). L'éducation technologique à l'école moyenne en France : problèmes de didactique curriculaire. *La revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*. 3 :1, pp. 100-116.
- Masdonati, J. (2007). *La transition entre école et monde du travail: Préparer les jeunes à l'entrée en formation professionnelle*. Bern; Peter Lang, Collection Exploration
- Matlin, M. W. (1996). *The Psychology of Women*. Forth Worth. TX : Harcourt Brace
- Matlin, M. W. (2001). *La cognition: une introduction à la psychologie cognitive*. De Boeck Supérieur.
- Mayen, P. (2013). Apprendre à produire autrement: quelques conséquences pour former à produire autrement. La formation et l'accompagnement des agriculteurs face aux nouveaux enjeux de société. *Pour*, 219, pp. 247-270
- Mazoyer, M. et Roudart, L. (1997). *Histoires des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Editions du seuil, 545 p.
- Meirieu, P. (1988). Guide méthodologique pour l'élaboration d'une situation problème. *Cahiers pédagogiques*, 262, pp. 9-16.
- Meirieu, P. (1990). *L'école, mode d'emploi. Des méthodes actives à la pédagogie différenciée*. Paris, Ed. ESF, 5e éd.
- Meirieu, P., et Daviet, E. (2014). *Le plaisir d'apprendre*. Edition Autrement, ISBN 978-2-7467-3603-0
- Mendras, H., et Forsé, M. (1983). *Le changement social*. Paris, Armand Colin.
- Mercer, N. (1995). *The Guided Construction of Knowledge: talks amongst teachers and learners*. Clevedon, England: Multilingual Matters.
- Mercer, N. (2000). *Words and minds: How we use language to think together*. London: Routledge.

- Mercer, N. (2009). Developing argumentation: lessons learned in the primary school. In Muller Mirza, N., Perret-Clermont, A-N. (Eds.) *Argumentation and Education :Theoretical Foundations and Practices*. Berlin: Springer.
- Mercer, N. (2010). The analysis of classroom talk: Methods and methodologies. *British Journal of Educational Psychology*, 80(1), pp. 1-14.
- Mercer, N. (2013). The social brain, language, and goal-directed collective thinking: A social conception of cognition and its implications for understanding how we think, teach, and learn. *Educational Psychologist*, 48(3), pp. 148-168.
- Mercer, N., et Littleton, K. (2007). *Dialogue and the development of children's thinking: A sociocultural approach*. Routledge.
- Meynard ,J.M. (1985). Construction d'itinéraires techniques pour la culture du blé d'hiver. Thèse INA P-G , Paris, 258 p.
- Meynard, J. M. (2012a). Innover dans les systèmes de culture et de production. in *Apprendre à innover dans un monde incertain concevoir les futurs de l'agriculture et de l'alimentation*. Coudel, E. (eds.). Quae Editions, pp. 77-93
- Meynard, J. M. (2012b). La reconception est en marche : Conclusion au Colloque « Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former ». *Innovations agronomiques*, 20, pp. 143-153.
- Meynard, J.M., (2008). Produire autrement : réinventer les systèmes de culture. In *Des systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Reau, R. et Doré, T. (Eds), Educagri Editions
- Meynard, J.M., Girardin, P. (1993). Produire autrement. *Cultivar*, n° 334, pp.83-87
- Meynard, J.M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M.B., et Savini, I. (2013). *Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières*. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.
- Meynard, J-M., et Girardin, P. (1991). Produire autrement. *Le Courrier de la Cellule de l'Environnement*, 15, pp. 1-19 consultable à l'adresse <http://www7.inra.fr/dpenv/meynac15.htm> consulté en décembre 2013
- Micheli, R. (2012). Les visées de l'argumentation et leurs corrélats langagiers : une approche discursive. *Argumentation et Analyse du Discours* [En ligne], 9 | 2012, mis en ligne le 15 octobre 2012, Consulté le 20 août 2014. URL : <http://aad.revues.org/1406> ; DOI : 10.4000/aad.1406
- Micheli, R., et Jacquin, J. (2012). Entre texte et interaction: propositions méthodologiques pour une approche discursive de l'argumentation en sciences du langage. In *SHS Web of Conferences*. EDP Sciences, Vol. 1, pp. 599-611
- Milaire, H. (1995). A propos de quelques définitions. *Phytoma, La Défense des Végétaux*. 474, pp. 7-9
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC, Island Press. Synthèses consultables sur <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.447.aspx.pdf> consulté le 10 juillet 2014
- Miller, G.A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two : Some Limits on our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, 63, pp. 81-97.

Ministère de l'agriculture (2012). Alim'agri Chiffres clés 2012. Hors-Série n°26 : *les chiffres de l'agriculture, de l'agroalimentaire, et de la forêt*. Édition 2012

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2012). *L'enseignement agricole : le dossier de rentrée 2012*. 28 p.

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF) (2012). *L'enseignement agricole : le dossier de rentrée 2012*. 28 p.

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt DGER. (2014). *L'enseignement agricole au cœur du projet agro-écologique pour la France - enseigner à produire autrement*. Mars 2014. 12p.

Mischler, P., Hocdé, H., Triomphe, B., et Omon, B.,(2008). Conception de systèmes de culture et de production avec des agriculteurs : partager les connaissances et les compétences pour innover. In *Systèmes de culture innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Reau R. et Doré T., (coord). Educagri Editions, pp. 91-108

Miyake, A., et Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge University Press.

Morin, O. (2013). *Éducation à la citoyenneté et construction collaborative de raisonnements socioscientifiques dans la perspective de la durabilité : pédagogie numérique pour une approche interculturelle de QSV environnementales*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse 2-Le Mirail

Morin, O., Simonneaux, L., Simonneaux, J., Tytler, R., et Barraza, L. (2014). Developing and using an S3R model to analyze reasoning in web-based cross-national exchanges on sustainability. *Science education*, 98(3), pp. 517-542.

Mortimer, E. F., Massicame, T., Tiberghien, A., et Buty, C. (2007). Uma metodologia para caracterizar os generos de discurso como tipos de estrategias enunciativas nas aulas de Ciencias. In R. Nardi (Ed.), *A pesquisa em Ensino de Ciencias no Brasil: alguns recortes* Sao Paulo: Escrituras Editora, pp. 53-94

Mortimer, E., et Scott, P. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Buckingham : Open University Press.

Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse, son image et son public: étude sur la représentation sociale de la psychanalyse*. Presses universitaires de France.

Mouchot, C. (1996). *Méthodologie économique*. Paris, Hachette.

Moussu, M. J., Accardi, J., et Bonnaud, F. (2005). Un dispositif d'enseignement/apprentissage motivant construit en LVE à l'école. *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. Cahiers de l'Apliu*, 24(2), pp. 112-123.

Mugny, G. (Ed.) (1985). *Psychologie sociale du développement cognitif*. Berne : Peter Lang.

Muller Mirza, N., et Buty, C. (2015). L'argumentation dans les contextes déducation : enjeux et questions vives. Introduction. In Muller Mirza N. et Buty C. (eds). *L'argumentation en contexte d'éducation*. Peter Lang SA Editions scientifiques internationales, Bernes, pp. 13-36

Muller, P. et Gerbaux, F. (1984). La naissance du développement agricole en France. *Économie rurale*, Volume 159, n°159, p. 17-22 consultable sur http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ecoru_0013-0559_1984_num_159_1_3019

Munasinghe, M., et Shearer, W. (1995). *Defining and Measuring Sustainability: The Biogeophysical Foundations*. World Bank and United Nations University, Washington, D.C.

Munier-Jolain, N. et Dongmo, A. (2010). Evaluation de la faisabilité technique de systèmes de Protection Intégrée en termes de fonctionnement d'exploitation et d'organisation du travail. Comment adapter les solutions aux conditions locales ? *Innovations Agronomiques*, 8 (2010), pp. 57-67

Munier-Jolain, N., Chauvel B., et Gasquez, J. (2002). Long-term modelling of weed control strategies: analysis of threshold-based options for weed species with contrasted competitive abilities. *Weed Research*, 42, pp. 107-122.

Munier-Jolain, N., Deytieux, V., Guillemin, J. P., Granger, S., et Gaba, S. (2008). Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la Protection Intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innovations agronomiques*, 3, pp. 75-88.

Munier-Jolain, N., et Morlon, P. (2004). Un concept inadapté : le seuil d'intervention. *Oléoscopie* n°77, septembre 2004

Nallet, H. (2013). La concertation sur l'enseignement agricole préparatoire à la loi d'avenir sur l'agriculture. Rapport général, MAAF, 8 p. téléchargeable http://www.chlorofil.fr/fileadmin/user_upload/systeme/organisation/concertation/concertation-rapport-nallet.pdf consulté en 15/01/2014

Navarrete, M., Bellon, S., Geniaux, G., Lamine, C., Penvern, S., Sautereau, N., et Tchamitchian, M. (2012). L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraichage. Enjeux et perspectives de recherches. *Courrier de l'Environnement de l'Inra*, 62, pp. 57-70

Nicolino, F., et Veillerette, F. (2007). *Pesticides : révélations sur un scandale français*. Fayard.

Noël, G. (2003). Agriculture et commerce : le dilemme de la politique extérieure des États-Unis (1920-1960). *Histoire, économie et société*, 22(1), pp. 41-57.

Nonnon, E. (1996). Activités argumentatives et élaboration de connaissances nouvelles: le dialogue comme espace d'exploration. *Langue française*, pp. 67-87.

Norman, D.A. (1993). Les Artefacts Cognitifs. In B. Conein, N. Dodier et al. (Eds.). *Les objets dans l'action*. Paris: EHESS, 15-34

Norris R.F., (1998). Biological Control Across the Disciplines : Setting the Stage. In S. Hoddlem : *California Conference on Biological Control*, June 10-11, 1998. Clark Kerr Center, Berkeley, University of California, pp. 1-7

Notman, E., et Gorchov, D. L. (2001). Variation in Post-dispersal Seed Predation in Mature Peruvian Lowland Tropical Forest and Fallow Agricultural Sites. *Biotropica*, 33(4), pp. 621-636.

OCDE (2010). *Comment apprend-on ? : La recherche au service de la pratique*, Éditions OCDE. Téléchargeable à partir de <http://dx.doi.org/10.1787/9789264086944-fr> consulté le 02 août 2013

OCDE (2014). *Principaux résultats de l'Enquête PISA 2012. Ce que les élèves de 15 ans savent et ce qu'ils peuvent faire avec ce qu'ils savent*. PISA <http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/pisa-2012-results-overview-FR.pdf>

- Oerke, E.-C. (2006). Centenary review. Crop losses to pest. *Journal of Agricultural Science*, 144, pp. 31-43.
- Olry, P. (2013). Un chantier de développement des compétences des conseillers agricoles dans l'accompagnement des transitions agroenvironnementales. *Pour*, (3), pp. 219-231.
- Olry, P., Prévost, P., Cancian, N., Simonneaux, L., Métral, J.F., David, M., Frère, N., (2014). *Didacphyto : vers un enseignement de savoirs agronomiques de référence, opératoire pour des pratiques agricoles compatibles avec le plan Ecophyto*. Colloque de restitution « Pesticides : des impacts aux changements de pratiques », 4-6 novembre 2014, Angers – France
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. PUF, Paris.
- Osborne, J., Erduran, S., et Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 994-1020.
- Osborne, J., Simon, S. et Collins, S. (2003) Attitude toward science a review of literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), pp. 1049-1079
- Paillotin, G. (2007). Agriculture, société et rationalité. in *Histoire et agronomie : entre ruptures et durée*. Robin, P., Aeschlimann, J.P. et Feller, C., Paris : IRD, pp.165-171
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New Yor: Holt, Rinehart, and Winston
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations : A Dual Coding Approach*, Oxford University Press, Oxford
- Panissal, N., et Brossais, E. (2011). Les nanotechnologies : une expérimentation au lycée. In Simonneaux, L. et Legardez, A. (dir). *Développement durable et autres questions d'actualité. Questions socialement vives dans l'enseignement et la formation*. Éducagri éditions
- Panissal, N., et Brossais, E. (2012). L'apport de Vygotski à l'analyse de débats sur une Question Socialement Vive (QSV) relative aux nanotechnologies. Septièmes journées scientifiques de l'ARDiST - Bordeaux, 14-16 mars 2012
- Panissal, N., et Brossais, E. (2013). Le débat argumenté au collège : échanges dialogiques sur des controverses socio-scientifiques. Dans J-P. Bernié, M. Brossard (dir.). *Vygostki et l'école. Apports et limites d'un modèle théorique pour penser l'éducation et la formation*. (p. 93-104). Paris, France : Presses Universitaires de Bordeaux.
- Panksepp, J. (1998). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. Oxford university press.
- Panksepp, J. (2004). *Affective Neuroscience : The Foundations Of Human And Animal Emotions*. Oxford University Press Inc.
- Panneton, B., Vincent, C. et Fleurat-Lessard, F. (2000a). Place de la lutte physique en phytoprotection. in *La lutte physique en phytoprotection*. Vincent, C., Panneton, B. et Fleurat-Lessard, F. (Eds.). INRA Editions, Paris, pp. 1-24
- Panneton, B., Vincent, et F. Fleurat-Lessard (2000b). Bilan et perspectives pour la lutte physique en phytoprotection. in *La lutte physique en phytoprotection*. Vincent, C., Panneton, B. et Fleurat-Lessard, F. (Eds.). INRA Editions, Paris, pp. 333-339
- Papez, J. W. (1994). A proposed mechanism of emotion. 1937. *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences*, 7(1), pp. 103-112.
- Papy, F. (1998). Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision. *La conduite du champ cultivé. Points de vue d'agronomes*. IRD, pp. 245-259.

- Patronis, T., Potari, D., et Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: Implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21, pp. 745-754
- Paveau, M.A., (2006). *Les prédiscours : sens, mémoire et cognition*. Paris : Presses Sorbonne nouvelle
- Pavlov, I. P. (1901). *Le travail des glandes digestives*. Masson.
- Pedretti, E. (1999). Decision making and STS education: Exploring scientific knowledge and social responsibility in schools and science centers through an issues based approach. *School Science and Mathematics*, 99(4), 174-181.
- Pédro, G. (2007). Sol, humus et nutrition des plantes -De la chimie agricole à l'agrogéochimie (du 18e au 20e siècle) in *Histoire et agronomie, entre rupture et durée*. Robin, P., Aeschlimann, J.P. et Feller, C., (dir.), Paris : IRD, pp. 121-137
- Perelman, C. (1977). *L'Empire rhétorique*. Paris: Librairie philosophique. J. Vrin.
- Perelman, C. et Olbrechts-Tyteca, L. (1970). *Traité de l'argumentation, la nouvelle rhétorique*. Bruxelles, Université de Bruxelles (1^{re} édition : 1958, PUF).
- Perelman, C., et Olbrechts-Tyteca, L. (1958). *La nouvelle rhétorique: Traité de l'argumentation* (Vol. 1). Presses universitaires de France.
- Peretti-Watel, P. (2001). *La société du risque*. Paris, La Découverte.
- Peretti-Watel, P. (2003). Risque et innovation : un point de vue sociologique. *Innovations* 2003/2, 18, pp. 59-72. DOI 10.3917/inno.018.0059 consultable sur <http://www.cairn.info/revue-innovations-2003-2-page-59.htm> consulté le 25 juin 2014
- Perret, S. (2005). *Quelle agronomie pour le développement durable? histoires, concepts, pratiques et perspectives* (HDR- Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL). Consultable à partir de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00127073/document> consulté 15 mai 2013
- Perret-Clermont, A.N. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne : Peter Lang.
- Perret-Clermont, A.N. et Nicolet, M. (Eds.) (1988). *Interagir et connaître. Enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif*. Cousset : Delval
- Petit M.-S., Reau R., Seiler A., et Omon B., (2010). A multi-actor pilot farm network to assess and learn about innovative and low pesticide use arable cropping systems. In: J. Wery, I. Shili-Touzi, A. Perin (Eds.), *Agro2010 theXIth ESA Congress*, Agropolis International, Montpellier, France, August 29th -September 3rd, 2010
- Petit, M. (1981). Théorie de la décision et comportement adaptatif. *Actes de la journée d'étude du 21 janvier 1981*. Dijon : INRAP, 1981.
- Petit, M. S., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., et Josse, S. (2012a). Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations agronomiques*, 20, pp. 79-100.
- Petit, M., et Clouvel, P. (2014). Deux comptes rendus d'une même journée : « Nouvelles orientations pour la recherche agronomique. (Journée de conférences-débats, Montpellier, 10 septembre 2013) Repères : *Natures Sciences Sociétés*, 22, pp. 262-270
- Petit, M.S., Raymond, R., Deytieux, V., Schaub, A., Cerf, M., Omon, B., Guillot, M.N., Olry, P., Vivier, C., Piaud, S., Minette, S., et Nolot, J.M. (2012b). Systèmes de culture innovants :

une nouvelle génération de réseau expérimental et de réseau de compétences. *Innovations Agronomiques*, 25, pp. 99-123.

Piaget, J. (1967). *Biologie et connaissance; essai sur les relations entre les régulations organiques et les processus cognitifs*. Gallimard, 477 p.

Piaget, J. (1970). *L'épistémologie génétique*. PUF, Coll. *Que sais-je*.

Pimm, S L (1984). *The Balance of Nature.*, University of Chicago, Press, Chicago, IL

Plantin (2009). Laissez-dire : la norme du discours de l'un est dans le discours de l'autre. *in* Atayan, V., et Pirazzini, D. (2009). *Argumentation* (Vol. 1). Peter Lang. pp.51- 69

Plantin, C. (2005). *L'argumentation : histoire, théorie et perspectives*. Paris : PUF

Poly, J. (1978). *Pour une agriculture plus économe et plus autonome*. Paris, INRA 65 p. (dactylographié).

Potier, D. (2014). *Pesticides et agro-écologie : Les champs du possible*. Synthèse du Rapport de Dominique Potier, député de Meurthe-et-Moselle, au Premier Ministre Manuel Valls

Presseau, A., et Frenay, M. (2004). *Le transfert des apprentissages: comprendre pour mieux intervenir*. Presses Université Laval.

Prévost, P. (1997). *Le concept de régulation biologique et la formation professionnelle des agriculteurs , études didactiques*. Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, 293 p. et annexes

Putnam, R. T., et Borko, H. (2000). What do new views of knowledge and thinking have to say about research on teacher learning?. *Educational researcher*, 4-15.

Quéré, L (1989). Les boîtes noires de Bruno Latour ou le lien social dans la machine. In: *Réseaux*, 1989, volume 7 n°36. pp. 95-117. doi : 10.3406/reso.1989.1354 url : [/web/revues/home/prescript/article/reso_0751-7971_1989_num_7_36_1354](http://web.revues/home/prescript/article/reso_0751-7971_1989_num_7_36_1354) Consulté le 20 août 2014

Rabb, R.L. et Guthrie, F.E. (1970). *Concepts of pest management*. North Carolina State University, Raleigh, 242 p.

Ramade, J. (2014). *Un monde sans famine ? : Vers une agriculture durable*. Dunod, 336 p.

Rapport de l'Inspection de l'enseignement agricole (2007-2008). *Le développement durable dans les référentiels et les programmes de l'enseignement technique agricole*. Chapitre VII, DGER, 6 p.

Rapport de l'Inspection de l'enseignement agricole (2007-2008). *Le développement durable dans les référentiels et les programmes de l'enseignement technique agricole*. Chapitre VII, DGER, 6 p.

Ratcliffe, M., et Grace, M. (2003). *Science education for citizenship: Teaching socioscientific issues*. Berkshire: McGrawHill Education. (UK)

Ravetz, J. R. (1980). Public perceptions of acceptable risks as evidence for their cognitive, technical, and social structure. In *Technological risk*.

Ravetz, J. R. (1997). The science of 'what-if?'. *Futures*, 29(6), pp. 533-539

Raynaud, D. (2015). *Note historique sur le mot «technoscience»*. « Billet » consultable et téléchargeable à l'adresse <https://upmf-grenoble.academia.edu/dominiqueraynaud/Papers:-Hist-Epist-Sociology> consulté le 10 juin 2015

- Reau, R. et Soullignac, V. (2015). AgroPEPS, un outil web collaboratif de gestion des connaissances pour produire, Echanger, Pratiquer, S'informer sur les systèmes de culture durables. *Innovations Agronomiques*, 43, pp. 83-94
- Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., et Petit, M.-S. (2011). Produire des références contribuant à réduire l'usage des pesticides : le réseau de fermes de références et de démonstration d'Ecophyto 2018. Colloque Ecologisation des politiques et des pratiques agricoles, 16-18 mars 2011, Avignon, France.
- Reau, R., et Doré, T. (2008). *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer?* Educagri Editions.
- Reau, R., Fortino, G., Bintein, Y., Boisset, K., Conteau, C., Coulon, T., Dehlinger, F., Faloya, V., Petit, M.-S., Plénet, D., Lusson, J.-M., Verjux, N., Veschambre, D., Cellier, V., Boll, R., Chanut, J.-P., Boulet, A., Cerf, M., Jeannequin, B. et Weissenberger, A. (2009). *Conception d'un réseau d'acquisition de références et d'un réseau d'information. Ecophyto R&D. Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires*. Ed. INRA, tome. IX, 100 p.
- Reau, R., Monnot, L. A., Schaub, A., Munier-Jolain, N., Pambou, I., Bockstaller, C., Cariolle, M., Chabert, A., et Dumans, P. (2012). Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations Agronomiques*, 20, pp. 5-33
- Regnault-Roger, C. (2014). Produits de protection des plantes - Innovation et sécurité pour une agriculture durable. Éditions Lavoisier, TEC &Doc, 368 p.
- Reis, P. (2014). Promoting Students' Collective Socio-scientific Activism: Teachers' Perspectives. In *Activist Science and Technology Education*. Springer Netherlands. pp. 547-574
- Resnick, L.B. (1987). *Education and learning to think*. Washington, DC: National Academy Press.
- Ricci, P. (2010). Economiser en pesticides : contrainte ou opportunité ? *Innovations Agronomiques*, 8, pp. 1-13
- Ricci, P., Lamine, C., et Bui, S., (2011a). La gestion de la santé des cultures dans une optique de développement durable. in Ricci, P., Bui, S. et Lamine, C. (coord.). *Repenser la protection des cultures : innovations et transitions*. Editions Quae. pp. 17-28
- Ricci, P., Lamine, C., et Messéan, A. (2011b). La protection intégrée des cultures: un nécessaire changement de paradigme. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 1, pp. 22-31.
- Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese, V. et Fogassi L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain research. Cognitive brain research*, 3 (2), pp. 131-141.
- Rizzolatti, G. (2009). Les systèmes de neurones miroirs. In *Conférence à l'Académie des sciences, Paris* (Vol. 12). En ligne <http://www.sciencesetreligions.com/upload/1422280266Rizzolatti%20Syst%C3%A8mes%20de%20Neurones%20Miroirs.pdf> consulté 20 janvier 2015
- Robbes, B. (2013). Épistémologies de la pédagogie, relations aux savoirs et à la didactique. *Éducation et socialisation* [En ligne], 34 | 2013, mis en ligne le 05 décembre 2013, consulté le 19 août septembre 2014. URL : <http://edso.revues.org/434>
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. *Handbook of research on science education*, 1.

- Robin, P., Aeschlimann, J.P. et Feller C., (dir.) (2007). *Histoire et agronomie, entre rupture et durée*. collection Colloques et séminaires, Paris, IRD éditions, 2007, 512 p.
- Rocard, M. et al. (2007). Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe. Brussels: European Commission.
- Rodriguez, A. et Gasquez, J. (2008). RMT « Gestion de la flore adventice en grandes cultures». *Innovations Agronomiques*, 3, pp.107-120
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of Innovations. 7th Printing*. New York/London.
- Rojas-Drummond, S., Mercer, N., et Dabrowski, E. (2001). Collaboration, scaffolding and the promotion of problem solving strategies in Mexican pre-schoolers. *European Journal of Psychology of Education*, 16, pp. 179-196
- Rolland, B., Le Campion, A., et Oury, F-X. (2012). Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 62, décembre 2012, pp. 71-86
- Rolland, L. (1984). L'histoire de la vulgarisation agricole avant 1966. *Economie rurale*, 159, pp. 11-16
- Rondal, J. A. (1999). *Manuel de psychologie de l'enfant*. Editions Mardaga. 644 p.
- Roux, J.P. (1996). Médiations entre pairs et co-élaboration de savoirs en milieu scolaire, *Educations*, 9, pp. 20-22.
- Rundgren, S. N. C., et Rundgren, C. J. (2010). SEE-SEP: From a separate to a holistic view of socioscientific issues. In *Asia-Pacific Forum on Science Learning & Teaching* (Vol. 11, No. 1).
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of research in science teaching*, 41(5), pp.513-536.
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45:1, pp. 1-42
- Sadler, T. D., Barab, S. A., et Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socio-scientific inquiry? *Research in Science Education*, 37(Issue 4), pp. 371-391.
- Sadler, T. D., Chambers, F. W., et Zeidler D. L. (2004). Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26, 387-409.
- Sadler, T. D., et Donnelly, L.A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, 28, 1463-1488.
- Sadler, T. D., et Fowler, S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. *Science Education*, 90(6), pp. 986-1004.
- Sadler, T. D., et Zeidler, D. L. (2004). The morality of socioscientific issues: Construal and resolution of genetic engineering dilemmas. *Science Education*, 88, 4-27.
- Sadler, T. D., et Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, pp. 112-138.
- Sadler, T. D., et Zeidler, D. L. (2009). Scientific literacy, PISA, and socioscientific discourse: Assessment for progressive aims of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 909-921.

- Sadler, T. D., Klosterman, M. L., et Topcu, M. S. (2011). Learning Science Content and Socio-scientific Reasoning Through classroom Explorations of Global Climate Change. in *Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research*. T. D. Sadler (eds), Dordrecht: Springer. pp. 45-77
- Sadler, T.D., Chambers, F.W. et Zeidler, D.L. (2004). Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education* 26 (4), pp. 387-410.
- Sadler, T.R. (2011). Situating socio-scientific issues in classrooms as a means of achieving goals of science education. In Sadler, T. D. (2011). *Socio-scientific Issues in the Classroom*. Springer Netherlands, pp. 1-9
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R. et Doré, T. (2008). Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multicriteria decision-aid methods. A review. *Agronomy Sustainable Development*, 28, pp. 163–174.
- Saint-Ges, V. (2006). *Innovations environnementales dans la viticulture*. Thèse ès Sciences économiques, Université de Montesquieu Bordeaux IV, 347p.
- Salaris, C. (2014). Agriculteurs victimes des pesticides : une nouvelle mobilisation collective en santé au travail. *La nouvelle revue du travail* [En ligne], 4 | 2014, mis en ligne le 01 mai 2014, consulté le 15 septembre 2014. URL : <http://nrt.revues.org/1480>
- Salomon, G. et D.N. Perkins (1998), « Individual and Social Aspects of Learning », P.D. Pearson et A. Iran-Nejad (éd.), *Review of Research in Education*, vol. 23, n° 1, pp. 1-24.
- Saoudi, H., et Simonneaux, L. (2007). Raisonement socio-scientifique des étudiants en master science de la vie concernant « l'affaire du papillon du monarque ». Dans A. Giordan, J.-L. Martinand et É. Triquet (Éds.), *École, culture et actualités des sciences et des techniques, Actes des XXVIIIes Journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques, techniques et industrielles* (8 pages). Cachan : ACECSI.
- Saradon, S. et Flores, C. (2012). L'agroécologie : un nouveau paradigme pour l'élaboration du développement rural durable. In *L'agroécologie en Argentine et en France, Regards croisés*. Goulet, F., Magda, D., Girard, N., et Hernandez, V. (Eds). L'Harmattan, pp. 91-119
- Savary, S. (1991). *Approches de la Pathologie des Cultures Tropicales. Exemple de l'Arachide en Afrique de l'Ouest*. Editions Karthala /ORSTOM, Paris. 288p
- Schneider, M., R.H. Grabner et Paetsch, J. (2009). Mental Number Line, Number Line Estimation, and Mathematical Achievement : Their Interrelations in Grades 5 and 6. *Journal of Educational Psychology*, vol. 101, n° 2, pp. 359-372.
- Schwarz, B. et Baker, M. (2015). Sur l'adéquation des théories de l'argumentation aux sciences de l'apprentissage et les fondements d'une théorie de « l'argumentissage ». In Muller Mirza N. et Buty C. (eds). *L'argumentation en contexte d'éducation*. Peter Lang SA Editions scientifiques internationales, Bernes, pp. 269-322
- Schwarz, M., et Thompson, M. (1990). *Divided We Stand : Redefining Politics, Technology and Social Choice*, Hemel Hempstead, Harvester, 176 p.
- Sebillotte M., (1974).Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des taches de l'agronome. *Cahiers Orstom, Série biologie*, 3 (1), pp. 3-25
- Sebillotte, M. (1978). *Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique*. CR Séances Acad Agric Fr 906-913

- Sebillotte, M. (1990). Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In *Les systèmes de culture*. Combe, L., et Picard D. (coord.). Inra, Versailles, pp.165-196
- Sebillotte, M. et Soler, L.G. (1988). Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *C.R. Académie d'agriculture de France*, 74, pp. 59-70
- Sebillotte, M., (1967). Compétition entre blé et graminée adventice, rôle des rotations culturales. *C.R. AcAgric. Fr.*, 53, pp.1374-1388.
- Sebillotte, M., et Papy, F. (2010). Michel Sebillotte, agronome : penser l'action. Propos recueillis par François Papy. *Natures Sciences Sociétés*, 4/2010 (Vol. 18) , pp. 446-451
- Sebillotte, M., et Soler, L. G. (1990). Les processus de décision des agriculteurs. In *Séminaire du Département de Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement (SAD). Seminar of the Department de Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement (SAD). Saint Maximin (France). 2-3 Mar 1989.*
- Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique. Une activité située ? *Recherche et formation*, 57, pp. 39-50.
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck.
- Sensevy, G., et Mercier, A. (2007). Agir ensemble: l'action didactique conjointe. *Agir ensemble: l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes: PUR.
- Sensevy, G., Mercier, A., et Schubauer-Leoni, M. L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur à propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20(3), 263-304. Vers un modèle de l'action didactique du professeur à propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20(3), 263-304.
- Serres, M. (1974). *La Traduction (Hermès III)*. Minuit, Paris (1974).
- Short, J. F. (1984). The social fabric at risk : Toward the social transformation of risk analysis. *American Sociological Review*, 49, pp. 711-725.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, pp. 99-118.
- Simon, S., Erduran, S., et Osborne, J. (2006). Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), pp. 235-260.
- Simon, S., et Amos, R. (2011). Decision making and use of evidence in a socio-scientific problem on air quality. In *Socio-scientific Issues in the Classroom*. Springer Netherlands. pp. 167-192
- Simonneaux, J. (2011). *Les configurations didactiques des questions socialement vives économiques et sociales*. HDR, Université de Provence, Aix-Marseille, 199 p.
- Simonneaux, J. et Simonneaux, L. (2009). Students' socio-scientific reasoning on controversies from the viewpoint of Education for Sustainable Development. *Cultural Studies of Science Education*, vol. 4 (n° 3), pp. 657-687. ISSN 1871-1502
- Simonneaux, J., et Simonneaux, L. (2011). Argumentations d'étudiants sur des Questions Socialement Vives environnementales. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, (13), 157-178 consultable à l'adresse http://www.revuedeshep.ch/site-fpeq-n/Site_FPEQ/13_files/08_simonneaux.pdf consulté 10 mai 2013

Simonneaux, L. (2000). Identité disciplinaire et opinions vis-à-vis des savoirs biotechnologiques d'enseignants en sciences humaines et d'enseignants en sciences et techniques. *Aster*, 30, pp. 39-64.

Simonneaux, L. (2001). Des situations débats pour développer l'argumentation des élèves sur les biotechnologies : compte-rendu d'innovations. *Didaskalia*, 19, 127-158.

Simonneaux, L. (2003). L'argumentation dans les débats en classe sur une technoscience controversée. *Aster*, 37, pp. 189-214

Simonneaux, L. (2007). Argumentation in Socio-Scientific Contexts. In *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Erduran, S. et Jiménez-Aleixandre M. P. Springer Science & Business Media, 14 déc. 2007, pp.179-200

Simonneaux, L. (2008). Argumentation in socio-scientific contexts. In Erduran, S., et Jiménez-Aleixandre, M. P. (Eds.), *Argumentation in science education. Perspectives from classroom-based research* (pp. 179-199). Doetinchem, Netherlands: Springer.

Simonneaux, L. (2010). Introduction des questions scientifiques socialement vives dans l'enseignement agricole français : implication des recherches en didactiques dans la formation des enseignants. In Hasni, A., et Lebeaume, J. (dir). *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique*. University of Ottawa Press, pp. 81-124

Simonneaux, L. (2012). Rationalités d'enseignants en productions animales sur des questions socialement vives en élevage. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (5), pp. 9-46

Simonneaux, L. (2013). Questions socialement vives and socioscientific issues : New trends of research to meet the training needs of post-modern society. In C.Bruguière, A.Tiberghien et P. Clément (eds). 9th ESERA Conference Selected Contributions. Topics and trends in current science education. Dordrecht: Springer, 37-54.

Simonneaux, L. et Choucahne, H. (2015). Impacts des dérangements socio épistémologiques sur l'évolution de l'argumentation et de la conceptualisation d'étudiants tunisiens en biotechnologie sur une question scientifique socialement vive : la thérapie génique. In Muller Mirza N. et Buty C. (eds). *L'argumentation en contexte d'éducation*. Peter Lang SA Editions scientifiques internationales, Bernes, pp. 197-225

Simonneaux, L. et Legardez, A. (eds) (2011). *Développement durable et autres questions d'actualité. Questions socialement vives dans l'enseignement et la formation*. Éducagri éditions, 402 p.

Simonneaux, L. et Simonneaux, J. (2005). Argumentation sur des questions socio-scientifiques. *Didaskalia*, 27, pp. 79-108.

Simonneaux, L., et Cancian, N., (2013). Enseigner pour produire autrement : l'exemple de la réduction des pesticides. La formation et l'accompagnement des agriculteurs face aux nouveaux enjeux de société. *Pour*, 219, pp. 115-129

Simonneaux, L., et Chouchane, H. (2011). Argumentation on a controversial socio-scientific issue : human gene therapy, In A. Yarden & G.S. Carvalho (Eds.) *Authenticity in Biology Education, Benefits and Challenges*. CIEC: Braga., pp. 211-222

Simonneaux, L., et Simonneaux J. (2009). Socio-scientific reasoning influenced by identities. *Cultural Studies of Science Education* 01/2009; 4, 3, pp. 705-711

- Simonneaux, L., et Simonneaux, J. (2014a). Panorama de recherches autour de l'enseignement des Questions Socialement Vives. *Revue francophone du Développement durable*, 4, 109-126
- Simonneaux, L., et Simonneaux, J. (2014b). The emergence of recent science education research and its affiliations in France. *Perspectives in Science*, 2(1), pp. 55-64.
- Simonneaux, L., Panissal, N., et Brossais, E. (2013). Students' perception of risk about nanotechnology after an SAQ teaching strategy. *International Journal of Science Education*, 35(14), pp. 2376-2406.
- Simons, P.R.J., J. van der Linden et Duffy, T. (2000). New Learning : Three Ways to Learn in a New Balance. P.R.J. Simons, J. van der Linden et T. Duffy (éd.), *New Learning*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht,Pays-Bas, pp. 1-20
- Sjöberg, L. (1995). Explaining Risk Perception : An Empirical and Quantitative Evaluation of Cultural Theory. *Rhizikon: Risk Research Reports*, No. 22, Centre for Risk Research, University of Stockholm, Sweden
- Skinner, B. F. (1938). The behavior of organisms: an experimental analysis.
- Skinner; BF. (1953). Science and human behavior. MacMillan, New York.
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. *Science*, 236(4799), pp. 280-285.
- Slovic, P. (1992). Perception of risk : Reflections on the psychometric paradigm. In *Social theories of risk*. Krimsky, S. et Golding D. (Eds.), New York : Praeger, pp. 117-152
- Slovic, P., et Weber, E. U. (2002). *Perception of Risk posed by extreme events*. Paper prepared for discussion at the conference Risk Management strategies in an Uncertain World, Palisades, New York, April 12-13, 2002 consultable et téléchargeable à partir de https://www.ldeo.columbia.edu/chrr/documents/meetings/roundtable/white_papers/slovic_wp.pdf consulté le 20 novembre 2011
- Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E., et MacGregor, D. G. (2004). Risk as Analysis and Risk as Feelings: Some Thoughts about Affect, Reason, Risk, and Rationality. *Risk Analysis*, Vol. 24, 2, pp. 311-322
- Slovic, P., Fischhoff, B., et Lichtenstein, S. (1986). The psychometric study of risk perception. In *Risk evaluation and management*. Covello, V.T. Menkes, J., et Mumpower, J. (Eds.). New York : Plenum Publishing Corporation, pp. 3-24
- Souissi, T., Lassoued, M., Mejri, D., et Khammassi, M. (2013). *Growth suppression of annual weeds by rhizobacteria in different cropping systems*. AFPP, 21ème conférence du Columa. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. Dijon, 8 et 9 décembre 2010, communication
- Spickard, J.V. (1989). A guide to Mary Douglas's Three Versions of Grid/Group Theory. *Sociological Analysis*, 50, 2, pp.151-170
- Stark, H., Rothe, T., Wagner, T., et Scheich, H. (2004). Learning a new behavioral strategy in the shuttle-box increases prefrontal dopamine. *Neuroscience*, 126(1), pp. 21-29.
- Stassart, P.M., Barret, P. V., Grégoire, J.C., Hance, T., Mormont, M., Reheul, D., Stilmant, D., Vanloqueren, G. et Visser, M. (2012). L'agroécologie : trajectoire et potentiel. Pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. Van Dam, D. (eds). *Agroécologie : entre pratiques et sciences sociales*. Educagri Editions. 309p., pp. 25-51

- Steiner, P. (2005). Introduction cognitivisme et sciences cognitives. *Labyrinthe* [En ligne], 20 | 2005 (1), mis en ligne le 25 juin 2008, consulté le 12 août 2013. URL : <http://labyrinthe.revues.org/754>
- Stengers, I. (2010). *L'invention des sciences modernes*. La Découverte, 1 juil. 2010 – 216 p.
- Stern, E. (2001). Intelligence, prior knowledge, and Learning. In N.J. Smelser and .B. Baltes (eds.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, Elsevier science, Oxford, Vol. 11, pp. 7670-7674.
- Stern, E., Aprea C. et Ebner, H.G. (2003). Improving Cross-Content Transfer in Text Processing by Means of Active Graphical Representation. *Learning and Instruction*, vol. 13, n° 2, pp. 191-203.
- Stigler, J.W. et Hiebert, J. (1999). *The Teaching Gap : Best Ideas from the World's Teachers for Improving Education in the Classroom*. Free Press, New York.
- Streiff, R. (1950) Le plan Monnet et l'économie française en 1950. *L'information géographique*. Volume 14, 5, pp. 169-182. doi : 10.3406/ingeo.1950.6013
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ingeo_0020-0093_1950_num_14_5_6013
- Suty, L. (2010). *La lutte biologique: Vers de nouveaux équilibres écologiques*. Educagri Editions/Éditions Quae, 328 p
- Tardif, J. (1999). *Le transfert des apprentissages*. Éditions logiques.
- Tardif, J., (1992). *Pour un enseignement stratégique. L'apport de la psychologie cognitive*. Montréal, Les Éditions Logiques, 474 p.
- Tartas, V. et Simonneaux, L. (2015). Argumentation et conceptualisation en astronomie en classe de CM2 (grade5) : activités conjointes de l'enseignant et des élèves pour comprendre les saisons. In Muller Mirza N. et Buty C. (eds). *L'argumentation en contexte d'éducation*. Peter Lang SA Éditions scientifiques internationales, Bernes, pp. 135-164
- Terrisse, A. (2000). *Didactique des disciplines : les références au savoir*. De Boeck Supérieur.
- Thompson, M., Ellis, R., et Wildavsky, A. (1990). *Cultural Theory*. Boulder, San Francisco, Oxford, Westview Press
- Thompson, P. B. (1986). The philosophical foundations of risk. *Southern Journal of Philosophy*, 24, 2, pp.273-286.
- Thompson, P.B. (1997). The Varieties of Sustainability in Livestock Farming. In Sorensen, J.T. (eds). *Livestock Farming Systems ; More than Food Production*. 4th International Livestock Farming Systems Symposium, Foulum (Denmark), 22-23 Aug. 1996, EAAP Publ. n°89, Wageningen Pers (Wageningen).
- Thorndike, E. (1913). *Educational Psychology: The Psychology of Learning*, New York :Teachers College Press
- Tierca Consultants (2014). Rapport d'évaluation : Évaluation *in itinere* du réseau DEPHY (axe 2, action 14 du plan Ecophyto), 137 p.
- Tilman, D. (2005). Biodiversité et services écosystémiques : faut-il se préoccuper de l'érosion de la biodiversité ? in Barbault, R. (dir), et Le Duc, J. P. (coord.) (2005). Actes de colloque *Biodiversité, science et gouvernance*. IRD Éditions. pp. 102-117

- Tilman, D., et Downing, J. A. (1996). Biodiversity and stability in grasslands. In *Ecosystem Management*, Springer, New York, pp. 3-7
- Tobias, G. (2013). Comment pense Mary Douglas ? Risque, culture et pouvoir. *Ethnologie française*, 43, 2013, 1, pp. 137-145.
- Toulmin, S. (1958). *The Uses of Argument* Cambridge University Press. Cambridge, England.
- Trichard, A., Chauvel, B., et Petit Michaut, S. (2013). Un état des connaissances sur la prédation des graines adventices par les invertébrés. In: *22e Conférence du COLUMBA, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes* (p. 807-816). Presented at 22. Conférence du Columa, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, FRA (2013-12-10 - 2013-12-12). Association Française de Protection des Plantes, AFPP. <http://prodinra.inra.fr/record/261570>
- Truc, G. (2005). Dewey J., « La réalité comme expérience », traduit de l'anglais (Etats-Unis) par Pierre Saint-Germier et Gêrôme Truc, présenté par *Tracés, Revue de Sciences humaines*, n°9, septembre 2005, p. 83-92 mis en ligne le 11 février 2008, consulté le 10 octobre 2012. URL : <http://traces.revues.org/204> ; DOI : 10.4000/traces.204
- Tutiaux-Guillon, N. (2006). Le difficile enseignement des « questions vives » en histoire-géographie. in *L'école à l'épreuve de l'actualité : Enseigner les questions vives*. Legardez, A., Simonneaux, L. (dir). Esf Editeur, pp. 119-138
- Tweney, R. D. (1991). Informal reasoning in science. *Informal reasoning and education*, pp. 3-16.
- Ugaglia A., Del'Homme, B., Filippi M. (2011). Overcoming grape growers' pesticide lock'in. *Cahiers du GREThA*, n°2011-12, 14p.
- Universalis, Encyclopaedia. (2014). *Dictionnaire de la Sociologie (Les Dictionnaires d'Universalis)* (Vol. 6)
- Urgelli, B. (2009). *Logiques d'engagement d'enseignants face à une question socioscientifique médiatisée : le cas du réchauffement climatique*. Thèse de doctorat, École Normale Supérieure Lettres et Sciences Humaines, Lyon
- Urgelli, B., Simonneaux, L. et Le Marec, J. (2011). Complexité et médiatisation d'une question socialement vive : le cas du réchauffement climatique. in *Développement durable et autres question d'actualité*. Legardez, A., et Simonneaux, L. (dir.). Dijon, Eduagri Editions. pp. 67-87
- Valente, T., et Rogers, E. (1995). The Origins and Development of the Diffusion of Innovations Paradigm as an Example of Scientific Growth. *Science Communication*, 16, pp. 245-246
- Van Eemeren, F. H., Grootendorst, R., et Henkemans, A. F. S. (2002). *Argumentation: Analysis, evaluation, presentation*. Routledge.
- van Zeist, W. & Bakker-Heeres, J.H.A. (1984). Archaeobotanical studies in the Levant 3. Late Paleolithic Mureybet. *Palaeohistoria*, 26, pp. 171-179
- Vanloqueren, G., et Baret, P.V. (2008). Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural a lock-in'case study. *Ecological Economics*, 66, pp. 436-446
- Vanloqueron, G. et Baret, V. (2009). How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy* 38 (6), p. 971-983.

- Vayssière, P. (1960). La recherche agronomique au Muséum National d'Histoire Naturelle de 1848 à 1914. *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*. Vol. 7, 12, décembre 1960, pp. 605-614 Consultable à partir de http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/jatba_0021-7662_1960_num_7_12_2641 juillet 2014
- Vedel, G. (2006). Développement agricole et conseil aux agriculteurs: De la productivité au développement durable. In *Conseiller en agriculture*. Rémy, J., Brives, H., et Lémery, B. (eds). Editions Quae, pp. 37- 57
- Venturini, P. (2004). Note de synthèse : Attitudes des élèves envers les sciences : le point des recherches. *Revue Française de Pédagogie*, 149, p. 97-121
- Venturini, T. (2008). *La cartographie des controverses*. Communication au Colloque CARTO 2.0, Paris, 3 Avril 2008. http://issuu.com/christophetricot/docs/carto2.0_actes_print consulté novembre 2011
- Venturini, T. (2010). Diving in magma: How to explore controverses with actor-network theory. *Public understanding of science*, 19(3), pp. 258-273.
- Venturini, T. (2012). Building on Faults: How to Represent Controversies with Digital Methods. *International Peer Reviewed Journal. Public Understanding of Science*, 21(7), pp. 796-812
- Venturini, T. et Latour, B. (2010). *The Social Fabric : Digital Traces and Quali-quantitative Methods*. In *Proceedings of Future En Seine 2009*. Cap Digital, 2010. Conférence
- Venturini, T., Ricci, D., Mauri, M., Kimbell, L., et Meunier, A. (2015). Designing Controversies and their Publics. *Design Issues*, 31(3), pp. 74-87.
- Vergnaud, G. (1992). Qu'est-ce que la didactique? En quoi peut-elle intéresser la formation des adultes peu qualifiés?. *Education permanente*, 111, pp. 19-31.
- Verret, M. (1975) *Le temps des études*, Paris, Honoré Champion, 2 vol.
- Veziar, A. (2013). L'apprentissage par problématisation, un nouveau modèle pour interroger la textualité des savoirs historiques scolaires ? *Recherches en Didactiques. Les Cahiers Théodile*, Presses universitaires du Septentrion, pp. 11-28.
- Viaux, P. (2013). *Systèmes intégrés : une troisième voie en grande culture*. Editions France Agricole - Collection Agriproductions, 329 p.
- Vidal, M. et Simonneaux, L. (2013). Les enseignants refroidissent la question socialement vive du bien-être animal. *Penser l'éducation*, Hors Série, pp. 431-446.
- Vidal, M., et Simonneaux, L. (2011). Jeux de rôle et simulation- Sensibiliser les élèves à la gestion d'éco-socio-systèmes conflictuels. In *Développement durable et autres questions d'actualité: questions socialement vives dans l'enseignement et la formation*. Legardez, A., et Simonneaux, L. (2011). Educagri Editions. pp. 53-65
- Vidal, M., et Simonneaux, L. (2014). Conceptions de l'animal au regard de dialectique objet/sujet. *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE*, (36).
- Violle, C.; Navas, M. L.; Vile, D.; Kazakou, E.; Fortunel, C.; Hummel, I., et Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional !. *Oikos*, 116, 5, pp. 882-892.
- Vlek, C., et Stallen, P. J. (1981). Judging risks and benefits in the small and in the large. *Organizational Behavior and Human Performance*, 28(2), pp. 235-271.

- Vosniadou, S., et Verschaffel, L. (2004). Extending the Conceptual Change Approach to Mathematics Learning and Teaching. *Learning and Instruction*, vol. 14, n° 5.
- Voss, J. F., et Means, M. L. (1991). Learning to reason via instruction in argumentation. *Learning and Instruction*, 1(4), pp. 337-350.
- Voss, J. F., Perkins, D. N., et Segal, J. W. (Eds.). (2012). *Informal reasoning and education*. Routledge.
- Vygotsky, L. S. (1997). *Pensée et Langage*, éditions La Dispute
- Vygotsky, L.S (1933/1985). Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire. In B. Shneuwly et J.P. Bronckart (Eds.), *Vygotski aujourd'hui* (pp. 95-117); Paris : Delachaux & Niestlé
- Wagner, J. F. (2006). Transfer in pieces. *Cognition and instruction*, 24(1), pp. 1-71.
- Wagner, J. F. (2010). A transfer-in-pieces consideration of the perception of structure in the transfer of learning. *the journal of the learning sciences*, 19(4), pp. 443-479.
- Watson, J. B. (1924). *Behaviorism*. New York: People's Institute.
- Wegerif, R., Li, L., et Kaufman, J. C. (Eds.). (2015). *The Routledge International Handbook of Research on Teaching Thinking*. Routledge.
- Weil-Barais, A., et Dumas-Carré, A. (1998). Les interactions didactiques : tutelle et / ou médiation ? In *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*, Dumas-Carré, A., et Weil-Barais, A. (Eds.), Berne : Peter Lang, pp. 1-15
- Weiss, K., Moser, G., et Germann, C. (2006). Perception de l'environnement, conceptions du métier et pratiques culturelles des agriculteurs face au développement durable. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 56(2), pp. 73-81.
- Westerman, P.R., Wes, J.S., Kropff, M.J. et van der Werf, W. (2003). Annual losses of weed seeds due to predation in organic cereal fields. *Journal of Applied Ecology*, 40, pp. 824-836
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Vallod, D. et David, C. (2009). Agroecology as a science, movement or practice. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp. 503-515.
- Wildavsky, A. et Dake, K. (1990). Theories of risk perception: Who fears what and why? *Daedalus*, 119, pp. 41-60.
- Willaume, M., Auricoste, C., et Nesme, T. (2008). *Place et méthodes de conception et d'évaluation de Systèmes de culture innovants dans l'enseignement supérieur agricole français*. in colloque « Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? ». <http://agronomie.free.fr/colloque/PlaceMethConEvSystCultInnEnsAgrFr.pdf> consulté le 02 juin 2010
- Willcox, G. (2008). Nouvelles données archéobotaniques de Mureybet et la néolithisation du moyen Euphrate. in *Le site néolithique de Tell Mureybet (Syrie du Nord), en hommage à Jacques Cauvin*. J. Ibañez (ed.). BAR International Series, 1843 (1), pp. 103-114
- Willcox, G., (2012). Searching for the origins of arable weeds in the Near East. *Vegetation History and Archaeobotany*. Volume 21, 2, pp. 163-167
- Willcox, G., Fornite, S., et Herveux L. (2008). Early Holocene cultivation before domestication in northern Syria. *Vegetation History and Archaeobotany*. 17/3, pp. 313-325.

- Wynne, B. (1999). Une approche réflexive du partage entre savoir expert et savoir profane. *Les cahiers de la sécurité intérieure*, 38, pp. 219-236
- Yonli, D.; Raore, H.; Sawadogo, B.; Bonzi-Coulibaly, Y.; Tapsoba, I.; Bellvert, F.; Comtes, G.; Sereme, P.; Sankara, P.; et Bally, R. (2013). *Exploitation of allelopathic properties of local plants against Striga hermonthica in Burkina Faso*. 22e Conférence du COLUMA. Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes, Dijon, France, 10-12 décembre 2013, pp. 837-844
- Yvon, F., et Zinchenko, Y. (2012). *Vygotsky, une théorie du développement et de l'éducation* [Vygotsky, a theory of development and education]. Moscow: Moscow State University.
- Zadoks, J.C. (1985). On the conceptual basis of crop loss assessment : the threshold theory. *Annual Revue of Phytopathology*, 23, pp.455-473
- Zadoks, J.C. et Schein, R.D. (1979). *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press, New York.
- Zahm, F., Alonso Ugaglia, A. et Del'homme, B. (2013). *Quelle articulation des problématiques sociales et environnementales au sein des organisations ?* Communication au Congrès RIODD 8 Lille, 18-21 Juin 2013 consultable sur <http://rse.univ-lille1.fr/RIODD/coms-2/Zahm%20et%20al%20performance%20globale%20%20RIODD%202013%20lille%20final%20corrig%C3%A9e.pdf>
- Zeidler, D. L. (2005). *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education* (Vol. 19). Springer Science & Business Media. 311 p.
- Zeidler, D. L. (2007). An inclusive view of scientific literacy: Core issues and future directions. Paper presented at "Promoting Scientific Literacy: Science Education Research and Practice in Transaction" LSL Symposium, Uppsala, Sweden.
- Zeidler, D. L. et Keefer, M. (2005a). The role of moral reasoning and the stauts of socioscientific issus in science education : philosophical, psychological and pedagogical considerations. in Zeidler, D. L. (dir). *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education* (Vol. 19). Springer Science & Business Media.
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., et Howes, E. V. (2005b). Beyond STS: A research based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), pp. 357-377.
- Zeidler, D.L. et Sadler, D.L. (2011). An inclusive view of scientific literacy : Core issues and future directions of socioscientific reasoning. In Linder, C. Ostman, L, Roberts, D.A., Wickman, P., Erickson, G. & MacKinnon, A. (Eds.). *Promoting scientific literacy: Science education research in transaction*. New York : Routledge / Taylor & Francis Group, pp. 176-192
- Zohar, A., et Nemet, F. (2002). Fostering students'knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.39, pp. 35-62
- Zouari, Y. (2010). Pédagogie et didactique à l'épreuve de la modernité. *Questions Vives* [En ligne], Vol.4 n°13 | 2010, mis en ligne le 01 janvier 2011, consulté le 20 juillet 2015.