



HAL
open science

Expérimentations de pratiques agroécologiques réalisées par des agriculteurs : proposition d'un cadre d'analyse à partir du cas des grandes cultures et du maraîchage diversifié dans le département de la Drôme

Maxime Catalogna

► To cite this version:

Maxime Catalogna. Expérimentations de pratiques agroécologiques réalisées par des agriculteurs : proposition d'un cadre d'analyse à partir du cas des grandes cultures et du maraîchage diversifié dans le département de la Drôme. Sciences agricoles. Université d'Avignon, 2018. Français. NNT : 2018AVIG0705 . tel-02179262

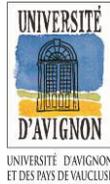
HAL Id: tel-02179262

<https://theses.hal.science/tel-02179262>

Submitted on 10 Jul 2019

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.



THESE POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR
DE L'UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE

Ecole doctorale 536 Agrosociétés & Sciences

EXPÉRIMENTATIONS DE PRATIQUES AGROÉCOLOGIQUES RÉALISÉES PAR LES AGRICULTEURS

**Proposition d'un cadre d'analyse à partir du cas des grandes cultures et du maraîchage
diversifié dans le département de la Drôme**

Présentée et soutenue publiquement par

Maxime Catalogna

Le 7 décembre 2018 à Avignon

Direction de thèse Mireille Navarrete – INRA, UR Ecodéveloppement

Co-encadrement Muriel Dubois Dunilac – Conseil départemental de la Drôme
Marc Tchamitchian – INRA, UR Ecodéveloppement

Devant le jury composé de

Rapporteur	Jean-Marc Meynard	INRA Versailles-Grignon / UMR SADAPT
Rapporteur	Claude Compagnone	AgroSup Dijon
Examinateur	Fabrice Le Bellec	CIRAD, UMR HortSys
Examinatrice	Amélie Lefèvre	INRA, UE Alenya
Examinatrice	Laurence Guichard	INRA Versailles-Grignon, UMR Agronomie
Examinateur	Marc Tchamitchian	INRA, UR Ecodéveloppement
Examinateur	Antonin Delisle	Conseil départemental de la Drôme
Examinatrice	Mireille Navarrete	INRA, UR Ecodéveloppement



THESE POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR
DE L'UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE

Ecole doctorale 536 Agrosociences & Sciences

EXPÉRIMENTATIONS DE PRATIQUES AGROÉCOLOGIQUES RÉALISÉES PAR LES AGRICULTEURS

**Proposition d'un cadre d'analyse à partir du cas des grandes cultures et du maraîchage
diversifié dans le département de la Drôme**

Présentée et soutenue publiquement par

Maxime Catalogna

Le 7 décembre 2018 à Avignon

Direction de thèse Mireille Navarrete – INRA, UR Ecodéveloppement
Co-encadrement Muriel Dubois Dunilac – Conseil départemental de la Drôme
Marc Tchamitchian – INRA, UR Ecodéveloppement

Devant le jury composé de

Rapporteur	Jean-Marc Meynard	INRA Versailles-Grignon / UMR SADAPT
Rapporteur	Claude Compagnone	AgroSup Dijon
Examinateur	Fabrice Le Bellec	CIRAD, UMR HortSys
Examinatrice	Amélie Lefèvre	INRA, UE Alenya
Examinatrice	Laurence Guichard	INRA Versailles-Grignon, UMR Agronomie
Examinateur	Marc Tchamitchian	INRA, UR Ecodéveloppement
Examinateur	Antonin Delisle	Conseil départemental de la Drôme
Examinatrice	Mireille Navarrete	INRA, UR Ecodéveloppement

Résumé : L'intensification des processus écologiques proposée par l'agroécologie est très dépendante du contexte agricole. Un renouvellement des savoirs sur l'exploitation agricole est nécessaire pour adapter chaque pratique agroécologique. Dans cette thèse, nous avons étudié l'activité d'expérimentation des agriculteurs, définie comme un processus de mise à l'épreuve de pratiques embarquant des hypothèses tant sur leur mise en œuvre que sur les processus agroécologiques que ces pratiques visent à induire. Notre travail est basé sur des enquêtes auprès de 17 agriculteurs majoritairement drômois, étant soit en maraîchage diversifié, soit en grandes cultures.

Nous avons formalisé l'activité d'expérimentation des agriculteurs avec deux notions : la situation expérimentale (SE) et l'itinéraire d'expérimentation (ITE). Elles concernent respectivement le temps court (annuel ou infra-annuel) et le temps long (pluri-annuel) et font l'objet des deux premiers chapitres de résultat. Dans le premier, nous avons construit un cadre d'analyse des SEs comprenant des phases de conception, de réalisation et d'évaluation. A partir de ce cadre, nous avons étudié la diversité d'un échantillon de 181 SEs et identifié 10 groupes de SEs organisés en 4 clusters. La typologie obtenue dépend d'une variable particulière qui est le type de lien aux SEs précédentes. Dans le deuxième chapitre de résultat, nous avons approfondi ces liens en nous intéressant aux ITEs, définis comme la combinaison de différentes SEs portant sur une thématique agroécologique particulière. Nous avons identifié 4 types d'ITE qui diffèrent par leur intensité expérimentale, les liens entre SEs et l'émission ou non de nouvelles branches expérimentales.

Le troisième chapitre de résultat traite la question du développement des connaissances des agriculteurs grâce à leurs expérimentations. Après avoir caractérisé différentes formes de connaissances, plus ou moins stabilisées, nous proposons trois processus de développement de connaissances avancées grâce aux expérimentations menées.

Le modèle SE/ITE est prometteur pour accompagner les agriculteurs. La frise chronologique des SEs organisées en ITE représente un outil de réflexivité potentiel.

Mots-clefs : expérimentation des agriculteurs, connaissance, agroécologie, agronomie, grandes cultures, maraîchage diversifié

Abstract : The intensification of ecological processes proposed by agroecology is highly dependent on the agricultural context. A renewal of farming knowledge is necessary to adapt each agro-ecological practice. In this thesis, we studied farmers' experiments, defined as a process of testing practices that embody hypotheses both on their implementation and on the targeted agro-ecological processes. Our work is based on surveys of 17 farmers, mainly Drôme farmers, who were either diversified market gardeners or cereal farmers.

We have formalized the farmers' experiments with two notions: the experimental situation (SE) and the experimentation itinerary (ITE). They concern respectively short time (annual or infra-annual) and long time (multi-year) and are the subject of the first two chapters of the results. In the first one, we built an analytical framework that includes design, implementation and evaluation phases. From this framework, we studied the diversity of a sample of 181 SEs and identified 10 groups of SEs organized into 4 clusters. The typology obtained depends on a particular variable which is the type of link to previous SEs. In the second chapter of the result, we have deepened these links by focusing on ITEs, defined as the combination of different SEs on a particular agro-ecological theme. We identified 4 types of ITEs that differ in their experimental intensity, the links between SEs and the emission or not of new experimental branches.

The third chapter of the result deals with the question of farmers developing knowledge through their experiments. After having characterized different forms of knowledge, more or less stabilized, we propose three processes for the development of advanced knowledge through experimentation.

The SE/ITE model is promising to support farmers. The chronological timeline of SEs organized in ITEs represents a potential reflexivity tool.

Keywords : farmers' experiments, knowledge, agroecology, agronomy, arable crops, market gardening

Remerciements

C'est avec une certaine émotion que j'écris ces quelques lignes. Quatre ans d'une vie, c'est loin d'être négligeable. Si je ressens une joie immense de voir l'aboutissement et la concrétisation de cette thèse, c'est aussi une profonde nostalgie qui m'emplit à l'idée de devoir refermer ce chapitre.

Mes premiers mots iront naturellement à ma directrice de thèse Mireille Navarrete qui m'a accompagné pendant ces quatre ans. Merci de m'avoir fait confiance pour traiter ce sujet. Il va sans dire que je ne serai jamais arrivé jusque-là sans nos nombreux échanges, ton soutien et ton aide. Merci d'avoir passé autant de temps à m'écouter, à me pousser dans mes retranchements, à me lire et relire pour rendre compréhensible ma pensée embrouillée. Ce fut un réel plaisir de travailler avec toi et d'avoir eu une liberté de création tout en pouvant compter sur ta veille. Alors merci pour ton professionnalisme, ta rigueur, ta gentillesse et ta compréhensivité.

Muriel, un grand merci à toi aussi. Tu as pris ce rôle d'encadrante alors qu'il ne t'était pas destiné. Tu as su te plonger dans le sujet et tes retours ont grandement nourri ma réflexion. Tu m'as fait découvrir les différents acteurs du terrain ainsi que les arcanes de la politique territoriale. Merci pour tes encouragements, tes critiques, ta bonne humeur et ton engagement dans l'encadrement.

Merci aux membres du comité scientifique, Lorène Prost, Marianne Le Bail, Nathalie Girard, qui se sont réunis plusieurs fois et m'ont permis de faire des bonds en avant dans mes réflexions. Merci en particulier à toi, Stéphane, qui m'a aussi permis de réaliser cette thèse en me la proposant pendant mon stage de fin d'étude. Je me suis vraiment épanoui avec ce sujet. Je me souviens encore de notre discussion dans ton bureau. A cette époque, je connaissais un petit peu l'agroécologie, peu de chose à la recherche scientifique et n'avais aucune idée de ce que pouvait faire une collectivité départementale comme le CD26. Merci aussi à toi Marc, chacune de nos discussions fut riche et m'a aidé à avancer.

Merci à Jean-Marc Meynard, Claude Compagnone, Fabrice Le Bellec, Amélie Lefèvre et Laurence Guichard d'avoir accepté avec enthousiasme d'être membres de mon jury de thèse.

Merci à l'équipe du « SDR » du Département de m'avoir accueilli et fait découvrir un milieu tout autre que la recherche. Merci en particulier à mes deux chefs Pernelle Julian et Antonin Delisle pour avoir cru en cette thèse et en moi. Merci à Camille et Marine, mes deux comparses du midi. Merci aux deux Sandrines et à Christian.

Je tiens à remercier l'Association Nationale Recherche Technologie et le Département de la Drôme qui ont financé cette thèse.

Ce travail n'aurait jamais pu être accompli sans les agriculteurs qui ont accepté que je vienne les rencontrer. Merci d'avoir pris le temps de m'expliquer toute la complexité des expérimentations menées. Merci en particulier à Nicolas et Eric d'avoir poussé plus loin l'expérience en m'accompagnant pour co-présenter cette activité encore trop peu soupçonnée. Merci à Jean-Marie pour son accueil, sa gentillesse et sa détermination qui m'ont beaucoup marqué.

Merci aux copains, aux nouveaux qui se sont lancés dans une aventure similaire et avec qui j'ai pu partager mon vécu : Raph, Flo, Martina, Coline, Claire, Daya, Yann... Le programme des futures soutenances est bien chargé! Merci à Johanna et Esther, déjà docteurs, de m'avoir rassuré dans mes moments de doutes. Merci à Fabien et Salah de m'avoir initié aux bitcoins et au foot, même si, soyons honnêtes, je n'ai toujours pas franchi le stade de débutant. Enfin, merci à toi cher co-bureau pour tous nos échanges, ton soutien et ton sourire. Je suis très triste de devoir quitter ce bureau.

Merci aux deux acolytes Guillaume et Arnaud pour les fous rires innombrables. J'espère qu'il y en aura encore bien d'autres. Plus globalement, merci à Ecodev pour l'ambiance de qualité qui y règne. C'est vraiment agréable de travailler dans ce cadre. Merci à tous ceux qui m'ont aidé ou se sont proposés de m'aider dans mes derniers moments d'écriture.

Merci aussi aux anciens copains qui m'ont soutenu: Luc, Mig, Antoine, Laura, Julia, Théo, Caro, Ninon, Pierre-Victor, Julien, Lucas... J'en oublie sûrement. Vos messages et appels m'ont toujours redonné du courage.

Merci à mes futurs associés d'avoir été si patients et compréhensifs pendant la période d'écriture.

Merci à ma famille et surtout à mes parents qui ont été présents pour m'aider à surmonter les mois difficiles. Merci aussi à Yves et Jocelyne de m'avoir encouragé.

Enfin, merci à toi Jeanne pour ton amour. Tu as vécu cette thèse de très près. Une thèse déborde très largement sur la vie personnelle et je te suis infiniment reconnaissant de m'avoir tant aidé.

Table des matières

CHAPITRE 1 - PROBLÉMATIQUE..... 16

1 PLAN DE LA PROBLÉMATIQUE	17
2 ENJEUX SOCIÉTAUX ET SCIENTIFIQUES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'AE	17
2.1 L'AGROÉCOLOGIE : UN PARADIGME PROMETTEUR POUR RÉDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'AGRICULTURE	17
2.2 LES DIFFICULTÉS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'AGROÉCOLOGIE	18
3 PRODUIRE DES CONNAISSANCES POUR L'ACTION EN AGROÉCOLOGIE	21
3.1 APPRENDRE PAR LA PRATIQUE.....	21
3.2 COMMENT LES AGRONOMES SE SAISISSENT DE LA QUESTION DES CONNAISSANCES POUR L'ACTION	23
3.3 COMPRENDRE LA PRODUCTION DES CONNAISSANCES POUR L'ACTION PAR LES AGRICULTEURS.....	24
4 ETAT DE L'ART SUR L'EXPÉRIMENTATION EN AGRICULTURE ET EN AGRONOMIE.....	25
4.1 L'EXPÉRIMENTATION EN AGRONOMIE : HISTOIRE ET CONCEPTS PRINCIPAUX	26
4.2 L'EXPÉRIMENTATION AVEC LES AGRICULTEURS.....	31
4.3 EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS SUR LEUR FERME	35
5 ELABORATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE.....	38
5.1 L'EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS COMME VECTEUR D'APPRENTISSAGE PRATIQUE EN AGROÉCOLOGIE.....	38
5.2 COMPRENDRE LE PROCESSUS D'EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS DANS LE TEMPS LONG ET L'ACQUISITION DE CONNAISSANCES POUR L'ACTION EN AGROÉCOLOGIE	39
5.3 QUESTIONS DE RECHERCHE.....	40

CHAPITRE 2 - MÉTHODOLOGIE..... 43

1 CHOIX DU TERRAIN ET DES AGRICULTEURS ENQUÊTÉS	44
1.1 CHOIX DU TERRAIN ET DES TYPES DE PRODUCTION.....	44
1.2 ENQUÊTE D'AGRICULTEURS AYANT UNE ACTIVITÉ D'EXPÉRIMENTATION DE PRATIQUES AGROÉCOLOGIQUES.....	45
1.3 NON PRISE EN COMPTE DE CERTAINS FACTEURS D'ÉCHANTILLONNAGE.....	45
2 DISPOSITIF D'ENQUÊTE	46
2.1 ÉCHANTILLONNAGE.....	46
2.2 MÉTHODES D'ENQUÊTE AUPRÈS DES AGRICULTEURS.....	47
3 POSTURE DE RECHERCHE	47
4 MÉTHODES D'ANALYSE	48

CHAPITRE 3 - ACTIVITE D'EXPERIMENTATION A COURT TERME: ANALYSE DES SITUATIONS EXPÉRIMENTALES DES AGRICULTEURS..... 50

1 INTRODUCTION	53
2 MATERIALS AND METHODS	54
2.1 A CONCEPTUAL MODEL TO DESCRIBE THE EXPERIMENTAL SITUATIONS.....	55
2.2 USING THE CONCEPTUAL MODEL TO SURVEY FARMERS IN THE CASE STUDY	55

2.3 ANALYSIS OF THE DIVERSITY OF EXPERIMENTAL SITUATIONS IN THE CASE STUDY	56
3 RESULTS AND DISCUSSION	57

CHAPITRE 4 - ACTIVITE D'EXPERIMENTATION A LONG TERME: ANALYSE DES ITINÉRAIRES D'EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS..... 72

1 INTRODUCTION	73
2 MÉTHODOLOGIE.....	73
2.1 RECONSTRUCTION DES ITES CHEZ LES AGRICULTEURS ENQUÊTÉS PAR THÉMATIQUE AGROÉCOLOGIQUE	73
2.2 LIENS ENTRE GROUPES DE SÈS ET POSITIONNEMENT DANS L'ITE	76
2.3 CONSTRUCTION D'UNE GRILLE D'ANALYSE DES ITES.....	76
2.4 TYPES D'ITE	77
3 RÉSULTATS	77
3.1 RÉSULTATS GÉNÉRAUX SUR LES ITES	77
3.2 GROUPES DE SÈS ET ITES	80
3.3 TYPES D'ITINÉRAIRES D'EXPÉRIMENTATION	86
3.4 INTERACTIONS ENTRE ITES.....	110
4 DISCUSSION	112
4.1 LE CONCEPT D'ITE, UN APPORT POUR L'AGRONOMIE DANS LA COMPRÉHENSION DU CHANGEMENT TECHNIQUE.....	112
4.2 DISCUSSION MÉTHODOLOGIQUE.....	115
5 CONCLUSION DU CHAPITRE	116

CHAPITRE 5 - DÉVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES POUR L'ACTION DES AGRICULTEURS AU COURS DE L'EXPÉRIMENTATION.....117

1 INTRODUCTION	118
2 MÉTHODOLOGIE.....	119
2.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX D'ANALYSE	119
2.2 ECHANTILLON.....	120
2.3 DÉMARCHE D'ANALYSE DES CONNAISSANCES.....	120
3 RÉSULTATS	122
3.1 TYPES DE CONNAISSANCES DÉVELOPPÉES PAR LES AGRICULTEURS GRÂCE AUX EXPÉRIMENTATIONS ...	122
3.2 DÉVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES AVANCÉES	136
4 DISCUSSION	147
4.1 SYNTHÈSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS	147
4.2 DISCUSSION MÉTHODOLOGIQUE ET PERSPECTIVES.....	150
5 CONCLUSION	151

CHAPITRE 6 - DISCUSSION GÉNÉRALE.....153

1 APPORTS THÉORIQUES DE LA THÈSE	154
1.1 LE MODÈLE ITE/SE POUR MIEUX COMPRENDRE L'ACTIVITÉ D'EXPÉRIMENTATION	154
1.2 EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS ET CHANGEMENT TECHNIQUE	155
1.3 MISE EN ÉVIDENCE DES MÉCANISMES DE PRODUCTION DE CONNAISSANCES EN LIEN AVEC L'EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS	157

2	DISCUSSION MÉTHODOLOGIQUE	158
2.1	APPORTS MÉTHODOLOGIQUES.....	158
2.2	LIMITES ET PERSPECTIVES	159
3	PROPOSITIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA RECHERCHE.....	162
3.1	ACCOMPAGNEMENT DES AGRICULTEURS DANS LEUR DÉMARCHE D'EXPÉRIMENTATION	162
3.2	PROPOSITIONS POUR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE	166

Liste des figures

CHAPITRE 1 - PROBLEMATIQUE

Figure 1.1: Le cycle de Kolb	21
Figure 1.2: Etapes d'une expérimentation système de culture (d'après Nolot and Debaeke 2003)	30
Figure 1.3: Cadre d'analyse de l'expérimentation de pratiques agroécologiques par les agriculteurs et questions de recherche.....	42

CHAPITRE 2 - METHODOLOGIE

Figure 2.1: Schéma résumant le traitement des questions de recherche.....	49
---	----

CHAPITRE 3 - ACTIVITÉ D'EXPÉRIMENTATION À COURT TERME: ANALYSE DES SITUATIONS EXPÉRIMENTALES DES AGRICULTEURS

Figure 3.1: Farmer experimenting wheat cultivation without tillage (here after sorghum). Observation of earthworms presence	54
Figure 3.2: Number of experimental situations per types of agroecological practices experimented by farmers (N = 181 experimental situations). Mixed practices mean that two types or more agroecological practices were combined and experimented during the same experimental situation.....	57

CHAPITRE 4 - ACTIVITÉ D'EXPÉRIMENTATION À LONG TERME: ANALYSE DES ITINÉRAIRES D'EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS

Figure 4.1: Méthode de découpage d'un ITE avec branches pour positionner les SEs. Pour chaque groupe de SE, on compte le nombre de SEs de ce groupe par position « début », « intermédiaire », « avancé ». Ad = Adoption. Ab = Abandon	76
Figure 4.2: ITE de VA sur le biocontrôle. Par soucis de clarté, lorsque les SEs sont reliées par le seul le lien thématique, il n'est pas représenté (ici, le lien aux SEs sur les amarantes, plantes pièges à pucerons, ou sur les calendulas à <i>Macrolophus</i>).....	78
Figure 4.3: Répartitions des ITEs par thématiques d'expérimentation des agriculteurs enquêtés.	80
Figure 4.4: Répartition des groupes de SEs (en nombre de SEs par groupe) selon leur position dans les ITEs en début de branche (SE n°1), au milieu (SE n°2 ou 3) ou en fin de branche (SE n°4 ou plus).....	82
Figure 4.5: Groupes de SEs précédant une adoption ou un abandon dans les ITEs en fonction du groupe de SEs	84
Figure 4.6: Archétypes de scénarios d'un ITE et répartition des différents groupes de SEs les plus fréquents selon leur position dans l'ITE.....	85
Figure 4.7: Caractéristiques des ITEs (intensité expérimentale moyenne, nombre de SEs, durée et nombre de branches expérimentales) selon les 4 types identifiés : linéaire, arborescent, buissonnant et faible investissement	86
Figure 4.8: Exemple d'ITE linéaire sur les couverts végétaux.....	88
Figure 4.9: Exemple d'ITE arborescent n°1 en biocontrôle.....	92
Figure 4.10: Exemple d'ITE arborescent n°2 sur les couverts végétaux.....	97
Figure 4.11: Exemple d'ITE buissonnant	99

Figure 4.12: Exemples d'ITEs à faible investissement.....	102
Figure 4.13: Répartition schématique des 4 types d'ITEs selon deux axes : l'émission de nouvelles branches expérimentales et l'intensité des liens entre SEs.....	106
Figure 4.14: Répartition des types d'ITE par type de production	107
Figure 4.15: Répartition des types d'ITE par agriculteur (en vert maraîchers et en bleu producteurs de grandes cultures).....	108
Figure 4.16: Répartition des types d'ITE par thématique agroécologique	110
Figure 4.17: Niveaux de complexité des liens entre situations expérimentales.....	114

CHAPITRE 5 - DÉVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES POUR L'ACTION DES AGRICULTEURS AU COURS DE L'EXPÉRIMENTATION

Figure 5.1: Représentation schématique du développement des connaissances dans le temps de l'expérimentation, les connaissances pouvant passer sous trois grandes formes	120
Figure 5.2: Arbre de détermination des types de connaissances mobilisées ou produites par les agriculteurs en lien avec leurs expérimentations. L'arbre des clefs de détermination n'est donc pas symétrique pour chaque branche car les critères de discrimination aux différents niveaux de catégorisation ne sont pas les mêmes.....	123
Figure 5.3: Répartition des types de connaissances par système de production.....	134
Figure 5.4: Répartition des types de connaissances par agriculteur. Les 3 premiers agriculteurs sont des maraîchers (en vert) tandis que les autres sont en grandes cultures (en bleu).....	136
Figure 5.5: Mobilisation de connaissances antérieures pour formuler une hypothèse de modification complexe des actions.....	138
Figure 5.6: Explorations de différentes combinaisons d'actions, d'objets biologiques et de processus agroécologiques pour une pratique permettant d'atteindre des processus agroécologique souhaitable. Pour une pratique (rond dans la figure) , différentes variantes sont expérimentées ce qui réduit la gamme des actions, objets et processus inexplorés tandis que les collections d'actions, objets et processus souhaitables ou non s'enrichissent.	141
Figure 5.7: Evolution du degré de certitude d'une connaissance par l'accumulation de preuves issues de SEs	145

Liste des tableaux

CHAPITRE 1 - PROBLEMATIQUE

Tableau 1-1: Trois types d'expérimentation en milieu paysan (d'après Hocdé 2002)..... 33

CHAPITRE 3 - ACTIVITÉ D'EXPÉRIMENTATION À COURT TERME: ANALYSE DES SITUATIONS EXPÉRIMENTALES DES AGRICULTEURS

Tableau 3-1: Correspondance entre les données de l'article et les autres chapitres de la thèse... 52

Table 3-2: The framework for analyzing an experimental situation.....58

Table 3-3: Groups of experimental situations identified in the case study.....64

CHAPITRE 4 - ACTIVITÉ D'EXPÉRIMENTATION À LONG TERME: ANALYSE DES ITINÉRAIRES D'EXPÉRIMENTATION DES AGRICULTEURS

Tableau 4-1 : Thématiques des ITEs et pratiques associées..... 74

Tableau 4-2: Caractéristiques générales des ITEs de l'échantillon..... 79

Tableau 4-3: Présentation synthétique des différentes formes d'ITE rencontrées. Pour chaque caractéristique quantitative, ce sont les valeurs médianes qui sont fournies..... 105

CHAPITRE 5 - DÉVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES POUR L'ACTION DES AGRICULTEURS AU COURS DE L'EXPÉRIMENTATION

Tableau 5-1: Exemple de traitement d'une connaissance d'un agriculteur issue d'expérimentation 121

Tableau 5-2: Exemples d'hypothèses sur des processus agroécologiques à générer. La première colonne correspond aux hypothèses reformulées à partir du verbatim (colonne 2) des agriculteurs. Les agriculteurs et les SEs correspondant aux hypothèses sont indiquées dans la troisième colonne. 124

Tableau 5-3 : Exemples d'hypothèses sous forme de modifications simples des actions 125

Tableau 5-4 : Exemples d'hypothèse sur une modification complexe des actions..... 126

Tableau 5-5 : Exemples de connaissances confortées (ou non). 127

Tableau 5-6: Exemples de connaissances précisées..... 128

Tableau 5-7 : Exemples de connaissances de synthèse..... 129

Tableau 5-9: Exemples de connaissances sous forme de règles d'action 130

Tableau 5-10: Exemples de connaissances sur des évolutions à long terme 131

Tableau 5-11: Effectifs par types de connaissances dans l'échantillon (N=248)..... 132

Introduction

L'agriculture est soumise à une forte pression politique et sociale pour développer des modes de production plus respectueux de l'environnement (Cf la démarche Ecophyto II qui vise à réduire de 25% l'usage des produits phytosanitaires d'ici 2020 et de 50% d'ici 2025 et le plan Ambition Bio 2022 qui vise à atteindre 15% de surfaces en bio en 2022). Dans un contexte d'incertitude croissante sur le climat et la limitation des ressources, l'agroécologie est proposée comme une nouvelle voie pour l'agriculture. En mobilisant les services écosystémiques, l'agriculteur peut réduire sa consommation d'intrants, que cela soit en terme de produits phytosanitaires (lutte biologique, allongement de la rotation), de fertilisants (CIPAN, engrais verts) ou d'énergie (travaux du sol simplifiés, semis direct sous couvert végétal) et préserver l'environnement (stockage de carbone dans le sol, diminution intrants, augmentation de la biodiversité). Le rapport¹ de Marion Guillou (Agreenium) remis au ministre de l'Agriculture en 2013 a proposé de répondre aux nouveaux enjeux de l'agriculture en développant l'agroécologie. Ce document a largement été repris comme axe de changement pour la France. Des incitations politiques à transformer l'agriculture sont également réalisées à des échelles plus locales. Le Conseil départemental de la Drôme s'est par exemple engagé au travers du soutien à la production en agriculture biologique depuis près de 15 ans puis au travers d'un projet bio départemental en 2010 pour favoriser le déploiement de l'agriculture biologique de l'amont à l'aval des filières. Aujourd'hui, il soutient le développement et la conversion (agriculteurs, transformateurs et structures d'accompagnement), l'innovation avec le salon Tech & Bio et la plate-forme des techniques alternatives et bio (Plate-forme TAB à Étoile sur Rhône) où des expérimentations sur des systèmes bas intrants ou biologiques sont menées, la promotion et la consommation au travers du "Manger mieux, Manger bio" , de l'approvisionnement de proximité au travers d'Agrilocal.fr , et de la sensibilisation des métiers de bouche. Pour favoriser l'écologisation des pratiques agricoles, le Département de la Drôme s'est associé avec l'unité INRA SAD Ecodéveloppement d'Avignon pour proposer une thèse CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la REcherche). Les changements qu'implique l'agroécologie sont en effet difficiles et longs à mettre en œuvre. Ils supposent de piloter différemment leurs cultures en mobilisant les régulations biologiques (Altieri, 2002), en anticipant les problèmes de maladies et ravageurs plutôt qu'en attendant leur apparition pour intervenir. La représentation même du travail agricole comme un pilotage est questionné quand il s'agit plutôt de savoir gérer l'incertitude (Girard, 2014). L'ensemble de ces techniques alternatives ont des effets qui n'apparaissent souvent qu'au bout de plusieurs années. De plus, les acteurs de la recherche et du développement agricole disposent encore de peu de références sur les pratiques agroécologiques. Le fait de mobiliser l'action d'entités vivantes nombreuses, aux relations complexes et difficilement observables complique l'interprétation des phénomènes observés et le succès de pratiques agroécologiques peut être fortement conditionné par le milieu et ce, à des échelles parfois très locales, rendant les conclusions caduques dans un autre contexte. La généralisation de pratiques agroécologiques issues de la recherche ou de station expérimentale pose donc question. L'agroécologie propose des principes théoriques nouveaux mais une adaptation au local par les agriculteurs est souvent nécessaire pour développer des pratiques et

¹ Le projet agro-écologique : Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement – Propositions pour le Ministre

des systèmes agricoles durables. Cette adaptation peut se faire par une activité d'expérimentation à la ferme. L'expérimentation à la ferme est une manière de favoriser l'apprentissage des agriculteurs mais aussi de tester des pratiques dans leurs conditions propres de mise en œuvre. **L'objet de cette thèse est donc l'expérimentation de pratiques agroécologiques des agriculteurs.** Cette thématique représente aussi un enjeu pour la recherche agronomique. Depuis quelques années, une question a émergé sur les liens entre changement technique et apprentissage des agriculteurs. Les agronomes se sont ouverts aux démarches participatives incluant notamment les agriculteurs pour co-produire des connaissances. Comprendre la façon dont les agriculteurs expérimentent pourrait renouveler les méthodes participatives. Le travail de cette thèse s'inscrit dans une perspective de réflexion sur les modes d'accompagnement des agriculteurs et de recherches participatives autour l'expérimentation. Bien que je sois agronome, je m'intéresse dans ce sujet à des thématiques habituellement abordées dans des sciences humaines. L'emprunt de théories et de concepts dans ces disciplines avec à un point de vue agronomique me semble pertinent pour enrichir les théories agronomiques sur la manière dont les agriculteurs expérimentent et produisent des connaissances.

Chapitre 1 - Problématique

Chapitre 1 - Problématique

1 Plan de la problématique

L'agroécologie est un paradigme prometteur qui propose des solutions pour répondre aux enjeux environnementaux. Cependant, ce paradigme est récent, encore en construction et pose des questions quant à sa mise en œuvre. Les modes de production de connaissances agronomiques classiques semblent limités face à la complexité des phénomènes à appréhender ou partiellement inadaptés (partie 2). C'est pourquoi une partie des agronomes s'est tournée vers le développement de connaissances plus en lien avec l'action pour appréhender le problème autrement. Un des enjeux actuels est de mieux comprendre comment les agriculteurs apprennent dans un contexte de transition agroécologique (partie 3). Les modes d'expérimentation et de production de connaissances agronomiques ont été questionnés et ont évolué en conséquence avec une prise en compte croissante des agriculteurs. L'activité d'expérimentation de pratiques agroécologiques par les agriculteurs, objet de la thèse, est une thématique prometteuse pour favoriser leur apprentissage et le changement vers l'agroécologie (partie 4). Ce déroulé de l'état de l'art nous conduit à expliciter 3 questions de recherche traitées dans cette thèse, qui visent à caractériser cette activité d'expérimentation et à analyser la dynamique des connaissances qui en résulte (partie 5).

2 Enjeux sociétaux et scientifiques pour le développement de l'agroécologie

2.1 L'agroécologie : un paradigme prometteur pour réduire l'impact environnemental de l'agriculture

Aujourd'hui, il est attendu de l'agriculture de répondre à un nombre croissant d'objectifs en plus de celui de fournir suffisamment de denrées alimentaires pour la population. Les objectifs sociétaux et environnementaux se font de plus en plus prégnants. Les preuves scientifiques concernant l'impact de l'activité humaine sur l'environnement s'accumulent et sont inquiétantes : changement climatique, effondrement de la biodiversité et pollutions aériennes, aquatiques et terrestres. La population humaine est toujours en accroissement. Les estimations démographiques s'accordent sur une population de 9 milliards d'humains en 2050. Or, de nombreux pays aspirent à voir leur niveau de développement se rapprocher de celui des pays occidentaux, ce qui contribuera encore à accroître l'empreinte écologique de l'humanité. De plus, les ressources utilisées par nos sociétés sont consommées trop rapidement. Plus de 80% de notre énergie provient de ressources fossiles non renouvelables (Our World in Data²,) et les stocks de ressources renouvelables sont, chaque année, épuisés plus tôt. En 2018, WWF et l'ONG Global Footprint Network calculaient le jour du dépassement écologique le 1er Août pour le monde, le 5 mai pour la France (Cannet and Wackernagel, 2018).

L'agriculture est une des activités humaines porteuses de nombreux enjeux environnementaux. Elle est notamment responsable d'émissions de gaz à effet de serre, de la perte d'habitats pour de nombreuses espèces, d'impacts sur la biodiversité via l'usage des pesticides, et de pollutions des cours d'eau pouvant entraîner une eutrophisation. Elle est relativement dépendante des énergies fossiles, que ce soit pour l'utilisation du carburant ou la production d'engrais par

² <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>)

exemple. Une des solutions pour diminuer l'impact environnemental de l'agriculture est d'écologiser les pratiques agricoles. Parmi les solutions proposées, l'agroécologie occupe aujourd'hui une place importante. Elle propose un changement de paradigme en basant le plus possible la production agricole sur des processus écologiques. L'agroécologie vise donc à maximiser certaines fonctionnalités écologiques des agroécosystèmes, on parle d'intensification écologique (Griffon, 2017). Les fonctions et processus écologiques peuvent concerner par exemple la régulation de bioagresseurs par des auxiliaires prédateurs ou parasites, le recyclage des nutriments par l'agroforesterie, l'intégration de légumineuses dans les rotations ou en associations pour fixer de l'azote atmosphérique, ou encore l'aération du sol par l'activité lombricienne. Dans certains cas, l'agroécologie permet même de gagner en productivité, que ce soit pour les agricultures faiblement basées sur des intrants (Altieri, 2002) ou pour des systèmes plus intensifs en intrants. Par exemple, l'association de céréales-légumineuses exploite la notion de complémentarité de niches écologiques et augmente le rendement global à la parcelle (Duchene et al., 2017), l'introduction de canards dans les rizières permet d'améliorer les rendements et la régulation des adventices et ravageurs, tout en fournissant des œufs et de la viande (Suh, 2014). Tous ces services fournis aux agriculteurs diminuent l'utilisation d'intrants et donc l'impact écologique de l'agriculture.

L'agroécologie permet donc à la fois de réduire l'empreinte écologique et de fournir des services aux agriculteurs.

2.2 Les difficultés pour le développement de l'agroécologie

Si l'agroécologie est un paradigme prometteur, son développement et sa mise en œuvre font face à plusieurs enjeux.

2.2.1 *Des systèmes complexes reposant sur des processus partiellement connus*

L'agroécologie introduit de nombreux concepts écologiques dans le raisonnement agronomique. Les entités agronomiques (parcelles, ferme, voire ensemble de fermes et d'habitats naturels sur un territoire) sont considérées comme des systèmes écologiques résultant de l'action anthropique pour la production agricole (Griffon, 2017). On utilise le terme d'agroécosystème pour considérer les multiples relations qui existent entre les plantes cultivées ou animaux élevés, les autres organismes biologiques et le milieu agricole.

De tels systèmes sont difficiles à concevoir et piloter du fait de l'état lacunaire des connaissances. Dans les agroécosystèmes, on cherche à maximiser certaines fonctions (biomasse, régulation des bioagresseurs, utilisation des ressources naturelles disponibles comme le soleil, le CO₂ et l'azote de l'air ou l'eau, ...) issues de processus biologiques. Or, d'une part, les connaissances sur ces processus et les organismes impliqués sont encore limitées. Beaucoup d'organismes biologiques présents au champ restent mal connus car l'effort de recherche est encore faible pour mieux les comprendre voire les sélectionner alors qu'ils pourraient présenter un intérêt (Caron et al., 2014). Par exemple, il existe des coccinelles mycophages consommatrices de l'oïdium mais leur biologie reste mal connue pour profiter de ce potentiel mode de biocontrôle (Sutherland and Parrella, 2009). D'autre part, la complexité des processus inhérente à ces systèmes est source d'incertitudes encore plus grandes. Les relations inter-espèces et leurs effets, leurs propriétés émergentes potentielles constituent un trou de connaissance encore important (Caron et al., 2014). Il est très difficile de modéliser de façon mécaniste et de quantifier les processus écologiques soumis à différentes actions humaines au-delà de cadres heuristiques car les boucles de rétroaction sont nombreuses (Médiène et al.,

2011). Certaines relations proies-prédateurs, même simples, peuvent aussi mener à des comportements chaotiques (Griffon, 2017). Dans ce cas il est possible que la modélisation des interactions n'ait qu'un très faible pouvoir prédictif. Pour Griffon (2017), les agroécosystèmes sont tellement complexes qu'ils ne sont jamais en équilibre. Ils évoluent constamment et cette évolution peut même changer de régime à certains seuils, que ce soit vers une aggradation ou une dégradation.

2.2.2 Dépendance à la localité et perte de généricité

De ces systèmes complexes découle un autre problème. Les agronomes accordent une grande importance à l'identification des conditions du milieu qui rendent valable une connaissance. Or, si les domaines de validité des pratiques étaient jusqu'à présent définissables par un nombre limité et connu de facteurs (type de sol, état structural du sol, conditions climatiques, disponibilité en éléments minéraux, etc...), ce n'est plus le cas en agroécologie. En effet, en agroécologie, les connaissances scientifiques sont encore plus dépendantes du contexte dans lequel elles ont été produites (micro et macroorganismes du sol, stock adventices au champ, pool d'auxiliaires naturels dans un territoire, etc...). Cela veut dire qu'il est bien plus difficile de produire des connaissances génériques. Ou, tout du moins, le nombre de conditions à spécifier pour obtenir des effets similaires d'un agroécosystème à deux endroits différents est bien plus important. Fournir des recommandations adéquates aux agriculteurs devient alors plus difficile. Il est parfois même difficile de donner des tendances générales pour des interactions biotiques dans différents agroécosystèmes et conditions pédoclimatiques (Médiène et al., 2011). Si la modélisation peut être une voie intéressante pour simuler une multitude de contexte et mieux définir les domaines de validité (Jeuffroy et al., 2008), les connaissances sont encore trop lacunaires en agroécologie pour disposer de tels modèles pour les raisons évoquées précédemment.

2.2.3 Des changements longs et difficiles pour les agriculteurs

Les problèmes relatifs à la production de connaissances fiables indiqués précédemment font que les agriculteurs disposent encore de peu de ressources cognitives pour mettre en œuvre des pratiques agroécologiques. D'autres difficultés rendent les changements longs et difficiles pour les agriculteurs.

Il n'y a pas vraiment de solutions prêtes à l'emploi puisqu'il faut adapter les pratiques aux conditions locales (Gliessman, 1990). La méthode longtemps utilisée du facteur limitant corrigé par l'ajout d'un intrant n'est plus pertinente. L'usage d'un intrant peut avoir des répercussions sur d'autres éléments de l'agroécosystème, par exemple un excès de fertilisation azotée lié à une minéralisation rapide d'un apport de matière organique augmente le risque de pucerons alors qu'on cherche aussi à réduire l'utilisation d'insecticides. En agroécologie, il faut prendre en compte un grand nombre d'interactions entre techniques ainsi que leurs effets indirects (Meynard, 2017). Le raisonnement devient systémique et les solutions moins évidentes : chaque solution doit être mise en regard d'une caractérisation fine de l'état du système (pratiques mais aussi conditions pédoclimatiques, états du sol, potentiel de régulations naturelles). Les agriculteurs ne trouvent pas toujours de références pertinentes et peuvent manquer d'appui pour trouver leurs propres solutions. La gestion des incertitudes est une autre compétence qu'il faut développer. Les êtres vivants mobilisés en agroécologie réalisent eux aussi des actions, à des degrés variables et difficilement prédictibles. Il faut donc souvent adapter les actions humaines pour compléter le travail réalisé par ces autres entités agissantes (Barbier and Goulet, 2013). Plus d'adaptation demande aussi de savoir observer pour collecter de l'information

pertinente et d'observer plus pour s'adapter rapidement. Pour certains auteurs, les agriculteurs ne "pilotent" plus leur agroécosystème mais le gèrent de façon adaptative (Girard, 2014).

Une autre difficulté rencontrée par les agriculteurs tient aux échelles de temps et d'espace à prendre en compte. Certains processus ou certaines propriétés d'un agroécosystème mettent plusieurs mois voire années à se mettre en place, ce qui doit être mis en regard avec la dynamique de développement des bioagresseurs. Par exemple, dans des systèmes sans labour, les populations de carabes ont tendance à s'installer plus lentement que les limaces qu'ils consomment, d'où des dégâts importants sur les cultures lors des premières années (Kulagowski et al., 2016). Certains processus ou certaines propriétés des agroécosystèmes sont aussi soumis à des influences à des échelles d'espace dépassant l'exploitation agricole comme les régulations biologiques à l'échelle de la mosaïque paysagère. Cela peut alors demander des niveaux d'organisations entre producteurs, plus difficiles à mettre en place (Valantin-Morison, 2012).

Les changements agroécologiques demandent donc de profondes transformations des systèmes agricoles. Le cadre ESR (Efficience, Substitution, Reconception) présente trois niveaux de changements (Hill and MacRae, 1995) et peut aider à caractériser les changements à l'œuvre en agroécologie pour les systèmes agricoles. L'efficience (E) consiste à optimiser les pratiques. La substitution (S) remplace certaines pratiques par d'autres, plus écologiques, en substituant par exemple un intrant chimique par un intrant biologique (aphicide remplacé par des coccinelles, engrais de synthèse remplacés par des engrais organiques). Enfin, la reconception (R) est un réarrangement radical des fonctions et de la structure de l'agroécosystème pour réduire les risques d'occurrence de problèmes ou limiter l'usage d'intrants (modification de la rotation pour inclure plus de légumineuses et diminuer l'usage des engrais azotés par exemple). Mais la reconception des systèmes ne va pas de soi. Elle n'offre pas toujours des résultats satisfaisants : les régulations naturelles au sein des systèmes reconçus peuvent être insuffisantes et d'autres problèmes non anticipés peuvent apparaître (dans les systèmes en semis direct cela peut être une augmentation des populations de limaces ou d'adventices pérennes par exemple). Dans d'autres cas, la reconception des systèmes agricoles est limitée par des facteurs structurels. Par exemple, les systèmes arboricoles et maraîchers, fortement intensifiés depuis des décennies, disposent de faibles marges de manœuvre à moins de modifier en profondeur leur structure (diversification des cultures et autres circuits de commercialisation par exemple). Le développement de systèmes agroécologiques reconçus se heurte aussi à des effets de verrouillages socio-techniques (Meynard et al. 2015). Ces auteurs illustrent ce phénomène dans le cas du développement de systèmes agricoles à bas intrants (insuffisance de la sélection variétale, insuffisance des débouchés pour des espèces de diversification comme les légumineuses). Les verrouillages socio-techniques englobant l'amont et l'aval de la production agricole sont évoqués comme une des causes de l'échec du plan Ecophyto à réduire l'usage des pesticides (Guichard et al., 2017).

L'agroécologie, définie comme l'intensification des processus écologiques rendant des services au champ, est une voie très prometteuse pour permettre l'écologisation de l'agriculture. Cependant, son développement est confronté à plusieurs difficultés. La production de connaissances scientifiques par la compréhension fine des processus écologiques est insuffisante. Produire des connaissances pour l'action, reposant directement sur des relations entre manières de faire et processus écologiques, est nécessaire.

3 Produire des connaissances pour l'action en agroécologie

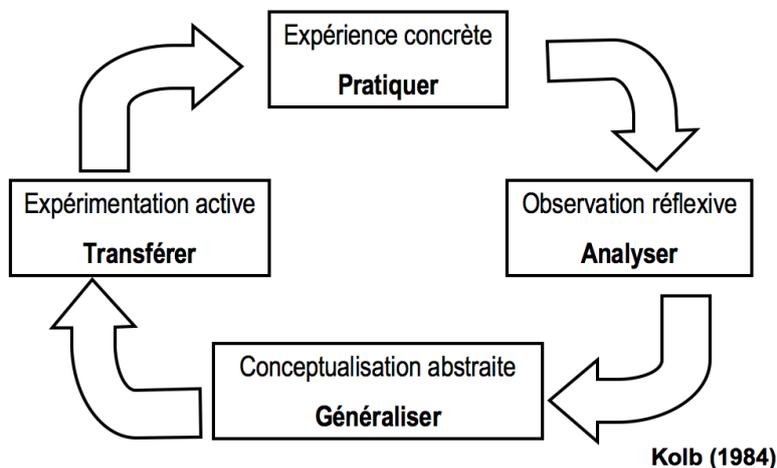
En philosophie trois grands types de connaissances sont distinguées: les connaissances objectuelles (connaître Paris, connaître des émotions, connaître une personne,...), les connaissances de savoir-faire (savoir faire du vélo, savoir cuisiner,...) et les connaissances propositionnelles (savoir que la terre est ronde, savoir comment les plantes poussent,...). Alors que les scientifiques s'intéressent majoritairement au développement des connaissances propositionnelles, les praticiens comme les agriculteurs ont aussi fortement besoin de connaissances de savoir-faire, pour l'action. Les agronomes s'intéressent à ce type de connaissances depuis quelques décennies, notamment pour construire des systèmes agricoles incluant des logiques d'actions. Pour ce faire, ils ont emprunté des concepts et des épistémologies issues des sciences de gestion et de l'ergonomie. Nous revenons d'abord sur quelques concepts de ces courants.

3.1 Apprendre par la pratique

Nous ne prétendons nullement ici faire un état de l'art exhaustif sur les apprentissages dans l'action mais plutôt fournir des clefs de compréhension de ce qu'ils représentent.

Le cycle de Kolb (1984) propose un cadre théorique générique qui rend compte du lien entre expérimentation et connaissances (voir Figure 1.1). L'auteur s'inspire de la philosophie pragmatiste (Dewey, Pierce) pour proposer la notion d'apprentissage expérientiel. L'apprenant alterne entre des phases d'actions et de réflexivité. L'apprentissage expérientiel est une boucle permanente où l'expérimentation active se transforme en expérience. L'observation réflexive sur cette expérience conduit à une conceptualisation abstraite permettant de générer de nouvelles connaissances qui vont à leur tour servir pour imaginer une nouvelle expérimentation.

Figure 1.1: Le cycle de Kolb



L'apprentissage expérientiel laisse une large part à l'expérience comme moteur de l'apprentissage. Les connaissances sont créées grâce à un processus de transformation de l'expérience. Ce modèle suggère aussi un processus en boucle où l'apprentissage est progressif et se construit sur l'acquis.

Dans le champ de la didactique professionnelle, Pastré (2008) propose une représentation des connaissances du praticien constituée de deux modèles : le modèle cognitif et le modèle opératif. Le modèle cognitif permet de comprendre le fonctionnement d'un objet et de réaliser des

prédictions. Le modèle opératif est défini par rapport à un but et est constitué de stratégies pour atteindre ce but (invariants organisateurs de l'action, indicateurs prélevés dans la situation, catégorisation de situations pour orienter l'action avec une procédure adaptée). Le modèle opératif est une déformation du modèle cognitif, où certaines choses sont plus importantes que d'autres. Connaissance opérative (dans le modèle opératif) et connaissance prédictive (dans le modèle cognitif) correspondent à une même connaissance mais peuvent prendre une forme ou l'autre selon le contexte. En situation de travail, modèles opératifs et cognitifs se développent simultanément. Le but est d'être en capacité d'agir mais cela demande de conceptualiser pour comprendre les phénomènes en lien avec les actions. Le développement du modèle cognitif est donc dépendant de celui du modèle opératif. Ainsi, *"la perspective d'élaborer des savoirs pour l'action oriente la connaissance du phénomène étudié et donc, vraisemblablement, le contenu et la forme des savoirs qui seront construits"* (Avenier, 2007). Dans certains cas (apprentissage en faisant, sur le terrain), modèle opératifs et cognitifs se recouvrent, ce qui les rend difficiles à distinguer. Pastré mentionne d'ailleurs les agriculteurs comme un des corps de métier qui développent souvent leurs connaissances ainsi. Certains agronomes considèrent que le modèle cognitif des agriculteurs est très empirique, et donc qu'il y a un découplage insuffisant entre les modèles cognitifs et opératifs (Pastré, 2008). Pourtant, ce couplage permet aux agriculteurs de passer de l'un à l'autre facilement.

Qu'en est-il de l'application de ces modèles dans le cas de l'agroécologie ? Nous devons nuancer ce découplage insuffisant dans le cadre des systèmes agroécologiques. Les modèles opératifs en agroécologie ne sont pas à priori connus : les packages techniques (basés sur l'application de techniques sans nécessairement comprendre le fonctionnement du système) fonctionnent mal. A moins d'être transmis, par exemple via la reprise d'une ferme agroécologique ou au sein de communautés paysannes ayant développé des modes d'exploitation écologiques depuis longtemps, le modèle opératif doit être construit. Or, construire un modèle opératif en lien avec un modèle cognitif ne reposant pas sur des connaissances théoriques en agroécologie nous semble difficile dans beaucoup de contextes (au moins dans le contexte agricole français) : mobiliser ou interpréter des processus écologiques sans connaissances théoriques préalables demanderait un investissement en temps et en conceptualisation très important. Les connaissances théoriques en France sont relativement accessibles. Les agriculteurs français suivent des formations qui se sont professionnalisées et ils peuvent continuer à en suivre au cours de leur carrière, ce qui leur permet d'acquérir des connaissances fondamentales. De plus, les agriculteurs ont aujourd'hui accès à de nombreuses ressources en ligne (Prost et al., 2017). Toffolini (2016) identifie plusieurs mécanismes montrant comment les agriculteurs s'emparent de connaissances fondamentales pour transformer leurs actions : réinterprétation d'actions traditionnellement réalisées ou nouvelles actions envisagées en comprenant la biologie d'un organisme par exemple.

Il existe une forme particulière de connaissances pour l'action, le knowing (Girard, 2014). C'est une connaissance tacite en fort lien avec l'action, rendant son élicitation difficile. Elle est utilisée pour décrire des compétences en lien avec une action comme par exemple un geste en musique ou le maintien de l'équilibre sur un vélo. Or, ce qui nous intéresse n'est pas tant les connaissances relatives à l'exécution précise, avec ou sans outils, des pratiques des agriculteurs, car ces connaissances sont justement difficiles à éliciter alors qu'elles s'acquièrent facilement en pratiquant seul ou en interaction avec autrui. Ce qui nous intéresse concernent les connaissances qui sous-tendent la logique des pratiques. Autrement dit, nous ne nous

intéressons pas à l'explicitation précise des actions réalisées afin d'être en mesure de les reproduire (comment, dans l'action, lâcher des auxiliaires, semer un couvert) mais au développement des connaissances qui justifient et permettent d'organiser l'action en agroécologie.

3.2 Comment les agronomes se saisissent de la question des connaissances pour l'action

3.2.1 *Agronomie, science de l'action*

L'agronomie s'est constituée d'emblée comme une science à visée ingénierique produisant des connaissances en lien avec l'action. Les premiers agronomes étaient d'ailleurs aussi des agriculteurs (ex : Olivier de Serres). Mais le lien à l'action s'est progressivement distendu au fil des décennies (Jouve, 2007) en parallèle du développement des autres sciences à visée plus théorique. A partir des années 1980, Sebillotte a réintroduit le facteur humain dans une science qui s'était focalisée sur la dimension biologique, en conceptualisant à partir de la pratique des agriculteurs. Il a notamment introduit le concept de modèle d'action pour rendre compte du système de règles utilisé par les agriculteurs pour gérer leurs agrosystèmes (Sebillotte 1990). Ces règles de décision rendent compte des bonnes actions à réaliser face à diverses situations rencontrées, notamment face aux aléas climatiques qui peuvent par exemple décaler les dates de passages d'engins sur les parcelles, ou face à différents niveaux d'attaques de bioagresseurs. Ces dernières années, l'agronomie a donc intégré les connaissances pour l'action pour mieux décrire le travail des agriculteurs et développé des méthodes pour concevoir des systèmes techniques qui sont certes pertinents agronomiquement mais aussi d'un point de vue de la faisabilité opérationnelle, et qui incluent donc des actions pour les piloter. Ainsi une partie de l'expérimentation agronomique a vu ses objets évoluer, inclure des niveaux d'organisation de l'action de plus en plus importants : des techniques seules aux itinéraires techniques et, plus récemment, aux systèmes de culture (voir partie 4).

3.2.2 *Co-production de connaissances avec les agriculteurs*

Pour faire face aux incertitudes des processus agroécologiques et à l'incomplétude des connaissances, une partie des agronomes s'est rapprochée des agriculteurs pour faciliter la production de connaissances actionnables pertinentes pour ces derniers.

D'une part les connaissances des agriculteurs basées sur l'expérience en conditions réelles de production peuvent aider les agronomes à combler les lacunes dans les connaissances scientifiques (Doré et al., 2011; Girard and Navarrete, 2005). Certaines formes d'agriculture reposent déjà sur une forte intensification des processus écologiques et les agriculteurs qui y évoluent représentent des sources de connaissances potentielles. Malézieux et al. (2009) proposent de s'inspirer des écosystèmes naturels ainsi que des connaissances traditionnelles des agriculteurs sur certains agroécosystèmes pour concevoir des systèmes agroécologiques. Ainsi, la reconnaissance des connaissances locales, emportée par le changement de paradigme du type « Farmers First » (Chambers et al., 1994) a créé un vaste mouvement de « collecte » des connaissances locales (Saad, 2002). Altieri (2002) appelle les scientifiques à collecter, évaluer et diffuser les innovations des agriculteurs. Pourtant, cette démarche n'est pas dénuée de problèmes car, une fois extraites de leur contexte, ces technologies ou connaissances n'ont plus forcément de sens (Girard and Navarrete, 2005). Elles sont liées à des pratiques, à d'autres connaissances voire à des cosmogonies et sont mises en œuvre dans des zones spécifiques. Finalement, elles manquent plus de généralité que les connaissances scientifiques car elles n'ont

pas été produites dans le but d'être valable hors de leur contexte situé. Doré et al. (2011) préconisent une évaluation rigoureuse de ces connaissances en termes de domaine de validité, de certitude et de précision.

D'autre part, agronomes et agriculteurs s'associent pour co-concevoir des systèmes techniques innovants, chacun apportant ses propres connaissances sans qu'une hiérarchie ne s'établisse nécessairement (connaissances sur le fonctionnement des systèmes, sur les indicateurs de pilotage, sur les objectifs à atteindre, les contraintes à respecter...). Le processus de co-conception aboutit non seulement à de nouveaux systèmes techniques, mais crée surtout une dynamique d'apprentissage entre acteurs (Meynard, 2012).

Enfin, plusieurs auteurs appellent à favoriser spécifiquement l'apprentissage des agriculteurs en développant des méthodes et des outils pour qu'ils puissent eux-mêmes concevoir et piloter des systèmes, produire et évaluer des connaissances (Chantre et al., 2014; De Tourdonnet et al., 2013). Les agriculteurs ont en effet besoin de développer des connaissances plus complexes (Kloppenburger, 1991), notamment sur l'écologie mais aussi des connaissances valables dans leur contexte. Favoriser l'apprentissage pratique des agriculteurs fait partie des pistes prometteuses pour développer des connaissances pour l'action.

3.3 Comprendre la production des connaissances pour l'action par les agriculteurs

D'autres travaux se sont intéressés au développement des connaissances pour l'action des agriculteurs à travers la notion de "jugements pragmatiques" (Chantre, 2011; Cristofari, 2018) ou plus globalement en empruntant des concepts à la didactique professionnelle (Toffolini, 2016). Un jugement pragmatique est une proposition tenue pour vraie par l'agriculteur qui fonde et explique la manière dont il explique son activité (Chantre, 2011). L'ensemble cohérent de jugements pragmatiques qui orientent l'action constitue le modèle opératif de l'agriculteur.

Chantre (2011) a étudié les apprentissages réalisés par les agriculteurs dans le changement technique vers la réduction des intrants. Dans les différents styles d'apprentissages qu'elle identifie, le recours à l'expérimentation est fréquent. L'expérimentation à la ferme et sans conseiller est d'autant plus fréquente pour les agriculteurs transformant fortement leur systèmes vers l'agroécologie (Chantre and Cardona, 2014). Chantre (2011) conçoit le développement des connaissances à travers celui des jugements pragmatiques qui, au cours du processus d'apprentissage, s'additionnent. Ainsi, elle montre l'accumulation de nouveaux jugements pragmatiques chez des agriculteurs leur permettant de justifier et de piloter leurs nouveaux systèmes, plus économiques en intrants. Les nouveaux jugements pragmatiques portent à la fois sur des actes techniques lors de la conduite des cultures (dates de semis, densité, dose d'engrais), sur l'emploi de nouveaux indicateurs de performance (rendement mais aussi marge économique), ou sur les bénéfices apportés par une meilleure prise en compte de la biodiversité.

Cristofari (2018) a étudié le développement des jugements pragmatiques au cours des processus d'apprentissage en agriculture de conservation. Elle distingue deux types de jugements pragmatiques: les jugements pragmatiques procéduraux (à portée opérationnelle, relatif à une façon de faire) et les jugements pragmatiques finalisés (qui indiquent un but, un objectif que l'agriculteur se donne). L'auteure présente le développement de ces jugements à travers l'évolution de leur degré de certitude et de leur distance à l'action. Elle montre que beaucoup d'apprentissages pratiques passent par la réalisation d'expérimentations par l'agriculteur.

Toffolini (2016) s'intéresse aux connaissances mobilisées par les agriculteurs pour reconcevoir leur système vers l'agroécologie. Il distingue trois phases dans la reconception. Premièrement, l'agriculteur choisit une technique et décide de l'appliquer (récits de trajectoires d'agriculteurs, indicateurs des effets des actions, raisonnement agronomique, ...). Puis les expérimentations de l'agriculteur sont au cœur de la deuxième phase, avec le développement de méthodes de suivi (quantification, incertitude, indicateurs de suivi et d'évaluation, ...). Enfin, les agriculteurs évaluent les conséquences des nouvelles pratiques sur leur système de culture (interaction avec d'autres pratiques sur la ferme, autres pratiques avec fonction similaire, prise en compte du long terme, ...).

Ces travaux permettent d'en savoir plus sur le développement des connaissances utiles aux agriculteurs, notamment les connaissances pour l'action. Ils ont en commun de montrer que les connaissances se développent au cours de processus d'apprentissage impliquant notamment l'expérimentation à la ferme. L'expérimentation à la ferme semble donc être une méthode efficace pour les agriculteurs afin de faire évoluer leurs connaissances pour l'action et donc pour mieux comprendre l'épistémologie (au sens de processus de production de connaissances) des agriculteurs (Briggs, 2013).

Si nous revenons à Pastré (2008), il identifie trois classes d'apprentissage. L'apprentissage par transmission de savoirs orienté sur le développement du modèle cognitif, l'apprentissage par tutorat orienté sur le développement du modèle opératif et enfin, l'apprentissage par "construction d'un milieu", hybridant le développement des modèles cognitifs et opératifs : "*Plus exactement, ce type d'apprentissage comporte une double référence : d'une part référence à une activité en situation, puisqu'il y a une situation – problème qui sollicite de la part du sujet une activité de transformation du milieu, correspondant à la résolution du problème. D'autre part, référence à un ou des savoir(s), qui correspondent aux ressources utilisées pour résoudre le problème*" (Pastré, 2008). L'expérimentation à la ferme fait écho à cette dernière catégorie hybride. Dans le modèle de Pastré, l'apprenant a la tâche de résoudre un problème en situation réelle, le médiateur de construire la situation problématique. Dans le cas des expérimentations à la ferme, l'agriculteur jouerait un double rôle : il est à la fois son propre médiateur et apprenant. La ferme constituerait un milieu sur lequel il cherche à résoudre différents problèmes en ayant recours à l'expérimentation.

Nous faisons l'hypothèse que l'expérimentation par les agriculteurs est un levier central pour développer l'agroécologie, car un moyen d'apprendre. Nous faisons également l'hypothèse que les connaissances produites grâce aux expérimentations ont un lien fort à l'action. L'expérimentation serait donc un moyen d'apprendre par la pratique.

4 Etat de l'art sur l'expérimentation en agriculture et en agronomie

Le terme d'expérimentation est partagé à la fois par les scientifiques et par les praticiens (agriculteurs, conseillers techniques...). A partir de la bibliographie existante, cette partie vise à mieux comprendre ce que comporte le terme d'expérimentation et à explorer ces différentes acceptions. Nous aborderons premièrement le développement et les différentes formes d'expérimentations agronomiques scientifiques. Puis nous nous intéresserons aux expérimentations scientifiques dans lesquels les agriculteurs sont impliqués. Nous traiterons ensuite des travaux portant exclusivement sur les expérimentations des agriculteurs et sur la manière dont cette activité a été considérée par les scientifiques au regard des éléments vus

précédemment. Enfin, nous prendrons du recul sur l'expérimentation en dehors de l'agriculture afin de convenir de notre définition de l'expérimentation.

4.1 L'expérimentation en agronomie : histoire et concepts principaux

4.1.1 *Regard historique sur la manière d'expérimenter et le rôle de l'expérimentation dans la production des connaissances par les agronomes*

Les sciences agronomiques se sont développées pour comprendre et améliorer les modes de production agricoles au cours des derniers siècles. Ces sciences agronomiques reposent en grande partie sur l'expérimentation. Dans cette partie, nous revenons sur la manière d'expérimenter en agronomie en lien avec les connaissances produites par les agronomes. Nous nous basons sur les quatre grands régimes de production de connaissances en agriculture décrits par Jouve (2007) ainsi que sur les régimes de conception en agronomie identifiés par Salembier et al. (2018).

Première phase : Elle s'étend de l'avènement de l'agriculture jusqu'au XVIIIe siècle, phase que Jouve (2007) nomme "empirisme raisonné". Les connaissances scientifiques sont produites à partir de l'observation et de la comparaison des pratiques des agriculteurs dans leurs différents milieux. Les pratiques sont ensuite classées selon une approche naturaliste. Les connaissances sont majoritairement produites sans avoir recours à l'expérimentation. Des connaissances sur les "bonnes pratiques" sont identifiées mais restent souvent de type "boîte noire", c'est-à-dire qu'elles relient simplement des actions à des faits (Toffolini, 2016), sans vraiment expliciter de théories explicatives sous-jacentes. Quelques agronomes font figure d'exception comme Ibn al Awwâm au XII^e siècle ou Olivier de Serres au XV^e siècle qui réalisent déjà des expérimentations pour améliorer ou appuyer les connaissances en agriculture (Jouve, 2007).

Deuxième phase : Avec l'avènement des sciences modernes, le XVIIIe siècle voit l'expérimentation devenir plus systématique et correspond au premier vrai régime de conception en agronomie (Salembier et al., 2018). L'expérimentation est une méthode reposant à la fois sur la raison et l'empirisme. Les agronomes réalisent des expérimentations en lien avec des problèmes rencontrés par les agriculteurs pour trouver des solutions techniques (Salembier et al., 2018). Les expérimentations de cette phase visent à développer et à prouver, par l'expérience, l'intérêt de certaines techniques (irrigation, préparation du sol, fertilisation, techniques limitant les problèmes phytosanitaires), outils voire organisations du travail (Knittel, 2010). Ils réalisent des expérimentations en situations réelles, souvent sur leurs propres fermes.

Troisième phase : Les sciences agronomiques ne sont réellement créées qu'au début du XIXe siècle avec notamment la découverte de la théorie minérale de Liebig. Le recours à la méthode expérimentale (Stützel, 2007) est accentué. Les connaissances découlent d'une démarche analytique et sectorielle. C'est l'âge d'or des expérimentations factorielles³. Il y a une exigence forte dans le niveau de contrôle sur les différents facteurs pour pouvoir tester avec rigueur des hypothèses, grâce aux statistiques expérimentales. De nombreuses expérimentations sont conduites pour prouver scientifiquement le rôle de chacun des éléments nutritifs sur la plante (Jas, 2016) puis pour optimiser l'usage des intrants dans différents environnements (Maat,

³ Notons tout de même qu'au début de cette phase, une partie des expérimentations se focalisaient encore sur une organisation à l'échelle de la ferme pour améliorer la fertilisation, comme celles proposées par Thaer (Stützel, 2007).

2011; Salembier et al., 2018). Au cours de cette phase, l'agronomie se spécialise et différentes disciplines émergent: pathologie végétale, entomologie, nutrition des plantes, pédologie, sélection végétale, etc. Chaque discipline permet d'améliorer une technique élémentaire qui vient s'ajouter aux autres dans une logique de gestion des facteurs limitants (Berthet, 2013). Une grande partie des expérimentations quitte alors les champs d'agriculteurs vers ceux de stations expérimentales, voire quittent les champs pour se dérouler dans les laboratoires et contrôler au mieux différents paramètres (Cardona et al., 2018). Les connaissances produites sont très dépendantes des conditions d'expérimentations. La diversité des contextes agricoles impose donc de réaliser des expérimentations factorielles nombreuses afin de pouvoir fournir aux agriculteurs des recommandations optimisant les intrants par rapport à leurs contextes (outils, climat, sol, facteurs biologiques).

Quatrième phase : Elle marque l'avènement de l'agronomie en tant que discipline scientifique à part entière. Jusque dans les années 70, l'agronomie était en fait plus un ensemble de disciplines scientifiques en vue d'étudier et d'améliorer l'agriculture (Berthet, 2013; Jouve, 2007; Stützel, 2007). Michel Sebillotte, l'une des figures de ce changement de paradigme, définit l'agronomie comme « l'étude, menée simultanément dans le temps et dans l'espace, des relations au sein de l'ensemble constitué par le peuplement végétal et le milieu physique, chimique et biologique, et sur lequel l'homme agit pour en obtenir une production » (Sebillotte 1977). La théorie agronomique modélise et explique ces relations. Elle est constamment confrontée au réel (expérimentations, observations chez les agriculteurs) pour en affiner le modèle explicatif selon les contextes et les évolutions techniques. L'agronomie devient une science systémique, basée sur l'étude des relations entre les éléments constitutifs du système (Stützel, 2007). Différents systèmes représentant différents niveaux d'organisation sont définis : la technique culturale, l'itinéraire technique (combinaison de techniques permettant l'élaboration du rendement d'une culture en fonction d'objectifs précis, de la préparation du sol à la récolte), le système de culture (ensemble de cultures se succédant sur des parcelles données, chaque culture étant cultivée suivant un itinéraire technique précis), le système de production (combinaison de systèmes de culture) eux-mêmes inclus dans un système agraire (Jouve, 2007). L'expérimentation devient ainsi elle-même plus intégrative. L'approche systémique permet aux agronomes de concevoir efficacement des nouveaux systèmes à expérimenter en combinant de manière cohérente des techniques à priori compatibles et adaptées selon les contextes (biophysique, climatique mais aussi humain). Les expérimentations factorielles, très ciblées, font donc place aux expérimentations de conduites de culture (Reau et al., 1996). D'abord centrées sur des itinéraires techniques, les expérimentations portent à partir des années 2000 sur des systèmes de culture (Debaeke et al., 2009; Deytieux et al., 2012) voire des systèmes de production (par exemple polyculture-élevage, voir Coquil et al. 2014). Les résultats sont alors transférés aux agriculteurs sous forme d'ensembles de règles de décisions (Salembier et al., 2018).

Phase actuelle : Elle se distingue de la précédente par une meilleure prise en compte des connaissances des agriculteurs. A la fin des années 1990, les critiques sont de plus en plus fortes envers l'approche "transfert de technologie" au Nord mais aussi et surtout dans les pays en développement (Jouve, 2007). D'une part, cette approche, aussi appelée "top down", met les agriculteurs en posture de simples exécutants et nie leurs connaissances et capacités d'innovation. D'autre part, elle se révèle assez inefficace avec une faible part des résultats de la recherche réellement mis en pratique par les agriculteurs. Cette nouvelle phase entend donner plus d'importance aux connaissances des agriculteurs pour explorer les raisons qui les poussent

à agir comme ils le font. Les pratiques agricoles sont considérées comme des techniques mises en œuvre et contextualisées par l'agriculteur, au sein de logiques qui lui sont propres (Jouve, 2007; Landais et al., 1988). L'agronomie s'ouvre aux approches pluridisciplinaires. Sebillotte (1990) incite à la mobilisation des sciences cognitives pour comprendre le processus de décision de l'agriculteur et développe le modèle d'action pour représenter les logiques qui sous-tendent les choix d'un agriculteur pour piloter son exploitation agricole. De plus, les demandes sociétales évoluent et de nouvelles préoccupations environnementales, culturelles, ou économiques viennent densifier les objectifs de l'agriculture, autrefois tournée exclusivement vers l'augmentation des rendements et de la productivité du travail. Pour répondre à ces objectifs multiples et parfois antagonistes, les agronomes se rapprochent des écologues, de sociologues et d'économistes, développent des approches participatives qui mobilisent les agriculteurs, pour s'inspirer de leurs pratiques et de leur processus de décision (Salembier et al., 2018). L'expérimentation s'inscrit toujours dans une agronomie systémique. La différence réside plutôt dans la diversité des acteurs sollicités pour définir les objectifs, élaborer et expérimenter ces nouveaux systèmes. Les projets peuvent réunir des chercheurs et des conseillers agricoles (Lançon et al., 2008). Les systèmes de culture développés par certains agriculteurs alternatifs deviennent sources d'innovation. Ils sont analysés et certains systèmes innovants répondant à des objectifs de développement durable sont formalisés pour les capitaliser sous forme de schéma décisionnel (Petit et al., 2012). Dans les pays en développement, différentes approches participatives sont conçues pour développer la capacitation ("*l'empowerment*") des agriculteurs. La conception agronomique vise alors à soutenir la conception à la ferme, réalisée par les agriculteurs eux-mêmes (Salembier et al., 2018).

4.1.2 Les deux grandes formes d'expérimentation en agronomie

L'essor des expérimentations systèmes dans la dernière phase ne correspond pas à une évolution continue et une complexification des expérimentations factorielles où l'objet testé intégrerait des niveaux d'organisation de plus en plus grands. Il y a une rupture dans la manière de concevoir ces deux types d'expérimentations correspondant au changement de paradigme des années 70. Ce chapitre présente le positionnement épistémique de ces deux archétypes de méthode expérimentale.

L'expérimentation factorielle a été l'outil privilégié pour produire des connaissances sur lesquelles a reposé la révolution agricole d'après-guerre. L'expérimentation factorielle vise à tester la validité d'une hypothèse déduite des théories et connaissances existantes en agronomie. On parle de démarche hypothético-déductive. L'expérimentation simplifie le réel en fixant un grand nombre de facteurs influençant un phénomène pour ne tester que l'effet de quelques-uns des facteurs sur le phénomène. Cette démarche permet d'isoler le ou les facteurs sur lesquels l'hypothèse d'un effet repose. Elle suit une méthodologie rigoureuse pour éviter les erreurs d'interprétation lors de l'usage des statistiques. Les facteurs sont contrôlés au maximum pour pouvoir les faire varier selon différentes modalités choisies. Les expérimentations monofactorielles font par exemple varier un seul facteur et fixent les autres à des valeurs constantes. Au contraire dans les expérimentations plurifactorielles, les traitements expérimentaux correspondent à des combinaisons de plusieurs modalités de plusieurs facteurs étudiés. Les unités expérimentales (souvent des micro parcelles) sont l'unité de base des expérimentations. Chaque unité prend une modalité de traitement particulière et donne lieu à au moins une mesure. Lorsque le nombre de facteurs et de modalités augmente, il devient impossible de tout comparer sur une même surface ayant des conditions homogènes. Plusieurs

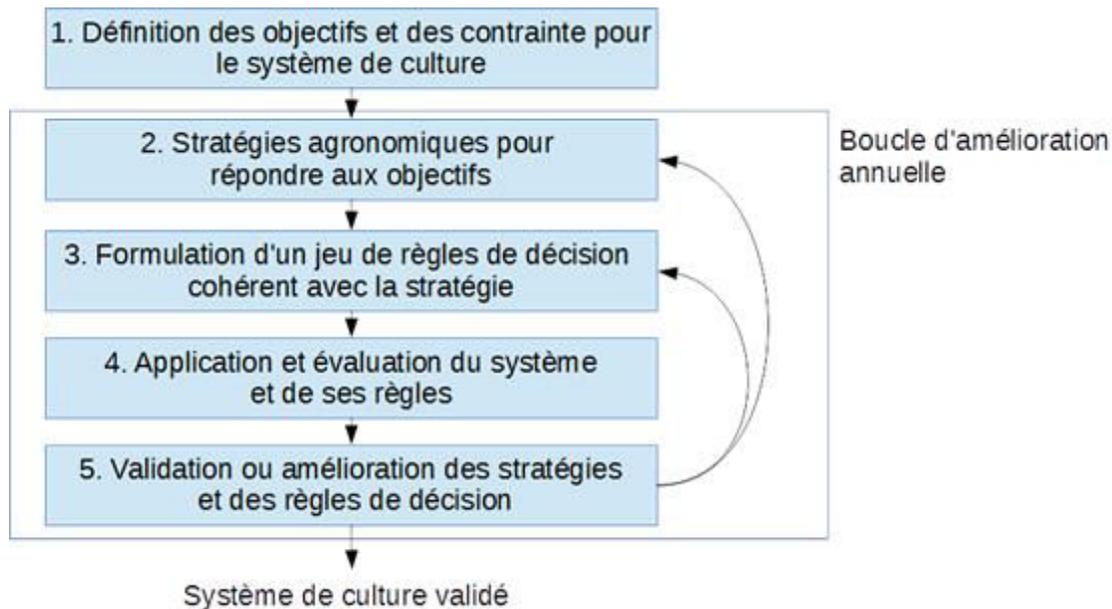
dispositifs d'expérimentations factorielles non complètes sont alors imaginés pour s'affranchir des contraintes matérielles et économiques (Dagnelie, 2012) et l'arsenal statistique est développé conjointement (Jas, 2016). L'utilisation de témoins dépend de la pertinence à comparer différentes modalités à une modalité de référence précise (par exemple, elles sont à éviter lorsque les différences entre modalités testées et témoin sont à priori considérables) (Dagnelie, 2012). Les expérimentations s'appuient sur des répétitions, c'est-à-dire la multiplication d'unités expérimentales correspondant à un même traitement, à des fins statistiques. Il s'agit d'augmenter la puissance des tests, c'est-à-dire la capacité à démontrer avec un faible risque d'erreur la validité des résultats. Multiplier les répétitions diminue le risque d'obtenir des résultats faux dus au hasard. La répétition peut se faire dans l'espace mais aussi dans le temps pour prendre en compte la variabilité des phénomènes par rapport aux conditions climatiques.

L'expérimentation factorielle fournit une méthode robuste pour éclairer certains mécanismes mais elle présente une limite pour l'étude d'objets du vivant comme en agronomie. En effet, la diversité des facteurs affectant le développement des cultures est très importante (biologiques, techniques, climatiques, pédologiques...). Or, dès trois facteurs à tester, les dispositifs expérimentaux deviennent très lourds à mettre en œuvre pour prendre en compte les différentes interactions tout en assurant une robustesse des résultats obtenus. Ainsi, les expérimentations multifactorielles à plus de trois facteurs sont relativement rares. Il est donc illusoire de pouvoir fournir des références qui tiennent compte de la diversité des facteurs en jeu. D'autant plus aujourd'hui, où l'agroécologie introduit une grande diversité de facteurs à prendre en compte et à mobiliser (régulations biologiques dans le sol ou aériennes, mélanges d'espèces cultivées, etc...).

C'est en tenant compte de ces limites que **l'expérimentation système** s'est développée (Deytieux et al., 2012; Reau et al., 1996). La théorie agronomique fournit un cadre heuristique pour imaginer des systèmes de culture cohérents à priori pour atteindre un certain nombre d'objectifs explicités en amont, éliminant de fait une grande part de combinaisons de techniques jugées incohérentes au regard de ces objectifs. C'est une différence majeure avec l'expérimentation factorielle, où ce sont les facteurs limitants principaux de la production qui devenaient les facteurs à expérimenter. Dans une expérimentation-système, la réussite n'est pas mesurée par la rigueur méthodologique permettant d'isoler le ou les facteurs expérimentés mais par l'atteinte des objectifs que doit remplir le système (Deytieux et al., 2012) De cette atteinte d'objectif découle une autre différence majeure avec l'expérimentation factorielle : l'expérimentateur-système accepte de faire évoluer le système expérimenté au cours de l'expérimentation pour lui permettre de mieux atteindre les objectifs, mais trace finement tout changement et les raisons de ces changements. L'aller-retour permanent entre le système théorique et les résultats obtenus lors de son expérimentation permettent ainsi de déboucher sur un système cohérent, adapté au contexte dans lequel il est situé et atteignant les objectifs souhaités. Depuis une décennie, les expérimentations système se sont répandues pour concevoir des systèmes de culture entiers pour répondre aux enjeux du développement durable et non d'étudier l'effet d'une technique particulière à l'échelle du système de culture, comme le non labour, ou la fertilisation organique par exemple (Debaeke et al., 2009). Le système expérimenté prend en compte la rotation des cultures mais aussi l'ensemble du système de décision, ou modèle d'action (Sebillotte 1990) pour faire face aux aléas et pour adapter la conduite technique (irrigation, fertilisation, travail du sol) aux états du peuplement végétal et du sol. Le système

expérimenté est donc conçu avec une certaine flexibilité. Différents degrés de liberté existent, du choix d'une technique au choix d'une culture dans la succession culturale (Lechenet et al., 2017). Chaque année, les règles d'actions voire les stratégies agronomiques sont évaluées et soit validées, soit améliorées (voir Figure 1.2). Le système de culture est évalué à trois niveaux. Le premier consiste en une évaluation multicritères permettant d'évaluer si les objectifs globaux sont atteints (économiques, productivité, environnementaux). Le deuxième évalue les logiques agronomiques choisies dans le système pour atteindre les objectifs. Le troisième évalue les règles de décision simples.

Figure 1.2: Etapes d'une expérimentation système de culture (d'après Nolot and Debaeke 2003)



Généralement, une expérimentation système dure plusieurs années (au moins le temps de faire une rotation pour les expérimentations système de culture) pour avoir le temps d'à la fois revoir les règles de décision ou les stratégies agronomiques mais aussi pour pouvoir mieux estimer la probabilité qu'un système puisse atteindre les objectifs. Les expérimentations sur des systèmes de culture en rupture permettent de produire des références originales tandis que celles réalisées sur des systèmes plus classiques produisent des systèmes plus facilement transférables aux agriculteurs (Deytieux et al., 2012).

Expérimentations factorielles et systèmes sont toutes deux utilisées en agronomie et présentent des complémentarités. Si les premières font avancer les connaissances sur les mécanismes selon un schéma réductionniste, les secondes orchestrent leurs combinaisons cohérentes de pratiques dans une perspective systémique. En effet, il est difficile de pouvoir distinguer les effets d'une technique des autres dans une expérimentation système ce qui fait perdre en capacité explicative au-delà du système expérimenté. Les expérimentations systèmes intègrent au fur et à mesure les avancées issues des expérimentations factorielles tandis que de nouvelles expérimentations factorielles sont menées pour répondre à des interrogations émergent au cours d'expérimentations systèmes. Dans la pratique, des expérimentations factorielles peuvent même prendre part au sein d'expérimentations systèmes pour tester plusieurs variantes d'une règle de décision sur un système de culture ou comprendre des processus précis au sein du système (Debaeke et al., 2009). Toutefois, ces deux types d'expérimentations restent

problématiques car, les résultats sont très dépendants des conditions locales. Les systèmes testés ne peuvent pas être transférés directement à d'autres situations, et donc aux agriculteurs, et multiplier le nombre de stations expérimentales pour fournir une plus grande diversité de références et de recommandations représente un coût important. **Pour lever cette limite, une stratégie est d'intégrer les agriculteurs dans le processus d'expérimentation pour prendre directement en compte leurs contextes.**

4.2 L'expérimentation avec les agriculteurs

Ici il s'agit de décrire des démarches d'expérimentation portées par des scientifiques, mais qui mobilisent des agriculteurs, avec des niveaux d'implication et des objectifs variables : prendre en compte leur contexte et/ou faciliter leur apprentissage des pratiques. Nous traitons des travaux qui ont été entrepris à partir des années 1980 car, bien qu'il soit possible que des agriculteurs aient pu être impliqués avant (cf la phase d'empirisme raisonné défini par Jouve 2007 par exemple), les sources font défaut.

4.2.1 Expérimenter avec les agriculteurs pour prendre en compte leur contexte

Des scientifiques ont commencé à associer les agriculteurs dans les expérimentations pour répondre aux problèmes croissants posés par l'approche descendante de transfert de technologie. Dans un premier temps, l'approche top-down a porté ses fruits dans la plupart des régions du monde au cours du XX^{ème} siècle car les innovations (fertilisation maximisée pour chaque élément minéral, pesticides pour contrôler les bioagresseurs, meilleures variétés obtenues en station, mécanisation) présentaient des avantages considérables pour les agriculteurs par rapport à la variabilité des résultats obtenus précédemment. Nous pouvons toutefois noter l'exception de l'Afrique sub-saharienne où l'échec de la révolution verte fut sévère en raison d'une trop grande inadéquation entre les besoins des agriculteurs et les innovations proposées⁴. Dans les autres régions du monde, la faible prise en compte du contexte des agriculteurs finit aussi par être critiquée. Le mouvement "Farmer First" (Chambers et al., 1994) est emblématique de cette prise de conscience. Pour Chambers et al. (1994), l'approche top-down est loin d'être suffisante quelle que soit le type d'agriculture ou la région du monde. En France, on a constaté des "résistances à l'innovation" de la part des agriculteurs (Deffontaines, 1973) car la complexité des systèmes, des objectifs et de la représentation que se faisaient les agriculteurs de leur système n'a jamais été prise en compte (Osty, 1978). Cela a entraîné un décalage entre les innovations expérimentées, validées et diffusées par la recherche et les besoins des agriculteurs. En Asie, le recours systématique aux pesticides créa des problèmes de résistance des bioagresseurs et la gestion intégrée fut développée pour y répondre. Cependant, les résultats de la gestion intégrée étant bien plus dépendants de l'écologie locale, les recommandations étaient souvent inadaptées (Braun et al., 2006).

Il en résulte que les résultats obtenus en stations ne sont pas forcément reproductibles dans des situations différentes. Les technologies expérimentées en amont et transférées ne répondent pas toujours aux besoins des agriculteurs ou ne sont pas adaptées à leurs conditions

⁴ Les variétés modernes étaient trop peu adaptées à des conditions de culture très sèches et à des sols très divers, les usages secondaires des plantes traditionnelles ne furent pas pris en compte (combustible, fourrage, construction) et donc absents des espèces et variétés "modernes" proposées et le recours aux fertilisants était trop onéreux pour la plupart de ces agriculteurs (Bazuin et al., 2011). Le paquet technologique variétés modernes + engrais, offrant pourtant de bons résultats dans les expérimentations en stations, fut donc très peu adopté comparé aux autres régions du monde (Evenson and Gollin, 2003).

pédoclimatiques. Inclure les agriculteurs dans les expérimentations permet au contraire d'inclure leur contexte particulier. Historiquement, ce sont d'abord des expérimentations factorielles qui ont été réalisées afin de valider les innovations dans le contexte des agriculteurs. Elles sont apparues au terme d'une recherche descendante sur des éléments sectoriels comme des variétés ou des intrants (Jouve, 1990) : "*l'expérimentation en milieu paysan vient compléter cette validation en testant ces améliorations dans les conditions de la pratique paysanne, c'est-à-dire dans différentes conditions d'exploitation, suivant différents modes de culture pouvant correspondre à des niveaux d'intensification variés.*" Aujourd'hui, une part des expérimentations système sont aussi réalisées directement chez les agriculteurs pour des systèmes plus écologiques mais "proches" des systèmes existants chez les agriculteurs locaux (Deytieux et al., 2012). Cela permet de tester la faisabilité technique du système comme l'organisation du travail ou la disponibilité du matériel, de réduire fortement les effets de bordure dus aux petites parcelles des stations expérimentales et plus généralement de prendre en compte le contexte socio-économique actuel (Deytieux et al., 2012).

4.2.2 Expérimenter avec les agriculteurs pour faciliter l'apprentissage des pratiques

Les nouvelles variétés, le recours aux engrais ou la mécanisation sont adoptées rapidement par les agriculteurs mais certaines pratiques nécessitent des phases d'apprentissage plus longues, en particulier les pratiques visant à mobiliser des processus écologiques au champ. Expérimenter avec les agriculteurs permet de faciliter leur apprentissage expérientiel (Kolb, 1984), c'est-à-dire un apprentissage fondé sur la mise à l'épreuve concrète de nouvelles pratiques sur leurs fermes. Les *Farmer Field Schools* (FFS) sont un bon exemple de dispositif conçu pour favoriser l'apprentissage expérientiel à partir d'une parcelle expérimentale (voir encadré ci-dessous). Au cours d'une FFS, une parcelle expérimentale est désignée et l'ensemble des agriculteurs membres de la FFS décident au quotidien de sa gestion à partir d'observations. Guidés par un facilitateur, ils apprennent à la fois à observer et à agir sur la parcelle. Baars (2011) mise aussi sur l'apprentissage expérientiel dans une expérimentation à la ferme chez un éleveur sur la gestion de différents mélanges de céréales-trèfles pour prairies. Ils ont défini ensemble plusieurs mélanges à tester, chaque mélange testé étant répété sur 3 ou 4 petites parcelles. L'objet de l'expérimentation se veut évolutif comme dans une expérimentation système : les mélanges sont adaptés année après année ainsi que les pratiques de gestion de la prairie. Pendant trois ans, l'auteur rend souvent visite à l'agriculteur pour lui faire expliciter et discuter ses différents choix de gestion et observations ce qui lui permet de repérer l'apprentissage expérientiel de l'agriculteur.

Farmer Field School

C'est en Asie du Sud Est, en Indonésie, que les premières Farmer Field Schools (FFS) virent le jour. Il s'agissait de programmes de formation des agriculteurs sur la gestion intégrée des ravageurs du riz pour faire face à la cicadelle brune (Braun et al., 2000). Ces programmes se déroulent au champ, avec quelques dizaines d'agriculteurs locaux qui apprennent sur l'une ou plusieurs parcelles d'un agriculteur volontaire où est expérimentés la gestion intégrée. Le champ expérimental est surtout là pour faciliter l'apprentissage des agriculteurs sur les processus écologiques à l'œuvre en riziculture intégrée : reconnaissance des ravageurs et des auxiliaires, compréhension de leurs cycles biologiques, développement des cultures et impact réel des bioagresseurs (Braun et al., 2006). Chaque session mène à un choix collectif sur les actions à entreprendre après les observations réalisées au champ. Les connaissances et les techniques sont connues des chercheurs (ici raisonner et réduire l'usage des insecticides) mais sont ainsi découvertes par les agriculteurs. Un facilitateur est là pour guider le groupe, les observations et distribuer la parole.

4.2.3 Des agriculteurs plus ou moins impliqués dans l'expérimentation au sein de collectifs

Le niveau d'implication des agriculteurs dans les expérimentations varie fortement selon les dispositifs. Hocdé (2002) distingue trois types d'expérimentation en milieu paysan selon la répartition des rôles entre chercheurs et agriculteurs (Tableau 1-1).

Tableau 1-1: Trois types d'expérimentation en milieu paysan (d'après Hocdé 2002)

	Thème	Protocole	Evaluation des résultats
Consultative	Défini par C	Défini C	Défini par C - A consultés
Collégiale	Défini par A et C	Défini par A et C	Défini par A et C
Paysanne	Défini par A- Appui de C	Défini par A- Appui de C	Défini par A

C=Chercheur ; A=agriculteur

Certaines expérimentations, dites consultatives, sont largement pilotées par des chercheurs et se contentent d'introduire un feedback des agriculteurs à l'obtention des résultats. C'est le cas des expérimentations en milieu paysan de type transfert de technologie portant sur des variétés ou des intrants (Jouve, 1990). Nous retrouvons ce type de démarche dans l'approche DATE développée par le CIRAD par exemple. L'expérimentation est là aussi fortement portée par les chercheurs mais les boucles de feedback grâce aux agriculteurs sont plus importantes. L'expérimentation démarre après une analyse poussée des zones agricoles à développer et s'organise en trois boucles (Husson et al., 2016). La première boucle est réalisée par des experts

en agriculture de conservation⁵ qui testent un grand nombre de systèmes de culture sur des microparcelles dans des conditions d'agroécosystème proches de ceux des agriculteurs visés. Les chercheurs évaluent les rendements, les coûts de production et la praticabilité⁶ dans une démarche d'expérimentation système. Des expérimentations factorielles peuvent être réalisées conjointement pour fixer certaines techniques "simples" à intégrer dans les systèmes testés (variétés, espacement). La deuxième boucle permet de tester les systèmes les plus prometteurs, choisis conjointement entre des agriculteurs pionniers et chercheurs. Des expérimentations dans les champs de ces agriculteurs sont alors menées et permettent de faire un retour sur ce qui est faisable en conditions réelles. Les agriculteurs sont libres d'adapter ces systèmes s'ils le jugent nécessaires. Enfin, la troisième boucle vise à expérimenter ces systèmes dans un grand réseau d'agriculteurs où ces derniers peuvent là aussi apporter des ajustements, ce qui fournit là aussi un retour précieux pour les chercheurs (Husson et al., 2016). Jouve (1990) identifie un deuxième type d'expérimentation, dite collégiale, en milieu paysan plus participatif, l'EMP Diagnostic et Participation Paysanne, où les agriculteurs sont impliqués dès les phases de diagnostics et de choix des thèmes à expérimenter. Enfin, dans certains cas, les agriculteurs sont au cœur du dispositif (expérimentation paysanne). Par exemple, dans les Comités Locaux de Recherche Agricole (CIAL), ils choisissent eux-mêmes les sujets de recherche et expérimentent dessus (voir encadré ci-dessous). Les expérimentations mises en place au sein des CIAL sont très proches des expérimentations factorielles et permettent de tester quelques facteurs simples de production comme les variétés. Mais, comme le notent Braun et al. (2000), les CIAL plus récents s'intéressent à des questions plus complexes sur l'agroécosystème (gestion du sol et de l'eau, gestion des bioagresseurs) et sont confrontés à des problèmes méthodologiques: intégration de cette gestion à l'échelle de la ferme, conception d'options de gestion sans connaître toutes les interactions possibles, prendre en compte l'effet des actions collectives. Il est donc intéressant de noter que, bien que les agriculteurs expérimentent dans leurs propres conditions, ils sont confrontés aux mêmes limites que les agronomes avec les expérimentations factorielles dès lors que les sujets embarquent des interrelations entre pratiques.

Defoer (2002) développe un type de plateforme participative hybride nommée PLAR (Participatory Learning and Action Research) qui relève aussi de la catégorie « expérimentation paysanne » mais qui, à la différence des FFS et CIALs, distingue apprentissage individuel et collectif. Le village est lui-même composé d'une diversité de milieux et d'attentes. La logique de dépendance au contexte est ainsi poussée plus loin: chaque agriculteur choisit parmi un ensemble de solutions imaginées en groupe celles qui l'intéressent le plus et mène sa propre expérimentation (objectifs, mesures, résultats...) qu'il partage ensuite avec les autres. Nous retrouvons ce type de démarche avec les travaux de Buckles and Perales (1999) où chaque agriculteur est invité à expérimenter la stratégie d'intégration d'un pois dans les systèmes à base de maïs qui lui convient le mieux.

⁵ Le but est d'augmenter le potentiel agronomique des sols en augmentant notamment le taux de matière organique et l'activité biologique de ces sols. Les techniques principales sont la diversification de la rotation, le recours à des plantes de couverture et la réduction/suppression du travail du sol.

⁶ L'évaluation est relativement simplifiée par rapport aux expérimentations de systèmes de culture en France

Comités Locaux de Recherche Agricole

Les CIAL (Comités Locaux de Recherche Agricole) furent créés dans les régions où la Révolution Verte fut un échec. Ces comités nomment une équipe d'agriculteurs-chercheurs (agriculteurs considérés comme des chercheurs) qui sont en interaction avec des centres de recherches mais qui sont responsables de leurs recherches (Braun et al., 2000). A la différence des FFS, l'accent est plus mis sur le côté expérimental (tests de pratiques) que sur l'aspect expérimentiel des FFS (parcelle test pour comprendre des mécanismes biologiques). Une autre différence est que ce sont les agriculteurs-chercheurs qui définissent les sujets à expérimenter et gèrent le budget. Un facilitateur est cependant là pour aider à mettre en place les expérimentations. Il aide à clarifier les objectifs, les mesures à effectuer et les variables mesurées en lien avec ces objectifs. L'expérimentation s'organise en trois itérations. D'abord un essai exploratoire où beaucoup d'options techniques (variétés, types et quantités d'engrais, écartement, etc..) sont testées sur de petites surfaces. Chaque traitement est répliqué trois à quatre fois et des témoins sont mis en place. Les traitements les moins prometteurs sont écartés et les autres sont alors testés sur une surface plus importante, dans une deuxième itération. Le principe est le même pour la troisième itération. Une évaluation des performances de l'équipe d'agriculteurs-chercheurs permet de remplacer certains membres via de nouvelles élections.

Inclure les agriculteurs dans les expérimentations permet donc d'évaluer les performances des pratiques dans leurs propres conditions mais aussi de les rendre acteurs dans leur apprentissage et de prendre en compte leurs attentes en leur donnant un pouvoir décisionnel dans la recherche de solutions ou d'innovations. Cependant, lorsque les pratiques s'inscrivent dans des systèmes complexes où beaucoup d'interactions doivent être prises en compte, les agriculteurs sont aussi amenés à expérimenter à l'échelle individuelle pour prendre en compte au mieux leur contexte et besoins. Certains dispositifs reposent ainsi clairement sur la capacité des agriculteurs à conduire des expérimentations seuls. De plus, nous avons vu dans la partie 3.3 que les agriculteurs se tournant vers l'agroécologie ont souvent recours à de l'expérimentation individuelle à la ferme. Dans la partie suivante, nous nous intéressons donc aux travaux portant sur les expérimentations des agriculteurs sur leur ferme.

4.3 Expérimentation des agriculteurs sur leur ferme

Les modes d'exploitation agricoles ont connus plusieurs révolutions importantes comme la révolution agricole de l'Antiquité passant des systèmes d'abattis-brûlis aux systèmes à jachère et culture attelée légère (Mazoyer and Roudart, 2002). Pour Hoffmann et al. (2007), ce sont les agriculteurs qui sont à la source de nombreuses innovations depuis 10 000 ans. D'après l'auteur, un des moteurs de ces innovations réside dans les "*farmers' experiments*" ou, expérimentations des agriculteurs, réalisées constamment sur de nouvelles espèces, variétés ou techniques culturales. La reconnaissance d'une activité d'expérimentation par les agriculteurs est internationale, bien que souvent questionnée par une partie des expérimentateurs scientifiques. Dans les années 70 l'anthropologue Johnson (1972) montre que les agriculteurs de plusieurs pays en développement mènent des expérimentations, notamment sur des espèces et variétés végétales. Cet article est confirmé par de nombreux travaux ultérieurs (Bentley, 2006; Richards, 1994; Saad, 2002; Sumberg and Okali, 1997) y compris en France (Jourdan 1997; Goulet et al., 2008). Par exemple Jourdan (1997) identifie des actions de recherche-développement chez des

vignerons français basées notamment sur l'expérimentation. Les vignerons mettent à l'épreuve des hypothèses dans des expérimentations pour résoudre des problèmes de maladies de la vigne.

Avec quels dispositifs les agriculteurs expérimentent-ils ? Kummer et Leitgeb ont analysé les expérimentations menées respectivement par les agriculteurs bios autrichiens et par les agriculteurs cubains (Kummer, 2011; Leitgeb et al., 2014). Ils ont caractérisé l'expérimentation des agriculteurs sur le contexte (pourquoi expérimenter, sujets d'expérimentations), le dispositif (comparaison, témoin, répétition, informations collectées, durée) et les sorties de l'expérimentation (adoption, apprentissage réalisé). Leitgeb et al. (2014) s'intéressent aux méthodes des agriculteurs cubains pour expérimenter de nouvelles pratiques dans un contexte de faible disponibilité en intrants de synthèse (pétrole, engrais, pesticides) dû à l'embargo. Il constate que les motivations sont variées entre amélioration des performances techniques ou économiques (majoritaires), curiosité intellectuelle et démonstration pour autrui. Les idées à l'origine de l'expérimentation sont dans en grande majorité issues de l'environnement local des agriculteurs (idées propres, autres agriculteurs ou membres de la famille) et concernent majoritairement l'aspect technique (variétés, préparation et fertilité du sol, méthode de semis et densité de culture). La collecte des données s'effectue majoritairement par observation directe au champ pour évaluer les performances de la pratique testée et les sorties de l'expérimentation. Les expérimentations s'effectuent d'abord à petite échelle (quelques plantes ou animaux) dans 90% des cas. Lorsque les agriculteurs estiment le risque faible par rapport aux bénéfices, l'expérimentation est réalisée à grande échelle. La moitié d'entre eux répètent au moins une fois la pratique expérimentée avant de l'adopter. Plus de la moitié des agriculteurs recourent à des comparaisons par rapport à des références (par rapport à leur pratique ou à celle des voisins). Cependant l'auteur ne précise pas s'il s'agit de comparaisons historiques (les références des pratiques classiques sont connues) ou en ayant recours à des modalités témoins. Kummer (2011) constate de son côté que ce sont majoritairement des comparaisons historiques ou des comparaisons avec les pratiques des voisins. Dans 25% des cas, les agriculteurs comparent à un témoin sur la ferme. Kummer (2011) fait des constats similaires dans le cas d'agriculteurs qui testent des pratiques pour différents systèmes de production (élevage, vignes...). Elle remarque aussi que les expérimentations des agriculteurs peuvent être ramifiées : une expérimentation d'origine peut mener à une décomposition en de nombreuses autres expérimentations sur des sujets plus précis. Elle donne l'exemple d'expérimentation d'un atelier d'élevage de porcs bios en plein air qui se décompose en expérimentations sur les mélanges pour l'alimentation, les abris ou la gestion du parcours. D'après les agriculteurs enquêtés, l'un des principaux apports de leurs expérimentations consiste en une acquisition de nouvelles connaissances, sans que leur nature ne soit précisée. Darnhofer et al. (2010) évoquent une meilleure compréhension des dynamiques au sein de l'agroécosystème grâce aux expérimentations. Pour ces auteurs, c'est une manière de structurer l'apprentissage. **Cependant, la mise en relation des connaissances développées par les agriculteurs grâce à leurs expérimentations est faible. Nous savons encore peu de choses sur les connaissances qui sont mises en jeu dans une expérimentation par les agriculteurs, sur la manière dont les hypothèses deviennent des connaissances.**

Beaucoup de travaux comparent les expérimentations menées par les agriculteurs aux démarches expérimentales des scientifiques, et notamment à certains critères propres aux expérimentations factorielles : répétitions, modalités, témoins (Johnson, 1972; Quiroz, 1999;

Saad, 2002). Ils constatent par exemple que l'usage de témoins et de répétitions synchrones (la même année) est rare. Pourtant, cette comparaison à la démarche scientifique nous semble réductrice. Si cela permet de pouvoir établir une comparaison avec un des deux standards de l'expérimentation agronomique (expérimentation factorielle), cela masque sans doute des différences probables dans les objectifs assignés aux expérimentations par les deux catégories d'acteurs. Stolzenbach (1994), s'inspirant de Schön (1983), propose par exemple de considérer trois dimensions dans les expérimentations des agriculteurs : tester une hypothèse (objectif qui peut se rapprocher fortement de l'objectif des scientifiques dans l'expérimentation factorielle), explorer (et découvrir) de nouvelles pratiques ou mécanismes à l'œuvre et adapter ses actions en cours d'expérimentation pour atteindre un objectif. Le cadre de l'expérimentation factorielle nous semble également réducteur au regard de l'expérimentation système utilisée par les agronomes, plus portée sur l'atteinte d'objectifs et un processus itératif d'amélioration constante du dispositif expérimenté, qui pourrait être plus proche de ce que font les agriculteurs. Les travaux de Kummer (2011) et Leitgeb et al. (2014) prennent un peu de distance avec le cadre factoriel et introduisent quelques éléments nouveaux comme les motivations premières ou les types de sorties des expérimentations. Cependant leurs travaux restent très descriptifs, l'analyse de la cohérence des différents éléments descriptifs des expérimentations fait défaut et l'analyse de l'évolution des expérimentations sur le temps long est assez sommaire alors même qu'elle est souvent mentionnée dans plusieurs travaux, à minima concernant des répétitions dans le temps (Kummer, 2011; Leitgeb et al., 2014; Lyon, 1996; Saad, 2002). Finalement, le questionnement sur la scientificité ou non de telles expérimentations est souvent mis en avant (notamment par rapport au cadre factoriel) alors que le processus d'expérimentation en lui-même reste mal connu (Briggs, 2013; Saad, 2002) ce qui rend la portée opérationnelle de ces travaux faible.

Plus récemment, des agronomes ont porté un regard plus ouvert sur l'expérimentation en mobilisant des théories de l'apprentissage. Les travaux de Chantre (2011), Toffolini (2016) et Cristofari (2018) se distinguent des précédents à plusieurs égards. Ces auteurs intègrent la démarche d'expérimentation dans un processus d'apprentissage sur le temps long où l'agriculteur effectue une série plus ou moins longue de changements techniques. Ils prennent ainsi en compte les connaissances pour l'action que les agriculteurs mobilisent (Toffolini, 2016) ou développent à travers le concept de jugement pragmatique (Chantre, 2011; Cristofari, 2018); Cependant, comme indiqué dans le paragraphe 3.3, ces auteurs ne sont pas intéressés spécifiquement à l'activité d'expérimentation des agriculteurs. Celle-ci était incorporée dans des processus plus larges d'apprentissage (Chantre, 2011; Cristofari, 2018) ou de reconception (Toffolini, 2016). En particulier, nous en savons peu sur :

- la manière dont les agriculteurs organisent l'expérimentation (fréquence, variation, liens entre expérimentations,...).
- la manière dont les expérimentations s'insèrent dans un système agricole déjà existant et notamment le lien entre ces expérimentations et les changements techniques visés ou réalisés.
- les relations étroites entre connaissances développées et expérimentations antérieures ou futures, comme le suggère le cycle de Kolb (1984). S'il semble bien y avoir une mise à l'épreuve d'hypothèses (Jourdan, 1997) et une acquisition de connaissances (Kummer, 2011), **le détail du contenu des connaissances, de leur nature et de la manière dont elles se développent grâce à l'expérimentation reste méconnu. En particulier**

quelles connaissances pour l'action sont développées et/ou mises à l'épreuve grâce à l'expérimentation ?

5 Elaboration des questions de recherche

5.1 L'expérimentation des agriculteurs comme vecteur d'apprentissage pratique en agroécologie

De l'analyse précédente de la littérature, il ressort donc plusieurs points :

- (1) L'expérimentation est une activité qui peut remplir des missions différentes suivant les acteurs qui la mobilisent, et suivant les types d'expérimentations. Ces missions vont parfois bien au-delà de la production de connaissances scientifiques. Les agriculteurs peuvent expérimenter pour résoudre des problèmes, améliorer différents aspects de la production voire explorer certaines pratiques par simple curiosité (Leitgeb et al., 2014; Stolzenbach, 1994).
- (2) L'activité d'expérimentation des agriculteurs semble particulièrement présente en agroécologie (Cristofari, 2018; Darnhofer et al., 2010; Toffolini, 2016). Ce recours à l'expérimentation sur la ferme repose, au moins en partie, sur le fait que l'agroécologie 1) propose de mobiliser des processus écologiques ou de concevoir des systèmes qui, pour beaucoup, ne sont encore que partiellement compris (Médiène et al., 2011), et 2) nécessite des adaptations locales en raison d'une forte dépendance à la localité. Il y a peu de recettes techniques, les agriculteurs ont donc souvent besoin de mettre à l'épreuve des pratiques dans leur(s) situation(s) spécifiques et de les adapter. Contrairement à Stone (2016), pour qui les expérimentations des agriculteurs sont surestimées en termes "d'apprentissage environnemental" par rapport à des apprentissages sociaux par exemple, **nous faisons ici une hypothèse centrale : l'expérimentation de pratiques est un moyen pour les agriculteurs qui s'engagent dans l'agroécologie de trouver des réponses adaptées à leur propre situation en l'absence de solution toute faite.** En effet, l'agriculteur qui expérimente de nouvelles pratiques dans ses propres conditions s'affranchit d'une partie des problèmes liée à la généralité des résultats en agroécologie. Le lieu d'expérimentation correspond directement à celui où seront mises en œuvre les pratiques. De nombreuses conditions (et leur combinaison) à la réalisation d'un phénomène agroécologique sont donc déjà fixées et relativement stables dans le temps : type de sol, espèces présentes et effectifs, outils utilisés au champ, environnement des parcelles voire agroécosystème formé à l'échelle des fermes locales. Les sources de variabilité sont donc réduites et il est plus aisé de déterminer un domaine de validité local à partir des sources de variabilité restantes comme le climat ou des hétérogénéités inter-parcellaires.
- (3) Si savoir agir est un objectif prioritaire pour les agriculteurs, **nous faisons l'hypothèse qu'il est aussi nécessaire pour eux de savoir pourquoi et comment les processus agroécologiques en lien avec leurs actions ont lieu.** Et ce, pour une double raison : les processus sont une clef d'interprétation des phénomènes observés au champ ; comprendre les processus permet d'imaginer et donc de guider le choix pour de futures actions. Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'expérimentation de pratique des agriculteurs. La pratique est une notion qui renvoie à la fois à un savoir-faire et à des connaissances plus agronomiques. Autrement dit, expérimenter une pratique permettrait à l'agriculteur de développer à la fois sa capacité d'agir et ses connaissances sur les effets induits par sa pratique.

(4) Compte tenu de la diversité des acceptions autour du terme « expérimentation » lorsqu'elle concerne les agriculteurs, dans cette thèse, **nous définissons l'expérimentation comme un processus de mise à l'épreuve de pratiques embarquant des hypothèses tant sur leur mise en œuvre que sur les processus agroécologiques que ces pratiques visent à induire. Cette définition suppose que l'expérimentation est anticipée puis conduite sur des parcelles et qu'elle comporte une dimension d'évaluation des résultats obtenus.** Nous considérons donc l'expérimentation comme un moyen pour l'agriculteur de mettre à l'épreuve de nouvelles pratiques en limitant la prise de risque, avant de les adopter à plus grande échelle ou de façon plus pérenne, ou d'y renoncer.

5.2 Comprendre le processus d'expérimentation des agriculteurs dans le temps long et l'acquisition de connaissances pour l'action en agroécologie

Nous avons vu aussi que l'expérimentation est un élément clef de l'apprentissage, notamment de l'apprentissage pratique. Souvent ces apprentissages s'étalent dans le temps long (Chantre, 2011; Toffolini, 2016) car les changements de pratiques sont difficiles et certains effets longs à se mettre en place (notamment en agroécologie). Les travaux récents sur l'apprentissage des agriculteurs en agroécologie retracent des trajectoires d'apprentissage et de changement technique. Il nous semble donc essentiel de concevoir l'expérimentation des agriculteurs dans de telles dynamiques de changements. Dans cette thèse, je m'intéresse donc à caractériser **les processus d'expérimentation des agriculteurs dans le temps long et à comprendre leurs liens à l'acquisition de connaissances pour l'action en agroécologie.**

La littérature sur les collectifs impliquant des agriculteurs (4.2.2) montre une diversité dans la façon dont ces derniers s'engagent dans des collectifs d'expérimentation (FFS, CIAL, expérimentations paysannes,...). Pour autant, le processus individuel d'expérimentation est encore très peu renseigné. **Comment les agriculteurs expérimentent-ils lorsqu'ils le font pour eux-mêmes ? Ce travail vise à mieux comprendre cette activité pour enrichir la manière dont est pensé l'accompagnement des agriculteurs et la manière d'expérimenter avec eux dans des collectifs.**

Nous faisons une hypothèse globale de travail qui est de considérer le processus d'expérimentation dans le temps long comme une combinaison de "**situations expérimentales**" (SEs). Une SE correspond à une mise à l'épreuve de pratiques, une année donnée et sur une surface donnée. La combinaison de SEs d'un même agriculteur sur le temps long est appelée "**itinéraire d'expérimentation**" (ITE). Le terme itinéraire renvoie ici à une combinaison qui n'est pas arbitraire mais qui relève d'une cohérence : si l'itinéraire technique est une combinaison cohérente de pratiques, l'itinéraire d'expérimentation est une combinaison cohérente de SEs dans le sens où les résultats obtenus par certaines SEs précédentes influent sur les suivantes. Ce modèle s'inspire du modèle du cycle de Kolb. Ce dernier suppose un temps réflexif sur l'expérience concrète qui vient d'être réalisée et sur les observations faites. La saisonnalité de l'agriculture et en conséquence la mise en œuvre de pratiques agricoles dans un système agricole chaque année à une période donnée offre ce temps de réflexivité, entre l'obtention des résultats d'une SE et la mise en œuvre de la suivante. Ainsi le modèle cyclique de Kolb (1984) est intéressant pour penser les deux dimensions court terme et long terme dans l'expérimentation des agriculteurs.

5.3 Questions de recherche

Trois questions de recherche seront traitées dans cette thèse (Figure 1.3). La décomposition du processus d'expérimentation en SE (une SE étant une entité de durée limitée et bien localisée dans l'espace de la ferme) et en ITE (vu comme une combinaison logique de SEs sur plusieurs années) débouche sur les deux premières questions de recherche. La troisième porte sur les liens entre connaissances pour l'action des agriculteurs et expérimentation.

Question de recherche n°1 : En quoi consiste l'activité d'expérimentation à court terme ?

Cette question est traitée en deux sous questions :

- Comment caractériser les SEs que les agriculteurs réalisent ?
- Y a-t-il une diversité des façons d'expérimenter et si oui, quelle est-elle ?

La question de recherche n°1 est développée dans le chapitre 3. A partir d'enquêtes sur l'activité d'expérimentation des agriculteurs, ce chapitre aboutit à deux résultats principaux :

(1) un modèle générique pour analyser chaque SE par sa décomposition en trois phases (conception, réalisation et évaluation) et par un ensemble de variables propres à chaque phase. La construction du modèle repose sur des allers-retours entre la littérature et des enquêtes de terrain.

(2) une typologie (10 groupes) pour caractériser la diversité des SEs au sein de la zone d'étude à partir du modèle précédent. Cette diversité est ensuite mise en regard des différences entre systèmes de production, entre pratiques agroécologiques expérimentées et entre agriculteurs de la zone d'étude.

Il ressort de cette analyse que les SEs, qui sont des expérimentations à court terme, sont souvent reliées entre elles. Le lien aux SEs précédentes est un marqueur important d'un certain nombre de types de SEs identifiés dans le chapitre 3. Cela nous a amené à de nouvelles questions sur les dynamiques d'évolution des SEs et sur l'activité d'expérimentation à long terme.

Question de recherche n°2: En quoi consiste l'activité d'expérimentation à long terme ?

Cette question est traitée en trois sous questions :

- Quelles sont les caractéristiques d'un ITE?
- Comment les différents types de SEs identifiés dans la question précédente s'enchaînent-ils dans un ITE?
- Quelle est la diversité des ITEs?

La question de recherche n°2 est développée dans le chapitre 4. Nous étudions les évolutions sur le temps long (une dizaine d'années) des SEs de chaque agriculteur enquêté et des pratiques expérimentées. En analysant les liens de causalité entre SEs, ce chapitre propose de formaliser ces relations avec le concept d'itinéraire d'expérimentation (ITE). Ce chapitre aboutit à la caractérisation des ITEs de chaque agriculteur. Puis nous montrons que certains types de SEs

occupent des positions spécifiques dans le déroulement de l'ITE. Enfin, nous identifions quatre types d'ITE.

Avec cette deuxième question de recherche, nous nous sommes intéressés aux évolutions de la pratique expérimentée entre une SE et la suivante. Or, la littérature scientifique souligne que l'expérimentation est aussi un moyen d'apprendre mais peu d'éléments concrets existent encore sur les liens entre les pratiques expérimentées et les connaissances des agriculteurs. La dernière question de recherche porte donc sur la manière dont les connaissances des agriculteurs se développent grâce à l'expérimentation.

Question de recherche n°3 : Quel développement des connaissances permet l'expérimentation des agriculteurs?

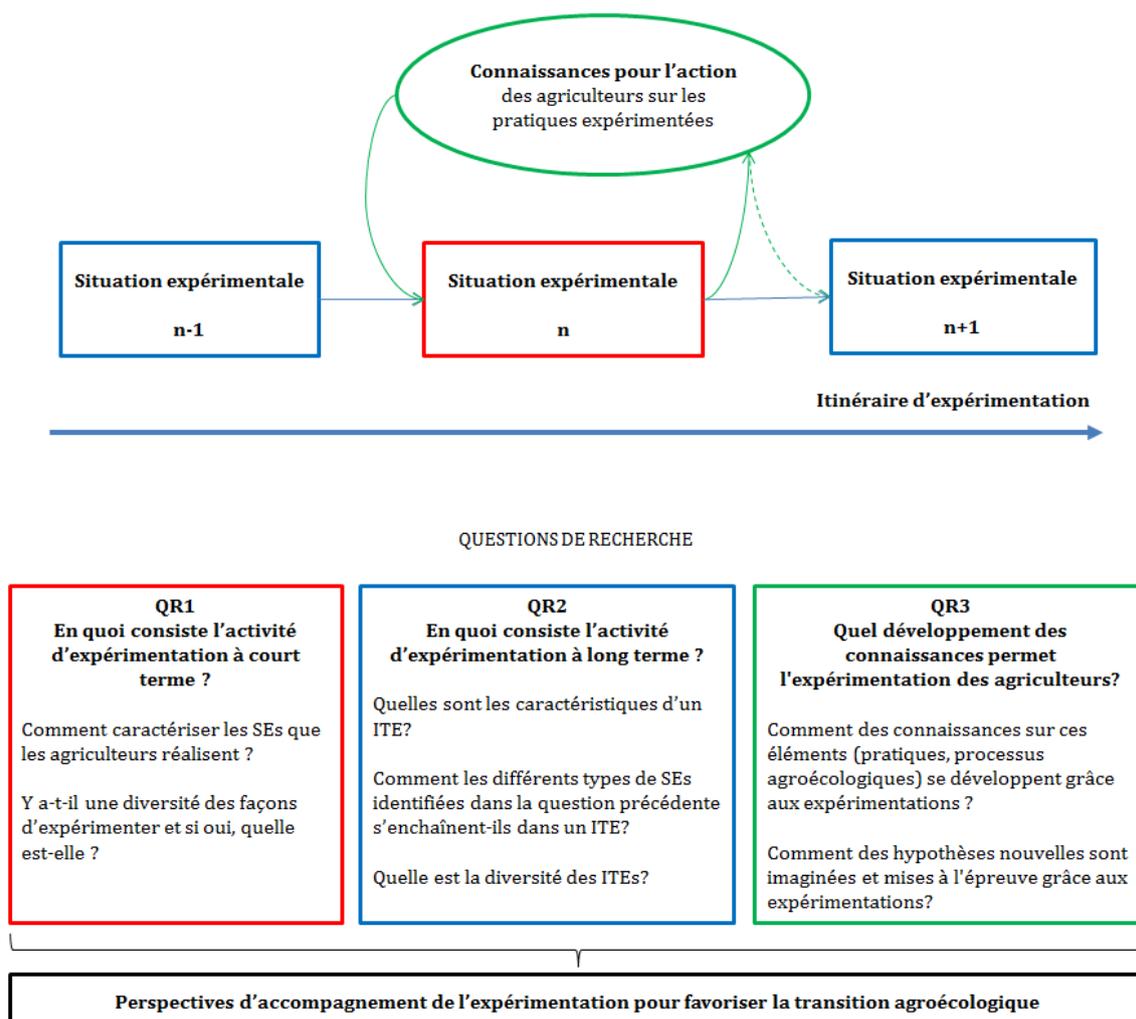
Nous nous positionnons ici en tant qu'agronome, à même de comprendre les pratiques, les processus agroécologiques et les liens qu'ils entretiennent entre eux, et donc de repérer et de faire émerger ces éléments dans le discours des agriculteurs. Dans cette question, il s'agit plus spécifiquement de comprendre :

- comment des connaissances sur ces éléments (pratiques, processus agroécologiques) se développent grâce aux expérimentations ?
- comment des hypothèses nouvelles sont imaginées et mises à l'épreuve grâce aux expérimentations?

Cette question est développée dans le chapitre 5. Nous avons extrait des enquêtes des agriculteurs les énoncés portant sur des connaissances en lien avec les pratiques expérimentées. L'analyse qualitative inductive de ces énoncés nous permet d'identifier huit types de connaissances.

Ces trois questions visent donc à mieux caractériser la démarche d'expérimentation et son lien au processus de développement des connaissances des agriculteurs, sur un terrain d'étude spécifique, mais aussi avec l'ambition de produire un cadre d'analyse remobilisable dans d'autres situations. Cette étude doit également permettre de proposer des pistes pour l'accompagnement de l'expérimentation des agriculteurs qui contribue à la transition agroécologique. Dans la partie suivante, nous développons la méthodologie générale de la thèse mise en place pour traiter ces questions de recherche.

Figure 1.3: Cadre d'analyse de l'expérimentation de pratiques agroécologiques par les agriculteurs et questions de recherche



Chapitre 2 - Méthodologie

Chapitre 2 - Méthodologie

Ce chapitre décrit la méthodologie générale, c'est-à-dire le choix du terrain, le dispositif d'enquête, les méthodes d'analyse et la posture de recherche. Les méthodologies propres à chaque question de recherche sont décrites en début des chapitres de résultat correspondants.

1 Choix du terrain et des agriculteurs enquêtés

1.1 Choix du terrain et des types de production

Le département de la Drôme est reconnu comme l'un des départements pionniers en termes d'agriculture biologique (1^{er} en nombre de producteurs, 4^e en surface, 4^e en part de surface par rapport à la SAU du département). En 2017, 21,8% de la SAU est cultivée en bio et 18,6% des exploitations possèdent le label. Cependant, il y a des inégalités entre les différentes filières. Ainsi, les cultures fourragères sont à 44% en bio en termes de surface, les légumes et la vigne à 17% alors que les grandes cultures (céréales, oléo-protéagineux) et les fruits ne sont convertis qu'à environ 9%. Il est à noter que les grandes cultures représentent 58% de la SAU totale de la Drôme alors que les cultures fourragères ne correspondent qu'à 17% de la SAU (et les légumes 2%). En regardant les chiffres sur la bio en nombre d'exploitations, 53% des producteurs de légumes et PPAM sont en bio alors qu'ils représentent seulement 12 à 14% pour chacune des autres types de production (grandes cultures, cultures fourragères, fruits, vigne et légumes). Historiquement lié à la Biovallée (projet de développement territorial dans la vallée de la Drôme), l'engouement pour l'agriculture biologique s'est aujourd'hui étendu à l'ensemble du département. Le Conseil départemental continue de promouvoir ce type d'agriculture (ex: engagement dans la plate-forme TAB). Il est aussi à l'origine d'un projet d'alimentation territoriale mettant en lien via une plate-forme web la restauration collective et les producteurs locaux. Le Conseil départemental cherche à favoriser l'écologisation des pratiques des agriculteurs, d'où ce travail de thèse CIFRE, vu comme un moyen d'accompagner les agriculteurs dans cette écologisation. Le terrain d'étude se situe donc majoritairement dans la Drôme, en ayant pour hypothèse de départ que dans ce département où les pratiques agroécologiques (y compris en bio) sont très développées, il est possible d'y rencontrer beaucoup d'agriculteurs qui expérimentent des pratiques agroécologiques.

Nous avons choisi d'enquêter des agriculteurs sur deux systèmes de production en production végétales : les grandes cultures et le maraîchage diversifié, pour des raisons différentes. Les grandes cultures représentent une surface importante et sont des cultures relativement intensifiées, elles ont donc un impact fort sur l'environnement. Dans ce type de production, l'expérimentation de pratiques se déroule dans un contexte où le nombre de cultures est réduit, où les successions culturales comportent rarement plus de deux cultures par an et où la mécanisation est forte. Au contraire le maraîchage n'occupe que peu de surface dans le département. Mais en maraîchage diversifié, le nombre de culture est très important (vingt espèces ou plus), les cycles courts permettent la succession d'un plus grand nombre de cultures par an et les parcelles beaucoup plus petites. Il y a donc potentiellement un plus grand nombre de situations où l'agriculteur a recours à l'expérimentation. Nous avons donc deux systèmes de production contrastés en termes de nombre de culture, de cycles, de surfaces en jeu, de mécanisation et de disponibilité. Ces différences peuvent influencer la manière dont l'expérimentation est réalisée. De plus, les leviers agroécologiques diffèrent aussi. En grandes cultures, les leviers agroécologiques portent souvent sur la mise en œuvre de principes de l'agriculture de conservation du sol. Ce qui peut réduire les passages d'engins et la

consommation de fioul dû au labour ou permettre d'apporter de l'azote sur la parcelle en cultivant des intercultures à base de légumineuse par exemple. Les associations de culture (par exemple céréale-légumineuse) sont aussi une voie prometteuse pour augmenter la productivité des parcelles, réduire le développement des maladies et donc de pesticides (dilution de la ressource via l'association) sans consommer plus d'intrants azotés. Pour le maraîchage diversifié, les leviers agroécologiques portent beaucoup sur l'amélioration de la gestion des bio-agresseurs, notamment des ravageurs. Ils peuvent aussi reposer sur la mobilisation de principes d'agriculture de conservation pour dés-intensifier les passages d'engins pour le travail du sol (reprise des planches de culture, mise en place, ...) ou le désherbage.

Pour compléter les enquêtes sur le maraîchage diversifié, quatre agriculteurs d'un groupe du Rhône reconnu pour expérimenter sur la gestion des ravageurs en transférant des auxiliaires de culture trouvés sur leur ferme ont été enquêtés.

Plus globalement, nous avons enquêté des agriculteurs dans un contexte de pays développé où les agriculteurs sont formés, ont accès à des formations au cours de leur carrière et où les réseaux de conseils et d'appuis à l'agriculture sont importants.

1.2 Enquête d'agriculteurs ayant une activité d'expérimentation de pratiques agroécologiques

Pour comprendre le processus d'expérimentation dans le temps long, nous avons enquêté des agriculteurs qui manifestaient une activité d'expérimentation de pratiques agroécologiques depuis quelques années. Le temps de la thèse permettait d'observer avec précision le déroulement d'une expérimentation mais il est trop restreint pour pouvoir observer un processus sur le temps long. Nous avons donc procédé à des enquêtes rétrospectives pour accéder au début d'une expérimentation et à son devenir dans le temps. Nous n'avons donc pas initié d'expérimentation avec les agriculteurs ou sollicité des agriculteurs qui allaient mettre en œuvre des expérimentations pour les suivre. Par ailleurs, nous avons privilégié d'enquêter sur un nombre restreint d'agriculteurs afin d'affiner notre compréhension de l'expérimentation chez les producteurs.

Pour sélectionner les agriculteurs, nous avons d'abord réalisé des entretiens téléphoniques rapides pour repérer des agriculteurs qui expérimentaient des pratiques agroécologiques. En effet, le terme "agroécologique" recouvre de multiples acceptions et il s'agissait donc d'identifier si les pratiques expérimentées relevaient bien de l'agroécologie telle que nous l'avons définie (mobilisation de processus écologiques au champ rendant des services à l'agriculteur). Nous avons d'abord questionné ouvertement l'agriculteur sur son activité ou non d'expérimentation de pratiques agroécologiques, en utilisant une diversité de termes, (changement techniques réalisés dans les dernières années? Recours à des tests? Des essais?), car le terme « expérimentation » est souvent associé à une démarche scientifique, et les d'agriculteurs n'utilisent pas toujours spontanément ce terme. Si l'agriculteur sollicitait des précisions, nous lui soumettions une liste de pratiques ou de thématiques relevant de l'agroécologie et susceptibles d'être mises en œuvre (couverts, lutte biologique, etc...). Le guide d'entretien téléphonique est fourni en Annexe 1.

1.3 Non prise en compte de certains facteurs d'échantillonnage

Dans cette thèse, nous nous intéressons à caractériser le processus d'expérimentation dans sa dimension biotechnique et cognitive. Nous faisons le choix de ne pas traiter des déterminants

sociologiques de l'expérimentation qu'ils soient liés à l'individu (âge, formation, agriculteur issu du cadre familial ou non, etc...) ou à son environnement social et technique (conseiller, collectif d'agriculteur). Les informations sur les agriculteurs enquêtés sont disponibles en Annexe 3.

De même, nous ne traitons pas du rôle des ressources externes dans le processus d'expérimentation. La liste des ressources externes (appui d'un conseiller, idée trouvée dans la documentation technique, évènement comme le Tech & Bio...) qui ont été utiles à l'agriculteur, soit parce qu'elles ont fourni une idée, soit parce qu'elles ont mobilisés pour évaluer une SE est fournie en Annexe 4.

2 Dispositif d'enquête

2.1 Echantillonnage

Pour réaliser nos prises de contact via les entretiens téléphoniques, nous avons sélectionné des agriculteurs de trois manières. Nous avons sollicité les réseaux institutionnels du Conseil Départemental de la Drôme (Chambre d'agriculture, Agribiodrôme, CIVAM,...). Nous avons aussi choisi au hasard des agriculteurs dans la base de données du Département. Enfin, à partir des premiers contacts, nous avons procédé par boule de neige, en demandant aux agriculteurs enquêtés s'ils connaissaient d'autres agriculteurs ayant expérimenté des pratiques. Nous avons réalisé une cinquantaine d'entretiens téléphoniques.

A l'issue de ces entretiens, nous avons enquêté vingt-trois agriculteurs mais nous n'en avons retenu que dix-sept d'entre eux pour l'analyse. D'une part, les premières enquêtes ont été très exploratoires et surtout servi à mettre à l'épreuve le questionnaire. D'autre part, certains agriculteurs n'avaient finalement pas assez d'activité d'expérimentation sur des pratiques agroécologiques. Enfin, certaines enquêtes n'étaient pas assez précises pour être exploitables.

Pour explorer le processus d'expérimentation dans une large gamme de contextes, outre, le choix de deux types de production, nous avons enquêtés des agriculteurs bio et non bio. En effet, nous faisons l'hypothèse que du fait des restrictions du cahier des charges bio, les agriculteurs bio étaient peut-être amenés à expérimenter plus souvent des processus agroécologiques (phénomène observé à Cuba à cause de l'embargo par exemple qui a justifié l'étude de (Leitgeb et al., 2014)). En conventionnel, le besoin de mobiliser des processus agroécologiques est peut-être moindre. Toutefois, la possibilité de rattrapage en utilisant des pesticides peut, peut-être, limiter les risques et donc encourager l'expérimentation. Dans cette thèse, nous chercherons à voir s'il existe des différences dans la façon d'expérimenter dans un contexte de production biologique ou non biologique.

Dans cette thèse, nous testons également l'hypothèse que la diversité de pratiques agroécologiques influence la manière d'expérimenter. Nous avons défini les pratiques agroécologiques comme des pratiques mobilisant des processus écologiques au champ rendant des services à l'agriculteur. Cependant, nous avons exclu de ces pratiques l'agroforesterie qui nous semblait relever de modes d'expérimentation trop différents (systèmes pérennes, donc très longs à expérimenter). De plus nous nous sommes concentrés sur les pratiques culturales, sans étudier les pratiques de conception d'outils qui font aussi l'objet d'expérimentation chez les agriculteurs de la zone d'étude.

2.2 Méthodes d'enquête auprès des agriculteurs

Nous avons divisé la phase d'enquêtes en deux temps. Dans le premier temps, nous avons enquêté dix-sept agriculteurs sur leur activité d'expérimentation au cours des dix dernières années. L'entretien commençait avec une description rapide de la ferme par l'agriculteur (ateliers, surfaces, rotations pour les grandes cultures et espèces cultivées pour le maraîchage). Puis, nous résumions les pratiques expérimentées que nous avons identifiées au téléphone (pour validation ou complétion). Pour chaque pratique expérimentée, nous procédions en deux étapes : nous demandions d'abord à l'agriculteur de raconter l'historique de l'expérimentation, cela nous permettait d'identifier les années où une SE était réalisée. Chaque SE fut placée sur une frise chronologique afin d'avoir un support visuel commun avec l'agriculteur. Pour chaque SE identifiée, nous questionnions ensuite l'agriculteur sur sa mise en œuvre concrète et précise. Le guide d'entretien est disponible en Annexe 2.

Dans un second temps, nous sommes retournés voir sept agriculteurs parmi les dix-sept enquêtés. Ce second entretien avait lieu entre six mois et un an et demi après le premier. Entre-temps, cela nous a permis de traiter les SE des premiers entretiens et de formaliser les ITE pour pouvoir ensuite les faire valider aux agriculteurs lors du deuxième entretien. Ces ITE étaient ensuite complétés avec les nouvelles expérimentations réalisées entre les deux entretiens. Pour cette seconde phase, nous avons sélectionné les sept agriculteurs pour lesquels nous étions certains que de nouvelles expérimentations allaient être menées ou pour lesquels un seul entretien n'était pas suffisant pour comprendre la complexité de l'expérimentation. Nous nous sommes aussi assurés de respecter les proportions de notre échantillonnage en termes de type de production (grande culture/maraîchage) et de label (bio/non bio).

Tous les entretiens ont été intégralement enregistrés avec un dictaphone ou un téléphone portable puis retranscrits en totalité dans le logiciel Nvivo.

3 Posture de recherche

Pour étudier l'activité d'expérimentation de pratiques, nous avons adopté une démarche ancrée dans l'agronomie, c'est-à-dire à même de comprendre les pratiques réalisées par les agriculteurs, les logiques sous-jacentes et leurs effets au champ. Cependant, le sujet de l'expérimentation dans une perspective de changement technique nous a amené à nous intéresser à des thématiques encore en marge de l'agronomie actuelle (apprentissage pratique, développement des connaissances), qui sont par contre centralement traitées dans des disciplines comme l'ergonomie ou la didactique professionnelle. Ces disciplines nous ont fourni des concepts et des cadres d'analyse. Cette posture visait à mieux comprendre le lien entre expérimentation et apprentissage encore peu étudié aujourd'hui.

Etant en thèse CIFRE, nous étions dans une posture de recherche où les travaux visaient à identifier des points clés ou à proposer des outils agronomiques pour faciliter l'accompagnement des agriculteurs.

Tout au long de cette thèse, nous avons cherché à formaliser l'activité d'expérimentation des agriculteurs à travers un travail d'enquête et de théorisation permanent dans une démarche inductive. Nous nous inspirons de la théorie ancrée (Glaser and Strauss, 2010), où nous testons sans cesse nos théories sur le terrain, au fur et à mesure que celui-ci s'enrichit. Cela nous permet d'en rejeter certaines, d'en affiner d'autres. Nous avons constamment alterné des phases de conception de cadres conceptuels, des phases de terrain et des phases de réflexivité. Nous avons

confronté les entretiens entre eux en comparant la manière dont les agriculteurs nous parlaient de l'expérimentation (ce qui est commun, ce qui diffère dans la structure de l'expérimentation) mais aussi en comparant notre manière de guider l'entretien (par exemple, pour rentrer plus vite dans le vif du sujet, savoir mieux relancer l'agriculteur, questionner plus sur les liens entre expérimentations, etc...).

Au cours de cette démarche inductive, nous avons rapidement imaginé un modèle SE/ITE basé sur l'idée que 1) les dimensions temps court et temps long sont nécessaires pour comprendre l'activité d'expérimentation et 2) celle-ci est structurée par des degrés et des natures de liens différents entre SEs. Les prémices de ce modèle ont d'une part été influencé par le cycle de Kolb (Kolb, 1984), et d'autre part par les premiers entretiens exploratoires. Ce modèle a été peu à peu affiné et sa formalisation est présentée dans les chapitres 3 et 4.

C'est toujours une démarche inductive à partir de l'analyse des données d'enquêtes qui nous a permis de formaliser huit types de connaissances présentés dans le chapitre 5. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous proposons trois processus de développement des connaissances. Par rapport aux autres résultats de la thèse, la démarche est ici beaucoup plus abductive, dans le sens les trois processus sont des hypothèses générales, théoriques, conceptualisés à partir d'un nombre restreint de cas, et qu'il faudrait valider sur un échantillon plus large.

4 Méthodes d'analyse

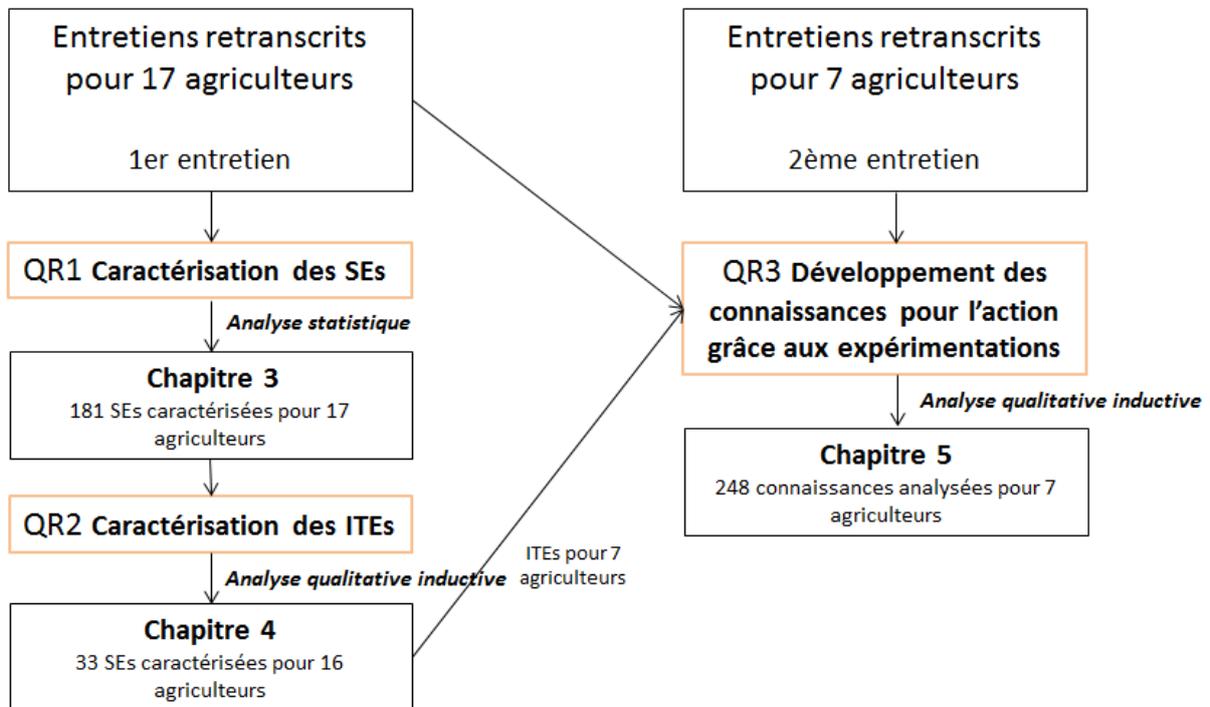
Pour chaque question de recherche, nous nous sommes basés sur le même jeu de données c'est-à-dire les entretiens retranscrits, mais avec des angles d'analyse différents. Pour les questions de recherche 2 et 3, nous avons aussi mobilisés les analyses produites grâce aux questions de recherches précédentes (SEs et ITEs).

Suivant la question de recherche et la quantité de données disponible, différents types d'analyse ont été réalisées. Ils seront détaillés dans chaque chapitre de résultat, et nous n'en donnons ici que les grandes lignes. Pour la première question de recherche (en quoi consiste l'activité d'expérimentation à court terme?), nous avons d'abord construit un cadre de description des SEs basé sur onze variables, qui a été produit de façon inductive par des aller-retours entre la littérature et l'analyse des premiers entretiens. Puis une fois stabilisé, la totalité des SEs identifiées a été décrite avec ce cadre. Compte tenu du grand nombre de SEs identifiées, nous avons utilisé l'outil statistique (classification ascendante hiérarchique des 181 SEs suite à une analyse factorielles des correspondances multiples) pour traiter un grand nombre de dimensions afin d'explorer la diversité des SEs. Pour les questions de recherche 2 (en quoi consiste l'activité d'expérimentation à long terme?) et 3 (quel développement des connaissances permet l'expérimentation des agriculteurs?), les typologies des ITEs et des connaissances ont été réalisées de manière qualitative. Pour les ITEs, nous avons utilisé aussi bien des critères quantitatifs que qualitatifs (schémas des ITEs pour regarder la cohérence des liens entre SEs). Pour les connaissances, les critères sont exclusivement qualitatifs. Nous n'avons pas l'ensemble des critères descriptifs et précis avant la classification, ces critères ont émergé au cours de la classification. Ils font partie intégrante du processus de classification.

La Figure 2.1 présente le cheminement réalisé au cours de cette thèse entre les différentes questions de recherches, les données utilisées pour chacune ainsi que les méthodes de traitement des données utilisées.

Dans le chapitre suivant (chapitre 3), nous traitons la question de recherche 1 sur la caractérisation des SEs des agriculteurs. Les ITEs sont ensuite étudiés dans le chapitre 4 pour répondre à la question de recherche 2. Enfin, dans le chapitre 5, nous traitons la question de recherche 3 sur le développement des connaissances.

Figure 2.1: Schéma résumant le traitement des questions de recherche



Chapitre 3 - Activité
d'expérimentation à court terme:
Analyse des situations expérimentales
des agriculteurs

Chapitre 3 - Activité d'expérimentation à court terme: Analyse des situations expérimentales des agriculteurs

Ce chapitre de résultat répond à la première question de recherche « **En quoi consiste l'activité d'expérimentation à court terme des agriculteurs ?** ». Pour décrire ces expérimentations réalisées sur un pas de temps court, nous proposons le concept de **Situation Expérimentale (SE)**, définie comme le dispositif concret d'expérimentation de pratiques de l'agriculteur sur une durée limitée (annuelle ou infra-annuelle suivant le cycle de la culture) et localisé sur un espace défini de la ferme (généralement une parcelle ou une portion de parcelle). Nous appliquons ce concept au cas de l'expérimentation de pratiques agroécologiques.

L'objectif de ce chapitre est double. D'une part, il s'agit de caractériser les SEs que les agriculteurs réalisent sur leur exploitation et de construire une typologie de SEs. D'autre part il s'agit de repérer s'il existe des déterminants de ces SEs liés aux systèmes de production, aux pratiques agroécologiques expérimentées ou aux agriculteurs eux-mêmes. Pour cela, nous avons enquêté 17 agriculteurs de la zone d'étude, des maraichers diversifiés et des agriculteurs en grandes cultures, en agriculture biologique, en conversion ou en agriculture conventionnelle. Pour conduire les enquêtes et les interpréter, nous nous appuyons sur un cadre d'analyse qui décompose une SE en trois phases : la phase de conception du dispositif expérimental, la phase de réalisation de la SE qui inclut la mise en œuvre des pratiques testées et l'observation des effets au champ, et la phase d'évaluation des effets et d'explicitation des résultats. Chaque phase est ensuite caractérisée par un ensemble de variables spécifiques, qui ont été définies dans un processus inductif et des aller-retours entre la littérature et les enquêtes de terrain.

Ce cadre d'analyse constitue un premier résultat, d'ordre méthodologique, suffisamment générique pour permettre d'analyser les SEs dans d'autres situations. Le deuxième résultat est la typologie des SEs sur la zone d'étude : à partir des 181 SEs identifiées parmi les 17 agriculteurs, 10 groupes (*groups*) sont identifiés qui relèvent de 4 grandes catégories d'expérimentation (*clusters*) : des SEs pour améliorer les pratiques déjà expérimentées (groupes 1 à 5), des SE qui échouent et n'atteignent pas les objectifs visés par les agriculteurs (groupes 6 et 7), des SE de rupture où les agriculteurs expérimentent une pratique très innovante (groupe 8) et des SE basées sur la comparaison de plusieurs modalités (groupes 9 et 10).

Ce chapitre fait l'objet d'un article publié dans la revue *Agronomy for sustainable Development* en 2018.

Tableau 3-1: Correspondance entre les données de l'article et les autres chapitres de la thèse

Numéros des agriculteurs cités dans l'article	Code des agriculteurs cités dans les autres chapitres de thèse
1	JT
2	JN
3	NT
4	BP
5	VA
6	CG
7	JMF
8	DV1
9	CM
10	DV2
11	CV
12	AR
13	EV
14	GR
15	TC
16	MJ
17	RE

Diversity of experimentation by farmers engaged in agroecology

Catalogna Maxime^{1,2}, Dubois Muriel², Navarrete Mireille¹

1 INRA UR 767, Ecodéveloppement, Domaine St Paul, Site Agroparc, 228 Route de l'Aérodrome, CS 40509, 84914 Avignon Cedex 9, France.

2 Department of Drôme, Development Service of Agriculture, Agri-food and Wood, 1, avenue de la Gare, 26300 Alixan, France.

Abstract

Agroecology questions the production of generic knowledge. Rather than searching for the best practices for large scale transfer, it would be more efficient to help farmers find their own solutions. A promising activity for farmers is experimentation because it answers their needs and helps them learn. However, how agroecological practices are tested by farmers in their own experiments is still poorly known. In this study, we examined the short-term experimental activity, i.e. experiments carried out at a yearly scale in pre-defined fields. Seventeen farmers in south eastern France were surveyed. The farmers practiced conventional or organic farming and cultivated either arable or market garden crops. Experiments on agroecological practices were characterized, located along a timeline and discussed with them. To conduct the interviews with the farmers, each experiment was described in three stages 1) designing the experiment, 2) managing it in real time and 3) evaluating the results of the experiment. The data collected in the interviews were first analyzed to build a descriptive framework of farmers' experiments, after which hierarchical cluster analysis was used to analyze the diversity of the farmers' experiments. Here we propose for the first time a generic framework to describe farmers' experiments at a short time scale based on the consistency between the design, management and evaluation stages. We used the framework to characterize the diversity of farmers' experiments and identified four clusters. The originality of this work is both building a descriptive framework resulting from in-depth analyses of farmers' discourse and using statistical tools to identify and interpret the groups of experiments. Our results provide a better understanding of farmers' experiments and suggest tools and methods to help them experiment, a major challenge in the promotion of a large-scale agroecological transition.

Keywords: market gardening; arable crops; knowledge building; innovation; organic agriculture; pest control; conservation agriculture

1 Introduction

Agroecology is a promising paradigm to reconcile many different agriculture issues (Altieri, 1989). However, establishing agroecosystems in which ecological processes and natural regulations are favored calls current agricultural research and development into question. First, knowledge on ecological processes in farming systems is partial and hard to translate into appropriate practices. There are many interactions between ecological processes and their management by humans and our ability to quantify and valorize them is limited (Médiène et al., 2011; Griffon, 2017). As a consequence, using natural regulations that are very sensitive to local pedoclimatic and ecological conditions is uncertain, and it is hard to predict what will happen if agroecological practices that are assessed in one location are transferred to other locations. Second, farmers have to acquire knowledge to deal with these practices and processes in their

own conditions. All these factors make it difficult for research and extension services to develop and disseminate new knowledge on agroecological systems (Meynard, 2017). Farmers' innovations and learning abilities have been highlighted for many years, for example in the "farmer first" paradigm (Chambers et al., 1994) and in particular their capacity to learn through on-farm experimentation (Johnson, 1972; Sumberg and Okali, 1997; Saad, 2002). Farmers' experiments are now considered a useful way to enhance agroecological transition (De Tourdonnet et al., 2013; Kummer et al., 2010) and to develop more sustainable farming systems (Darnhofer et al., 2010). First, experimentation enables farmers to learn. Testing, observing and drawing conclusions are useful skills when working under uncertainty and changing conditions, and help build resilience (Kummer et al., 2012). Second, experimentation helps farmers develop agroecological practices that are adapted to their own farming contexts and motivation. Finally, experiments on practices help identify possible ways to manage agroecosystems. The aim of this article is to describe farmers' experiments with agroecological practices (Figure 3.1). We studied how farmers take their agroecosystems into account when planning experiments and, in return, how they refine agroecological practices through experimentation. One difficulty is that the term farmers' experiment covers a diversity of processes at different time scales. Farmers' experiments have been described at annual scale (Bhuktan et al., 1999; Lyon, 1996; Quiroz, 1999; Stolzenbach, 1994; Wettasinha et al., 1997), at multi-annual scale (Mak, 2001; Scheuermeier, 1997) and at varying time scales (Bentley, 2006; Kummer, 2011; Leitgeb et al., 2014). In this article, we focus on the short term dimension of farmers' experiments: we define an experimental situation as the experimentation of a practice that is clearly delimited in time (from a few days up to one cropping year) and in space (a field, a field strip, or a field and its surrounding ecological elements like a hedge or a strip of flowers). The study outputs are first an analytical framework capable of describing experimental situations in detail. Second, its application to a case study enabled the description and characterization of ten groups of experimental situations.

Figure 3.1: Farmer experimenting wheat cultivation without tillage (here after sorghum). Observation of earthworms presence



2 Materials and methods

A conceptual model of experimental situations was built based on the literature (Section 2.1). The model was used as a guide to survey a set of farmers in a case study in south eastern France

and to investigate their experimental situations (Section 2.2). In Section 2.3, we explain how the farmers' discourse was analyzed.

2.1 A conceptual model to describe the experimental situations

Can the description of experimental situations be inspired by scientific experimentation? It is clear that very few farmers experiment using replications, a reference or strict control of factors, as is usually done in the case of factorial experiments to prove or disprove a hypothesis. There are differences in terms of epistemology as farmers seek to act, based on what works in their conditions, rather than to understand all the cause-effect relationships (Hoffmann et al., 2007). Stolzenbach (1994), quoting Schön (1983) showed that farmers experimenting are not only testing a hypothesis, they are also exploring (i.e. implementing a new practice to see what will happen, with no attempt to predict the results), and adapting their actions to reach objectives (called *move testing* by Schön). Nevertheless, some authors - taking a broader definition of experiment - consider that farmers' experiments are close to scientific ones (Hocdé, 1997; Millar, 1994; Sumberg and Okali, 1997). Therefore, we studied farmers' experiments using a generic pattern shared with scientists, based on broad chronological stages (Millar, 1994; Hocdé, 1997; Quiroz, 1999) starting from the design of the experiment, its management in real time, up to the evaluation of the results. In this article, we use a conceptual model of experimental situations based on three stages, adapted from (Catalogna and Navarrete, 2016). The Design stage describes the farmers' goals for the experiment and the physical experimental design (which practices are tested, where and how). The Management stage focuses on how farmers manage the agroecosystem during the experiment depending on real farming conditions and how they collect information to assess the agroecosystem. In the Evaluation stage, lessons concerning the modalities tested are drawn by farmers and in some cases are discussed.

2.2 Using the conceptual model to survey farmers in the case study

The conceptual model was applied to a set of farmers in the Rhône-Alpes (France), a region where farmers have been experimenting with organic or agroecological practices for several decades. We compared two production systems (market gardening and arable crops) with specific constraints: e.g. for vegetable crops, more crops to deal with, smaller plots and more frequent observations required than for arable crops. The topic of the experiments also differed: e.g. more questions are raised concerning pest control for market gardening, whereas in the case of arable crops, questions concern soil management and crop rotation. We selected both conventional and organic farmers: organic farmers face more constraints and fewer opportunities to correct mistakes while an experiment is underway but usually have more experience in agroecological practices. Most of the farms studied were located in the Drôme administrative department, in the lowlands (alluvial plains) where mainly arable crops are cultivated but also market gardening crops. We surveyed 17 farms: seven growing arable crops (three organic, three conventional and one in the process of converting to organic farming) and ten growing vegetable crops (seven organic and three conventional). Based on an initial phone interview, we selected farmers who had conducted experiments over the last ten years and were able to describe their experiments with precision. As "experiment" is a loaded term for practitioners, several terms were used to evaluate if they were relevant for the study: "Have you tested or tried new practices, have you changed your practices in the last ten years?" No specific agroecological practices were selected before the phone interviews but farmers were questioned on some broad categories of practices frequently associated with agroecology: crop rotation, reduced soil tillage, cover crops and biological control. If experimental situations were suspected

during the phone interview and the farmer agreed, he/she was later interviewed on his/her farm.

Interviews were semi-directive, lasted two hours on average, and were recorded. Farmers were first asked to briefly describe their farm as well as any recent changes they had made to give us a first impression of the context. We then asked the farmers to talk about any experiments that spontaneously came to mind; these were then positioned along a timeline established during the interview. The timeline was used again later to question farmers about any other experimental situation in which they had been involved. The conceptual model served as a guide for the interview with the farmers: for each experimental situation identified, we discussed the three stages and refocused the discussion if one of the stages was omitted. If appropriate, a visit to the location where the experiment was in progress provided an opportunity to summarize what was understood and, if necessary, correct and complete the survey.

Interviews were first transcribed on Nvivo software. A total of 181 experimental situations with sufficient details were selected (ranging from 1 to 19 per farmer, with a mean of 10 per farmer). The experimental situations were coded in a scalable framework describing several variables for each stage of the model. Based on inductive reasoning, modalities and their corresponding variables were determined incrementally while coding the interviews in Excel. The objective was to build a framework for agricultural scientists and agronomists, capable to characterize the experiments as a way to build knowledge. So the variables were chosen in order to estimate how knowledge can be built and to analyze the consistency between the aims of one experiment and its means, and the consistency between the results formulated by a farmer and the means and design of the experiment. A first set of 30 experimental situations set up by seven farmers enabled the creation of a first prototype of the analytical framework. The framework was refined if and when the analysis of a new experimental situation introduced new elements that could not be coded with the current version of the framework. As a consequence, the 13 descriptive variables of the framework are not predetermined but the result of iterations between the coding and the refining steps.

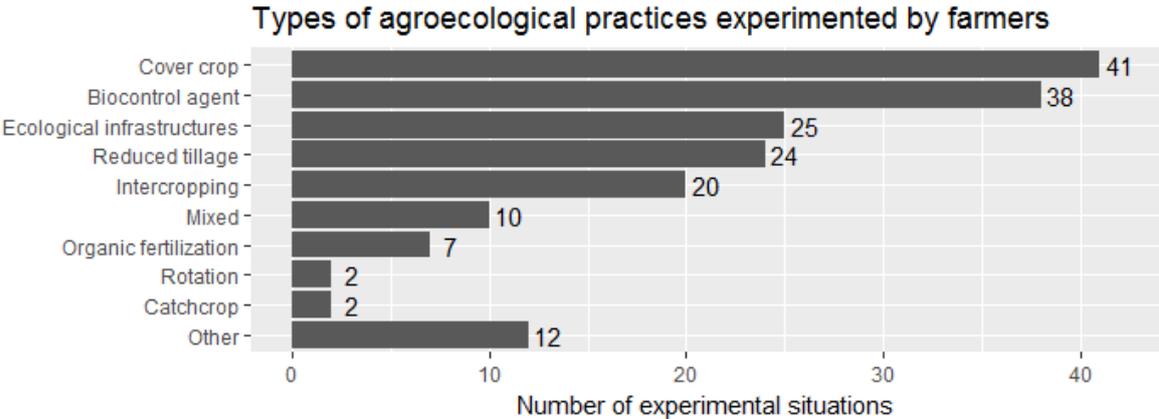
2.3 Analysis of the diversity of experimental situations in the case study

To analyze the diversity of the 181 previously identified experimental situations, we first performed multiple factor analysis (MFA), a statistical method used to analyze data sets described by qualitative variables. The modalities of each variable were all disjunctive. Next, hierarchical ascendant classification (HAC) enabled us to identify homogeneous groups of experimental situations (K-means were used to improve the clusters) and to reveal linkages between different modalities of variables. HAC analysis helped us to explore how the data were organized. A classification based on expertise would have been difficult in this study due to the large number of experimental situations (181) and variables (13). Two variables related to the information collected in the Management stage and judgement in the Evaluation stage, were structured in groups to limit their relative effects on the analysis. The analyses were conducted with R software using the FactomineR package (Lê et al., 2008). This method was inspired by Chantre et al. (2014), who used it to identify groups of farmers' learning processes.

As the MFA resulted in a large number of dimensions (41), four HAC analyses were performed, with 5, 8, 15 and 21 dimensions, respectively explaining 35, 50, 75 and 90% of the variance. The analysis based on only five dimensions revealed rough structures of the population whereas the highest numbers of dimensions revealed thinner structures, but some could be due to hazard.

The groups of experimental situations resulting from the four analyses were often similar, and sometimes one group in one analysis was split into two in another. We finally kept the groups obtained with the 8 dimension analysis. The ‘type of production’ (market gardening or arable crops), ‘production label’ (conventional or organic), the ‘farmer’s name’ and the ‘type of practices’ experimented (Figure 3.2) were used as supplementary variables to detect if some groups were specific to one or several modalities of these variables, which is important information to determine the degree of genericity of the framework.

Figure 3.2: Number of experimental situations per types of agroecological practices experimented by farmers (N = 181 experimental situations). Mixed practices mean that two types or more agroecological practices were combined and experimented during the same experimental situation.



3 Results and discussion

The results are firstly a methodological contribution, an analytical framework that will enable characterization of experimental situations elsewhere, and secondly the analysis of the diversity of experimental situations in our case study.

An analytical framework to study experimental situations

The framework is composed of 13 variables (placed between quotes) organized in the three previously identified stages: Design, Management and Evaluation (Table 3-1).

Table 3-1: The framework for analyzing an experimental situation

Variable codes are written in bold. The last two columns refer to the implementation of the framework in the case study (Nb: number of experimental situations found in each modality, total number = 181).

Variables	Modalities	Nb	Examples
Design stage			
Objective :What is the main objective of the experimental situation?	Improve yield of commercial crops	25	The farmer fractionated intake of organic fertilizer to improve yield
	Improve agroecosystem functioning	95	The farmer sowed a flower band to favor insect predators
	Solve an agronomic problem	61	The farmer stopped tillage before sowing wheat to avoid soil slaking
Link to previous experimental situations: How is the experimental situation linked to previous ones?	Improve the agroecological processes mobilized with a previously experimented practice	51	The farmer sowed a vetch cover crop earlier after wheat harvest to enhance its development
	Apply the practice differently to improve economic performance or work quality	16	The farmer replaced a vetch cover crop by a buckwheat catch crop
	Solve a technical or agronomical problem due to a previously experimented practice to improve its feasibility	10	The seed driller was reversed to avoid wheel compaction to enable sowing without tillage
	Transpose a practice based on an agroecological principle previously experimented	23	A cover crop was tested before soy as already tested before maize
	Repeat the practice exactly as previously	34	After a successful experiment, ladybugs were released again by the farmer to control new aphid attacks
	No linkage with previous experimental situations	47	-
Novelty : What is the degree of novelty of the experimental situation?	Similar practice to what the farmer already applied	111	One cover crop was replaced by another one
	New practice but following a logic already used	26	Cover crop was sown in the commercial crop rather than after its harvest
	New logic and new practice	44	Pest predators were tested instead of chemical insecticides
Spatial scale: At which scale is the experimental situation designed?	Less than one plot or one greenhouse	27	Only part of a field was tilled with a strip till
	One or two plots or greenhouses	109	A new biocontrol agent was used on a whole greenhouse tomato crop
	Three plots or greenhouses or more	23	A vetch cover crop was sown in several fields before maize
	Whole acreage of a main crop for arable crops, whole area of greenhouses or fields in market-gardening	22	No-till was experimented on all market gardening beds of the farm
Simultaneous comparison: Are several modalities compared in the experimental situation?	Two modalities or more are compared at the same time	10	Two kinds of mixed clovers sown in wheat were compared the same year
	The new modality is compared to a reference	14	The release of biocontrol agents in a block of greenhouses was compared to another block treated with insecticide in the same year
	No comparison realized simultaneously	157	A band of flowers was sown near lettuce but without any comparison

Management stage			
Progress : How is the experimental situation progressing?	Adjustments during the on-going experimental situation to cope with emerging events	32	Cover crop was mowed twice to control weeds whereas it was not planned in the Design stage
	Interruption of the experimental situation before the end, intentionally or not	16	The farmer had to interrupt the experiment because clover sown as cover crop did not germinate
	No change during the experimental situation	133	-
Information on the set up: Is information collected on the capacity to set up the experiment?	Yes	18	The farmer noted difficulties for capturing lacewings in order to release them under greenhouses
	No	163	
Information on crops: Is information collected on the commercial crops?	Yes	86	The farmer estimated the maize yield obtained after a vetch crop
	No	95	
Information on the agroecosystem: Is information collected on the agroecosystem (except commercial crops)?	Yes	146	The farmer observed the presence of biocontrol agents on plants after their release
	No	35	
Information work: Is information collected on work?	Yes	23	The farmer measured time required to weed thistles on no-till market gardening mounds
	No	158	
Evaluation stage			
Achievement of the goal: Does the results of the experimental situation achieve farmer's goal?	Results achieve all farmer's goals	124	Pests were controlled by biocontrol agents as expected
	Results do not achieve all farmer's goals	22	Cover crop developed but the leguminous plants were smothered
	Results do not achieve the farmer's goals	35	Yield of wheat sowed without tillage was lower than the farmer expected
Discoveries: Does the farmer make any discoveries and how does he judge them?	Discoveries are judged positively	30	The farmer discovered that natural biocontrol agents in a hedgerow dispersed a significant distance
	Discoveries are judged negatively	29	The farmer observed that borage planted to attract natural biocontrol agents took up too much space and competed with the cabbages
	No discoveries are made	122	-
Discussion of the results: Are the results of the experimental situation discussed by the farmer?	Ex-post hypothesis on agroecological processes is found to interpret the results	39	The farmer considered that clover did not germinate in wheat because root development was insufficient to survive drought
	Unexpected technical difficulties and possible alternatives are discussed	10	The farmer understood that clover seeds were too small for the seed driller
	Confounding effects due to other factors than those experimented are discussed	12	The farmer considered that natural biocontrol agents were also present in the greenhouse where he experimented a commercial biocontrol agent and it may be responsible for the pest control observed
	Cropping conditions responsible for the results are discussed	16	The farmer considered that the bad results obtained with the clover cover crop were due to hail rather than to the practice itself
	No discussion of the results	104	-

Design stage

During this stage, farmers designed their experimental situations, chose what to test and how to organize the experiment? Two variables were related to the farmers' goals from the conceptual model: the 'objective' of the experimental situation and the 'link to previous experimental situations'. Three variables were related to the planned experimental design: the degree of 'novelty'; the 'spatial scale' and the existence of 'simultaneous comparisons'. The variable 'objective' represented what the farmers wished to modify in their farming production process, and was composed of three modalities. In the first two, the farmers were aiming at direct improvement of their commercial crops or of the agroecosystem (biological regulations and ecological processes). The third modality was the case in which experimental situations were designed to solve a specific agronomic problem. The variable 'link to previous experimental situations' described the relationship between the practice being tested and the practices in the previous experimental situations, with six modalities (the last being absence of linkage): the practice was set up to improve the agroecological processes targeted, economic or work performance, or feasibility compared to the previous experimental situation. One modality consisted in transposing a practice to other crops or to other parts of the farm, targeting similar effects. Another consisted in strictly repeating previous experiments. The variable 'novelty' informed on the degree to which the practice being tested was new compared to the practices already implemented by the farmer, and comprised three modalities. In the first one, the farmers tested a similar practice, meaning they already knew how to set up the practice and what effect was targeted. In the second one, the farmers tested a new practice based on a previously known logic (e.g. a regulation process through the release of previously tested biocontrol agents). In the third one, the farmers tested a new logic, thereby leading to more uncertainties or more elements to be taken into account, because they were not familiar with either the effects targeted or with the practices that would enable them to reach their target. The variable 'spatial scale' informed on the number of plots in which the practices was being tested. This variable had four modalities. In the lowest one, the farmers tested practices in less than one plot (e.g. in strips within a field) thus minimizing risks in the case of failure. In the highest one, the farmers experimented on the whole acreage and the experimental situation was thus close to real farming conditions, including in terms of work organization and economic results. Finally, the last variable called 'simultaneous comparison' informed on whether or not the farmers simultaneously compared several technical modalities. Some compared several modalities the same year, in the same plot or in several plots. Others compared the modalities with a reference situation, either planned or identified by opportunity because it made sense.

Management stage

During this stage, the farmers implemented the practices they planned to test, modified them if necessary and collected information. The stage comprised five variables. The variable 'progress' reflected the actions farmers added or transformed during the experimental situation to deal with unpredictable events. Three modalities were possible. Farmers adjusted the experiment while it was underway. Or they stopped it because of bad results. Or they did not change anything. Four variables described the information collected by the farmers and used to make their judgments and possibly to discuss their results. These variables were binary depending on whether the information was collected or not: 'information on the set up' referred to the farmers' technical capacity to set up their experimental situation. 'Information on crops' referred to either the development or the yield of commercial crops. 'Information on the agroecosystem'

gathered all information on the biophysical and ecological aspects of the agroecosystem apart from commercial crops. 'Information on work' referred to the workload or to the ergonomics of the practices.

Evaluation stage

This stage described the way farmers evaluate the results of their experimental situations, and had three variables. Two represented how farmers judge their results. We distinguished achievement of the goal, i.e. results that were in line with the farmers' expectations (defined with the variables 'objective' and 'link to previous experimental situations' in the Design stage) and 'discoveries', which concerned new and unexpected observations made while the experiment was underway. Each variable had three modalities. Splitting judgments between the two variables helped distinguish what farmers could validate/invalidate from what they had recently had to deal with. The variable 'discussion of the result' described if and how farmers discussed their results. They could put forward an ex-post hypothesis to explain the success or failure of the experimental situation, or find an explanation for the technical failure. They could identify confounding effects when they considered that results might be due to other factors than those being tested. They could also relativize the results of the experimental situation because particular cropping conditions interacted with the practice being tested. Alternatively, the farmers might not discuss results at all.

The analytical framework we built proved to be efficient in coding the farmers' discourses in the case study (Table 3-1, two last columns). Concerning the Design stage, most experimental situations aimed at improving the functioning of the agroecosystem in relation with previous experimental situations, with a limited degree of novelty, on one or two plots, and without comparing several modalities. Concerning the Management stage, the experimental situations were rarely adjusted while they were underway, and most information collected concerned commercial crops and the functioning of the agroecosystem. During the Evaluation stage, most results of the experimental situations achieved the farmers' goals; few discoveries were made by the farmers; results were mainly not discussed.

These results show that the proposed framework makes it possible to describe experimental situations in detail based on textual analysis of farmers' discourses. The three stages and 13 variables are sufficiently generic because it was possible to describe the wide range of the 181 experimental situations in the case study concerning 17 farmers and involving 10 types of agroecological practices and two production systems (market gardening and arable crops). The framework is an original contribution to the issue of farmers' experiments because it focuses on the whole process from motives to evaluation of practices. The framework is focused on farmers' knowledge production and its use will help foster exchanges between farmers and agronomists on agroecology. Very few frameworks on experiments are available in the literature. In most cases, each scientist identifies only few key points. For instance, Quiroz (1999) studied farmers' experiments in terms of the number and size of trial repetitions, location (and size) of trials, religion and other beliefs and evaluation of experiments (agronomic aspects, yield and economic benefits). In her review, Saad (2002), focused on steps, use of controls and replications, location, scale, the number of factors and observation. Elements are described individually but they lack consistency between them. On the other hand, Kummer (2011) built a framework to identify several types of farmers' experiments. This framework is composed of 5 variables: motives (personal, economic, problem solving or none), methodological approach, information sources,

personal identification and duration. The first difference between Kummer's framework and ours is that the author considered information sources and personal identification as part of the experimental activity, which we did not. Conversely, the author did not include evaluation variables that we considered to be part of an experimental activity. Moreover, variables are qualified by 5 levels of intensity but detailed criteria used to assign a particular level are missing (for instance, how are qualified farmers' methodological approaches qualified as highly elaborate or less elaborate?). Our framework focuses more on the consistency between the three stages of the experimental situations: How is the experimental situation set up depending on the farmer's goals? Are the farmer's conclusions consistent with what was observed during the experiment? How are results evaluated with respect to the stated goals? Therefore we think that our framework is more useful to help farmers reflect on and design their experimental situations.

Another originality of our framework is that it makes it possible to deepen the analysis of the short-term dimension of the experimentation. Very few studies focus on this timescale and we found no similar framework in the literature. Even if our framework is focused on short term experimentation, it remains compatible with the long-term process thanks to the variable 'link to previous experimental situations'. Yet a long term experimental process was observed in our sample (134 out of the 181 experimental situations studied were linked with previous ones) and as was the case in Mak (2001), Quiroz (1999), Saad (2002) and Kummer (2011). The present study shows that the past is important to understand farmers' experimentation. It makes it possible to position an experimental situation in terms of motives (what is the main objective of this practice? what is being changed compared to previous practices?) and novelty. Futures studies will be able to take changes in the experimental situations created by the farmers over the years into account using our framework.

While it is widely accepted that agroecology requires being adaptable, it is surprising that in our case study practices were so rarely adjusted while the experiments were underway. One possible reason is that our framework does not take into account the time farmers needed to conceive their experimental situations: Sometimes the experiment was designed a relatively short time before the first action was taken. Adaptation could also occur on a multiyear time scale, between experimental situations. For these different reasons, future multi-year analyses of farmers' experimentation are needed to better understand the dynamics of changes and learning in agroecology.

One limit of our work is that the method relies on farmers' recollections, as most experiments were conducted in the past. In experiments that were conducted in the distant past, the farmers surveyed had difficulty remembering some details, particularly because they very rarely keep written records of experiments. This is why it could be difficult to inform variables or modalities as the farmers' starting goals, or on-going adaptations of the experimental situation. What is more, we only focused on the broad types of information collected during the experiment (4 variables), not on its precise nature and the way farmers collected it, although this would be interesting information to collect. Indeed Toffolini et al., (2016) pointed to the need to develop new indicators to help farmers engage in the agroecological redesign of their farming systems, including through experimentation. As the use of such indicators is difficult to identify in past experimental situations, they could be discovered more easily with complementary methods, for example, regular monitoring of on-going experimental situations (Baars, 2011).

3.2 The diversity of experimental situations in the case study

This section describes the diversity of the 181 experimental situations in 10 groups (Table 3-1). All the descriptive variables of the framework contributed significantly to the grouping. The five most significant variables were 'link to previous experimental situations', 'simultaneous comparison' and 'novelty' in the Design stage, 'progress' in the Management stage, and 'discussion of the results' in the Evaluation stage. 'Information on work' and 'information on the set up' were the least significant descriptive variables. Most groups were described by several variables belonging to each of the three stages of the framework, except for Groups 3, 6, 8 and 10, which only contained variables from two stages. The main result of the statistical analysis was the identification of four clusters of experiments that differed in their goals, management and ways of interpreting the results: experiments to improve previously experimented practices (Groups 1 to 5), failed experiments that did not reach the farmers' goals and were often stopped before the end (Groups 6-7), breakthrough experiments where the farmer tried a practice that revealed a new logic for the first time (Group 8), and finally experiments based on simultaneous comparisons of several modalities (Groups 9-10). After describing the four clusters and the corresponding groups based on the significant descriptive variables, in the last section, we analyze whether some groups are specific to a particular practice, farmer or type of production.

Table 3-3: Groups of experimental situations identified in the case study. Results come from the 8-dimension HAC analysis. Most groups were the same in the three other analyses based on 5,15 and 21 dimensions. For the statistical analysis, the four Information on ... sub-variables are grouped, as well as judgments made by farmers, as they are a 2 homogeneous group of variables rather than different variables. Significant variables and modalities positively characterizing a group are presented (p value < 0.001: ***, < 0.01:**, < 0.05:*).

Clusters		Improvement experiments				Failed experiments	Breakthrough experiments	Comparison experiments			
Groups of experimental situations		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Number of experimental situation per group		16	17	17	33	30	5	14	29	9	11
Design stage											
Objective	Improve yield of commercial crops	***						*			
	Improve agroecosystem functioning										
	Solve an agronomic problem										**
Link to previous experimental situations	Improve agroecological processes mobilized with a previously experimented practice										**
	Apply the practice differently to improve economic performance or work quality		***								
	Solve a technical or agronomical problem due to a previously experimented practice to improve its feasibility					***					
	Transpose a practice based on an agroecological principle previously experimented			***							
	Repeat a practice exactly as previously				***						
	No linkage with previous experimental situations								***		
Novelty	Similar practice to what the farmer already applied	*			***	***					
	Different practice but following a logic already followed		***	*							**
	New logic and practice								***		
Spatial scale	Less than one plot or a greenhouse									*	***
	One or two plots or greenhouses			*		***		**			
	Three plots or greenhouses or more		***		***						
	Whole acreage of a main crop for arable crops, on the whole area of greenhouses or fields in market-gardening	***									
Simultaneous comparison	Two modalities or more are compared at the same time									***	

	The new modality is compared to a reference									***
	No comparison realized simultaneously				**	**				
Management stage										
Progress	Adjustments during the on-going ES to cope with emerging events								***	
	Interruption of the experimental situation before the end, intentionally or not							**	***	
	No change during the experimental situation	**	**	**	**					*
Information on the set up	Yes							*		
	No					*				
Information on crops	Yes	***								* **
	No		**					*	**	
Information on the agroecosystem	Yes				**	**				
	No	***								
Information on work	Yes		**							
	No									
Evaluation stage										
Achievement of the goal	Results achieve all farmer's goals		*			***				
	Results do not achieve all farmer's goals							***		
	Results achieve no farmer's goals								***	
Discoveries	Discoveries are judged positively									
	Discoveries are judged negatively							***	***	*
	No discoveries were made	*								
Discussion of the results	Ex-post hypothesis on agroecological processes is found to interpret the results						*		***	*
	Unexpected technical difficulties and possible alternatives are discussed							***		
	Confounding effects due to other factors than those experimented are discussed					*				
	Cropping conditions responsible for the results are discussed	*						**		
	No discussion of the results		**			**				*

Improvement experiments (Groups 1-5): The first cluster accounts for half the groups and for 113 out of the 181 experimental situations identified. The five groups correspond to a low or medium level of novelty of the practices being tested. In *Group 1 - Low novelty practices to improve yield*, farmers had already used the practice being tested and their aim was to improve the yield of the commercial crop; they were thus sufficiently confident to implement it at a large scale. Information on commercial crops was collected but not on the rest of the agroecosystem; no change was made during the experiment and the results were more or less what the farmers expected. The experimental situations did not lead to discoveries. Groups 2 and 3 are characterized by a medium level of novelty. In *Group 2 - Modifying a practice to improve work or economic performance*, farmers had already tested the agroecological processes they were targeting. This time, they were adjusting the practices to make them easier or cheaper to implement. As a consequence, information was mainly collected on work. These experimental situations were often applied at a large scale. In *Group 3 - Extension of a logic to other farm elements*, the experimental situations consisted in transposing an agroecological logic that had already been assessed in previous experimental situations. When doing so, they started to experiment at a small scale because the practices had to be adapted to another part of the cropping system. *Group 4 - Low novelty experiments with good results* and *Group 5 - Experimental situations to improve the mastery and understanding of an agroecological practice* consisted in testing a practice they had already tested, this time with a focus on the agroecosystem and not on the commercial crops. They consisted in two levels of mastery: in Group 4, the practice was sufficiently assessed so that farmers mainly repeated the previous experiment without adjusting it during the experiment; they often reached the goals targeted and did not discuss the results. On the contrary, in Group 5, the aim was to improve the feasibility of a practice that had already been tested but was not completely satisfactory. Farmers still had to adapt practices during the experiment and discussed the results in order to better reach their goals. These different groups of experimental situations could be part of larger processes that Lyon (1996) called "learning during action" and Millar (1994) "adaptive experiments", based on small changes without taking large risks. *Group 3 - Extension of a logic to other farm elements* is quite original. It reveals that farmers may experiment in order to adapt and transpose some agroecological practices to other parts of their cropping system.

Failed experiments (Groups 6-7): The second cluster, although a minority (19 experimental situations out of 181) gathers two groups, *Group 6 - Discovering technical limits* and *Group 7 - Interruption by discovering agroecological limits*, where the practices being tested were judged negatively and the experiments were frequently stopped in the middle. The experimental situations of these groups led to far more discoveries and discussion of the results, either technical and based on how to set up practices (group 6) or for agroecological and agronomical reasons (group 7), where ex-post hypotheses were formulated. These two groups are close to what Chantre (2011) called "trial and error" learning processes. Farmers experiment in a relatively short time on their own and most of these experiments did not achieve the goals set by the farmers.

Breakthrough experiment: the third cluster corresponds to Group 8 alone (29 experimental situations out of 181). This group is made up of experimental situations in which new agroecological logics are being tested for the first time. These experimental situations represent the moment a farmer decides to try a new practice (that involves a new logic) he/she discovered off the farm or imagined, and receives evidence of its interest. It is surprising that most of the

results of these experiments were not discussed. Two hypotheses can be proposed to explain this phenomenon. Either the expectations from a very new practice are fuzzy, as noted by Toffolini (2016), who showed that farmers trying out practices based on a new agronomic principle first wanted to know if they were consistent rather than aiming at precisely quantifying the processes. Or, a breakthrough experiment involves a practice admittedly unknown to the farmer concerned, but already proven by numerous other farmers. This group is original and could not be related to other types of farmers' experiments in the literature.

Comparison experiments (Groups 9-10): The last cluster is also a minority (20 out of 181 experimental situations), but Group 9 and Group 10 are the only groups in which several modalities were compared or compared with a reference in the same plot. In *Group 9 - Comparison of several modalities to improve agroecological processes that affect the development of commercial crops*, several modalities were implemented in the same plot to simultaneously compare agroecological process of practices targeting a very precise goal: to identify the best modality for developing commercial crops. The practices experimented had not been the subject of previous experimentation but used a logic that resembled one the farmer had used previously. For example, farmer 3 tested no-till maize for the second time. This time, he controlled ray grass weeds before sowing and also sowed faba as a previous cover crop. He compared two modalities: strip till in one plot and direct sowing in the other. Compared to Group 9, *Group 10 - Small scale experiments with a reference* occurs in a broader range of cases. For example, farmer 1 tested no till on a small strip in a vegetable bed and tried mulching with ramial chipped wood for the first time. He compared changes in the soil structure and in biological life with that in other parts of the vegetable beds that he tilled normally. Most often the reference is not specifically designed as such but is the farmer's current practice. These two groups of experimental situations are close to the "accurate experiments" of Kummer (2011), conventional approaches of Lyon (1996) because they both involve simultaneous comparison and small scale.

As a first discussion of the 10 groups, it should be noted that all the variables of the framework were significant for one group or another. Among the five variables that contributed the most to grouping, three belonged to the Design stage, one to Management, and one to Evaluation. In particular, the variables 'link to previous experimental situations' and 'novelty' were useful to interpret how farmers designed the experiments in several groups, and the variables 'progress' and 'discussion of the results' were useful to interpret how farmers dealt with surprises or problems in terms of actions and analysis. These variables should therefore be the priority in future attempts to investigate experimental situations in other production systems. Conversely, the variable 'objective' frequently did not discriminate among groups. This may be due to the fact the three modalities (improving the yield of a commercial crop, improving agroecosystem functioning, or solving an agronomic problem) are too broad. For the statistical analysis, we chose to distinguish farmers' positive and negative judgments of the results, which enabled us to identify failed experiments (Groups 6 and 7) although their number was low. A bigger sample would perhaps have revealed a wider range of experimental situations that can lead to negative results. Finally, it will now be necessary to assess the robustness of the 10 groups in comparison with other data sets, and in particular to check if the two original groups in this study (Groups 3 and 8) are identified again.

Are some groups linked to the supplementary variables? The 'type of practices' and 'type of production' were the most significant and 7 groups out of 10 were significantly correlated with at least one of their modalities. 'Farmer's name' was also significant; 6 groups were respectively

characterized by 6 different farmers. However, no group was 100% characterized by one farmer and no farmer restricted his/her experimental situations to one particular group. Overall, none of the 10 groups was 100% characterized by one particular modality of the supplementary variables. Our framework is therefore sufficiently generic to cover a large diversity of contexts but specific contexts may lead to a greater proportion of particular groups of experimental situations. For example fertilization was frequently tested in *Group 1 - Low novelty practices to improve yield*), which can be explained by the fact that it is a classical question for farmers that is closely linked to yields of commercial crops. Reduced tillage practices were common in *Group 10 - Small scale experimental situations with a control*) probably because implementing two or more modalities of soil tillage in one plot is feasible for farmers as the modalities will not spill over and interact, contrary to releasing biocontrol agents, for example. Ecological infrastructure practices were the main aspects tested in *Group 2 - Practice modification to improve work or economic performance*. Concerning the type of production, arable crops were significant in three groups: *Group 1 (Low novelty practices to improve yield)* as fertilization is a priority issue in arable crops, *Group 7 (Interruption due to discovering agroecological limits)* as testing a cover crop or reduced tillage practices provides clear information on whether it is worth continuing or not, and *Group 9 (Comparison of modalities to improve agroecological process impacting commercial crop development)*. Market gardening was significant in only one group (*Group 2 - Modifying a practice to improve work or economic performance*). Because vegetable production is complex and time consuming, market gardeners frequently experiment how to improve work or save money. Farmer 17 was significant in *Group 2 - Practice adjustment to improve work or economic performance* because he frequently tested permanent garden beds and focused on ways to improve work. Farmer 8 was also a market gardener and was significant for *Group 3 - Extension of a logic to other farm element*. Based on good results with ladybugs and parasitoid wasps, he tested the transfer of different endemic auxiliaries to various crops and pests. Therefore, these elements of the context need to be taken into account in future studies, either for different types of production, for other agroecological practices, or farmers' contexts. On the contrary, the other supplementary variables 'production label' (separating organic and conventional farming) was not significant.

We now discuss the results according to the scale of experiments and the nature of comparisons. First of all, more than 75% of the experimental situations were conducted at a small scale (one or two plots or greenhouses) or less. Our results suggest that the size of the experimental plots is correlated with the risk of failure as perceived by the farmer. Large scale experimental situations were mostly used in groups 1 and 2, where the practices being tested have a low or medium level of novelty, and probably a limited risk of failure. On the contrary, failed experimental situations mostly occurred at small scale, probably because farmers were fully aware that the practice they were testing was risky. One questioning point is that breakthrough experiments (group 8) were not necessarily carried out on small or very small scale plots. One possible explanation, based on Kummer's results (2011), is that the farmers implemented such very innovative practices on a large scale when there was no alternative technique to solve an agronomic problem or because they already had sufficient confidence in the practice. The second key dimension deals with comparisons. Very few experimental situations (13%) involved a simultaneous comparison, even with a reference, whereas for scientists it is embedded in the experimental activity. Although this figure is consistent with what Kummer (2011) and Sumberg & Okali (1997) found (respectively 15% and 39%), it does not mean that farmers do not use a reference, but more likely that their references are based on memories (for instance, what does

a field without a cover crop look like in late summer). Yet, farmers who compared different modalities were rare. We explain this by the fact that farmers are usually looking for "best bet" practices or combination of practices. And if one option seems promising, to save time and reduce risks, they will only try that one. For instance, in a participatory experiment, for ease of implementation and evaluation, most farmers chose only one option (associating maize and velvet bean) and tested it on single plots with no replication (Buckles and Perales, 1999). To sum up, it seems that farmers, at least those with experience, usually know how to limit risks when they are testing a new practice. They balance the risks as a function of the novelty of a practice, its spatial scale and possibly information seeking. They also limit the time dedicated to reflexion and organization. In most cases, they test one "best bet" practice on one plot. Risky situations may still arise when farmers experiment very different practices at a large scale. To avoid such risks, they should either first conduct some experiment at a small scale or make sure they are well informed before starting. One major aid for farmers who wish to experiment would be to look for more simultaneous comparisons. In particular, we believe that farmers who experiment should receive more support in including two or more modalities, which would ensure the outcomes are more efficient. However, one condition first needs to be fulfilled. Several equally worthwhile modalities need to be identified; otherwise, if one modality appears to be much better than the others, the farmers will very likely test only that one. In this context, one way to help the farmers would be to evaluate with them during the Design stage, which modalities could be considered, and, if need be, to encourage them to set them up (choice of the plot, regular observations with the farmer, and visits to other farmers).

Outlook for development and research

First, individual experimental situations should be encouraged because they have the advantage of suiting a particular farmer's motives and need for change. This kind of approach is close to experiential learning as defined by Baars (2011), which enables the production of situated knowledge in collaboration with farmers. Our work enabled us to access farmers' ongoing and past experimental situations, but it was sometimes difficult for farmers to remember all of them well, and they were rather tacit. The proposed framework appeared to be efficient in helping them be more explicit. A simple action to help farmers would be to encourage them to record their experimental situations: taking notes on their experimental situations would favor their reflexivity as well as help avoid important information being forgotten. In return, farmers should be helped to conceive new experimental situations. The task would be to reflect on previous experimental situations to clarify the new design stage: explain their motives, discuss possible risks and think about appropriate modalities to try.

Second, collective experiments on agroecological systems are expanding (Navarrete et al., 2018). By studying farmers' learning processes, Chantre et al. (2014) underlined the importance of interaction with others (farmer development groups, peer farmers, an advisor) in acquiring new knowledge, including through experimentation. Experimental situations may also help other farmers. As every farmer will explore practices differently, discussing experimental situations can help identify complementarities or summarize the knowledge produced. When the interest of a topic grows in a group of farmers, a collective experiment could be set up. Different modalities should be chosen among members and tested, as proposed by Buckles and Perales (1999). For that purpose, using the framework with a group of farmers could help collect and organize information on experiments, which could then be used to warn new farmers about possible "unpleasant surprises" when certain practices are used or to enable them to benefit

from what others already discovered to save time and for cognitive economy. Collecting and capitalizing on experimental situations is an opportunity to empower farmers in their knowledge production. The interest of farmers' experimental situations is that the emphasis is not on the knowledge content itself but rather on the way it is produced (Briggs, 2013). Experimental situations ensure that the context of situated knowledge production is there to be discussed, for instance in meetings between farmers. This helps question the context (the main objective of the experimental situation, links with previously tested practices, and the degree of novelty) and the results (farmers' judgments and discussion). Our framework could also be used as a support tool for discussion on a field trip during which the farmers present their own experiments. What is he/she referring to? To a breakthrough experimental situation on a single plot or to a practice being tested for the 5th time, aimed at improving agroecological processes?

Finally, are the farmers' and the scientists' experimental processes complementary? Toffolini et al., (2017) refer to farmers gaining insight into their actions when they acquire fundamental knowledge, the farmers' experimental situations could be discussed with agronomists to explain some of the results achieved on the farm in the light of agronomical theory or concepts, thereby sharing scientific and fundamental knowledge with farmers. Following Baars (2011), Hoffman et al. (2007) and Sumberg and Okali (1997), farmers' experimental situations can be considered as a complementary activity to scientific experiments to produce knowledge. Capitalizing on farmers' experimental situations in agroecology could be a way to integrate farmers' empirical knowledge in scientific innovation and knowledge, one of the five ways proposed by (Doré et al., 2011) to deepen research on ecological intensification.

4. Conclusion

In this article, we have introduced the concept of an 'experimental situation' to better understand farmers' experiments, and to characterize how farmers use experiments when they are engaged in change toward agroecology. The framework is an original way to characterize how farmers design and manage their experiments and how they evaluate the results, in detail. It is sufficiently generic to describe experimental situations for both arable crops and market gardening. The classification analysis enabled the identification of 4 clusters and 10 groups of experimental situations. These groups illustrate the wide range of experimental activities undertaken by farmers that vary in the goals pursued, the way the experiments are designed, and in their outputs, hence each contributing differently to learning agroecological practices. One key outcome of the study is that even if the farmers' choices of experiments are much more implicit than those of scientists, and differ considerably from one group to another, there is a high degree of consistency between the choices concerning goals, methods, spatial scale, etc. The framework could be used to help farmers increase their reflexivity on their own experiments as well as to become more perceptive when they visit other farmers' experimental situations. This framework could be adapted for other purposes involving farmers' expertise (a reflexivity tool for farmers on their own, as a support for groups of farmers engaged in agroecological development, participatory design of farming systems). To pursue research into experimental situations, the framework should be tested so that it can be refined or adapted in other areas and for other productions. The framework could be also completed with other methods to monitor ongoing experimental situations more precisely and in particular to identify the indicators used by farmers to make their judgements. Elements that are difficult to retrieve when based on memories, like hypotheses or methods of collecting information, could be identified in this way. Finally, our results show that, although here scrutinized in the short term,

experimental activity is a long term process. Working at multi-year and farmer scales would make it possible to understand how experimental situations evolve over time, how knowledge is produced and refined by farmers, and how the practices that are tested are adapted and finally adopted, which is a key challenge for the extensive development of agroecology.

Acknowledgments

This work was supported by the Drôme Department and the project COTRAE (Program "*Pour et Sur le Développement Régional Rhône-Alpes*") funded by INRA, Rhône-Alpes region, Irstea et EC FEADER. The authors thank all the farmers surveyed for their involvement that enabled us to study their experiments in detail.

Declaration on conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Chapitre 4 - Activité
d'expérimentation à long terme:
Analyse des itinéraires
d'expérimentation des agriculteurs

Chapitre 4 - Activité d'expérimentation à long terme: Analyse des itinéraires d'expérimentation des agriculteurs

1 Introduction

Après l'étude des SEs réalisée dans le chapitre précédent, nous nous intéressons ici plus en détail aux liens entre les SEs d'un même agriculteur. Pour cela, nous introduisons le concept d'ITE, que nous définissons comme une combinaison de plusieurs SEs entretenant des liens. Nous faisons l'hypothèse que ces liens traduisent une structuration du processus d'expérimentation sur le temps long. L'objectif de ce chapitre est donc d'explorer le concept d'ITE en étudiant la diversité des ITEs observés chez les 17 agriculteurs que nous avons enquêtés. Il s'agit :

- d'explicitier la logique d'un ITE, c'est-à-dire comment et pourquoi un agriculteur enchaîne un ensemble de SEs sur une même thématique technique, et quels sont les liens chronologiques et de causalité entre les SEs successives,
- de faire le lien entre les ITEs et les groupes de SEs identifiés dans le chapitre précédent, en analysant si un groupe de SEs se retrouve plus fréquemment qu'un autre dans la même position au sein de l'ITE (début, milieu ou fin) ou avant / après un autre groupe de SEs,
- de caractériser la diversité des ITEs de l'échantillon d'enquête grâce à une typologie.

2 Méthodologie

Dans ce chapitre, nous avons utilisé les données d'enquêtes des 17 agriculteurs interviewés ainsi que les SEs identifiées dans le chapitre précédent. Les liens entre SEs donnent une structure à l'ITE qui permet de voir différentes évolutions au cours du temps long de la pratique elle-même, des questionnements de l'agriculteur à travers les SEs mobilisées et de l'ampleur que prend la pratique sur le système.

2.1 Reconstruction des ITEs chez les agriculteurs enquêtés par thématique agroécologique

La première étape du travail a consisté à reconstruire les ITEs de chaque agriculteur, c'est-à-dire à organiser les SEs (décrites individuellement et sans chronologie dans le chapitre 3) dans le temps et à travers les relations qu'elles entretiennent entre elles.

Le **début d'un ITE** est déterminé par la plus ancienne SE que nous ayons identifié dans le discours de l'agriculteur. Dans quelques cas, il semble que l'agriculteur ait eu des SEs antérieures à la plus ancienne identifiée mais les informations étaient d'une qualité insuffisante pour pouvoir les considérer comme des SEs. La **fin d'un ITE** correspond à la dernière SE identifiée lors des enquêtes. Les dates de fin d'enquêtes s'étalent dans le temps du 16 Février 2016 (agriculteur enquêté tôt et une seule fois) au 06 Novembre 2017 (dernier agriculteur enquêté pour la deuxième fois). Les ITEs de certains agriculteurs finissent donc plus tôt que d'autres. La fin d'un ITE n'est donc que relative sauf lorsque celle-ci a pu être identifiée avant la fin de la période d'enquête.

Le premier niveau d'organisation d'un ITE porte sur la thématique agroécologique des pratiques expérimentées dans chaque SE (travail du sol réduit, couverts végétaux, rotation, biocontrôle,...). Le Tableau 4-1 présente l'ensemble des thématiques et pratiques agroécologiques correspondantes. Au sein de chaque thématique, nous avons distingué plusieurs pratiques expérimentées.

Tableau 4-1 : Thématiques des ITEs et pratiques associées.

Contrairement au chapitre 3, la pratique des couverts semés dans le blé au printemps correspond à la thématique agroécologique "couverts végétaux" alors qu'elle était considérée comme "intercropping" dans le chapitre 3. Ce choix a été fait car les passerelles entre couverts et couverts en intercropping sont plus nombreuses qu'avec les intercroppings où les cultures sont semées en même temps.

Thématiques	Pratiques expérimentées
Couverts végétaux	Interculture
	Semis dans la culture
Biocontrôle	Lâcher d'auxiliaires (achetés)
	Infrastructure agroécologique
	Transfert d'auxiliaires (d'une zone à l'autre de l'exploitation)
Travail du sol	TCS (Techniques Culturelles Simplifiées)
	Semis direct
	Travail du sol réduit en maraîchage
Cultures associées	Mélange d'espèces en culture semées en même temps
	Mélange de variétés en culture
Successions culturales	Successions culturales
Autres	Fertilisation organique fractionnée
	Ail sous tunnel pour éviter la rouille
	Microorganismes du sol
	Introduction de poules en "interculture"

Le deuxième niveau d'organisation porte sur **les liens entre SEs au sein des thématiques agroécologiques**. Ces liens signifient que, pour concevoir une SE donnée, l'agriculteur s'appuie sur des SEs précédentes dont il mobilise l'information capitalisée : une SE peut être conçue à partir d'une ou de plusieurs SEs; inversement, une SE peut engendrer une ou plusieurs SEs. Pour faire ce travail d'identification des liens, nous avons eu recours à des frises chronologiques pour positionner dans le temps les différentes SEs. Pendant le temps de l'enquête, l'échange avec les

agriculteurs a permis de dresser une esquisse des ITEs et de valider au fur et à mesure avec eux les liens pressentis. Puis, nous sommes revenus plus en détail sur les liens entre SEs en analysant le discours après entretien. Quelques SEs n'ayant pas pu être caractérisées lors du premier chapitre faute de données suffisantes (dû en grande partie à des SEs récentes qui allaient ou venaient d'être conçues lors du dernier entretien avec l'agriculteur) sont quand même prises en compte dans ce chapitre car elles complètent les données disponibles sur les ITEs et évitent d'avoir des trous d'information.

Un type de lien particulièrement important correspond à l'émission de **branches expérimentales** (voir Figure 4.1). Par défaut, un ITE se compose d'une branche principale qui correspond à une succession de SEs uniques année après année. . L'émission de branches expérimentales se produit lorsque, en parallèle d'une SE sur la branche principale, une pratique dérivée est expérimentée dans une autre SE. Deux cas de figure peuvent être rencontrés. Le premier est l'émission d'une branche lorsqu'**une pratique est transférée sur une autre entité de la rotation de l'agriculteur**. Ce transfert peut être pour une autre culture commerciale ou pour une interculture (par exemple transfert de pratiques d'implantation en réduisant voire sans travail du sol à partir du blé sur d'autres espèces). Cela peut aussi être à un moment différent dans la durée d'une culture (par exemple, sur une culture de tomate, lâchers de chrysopes en Juillet contre des ravageurs d'été après avoir expérimenté des lâchers de coccinelles au printemps). Un deuxième cas correspond à l'émission d'une branche suite à l'expérimentation d'**une variante de la pratique sur la même entité de la rotation**. Par exemple, expérimenter le même concept de transfert d'auxiliaires d'une culture de blettes vers des courgettes, mais en remplaçant l'auxiliaire initial (coccinelles) par *Aphidus colemani*. Cela se traduit par deux branches expérimentales parallèles synchrones, basée sur l'expérimentation du transfert de coccinelles pour l'une, d'*Aphidus* pour l'autre.

Du fait de cette distinction entre branches principales d'un même ITE, nous avons rencontré une difficulté méthodologique à définir des fins. Il faut tout d'abord distinguer les fins partielles des fins totales d'ITE. Une fin partielle est la fin d'une branche expérimentale (les autres branches de l'ITE peuvent continuer) tandis qu'une fin totale correspond à l'arrêt de l'ensemble des branches de l'ITE (s'il n'y a qu'une branche, fin partielle et fin totale se confondent). Cependant, toute fin est potentiellement relative, l'agriculteur peut avoir une nouvelle idée, prendre connaissance d'une innovation ou d'un système plus adapté lui permettant de reprendre l'expérimentation dans la branche correspondante quelques années après. **Nous avons donc considéré les branches (ou ITEs) comme finies lorsque la dernière SE est suivie d'une adoption de la pratique expérimentée à large échelle sur l'exploitation ou de son abandon et qu'aucune autre SE n'est mise en place derrière sur la période enquêtée.** C'est pourquoi, pour chaque branche expérimentale, nous avons déterminé si celle-ci comportait des abandons ou des adoptions de pratiques. Dans certain cas, les branches d'ITE ne sont pas poursuivies mais ne marquent ni une adoption ni un abandon : l'agriculteur n'a pas définitivement exclu la pratique expérimentée mais ne l'a pas expérimentée à nouveau soit parce qu'il n'a pas eu/pris le temps, soit parce qu'il n'avait pas l'opportunité de le faire (parcelle déjà occupée, non adéquate ou absence d'un problème de ravageur par exemple).

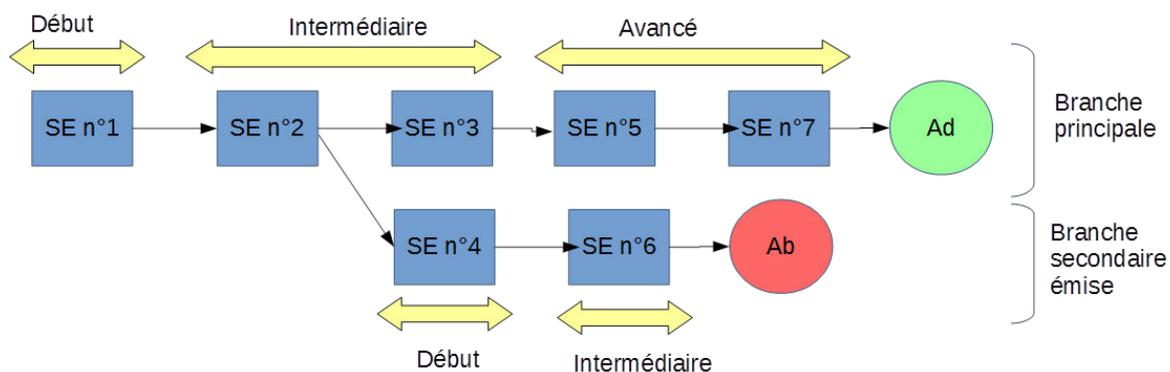
Enfin, bien qu'une SE soit très majoritairement attribuable à un seul ITE, quelques-unes se sont révélées être des **SEs charnières** entre deux ou trois ITEs. Elles combinent dans la même SE plusieurs pratiques appartenant à des thématiques agroécologiques différentes.

A ce stade, nous avons exclu de l'analyse un agriculteur chez qui nous n'avions identifié qu'une seule SE ainsi que 6 autres SEs isolées qui ne constituaient donc pas d'ITE.

2.2 Liens entre groupes de SEs et positionnement dans l'ITE

Une fois les ITEs reconstruits, nous avons étudié les positions spécifiques des groupes de SEs (G1-10) identifiés dans le chapitre 3 dans chaque ITE. Nous avons d'abord déterminé **trois positions** dans les branches expérimentales : début de branche (SE n°1 qui est la SE la plus ancienne identifiée lors de l'enquête), intermédiaire (SEs n°2 et 3) et avancé (SE n°4 et au-delà, jusqu'à la dernière SE de la branche identifiée dans l'enquête). Chaque branche expérimentale a donc été décomposée en 3 parties⁷. Pour chaque branche, et pour chaque position, nous avons compté le nombre de fois où les SEs d'un groupe donné apparaissaient. Cela nous a permis de déterminer la fréquence d'apparition des **SE d'un groupe donné par position** (voir).

Figure 4.1: Méthode de découpage d'un ITE avec branches pour positionner les SEs. Pour chaque groupe de SE, on compte le nombre de SEs de ce groupe par position « début », « intermédiaire », « avancé ». Ad = Adoption. Ab = Abandon



Dans un deuxième temps, nous avons déterminé quels groupes de SEs précédaient le plus les adoptions ou les abandons de pratiques, en comptant le nombre de fois où les SEs d'un groupe précédaient une adoption ou abandon.

Les SEs charnières, communes à plusieurs ITEs n'ont été comptabilisées qu'une fois (par défaut dans le plus petit ITE) afin de ne pas attribuer plus de poids à leur groupe respectif.

2.3 Construction d'une grille d'analyse des ITEs

Pour construire notre grille d'analyse, quatre caractéristiques quantitatives ont été identifiées pour décrire les ITEs des agriculteurs : **le nombre de SEs réalisées** par l'agriculteur au sein de l'ITE, **la durée** de l'ITE, **l'intensité expérimentale moyenne**, et **le nombre de branches expérimentales**. La durée de l'ITE correspond au nombre d'années entre la SE marquant le début de l'ITE et la dernière SE identifiée, toute branche confondue et que cette SE marque une fin relative ou non. Le fait que beaucoup d'ITEs n'étaient pas encore terminées à la fin de nos enquêtes comporte un biais méthodologique pour quantifier la durée réelle des ITEs. C'est pourquoi nous utilisons aussi la caractéristique d'intensité expérimentale moyenne, c'est-à-dire le rapport entre le nombre de SEs réalisées par ITE et sa durée. Nous avons choisi d'utiliser *la*

⁷ ou 1 ou 2 si les branches se finissent au bout moins de 4 SEs.

valeur moyenne d'intensité, lissée sur la durée de l'ITE. Une forte intensité (plus de 1) traduit une activité expérimentale importante où plusieurs SE peuvent être conduites la même année pour un même ITE. A l'inverse, une intensité expérimentale de moins de 1 montre une faible activité expérimentale. Cependant, l'intensité expérimentale peut aussi se calculer localement (*valeur instantanée d'intensité*), des valeurs plus extrêmes marquant soit une année particulièrement riche en expérimentations, soit une pause dans l'expérimentation, souvent un temps de réflexion pour permettre la reprise de l'expérimentation l'année d'après. Pris ensemble, nombre de SEs et intensité expérimentale moyenne renseignent sur l'implication de l'agriculteur dans l'expérimentation et l'importance d'une thématique pour celui-ci. Le nombre de branches expérimentales inclut la branche principale.

A l'inverse de l'analyse par groupe de SEs (2.2), les SEs charnières ont été ici comptées plusieurs fois, une fois par ITE, car c'est la filiation entre SEs, la combinaison de SEs formant un ITE, qui est analysée. Le nombre de SEs total est donc légèrement inférieur au cumul des nombres de SE de chaque ITE.

2.4 Types d'ITE

A partir de la grille d'analyse décrite précédemment, des schémas d'ITE reconstruits et de notre connaissance des démarches d'expérimentation des agriculteurs à partir des enquêtes, nous avons classé les ITEs en quatre types. Les schémas d'ITEs ont permis de confronter les caractéristiques avec une lecture plus qualitative des ITEs (relations entre SEs) et de prendre en compte les SEs conçues à partir de plusieurs SEs issues de branches expérimentales différentes.

3 Résultats

Les résultats sont organisés en trois parties. Dans une première partie, nous présentons un exemple d'ITE et sa description via les concepts et indicateurs décrits en méthodologie puis quelques résultats généraux caractérisant l'échantillon d'ITEs. Dans une seconde partie, nous mettons en évidence les liens entre groupes de SEs et leur position dans les ITEs. Ces résultats nous amènent à proposer un archétype. Enfin, dans la dernière partie, nous décrivons les quatre types d'ITEs que nous avons identifié, en nous appuyant sur des exemples.

3.1 Résultats généraux sur les ITEs

3.1.1 Exemple de description d'un ITE

Pour illustrer les caractéristiques d'un ITE grâce aux concepts et indicateurs décrits, nous prenons l'exemple d'un ITE d'une maraîchère (VA) sur différentes pratiques de la thématique agroécologique du biocontrôle (voir Figure 4.2).

Cet ITE comporte 11 SEs dont 2 non codées (NA, en cours ou en prévision au moment de l'enquête). L'intensité expérimentale moyenne est assez importante (1.8 SEs/an) notamment grâce aux SEs de 2014 à 2016 où l'intensité expérimentale instantanée est de 2 à 3 SEs/an. L'ITE démarre en 2013 lorsque VA, conseillée par un ami agriculteur, expérimente pour la première fois le transfert d'auxiliaires biologiques, des coccinelles présentes spontanément sur l'exploitation, pour lutter contre les pucerons. Ce transfert a lieu au printemps, d'une zone où les coccinelles sont concentrées (parcelle cultivée de blettes ou ailleurs sur l'agroécosystème) vers une culture à protéger, les courgettes. La pratique est réitérée l'année suivante, puis adoptée dès 2015. A partir de cette branche principale de l'ITE, deux branches vont être émises. Elles correspondent à des transferts de la pratique « transfert d'auxiliaire » à d'autres entités du

système (autre auxiliaire biologique pour la branche n°2, autre culture à protéger pour la branche n°3). Le premier est fait en 2014 lorsque VA expérimente le transfert de chrysopes plus tard dans la saison. Cette branche s'arrête très vite car la première SE révèle à l'agricultrice un temps de collecte des chrysopes beaucoup trop long pour le nombre d'insectes capturés : la pratique est abandonnée et la branche expérimentale s'arrête. Le deuxième transfert de pratique a lieu en 2015 lorsque l'agricultrice expérimente des transferts réguliers de différents auxiliaires endémiques contre des pucerons sur une autre culture, l'aubergine, en commençant par des coccinelles.

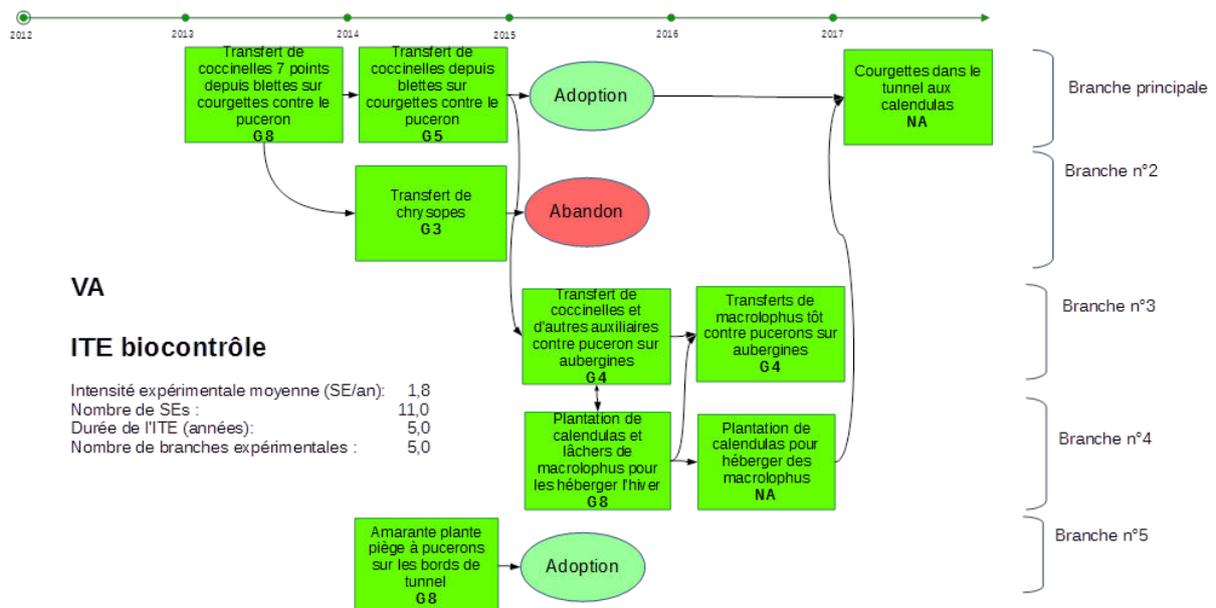
Figure 4.2: ITE de VA sur le biocontrôle. Par soucis de clarté, lorsque les SEs sont reliées par le seul le lien thématique, il n'est pas représenté (ici, le lien aux SEs sur les amarantes, plantes pièges à pucerons, ou sur les calendulas à *Macrolophus*)

G3 : SEs transposant une pratique expérimentée précédemment

G4 : SEs répétant la pratique expérimentée dans la SE précédente

G5 : SEs avec modifications mineures permettant d'améliorer la maîtrise et la compréhension de la pratique

G8 : SEs de rupture permettant à l'agriculteur de découvrir une nouvelle pratique intéressante



D'autre part, deux branches de l'ITE démarrent sans lien fort avec les SEs précédentes. En 2014, VA met en œuvre une SE en laissant les amarantes (adventices) se développer sous tunnel pour piéger⁸ une partie des pucerons et diminuer leur impact sur les cultures. Le lien aux autres SEs est faible car VA expérimente une autre logique de biocontrôle que les transferts d'auxiliaires. La pratique est adoptée au bout de la première SE. Puis, en 2015, une pratique fondée sur une nouvelle logique est expérimentée. Il s'agit d'aménager certaines parties du tunnel pour accueillir des auxiliaires (ici des calendulas pour attirer des *Macrolophus*). La SE est répétée une fois dans le nouveau tunnel accueillant les aubergines.

A partir de 2015, nous observons des liens entre branches expérimentales. Ainsi, à l'été 2015, des calendulas sont plantées pour héberger des *Macrolophus* l'hiver et un lâcher de ces

⁸ Stratégie « Pull » pour détourner une partie des bioagresseurs sur une plante hôte non cultivée.

auxiliaires est réalisé dans le tunnel comportant les aubergines sur lesquelles différents transferts d'auxiliaires sont réalisés (interaction entre branches n°1 et 2). VA remarque que les *Macrolophus* arrêtent complètement le développement des pucerons. L'année suivante, l'agricultrice décide d'expérimenter le contrôle des pucerons d'aubergines en commençant dès le début par des transferts de *Macrolophus* présents dans les calendulas. Enfin, en 2017, une nouvelle SE sera réalisée pour améliorer le contrôle des pucerons sur courgettes, ce qui relance la branche principale. En plus des coccinelles transférées, les nouvelles courgettes seront plantées dans le tunnel dont les bords de serre sont plantés en calendulas, hébergeant donc probablement des *Macrolophus*.

3.1.2 Résultats quantitatifs sur les itinéraires d'expérimentation

L'ensemble des données relatives aux ITEs peuvent être consulté dans le tableau en Annexe 7. Les schémas d'ITEs sont disponibles en Annexe 8.

Au total, 33 ITEs ont été identifiés chez les 16 agriculteurs enquêtés et analysés, 18 en grandes cultures et 15 en maraîchage diversifié. Les agriculteurs suivent de 1 à 3 ITEs à la fois, jusqu'à 4 pour certains producteurs de grandes cultures. Les producteurs de grandes cultures développent en moyenne 2,8 ITEs contre 2 ITEs en maraîchage diversifié.

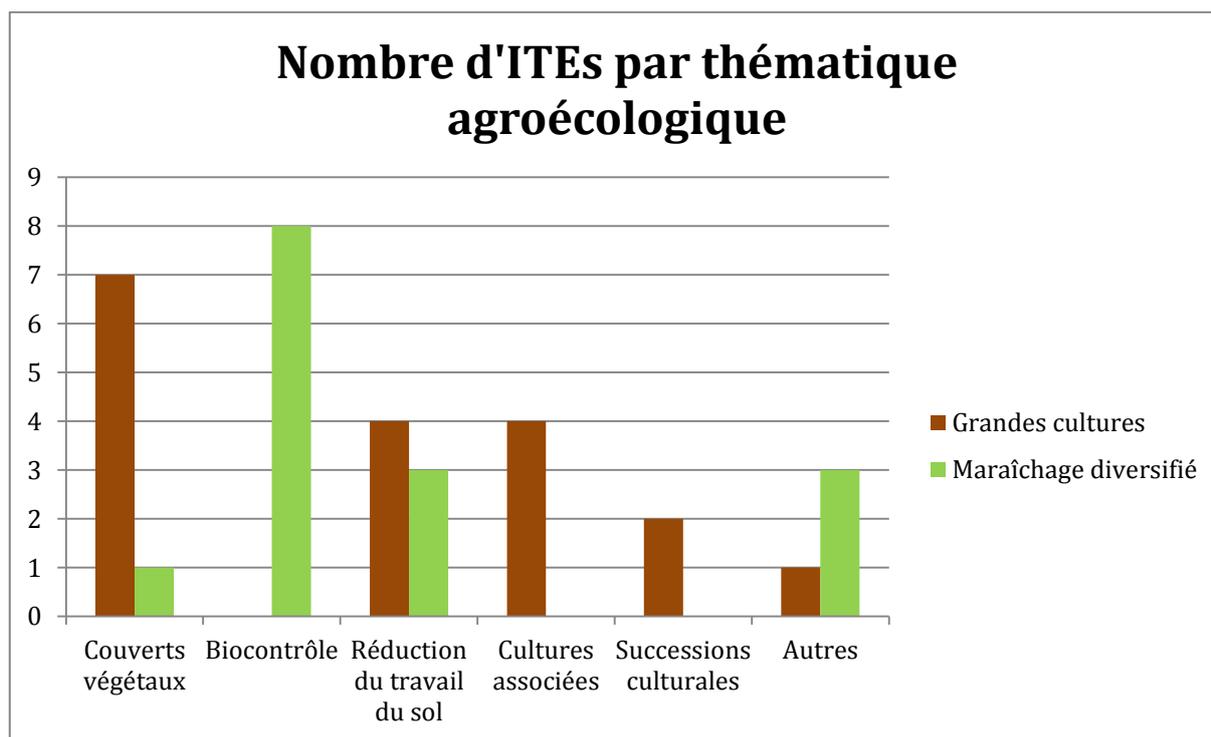
Le Tableau 4-2 présente les caractéristiques générales des ITEs en fonction du type de production. Le nombre de SEs par ITE varie de 2 à 20. Il est légèrement supérieur en grandes cultures (7,4 en moyenne) qu'en maraîchage diversifié (6,7). En moyenne, l'intensité expérimentale moyenne de notre échantillon est de 1,3 SE/an avec des extrêmes variant d'un facteur 10, de 0,3 SE/an pour l'ITE biocontrôle de l'agriculteur CV à 3,7 SE/an pour l'ITE couverts végétaux de l'agriculteur GR. L'intensité expérimentale instantanée peut prendre des valeurs de 6 SE /an pour certains ITEs liés à une pratique particulière (agriculteur GR, ITE sur les couverts végétaux). La durée moyenne des ITEs est légèrement supérieure en maraîchage (6,6 années contre 5,9 en grandes cultures). Le nombre de branches expérimentales est de l'ordre de 3.

Tableau 4-2: Caractéristiques générales des ITEs de l'échantillon

		Intensité expérimentale moyenne (SE/an)	Nb SEs	Durée de l'ITE (ans)	Nb branches
Total	Moyenne	1,3	7,1	6,2	3,2
	Médiane	1,1	6,0	5,0	2,0
	Min	0,3	2,0	2,0	1,0
	Max	3,7	20,0	15,0	9,0
Grandes cultures	Moyenne	1,4	7,4	5,9	3,3
	Médiane	1,3	5,5	5,5	2,5
	Min	0,4	2,0	2,0	1,0
	Max	3,7	20,0	15,0	9,0
Maraîchage diversifié	Moyenne	1,1	6,7	6,6	3,1
	Médiane	1,0	6,0	5,0	2,0
	Min	0,3	2,0	2,0	1,0
	Max	2,2	16,0	14,0	7,0

La Figure 4.3 présente la répartition des ITEs par thématique d'expérimentation. Un quart des ITEs portent sur des pratiques de mise en œuvre de couverts végétaux (réalisés majoritairement par les producteurs de grandes cultures) et un quart sur des pratiques de biocontrôle (réalisées uniquement par les maraîchers). Viennent ensuite les ITEs sur la réduction du travail du sol (partagé entre les deux types de production), puis les ITEs sur les associations de cultures et les successions culturales (exclusivement expérimentées en grandes cultures).

Figure 4.3: Répartitions des ITEs par thématiques d'expérimentation des agriculteurs enquêtés. La catégorie « Autres » rassemble les ITEs portant sur diverses pratiques (fertilisation organique fractionnée, "interculture" avec des poules, micro-organismes du sol, ail sous tunnel contre la rouille)



3.2 Groupes de SEs et ITEs

Cette partie fait le lien entre les groupes de SEs identifiés dans le chapitre 3 et les ITEs. Nous étudions si certains groupes sont plus présents à certains stade d'avancement de l'ITE et si certains groupes sont plus souvent associés à des adoptions ou à des abandons de pratiques.

3.2.1 Relations entre groupes de SEs et position dans l'ITE

La Figure 4.4 présente la répartition des groupes de SEs selon leur position dans leur ITE respectif. Les effectifs totaux sont décroissants en fonction des trois positions (début, intermédiaire et avancé) car certaines branches d'ITEs sont courtes et s'arrêtent au bout de quelques SEs voire d'une seule SE.

Le début de branche expérimentale (branche principale incluse) est marqué essentiellement par les SE des groupes 3 et 8, qui correspondent respectivement (i) aux SEs visant à transposer des pratiques (ailleurs dans la rotation) ou des logiques (par exemple transfert d'un nouvel auxiliaire endémique sur une autre espèce) et (ii) aux SEs de rupture où la pratique expérimentée repose sur nouvelle logique agroécologique pour l'agriculteur (par exemple premier couvert végétal ou première utilisation d'auxiliaire). La prépondérance des groupes 3 et

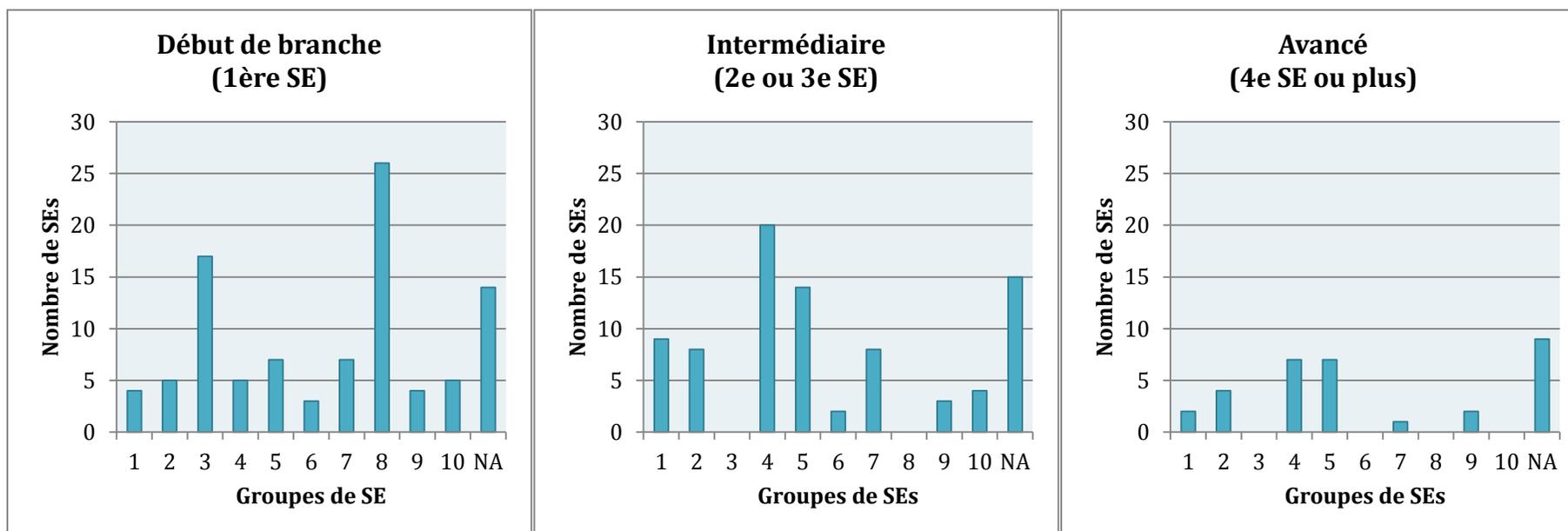
8 en début de branche semble cohérente. Plus précisément, les branches principales des ITEs commencent souvent par des SEs de rupture tandis que les branches expérimentales émises commencent par des SEs où la pratique est transposée. Les autres groupes de SEs sont en effectifs comparables, si ce n'est que les SEs de groupe 5 et 7 sont un peu plus fréquentes en début d'ITE. Les SEs de groupe 5 correspondent aux cas où les agriculteurs expérimentent une pratique peu nouvelle mais apprennent de nouvelles informations sur celles-ci (test en conditions non favorables, découverte de processus écologiques non anticipés). Ces SEs se situent généralement en début de branches émises à partir d'une branche principale où une variante de la pratique est expérimentée. Les SEs de groupe 7 montrent aux agriculteurs des problèmes agronomiques qui n'avaient pas été anticipés. La pratique nouvellement expérimentée (début d'ITE ou de branche) ne se révèle pas assez adaptée aux conditions de l'agriculteur.

La position intermédiaire de branche expérimentale (2^e ou 3^e SE) est avant tout composée par des SEs des groupes 4 (modification mineure ou répétition d'une pratique à l'identique) et 5 (modification mineure améliorant la maîtrise et la compréhension d'une pratique). Ceci est également cohérent. En effet, à ce stade d'avancement dans l'expérimentation, les agriculteurs cherchent souvent à améliorer les processus agroécologiques par de la consolidation ou de l'optimisation des pratiques (ce qui correspond aux SEs des groupes 4 et 5) si la pratique s'est révélée satisfaisante précédemment. De même, les groupes 1 et 2, portant respectivement sur l'amélioration du rendement de la culture et sur l'amélioration du coût ou du temps consacré à l'exécution de la pratique, sont relativement fréquents en position intermédiaire de branche. Les SEs du groupe 7 sont aussi fréquentes, car les agriculteurs doivent parfois s'y reprendre à plusieurs fois avant de trouver une pratique satisfaisante (le fait qu'il y en ait même légèrement plus qu'en début de branche s'explique plutôt par un artefact statistique).

Enfin, **en position avancée de branche** (4^e SE ou au-delà), la tendance à la consolidation et à l'optimisation de la pratique se confirme car les groupes 4 et 5 sont encore plus représentatifs des SEs à cette position. Le groupe 2 ressort aussi, ce qui confirme cette tendance à l'optimisation. Nous remarquons que 2 SEs appartiennent au groupe 9 et aucune au groupe 10 alors que les SEs de groupe 10 étaient légèrement plus nombreuses dans les deux stades d'avancement précédent. Cela peut s'interpréter par le fait que, à partir d'un certain stade d'avancement dans l'ITE, l'agriculteur ne cherche plus à comparer la pratique à une référence pour l'éprouver (G10) car il s'est probablement déjà forgé un avis, mais plutôt à optimiser la pratique en comparant plusieurs modalités (G9).

Figure 4.4: Répartition des groupes de SEs (en nombre de SEs par groupe) selon leur position dans les ITEs en début de branche (SE n°1), au milieu (SE n°2 ou 3) ou en fin de branche (SE n°4 ou plus).

- 1 : SEs visant à améliorer le rendement d'une culture commerciale
- 2 : SEs portant sur le coût ou le gain de temps de la pratique
- 3 : SEs transposant une pratique expérimentée précédemment
- 4 : SEs avec modifications mineures ou uniquement répétition de la pratique expérimentée dans la SE précédente
- 5 : SEs avec modifications mineures permettant d'améliorer la maîtrise et la compréhension de la pratique
- 6 : SEs révélant un problème technique lors de la mise en œuvre
- 7 : SEs révélant un problème agronomique
- 8 : SEs de rupture permettant à l'agriculteur de découvrir une nouvelle pratique intéressante
- 9 : SEs comparant deux modalités ou plus d'une pratique
- 10 : SEs comparant la nouvelle pratique expérimentée à une pratique de référence pour l'agriculteur



3.2.2 Relations entre groupes de SEs et adoption ou abandon de la pratique expérimentée

La Figure 4.5 présente la répartition des groupes de SEs précédant soit une adoption, soit un abandon de pratique.

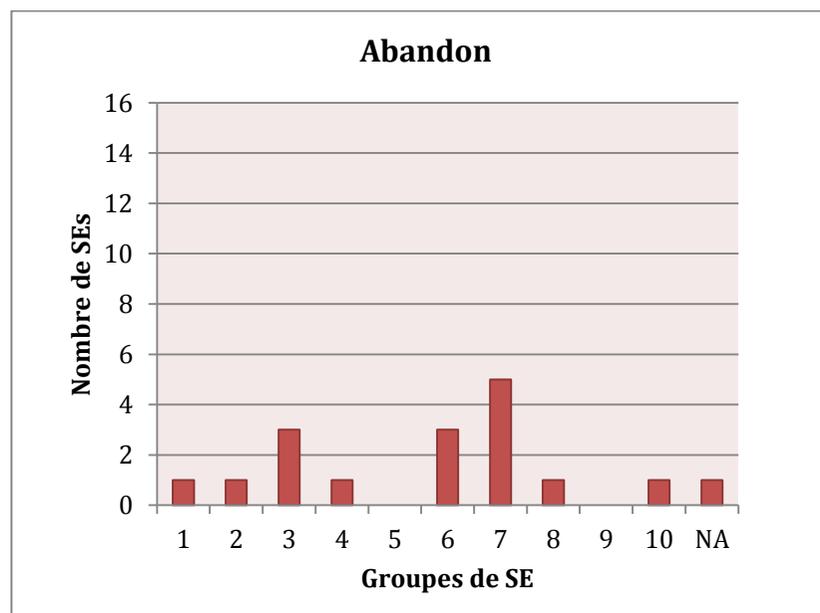
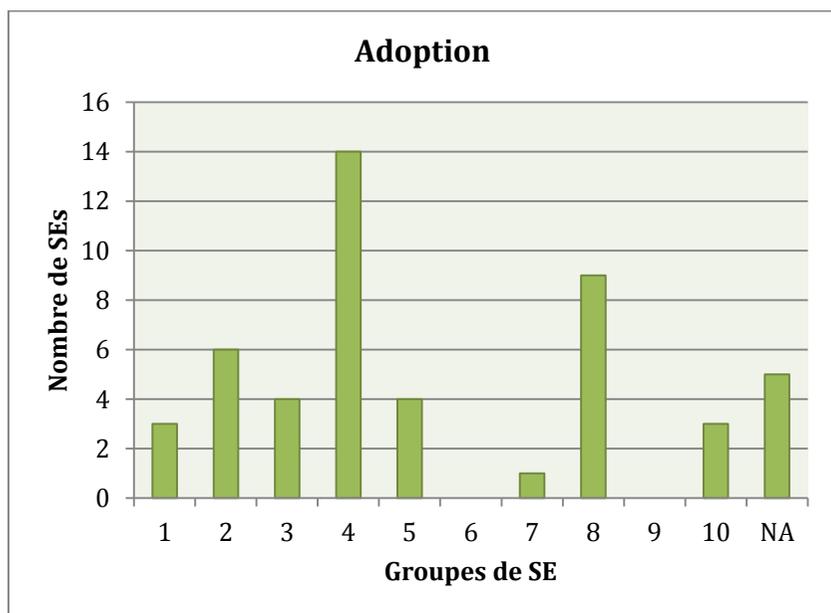
Nous remarquons que **les adoptions de pratiques** sont souvent précédées de SEs de groupe 4 (modification mineure ou répétition d'une pratique), qui sont des SEs au cours desquelles la pratique n'est presque plus modifiée : elle est stabilisée puis finit par être adoptée. Étonnamment, une part non négligeable d'adoptions sont aussi réalisées suite à des SEs de groupe 8 (rupture). Certaines pratiques sont donc adaptées et adoptées dès la première SE même si elles sont très en rupture avec les pratiques précédentes. Nous faisons surtout ce constat pour des pratiques de biocontrôle (7 SEs sur 9) qui sont peut-être plus faciles à appliquer en suivant des recommandations techniques que les pratiques relatives à l'agriculture de conservation par exemple. Il semble donc y avoir deux régimes d'adoption d'une pratique : une adoption immédiatement après une seule SE et une adoption suite à une amélioration progressive tout au long d'un ITE.

A l'inverse, **les abandons de pratiques** sont plutôt précédés par des SEs de groupe 7, qui correspond à des SEs qui donnent un résultat négatif sur le plan agronomique par rapport aux attentes de l'agriculteur. D'autres abandons sont précédés de SEs de groupe 6, c'est-à-dire révélant un problème technique jugé non surmontable (outil mal adapté en grandes cultures).

En résumé, il y a plus de chances que les agriculteurs abandonnent une pratique et stoppent une branche expérimentale après une SE de groupe 6 ou 7 révélant des problèmes techniques ou agronomiques. Inversement, il y a plus de chances que les agriculteurs adoptent une pratique et arrêtent l'expérimentation dans une branche après une SE de groupe 4, où la pratique est déjà stabilisée.

Figure 4.5: Groupes de SEs précédant une adoption ou un abandon dans les ITEs en fonction du groupe de SEs

- 1 : SEs visant à améliorer le rendement d'une culture commerciale
- 2 : SEs portant sur le coût ou le gain de temps de la pratique
- 3 : SEs transposant une pratique expérimentée précédemment
- 4 : SEs avec modifications mineures ou uniquement répétition de la pratique expérimentée dans la SE précédente
- 5 : SEs avec modifications mineures permettant d'améliorer la maîtrise et la compréhension de la pratique
- 6 : SEs révélant un problème technique lors de la mise en œuvre
- 7 : SEs révélant un problème agronomique
- 8 : SEs de rupture permettant à l'agriculteur de découvrir une nouvelle pratique intéressante
- 9 : SEs comparant deux modalités ou plus d'une pratique
- 10 : SEs comparant la nouvelle pratique expérimentée à une pratique de référence pour l'agriculteur



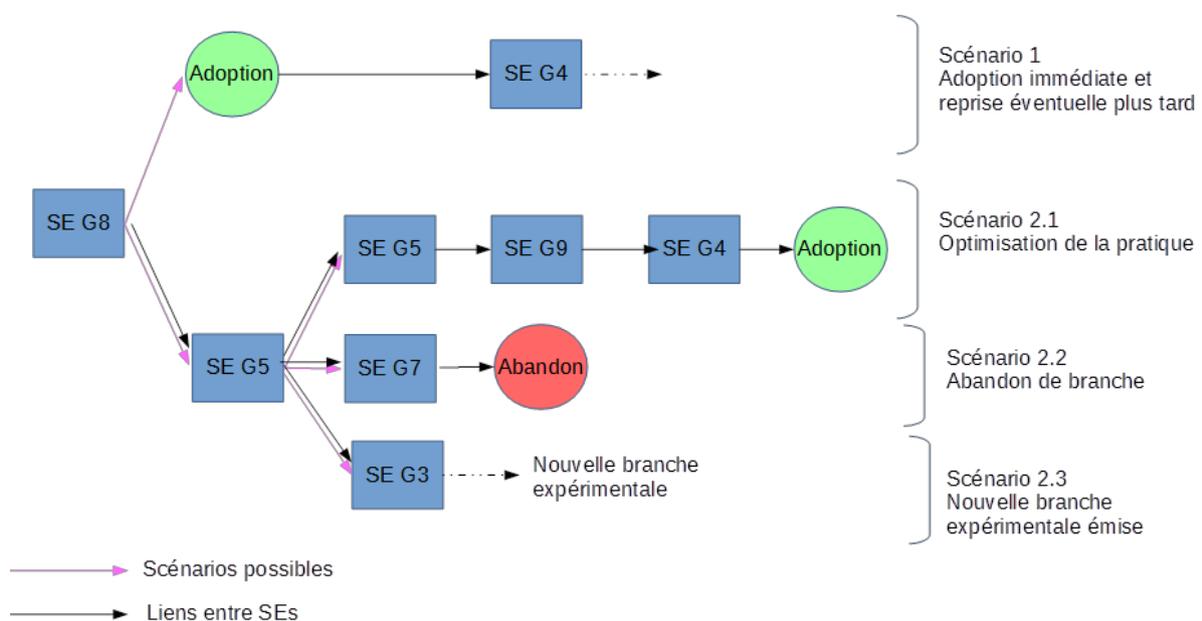
3.2.3 Archétypes de scénarios pour les ITEs

Les résultats précédents nous permettent de dresser les archétypes d'un ITE étalé sur plusieurs années selon plusieurs scénarios (Figure 4.6). L'ITE peut être initié par une SE de rupture (G8), apportant une pratique basée sur une logique technique nouvelle pour l'agriculteur. Suite à cette SE initiale, deux régimes d'adoption se présentent : soit les résultats sont jugés intéressants et la pratique est adoptée (scénario 1); soit elle est jugée intéressante mais nécessite des améliorations, qui sont expérimentées progressivement avec d'autres SEs de groupe 4 ou 5 (scénario 2).

Dans ce deuxième scénario, plusieurs sous-scénarios sont possibles. Premièrement, une mise au point progressive est réalisée par des SEs des groupes 4 et 5 puis la pratique est adoptée (scénario 2.1). Une SE comparant plusieurs modalités (9) peut être réalisée pour aider l'agriculteur à faire un choix au cours de cette branche expérimentale. Deuxièmement, une nouvelle SE révèle un problème agronomique (scénario 2.2) et met fin à la branche expérimentale avec un abandon de pratique. Troisièmement, une nouvelle branche expérimentale émise avec une SE de G3 commence et tous les scénarios précédents sont à nouveau possibles (scénario 2.3).

Même si ces archétypes restent évidemment très théoriques et que de multiples variantes existent dans la pratique, comme nous le verrons dans les parties suivantes, ils donnent des clés de repérage pour l'analyse sur le temps long du processus d'expérimentation.

Figure 4.6: Archétypes de scénarios d'un ITE et répartition des différents groupes de SEs les plus fréquents selon leur position dans l'ITE

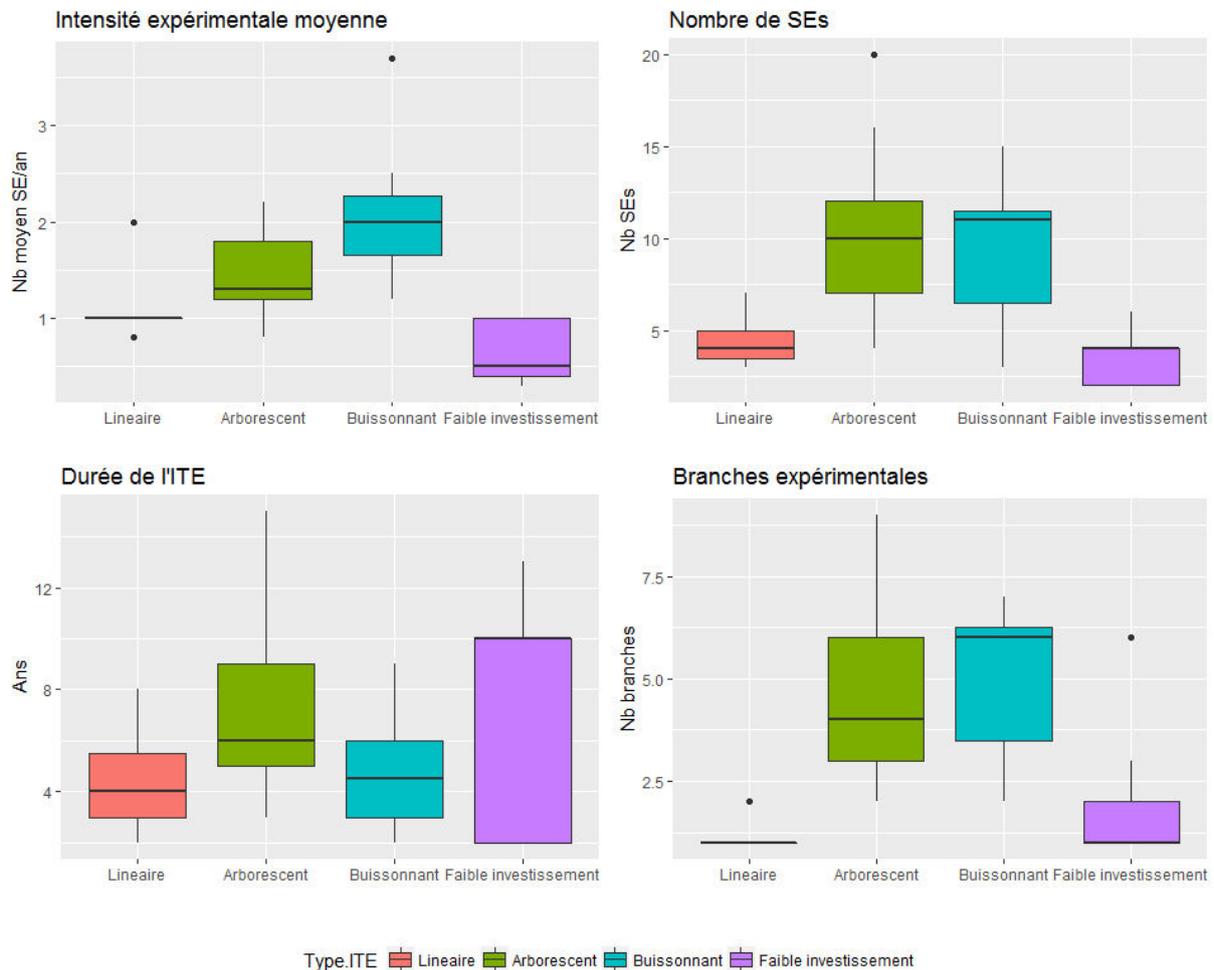


3.3 Types d'itinéraires d'expérimentation

A partir des caractéristiques précédentes, nous avons classé les 33 ITEs de notre échantillon en 4 types. Les ITEs linéaires (7 en tout) sont des successions annuelles de SEs uniques. Les ITEs arborescents (9) sont plus longs et présentent plusieurs branches émises à partir d'une branche principale. Les ITEs buissonnants (8) sont aussi longs que les ITEs linéaires et présentent plusieurs branches expérimentales produites indépendamment d'une branche principale. Enfin, les ITEs à faible investissement (9) sont soit très courts, soit très peu intensifs en SEs.

La Figure 4.7 présente les différences entre les quatre types d'ITEs en fonction des caractéristiques quantitatives d'intensité expérimentale moyenne, de nombre de SEs, de durée d'ITE et de nombre de branches expérimentales.

Figure 4.7: Caractéristiques des ITEs (intensité expérimentale moyenne, nombre de SEs, durée et nombre de branches expérimentales) selon les 4 types identifiés : linéaire, arborescent, buissonnant et faible investissement



3.3.1 Présentation des quatre types d'itinéraire d'expérimentation

En raison des petits effectifs d'ITEs pour chaque type, nous avons choisi de donner d'abord les valeurs médianes des caractéristiques quantitatives car elles ne sont pas sensibles aux valeurs extrêmes, puis de préciser les valeurs moyennes entre parenthèses.

3.3.1.1 Itinéraire d'expérimentation linéaire

Les ITEs linéaires présentent une intensité expérimentale moyenne de 1 SE/an en valeur médiane (1,1 en moyenne), ce qui est cohérent avec la définition précédente de ces ITEs. Certains ITEs linéaires ont néanmoins une intensité plus élevée car deux SEs se suivent dans l'année (cas possible en cultures maraichères du fait de la rapidité de cycle de certaines espèces). Le nombre de SEs réalisées par ITE est de 4 (4,4 en moyenne) avec un maximum de 7 SEs pour l'ITE de JN sur les couverts végétaux; la durée des ITEs est de 4 ans (4,4 en moyenne). Il n'y a qu'une seule branche expérimentale (1,1 en moyenne). Ces ITEs traduisent un investissement certain des agriculteurs sur une nouvelle pratique : chaque année, la pratique est à nouveau expérimentée. Les liens entre SEs sont forts, chaque SE s'appuyant sur les résultats de la précédente pour concevoir la pratique un peu différemment. Ces ITEs sont appelés linéaires car les agriculteurs progressent en expérimentant une seule pratique par an, qui reste souvent localisée au même endroit dans la rotation.

La Figure 4.8 présente un exemple d'ITE linéaire en grandes cultures chez JN, un agriculteur bio. Cet ITE porte sur l'introduction de la pratique d'interculture entre deux blés. Il peut être décomposé en deux grandes phases. **La première phase** consiste en trois SEs successives pour implanter une interculture de trèfle après moisson du blé, et qui chacune échouent. **La deuxième phase** commence par une SE qui débloque la situation en décalant le semis de trèfle dans le précédent blé et évolue pendant 4 années vers une optimisation de la pratique.

La première phase démarre en 2009, JN transforme sa rotation initiale [Blé-Soja- Blé/Orge-Soja] en [Soja-Soja-Blé-Blé/Orge] ce qui lui évite de devoir réensemencer le sol en *Rhizobium* avant la deuxième culture de soja. Entre deux céréales, il souhaite implanter une interculture de légumineuses pour apporter de l'azote à la culture suivante (légumineuses qui en restituent plus qu'une culture de soja) et ainsi augmenter ses rendements. Aussi, l'agriculteur expérimente en 2009 un couvert constitué d'un mélange de trèfles après moisson du blé (G7). Le couvert lève très mal car les conditions sont très sèches. De plus, les adventices lèvent et concurrencent le trèfle. Ainsi, pendant trois ans, l'agriculteur va expérimenter différentes manières d'implanter le trèfle après le blé. La deuxième année, en 2010, il n'utilise pas le semoir mais sème les graines à la volée puis réalise un passage de déchaumeuse pour les enterrer et coucher les chaumes (G7). La troisième année, en 2011, suite à une rencontre avec C. Bourguignon (agronome ayant contribué à l'émergence de l'agriculture de conservation en France), l'agriculteur rapproche au maximum la date de semis du couvert de la moisson de blé, sans succès (G7).

Figure 4.8: Exemple d'ITE linéaire sur les couverts végétaux

G1 : SEs visant à améliorer le rendement d'une culture commerciale

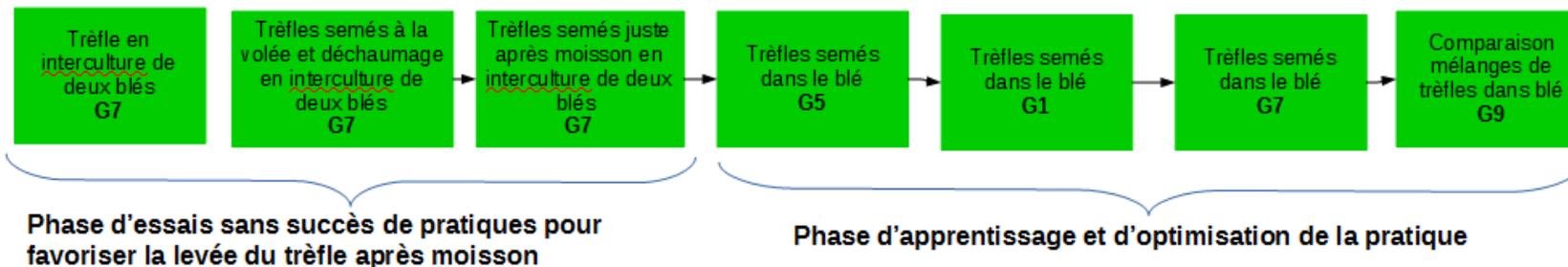
G5 : SEs avec modifications mineures permettant d'améliorer la maîtrise et la compréhension de la pratique

G7 : SEs révélant un problème agronomique

G9 : SEs comparant deux modalités ou plus d'une pratique



JN ITE couverts végétaux (linéaire)



Après ces échecs, la **deuxième phase** commence en 2012. JN a l'idée de s'inspirer de sa pratique d'implantation de la luzerne (la luzerne arrive de temps en temps dans la rotation). Cette dernière est semée au mois de Mars dans le blé afin d'être bien implantée au moment de la moisson du blé. L'agriculteur expérimente donc la même technique avec le trèfle et décale ainsi la date de semis du couvert (G5). Cette fois le trèfle a suffisamment d'eau pour bien s'implanter. Après moisson du blé, le couvert de trèfle est dense et se développe bien. Plusieurs fauches sont réalisées pour faire un peu de fourrage et pour éviter la montée en graines des trèfles et des adventices. Le blé suivant offre un rendement très satisfaisant. Cependant, l'agriculteur est déçu par le rendement du blé complanté avec le trèfle. Or au moment du remplissage des grains, la sécheresse était assez importante et le blé a échaudé. L'agriculteur soupçonne le trèfle d'avoir trop concurrencé le blé pour l'accès à l'eau. L'année suivante, en 2013, JN réitère la pratique. Cette fois les rendements sont satisfaisants pour les deux blés et le couvert de trèfle s'implante bien. En 2014, JN renouvelle l'expérience mais parvient très difficilement à passer avec le tracteur dans la parcelle de blé : le sol est trop humide et JN abandonne le semis. Cette situation expérimentale subie lui apprend que le semis de couverts dans le blé n'est pas compatible avec des années exceptionnellement pluvieuses. Après avoir mis au point la pratique pendant 6 ans sur une seule parcelle, en 2015, JN crée une SE à plus grande échelle, sur plusieurs parcelles. Toutes les parcelles de blé de première année sont semées en trèfle au mois de Mars. Cependant, l'agriculteur ne sème pas le même mélange de trèfles que lors des années précédentes, et il met en place une comparaison entre deux types de mélanges (G9). Une partie des parcelles de blé sont semées avec un trèfle incarnat tandis que l'autre est semée avec un mélange de trèfle blanc et violet. Une parcelle en particulier contient une bande de chaque modalité pour faciliter la comparaison. Après la moisson du blé, JN constate que le trèfle incarnat est monté en graines, les plantes ont déjà fini leur cycle et l'effet couvert attendu en été n'est pas atteint. Le mélange de trèfles blanc et violets'est développé plus lentement et est encore vert. JN peut donc y réaliser ses différentes fauches pendant l'été. JN juge donc que le mélange de trèfles blanc-violet est le plus intéressant. Il fait tout de même une découverte quelques mois plus tard quand, dans les nouvelles cultures d'hiver (blé et colza), il retrouve des repousses de trèfle incarnat qui étaient monté en graine prématurément. Ainsi, l'agriculteur estime que le trèfle incarnat pourrait être intéressant grâce à cette capacité de resemis (par exemple associé à d'autres plantes dans le couvert).

En résumé, cet ITE n'est composée que d'une branche expérimentale principale. Celle-ci est longue et traduit deux phases. A la jonction des deux, la pratique du couvert végétal est modifiée en ne réalisant non plus le semis après moisson mais pendant la culture du blé, en Mars. Les SEs développées par JN au cours de la première phase appartiennent toutes au groupe 7 (SEs améliorant la maîtrise et la compréhension de pratiques agroécologiques), traduisant ses difficultés à faire lever ou à avoir un couvert homogène, propre et concurrentiel sur les adventices. La deuxième phase regroupe des SEs de différents types montrant notamment une modification de la pratique avec un apprentissage sur la concurrence potentielle entre trèfle et blé (G5), et une optimisation en dernière SE identifiée, pour sélectionner sur base de comparaison de modalités le mélange de trèfle le plus adapté (G9).

Conclusion : Les ITEs linéaires permettent aux agriculteurs de faire progressivement évoluer une nouvelle pratique. Pour autant, très peu de branches expérimentales parallèles sont émises avec ce type d'itinéraire : la pratique reste généralement cantonnée à une seule culture de la rotation. Dans le paragraphe suivant, nous décrirons les ITEs arborescents qui montrent au

contraire des processus d'expérimentation plus fertiles : la pratique peut être expérimentée sous diverses modalités à la fois mais surtout se répandre sur d'autres entités du système de culture.

3.3.1.2 Itinéraire d'expérimentation arborescent

L'ITE arborescent présente une intensité expérimentale moyenne supérieure à 1, en médiane à 1,3 SE/an (1,5 en moyenne) avec un nombre de SEs relativement important, 10 (10,7 en moyenne), ce qui tranche avec l'ITE linéaire. La durée est aussi supérieure à l'ITE linéaire, se situant à 6 ans (7,8 en moyenne). L'intensité assez forte s'explique par l'émission, au bout de quelques années, de nouvelles branches expérimentales, jusqu'à 9 branches (4 en médiane et 4,6 en moyenne), qui marque un investissement conséquent de la part de l'agriculteur dans sa recherche. Cet investissement est croissant.

Nous avons choisi de présenter deux exemples d'ITEs arborescents assez contrastés. Le premier ITE (Figure 4.9) est relativement simple. A partir d'une branche principale, deux nouvelles branches sont émises puis celles-ci évoluent quasiment indépendamment l'une de l'autre. Dans le deuxième cas (Figure 4.10), l'émission de ces nouvelles branches permet à l'agriculteur d'explorer des pratiques et de produire des connaissances qu'il mobilise ensuite dans les autres branches. Autrement dit, il conçoit de nouvelles SEs grâce aux résultats issus de plusieurs branches expérimentales.

3.3.1.2.a Exemple 1 : ITE arborescent avec branches indépendantes (Figure 4.9)

Ce premier ITE est réalisé par CG, maraîchère en agriculture biologique. L'ITE porte sur le biocontrôle sous tunnel, en réponse à des attaques de ravageurs aériens (acariens, pucerons).

Branche principale : gestion des acariens par auxiliaires biologiques

Sur la ferme, l'accès à l'irrigation est très limité donc l'arrosage se fait entièrement par goutte à goutte. Cette contrainte est responsable de la sécheresse de l'atmosphère et favorise le développement d'acariens tétranyques, notamment sous tunnel. L'itinéraire trouve son origine dans une formation sur les auxiliaires de cultures à laquelle CG a assisté. En 2012, CG met en place pour la première fois une SE (G7) impliquant un lâcher d'auxiliaires. Ayant déjà eu une attaque d'acariens tétranyques très impactant sur concombres et aubergines l'année précédente, elle décide d'anticiper l'attaque en lâchant des auxiliaires spécifiques (*Amblyseius Californicus*) dans le tunnel de manière préventive. Au cours de la SE, l'agricultrice remarque que ces auxiliaires ne suffisent pas, l'attaque continue à croître et elle retrouve très peu des auxiliaires introduits dans le tunnel. Elle décide alors de faire un lâcher d'auxiliaires curatifs, avec des acariens prédateurs (*Phytoseilus Persimilis*). Les dégâts sur la culture sont importants mais l'attaque finit par être contrôlée. CG retrouve bien les individus de cette deuxième espèce.

L'année suivante, en 2013, CG met en place une nouvelle SE (G7). Pour améliorer le contrôle des bioagresseurs, elle décide de lâcher les auxiliaires plus tôt, que ce soit en préventif ou en curatif. Les auxiliaires curatifs sont en effet à nouveau nécessaires et sont lâchés avant la formation des toiles par les tétranyques. Comme l'année précédente, les auxiliaires apportés en préventif ne sont pas retrouvés, contrairement à ceux apportés en curatif. Mais l'attaque est régulée plus rapidement, les concombres et aubergines refont des feuilles saines plus tôt. CG relève toutefois un risque de confusion d'effets car la saison a été plus pluvieuse et donc moins favorable au développement des tétranyques. Dans les SEs suivantes (G7 puis G5), CG va tenter d'améliorer encore le contrôle des acariens en essayant notamment de changer certains paramètres pour que les auxiliaires *Amblyseius Californicus* se développent mieux et jouent leur rôle d'auxiliaire.

Elle va donc modifier l'ordre des lâchers, blanchir plus ou moins les tunnels pour diminuer la température, sans succès. Elle estime que ces acariens ne sont pas adaptés à ses conditions de culture sous tunnel. L'année suivante, en 2016, CG abandonne cette espèce et décide de lâcher deux fois des *Phytoseilus* à trois semaines d'intervalle (G4) car ceux-ci ont toujours été retrouvés lors des SEs précédentes. Les lâchers sont concluants sur aubergines et concombres, l'agricultrice estime avoir une pratique maintenant bien adaptée. Cependant, l'agricultrice remarque que les acariens tétranyques se développent sur les cultures de tomates, sur lesquels les *Phytoseilus* sont pourtant aussi lâchés. Elle apprend que les petits poils présents à la surface des feuilles de tomate gêneraient le déplacement des prédateurs. Ainsi, elle envisage de mettre en place une nouvelle SE en 2017 en équipant le tunnel accueillant les tomates avec l'aspersion, qui est un moyen de lutte recommandé contre ces acariens. Ainsi, sur la branche expérimentale principale, après 6 années d'expérimentation du lâcher d'auxiliaires biologiques contre les acariens, une stratégie est validée sur concombre et aubergine et adoptée à plus large échelle ; une autre stratégie est expérimentée pour les cultures de tomate, basée sur la régulation de l'hygrométrie du tunnel.

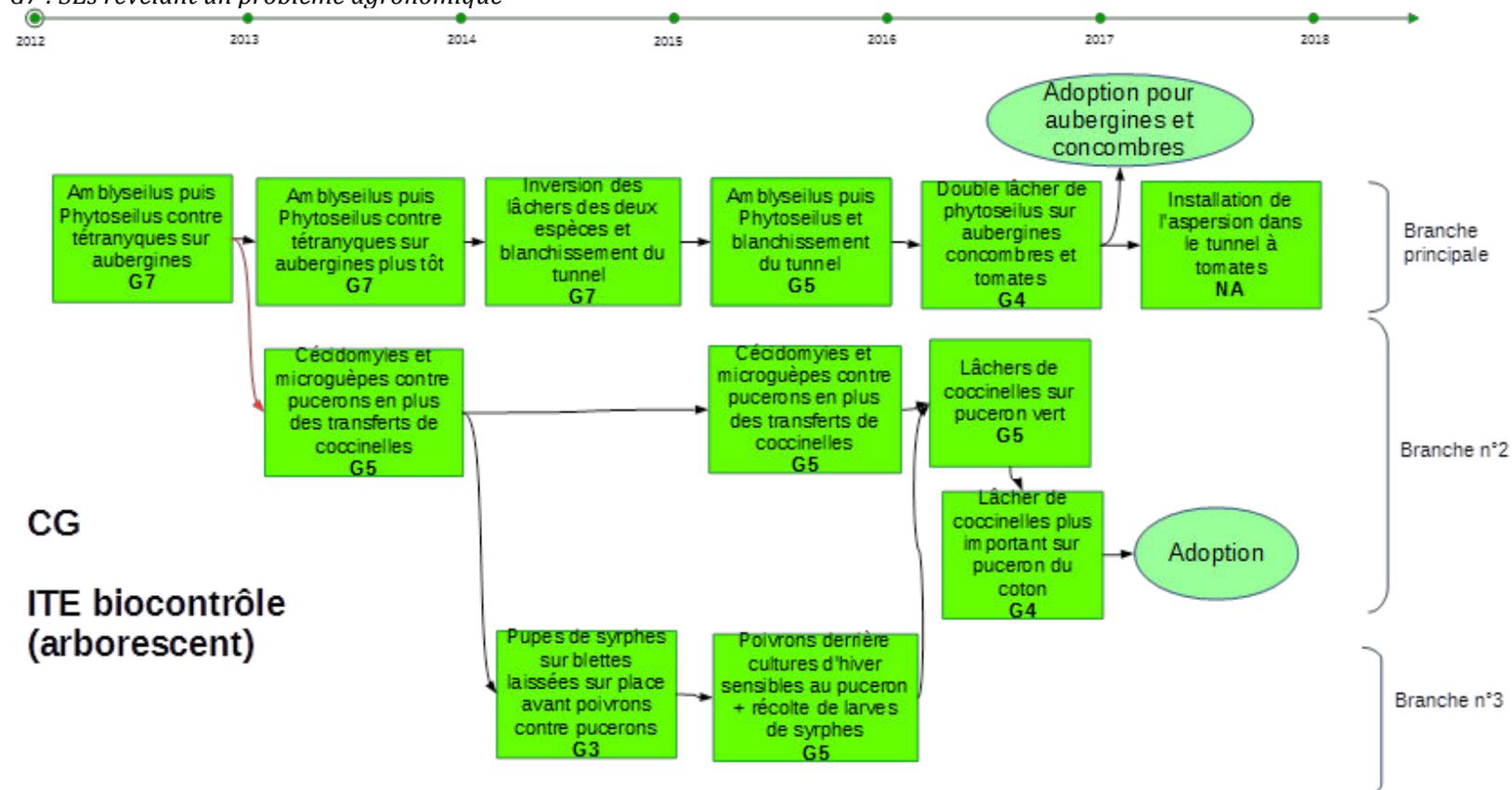
Figure 4.9: Exemple d'ITE arborescent n°1 en biocontrôle

G3 : SEs transposant une pratique expérimentée précédemment

G4 : SEs avec modifications mineures ou uniquement répétition de la pratique expérimentée dans la SE précédente

G5 : SEs avec modifications mineures permettant d'améliorer la maîtrise et la compréhension de la pratique

G7 : SEs révélant un problème agronomique



Branche expérimentale n°2 : gestion des pucerons par auxiliaires biologiques

Après avoir expérimenté pendant une année seulement contre les tétranyques (branche principale), une deuxième branche expérimentale est émise en 2013 et repose sur l'emploi d'auxiliaires contre le puceron. Ainsi, la pratique des lâchers d'auxiliaires est transférée à un autre couple auxiliaire-ravageur. CG est confrontée à une attaque importante de pucerons sur concombres et courgettes. Alors qu'elle avait l'habitude de transférer dans les tunnels des coccinelles 7 points qu'elle récoltait occasionnellement sur sa ferme pour prédater les pucerons, elle estime que l'attaque de 2013 est trop importante. Elle crée une SE (G5) en testant un lâcher inondatif de cécidomyies et des microhyménoptères (auxiliaires fournis ensemble par la Coopérative). Elle retrouve peu de cécidomyies et aucun microhyménoptère. Plusieurs plants finissent par mourir. Elle relativise les résultats par rapport au printemps qui a été relativement froid, ce qui aurait freiné le développement des auxiliaires. CG remarque aussi que les larves de coccinelles deviennent très nombreuses, jusqu'à 5 larves par feuilles, sans pour autant pouvoir réguler l'attaque rapidement. Deux années plus tard, en 2015, CG est à nouveau confrontée à un début d'attaque important de pucerons sur courgettes et concombres. Elle décide de réitérer l'expérience avec les mêmes auxiliaires (G5). Le déroulement est sensiblement le même. A nouveau les larves de coccinelles transférées sont présentes en forte densité en fin d'attaque. Le printemps n'était cette fois pas particulièrement froid et CG pense alors qu'il peut y avoir concurrence entre les coccinelles et les auxiliaires lâchés. Son hypothèse est que les coccinelles consomment en priorité les pucerons parasités car ils se déplacent moins. La coopérative n'est pas en mesure de lui confirmer son hypothèse. Après ces deux échecs, en 2016, CG procède autrement. Comme les coccinelles 7 points se développent sous ses tunnels et finissent par juguler l'attaque (bien qu'après beaucoup de pertes), CG va contre les recommandations de la coopérative et commande exclusivement des coccinelles (G5). CG lâche 250 larves (coccinelle 2 points, *Adalia bipunctata*) sous le tunnel des concombres, salades et aubergines. Son objectif est d'avoir rapidement un nombre de larves de coccinelles plus conséquent pour réguler le développement des pucerons que ce qu'elle avait précédemment avec les coccinelles naturellement trouvées sur sa ferme. Cette fois, les foyers de pucerons sont maîtrisés et les résultats sont satisfaisants. Une deuxième attaque de pucerons a lieu un peu plus tard dans la saison. Alors qu'il s'agissait précédemment d'une attaque de pucerons verts, cette fois ce sont des pucerons noirs du coton (*Aphis gossypii*), dont le développement est plus rapide. CG renouvelle l'expérimentation (G4) en lâchant 1000 larves. Les pucerons sont à nouveau contrôlés sans occasionner de dégâts importants sur les cultures. Dans cette branche sur le contrôle des pucerons, CG change d'agent biologique plus rapidement que sur la branche principale pour les acariens. Il est possible que sa décision de changer d'auxiliaires pour gérer les acariens la même année (cf branche principale) l'ait incitée à aussi essayer rapidement un autre auxiliaire qui semblait plus intéressant sur la branche secondaire, mais ce lien n'a pas été exprimée par l'agricultrice.

Branche expérimentale n°3 : gestion des pucerons par d'autres auxiliaires biologiques

Enfin, une troisième branche expérimentale est émise à l'hiver 2014 à partir de la deuxième. Elle porte toujours sur le contrôle du puceron mais repose sur d'autres auxiliaires et sur une réflexion en termes de précédent cultural. CG remarque que les blettes sont beaucoup attaquées par les pucerons verts, malgré la présence de larves de syrphes qui sont des prédatrices de ces pucerons. S'inspirant de ses collectes de coccinelles et sachant que les poivrons qui vont suivre les blettes sont aussi sensibles au puceron, CG décide de laisser sur place les larves de syrphes

lorsqu'elle récolte les blettes en laissant au sol des feuilles porteuses de larves (G3). La culture de poivron suivante n'est effectivement pas attaquée par le puceron vert. Cependant, CG ne retrouve ni larves, ni adultes de syrphes. L'agricultrice remarque cependant que certains pucerons étaient parasités par un champignon et se transformait en moisissure grise. Ainsi, elle met en œuvre une nouvelle SE en 2015, jugeant le précédent blette comme une culture intéressante pour contrôler les pucerons verts avant concombre en pariant à la fois sur les syrphes et le champignon parasite. Dans cette SE, ce sont plutôt les salades qui sont attaquées par les pucerons que les blettes. CG collecte beaucoup de larves de syrphes lors du lavage des salades qu'elle relâche sous tunnel (G5). Cependant, les populations de pucerons ne sont contrôlées par aucun des agents qu'elle imaginait et elle conclut qu'ils ne sont pas suffisants face à ces bioagresseurs. Ainsi elle mettra en œuvre une nouvelle SE avec des coccinelles (voir branche expérimentale précédente).

En résumé, dans cet ITE, la branche principale est longue et plusieurs modifications de pratiques sont expérimentées de manière progressive, permettant peu à peu d'améliorer le contrôle des acariens. Deux branches expérimentales sont émises pour d'autres cultures, bioagresseurs et auxiliaires, où il s'agit d'adapter le principe de biocontrôle déjà expérimenté avec les acariens. Les SEs développées par CG au cours de son ITE appartiennent beaucoup au groupe 5 (SE améliorant la maîtrise et la compréhension de pratiques agroécologiques). En effet, ces SEs lui permettent surtout d'améliorer sa compréhension des auxiliaires, des conditions permettant ou non leur développement, des interactions potentielles entre espèces d'auxiliaires. Si les résultats ne sont pas forcément satisfaisants, cela lui permet par la suite de trouver des pratiques plus adaptées à son contexte (tunnel sans aspersion), notamment dans le choix des espèces employées. Les interactions restent toutefois limitées entre branches expérimentales.

3.3.1.2.b Exemple 2 : ITE arborescent avec interactions entre branches (Figure 4.10)

Nous décrivons maintenant un ITE arborescent réalisé par NT, un paysan-boulangier bio. L'ITE porte sur l'introduction de couverts végétaux en grandes cultures. Le parcellaire de la ferme est divisé en deux grands lots avec deux rotations différentes. La première peut recevoir l'irrigation et est assez longue : [Maïs/tournesol – Soja – Blé – Maïs/tournesol – Soja – Blé – Luzerne 3 ans]. Le maïs et le soja sont parfois supprimés de la rotation car NT ajuste son assolement pour avoir chaque année une sole de blé minimale pour la boulangerie. Il arrive donc de trouver des successions culturales [Blé-Soja] ou [Maïs-Blé] sur certaines parcelles. Une culture d'oignon et plus récemment d'ail peuvent aussi être plantées avant une culture de blé. Le deuxième lot de parcelles est non irrigué. La rotation est relativement simple : [Blé-Blé- Luzerne-Luzerne]. L'ITE porte essentiellement sur la première rotation. Il démarre en 2009 par la mise au point de la pratique des couverts végétaux pendant l'interculture entre blé et maïs (ou tournesol), la vesce est expérimentée jusqu'en 2013 en avançant progressivement la date de semis. A partir de 2013, la pratique des couverts végétaux évolue dans plusieurs directions. La branche expérimentale principale se poursuit en optimisant la date de semis et les espèces utilisées. Deux branches sont émises et transposent à d'autres cultures la pratique du couvert végétal : avant légumineuse de printemps (branche n°2) et avant blé d'hiver (branche n°3). L'agriculteur trouve en effet un intérêt fort à introduire un couvert végétal en interculture et les surfaces où la pratique des couverts végétaux est mise en œuvre augmentent notamment grâce à sa déclinaison en différents moments de la rotation : entre blé et maïs, blé et soja, oignon et blé.

Branche principale : introduction d'un couvert végétal de vesce avant tournesol/maïs

La branche expérimentale principale correspond à la découverte et à l'optimisation d'une interculture entre blé et tournesol/maïs. NT commence à construire son itinéraire d'expérimentation sur les couverts végétaux en 2009. Pour réduire les coûts d'achat et de transport du fumier, il crée une SE portant sur les couverts végétaux. NT choisit d'utiliser de la vesce, une légumineuse, pour sa capacité de fixation d'azote. Il réalise une estimation chiffrée d'un apport de 90 u N /ha et découvre aussi que la vesce a eu un effet sur la structure du sol et l'a rendue meuble. NT adopte alors cette pratique et la met en œuvre de la même manière jusqu'en 2011. Les SEs suivantes caractérisent une phase d'optimisation du couvert. Les deux premières SEs visent à rapprocher la date de semis du couvert de vesce de la moisson du blé pour profiter de la chaleur et de l'ensoleillement plus longtemps et donc pour faciliter le développement du couvert. Ainsi, en 2012, NT décide de semer non plus fin Août mais début Août (G4) et obtient un résultat conforme à ses attentes. L'année suivante, il poursuit sa logique et décale la date de semis à fin Juillet (G5). En 2014, NT met en place une SE sur un couvert végétal avant un maïs en changeant d'espèce : il n'expérimente plus la vesce mais la luzerne. NT a l'habitude d'implanter la culture de luzerne en la semant dans le blé au mois de Mars. Comme la luzerne se développe plus lentement que la vesce, NT a l'idée de compenser en profitant des quelques mois de pousse supplémentaires offerts par un semis dans la culture de blé. L'avantage de ce type de semis par rapport à l'implantation d'une vesce est de supprimer un travail de déchaumage. NT décide aussi de réaliser une comparaison simultanée avec une culture de maïs qui suit une luzerne de 3 ans. Une partie de la parcelle en couvert de luzerne est plus sableuse et NT y ajoute du fumier (G9). Les rendements en maïs sont équivalents sur les 2 modalités et sur le témoin de luzerne qui a 3 ans. NT est satisfait de ce résultat. Cependant, en 2015, NT met en place une nouvelle SE (G5) en revenant à la vesce et en y associant deux autres espèces : le seigle et la féverole. La féverole est en particulier choisie pour tuteurer la vesce tout en ayant un fort pourcentage de légumineuse dans le mélange. A nouveau, l'agriculteur sème très tôt (proche du 15 Juillet). Il observe que les adventices d'été se développent de manière importante, favorisés pas le déchaumage et le semis plus précoce. NT décide alors de réaliser un broyage pour éviter la montée en graines des adventices. Il découvre que le couvert repart et se développe de manière satisfaisante car, à l'inverse, très peu d'adventices repartent. L'agriculteur constate également que le rendement en maïs est très satisfaisant (115 qtx). Cependant la féverole est trop peu dense pour jouer un rôle de tuteur. En 2016, faute de temps, NT se contente de faire une interculture de vesce pure semée tôt.

Branche n°2 : introduction d'un couvert végétal avant soja

La deuxième branche expérimentale commence en 2014, NT met en place une SE sur une interculture blé-soja. Cette SE (G3) consiste en la transposition de la pratique expérimentée dans la branche principale dans un contexte légèrement différent. Le soja étant une légumineuse, NT décide de composer le couvert en majorité avec du seigle et de l'associer avec de la vesce. L'objectif premier est surtout de ne pas laisser le sol nu car il y a associé certains avantages grâce à ses SEs précédentes sur la vesce pure (amélioration de la structure du sol notamment). NT va cependant découvrir que le soja bénéficie de l'effet du couvert et lui permet d'atteindre un rendement élevé de 47 qtx. Il réitère l'emploi de seigle-vesce dans une interculture en 2016 (voir partie infra sur les interactions entre branches).

Branche n°3 : introduction d'un couvert végétal avant blé

La troisième branche expérimentale commence en 2015. Comme précédemment, NT expérimente une interculture dans une autre position dans la rotation, cette fois entre oignons et blé. NT profite de la parcelle accolée, qui sera aussi en blé mais derrière un maïs, pour comparer le développement du blé entre un précédent vesce et un précédent maïs (G10). A l'issue de la SE, NT estime une différence de rendement de plus de 20 quintaux entre les deux modalités de blés en faveur du précédent la vesce. S'il évoque le risque de confusion d'effet avec les reliquats de fertilisation des oignons, NT estime prometteur l'emploi d'un couvert végétal à base de vesce avant une culture de blé au vu de la différence de rendement obtenue. Ainsi, il met en place une nouvelle SE l'année suivante avec une vesce entre deux blés dans l'optique de voir s'il serait intéressant de réaliser cette succession culturale et donc, à terme, de modifier la rotation dans le système de culture non irrigué. Celui-ci comporte en effet beaucoup de luzerne et introduire une interculture de légumineuse pourrait permettre de réduire la part de luzerne au profit du blé sans trop pénaliser le rendement.

Des interactions entre branches expérimentales

Contrairement à l'exemple précédent d'ITE buissonnant de CG sur le biocontrôle, l'ITE de NT est marqué par l'interaction entre branches expérimentales principale et secondaires. Une pratique transversale aux trois branches est expérimentée. En 2014, l'intérêt de pouvoir semer une luzerne dans une culture de blé (branche principale) interroge l'agriculteur sur la possibilité de procéder de même avec la vesce. D'une part cela permettrait de semer encore plus tôt la vesce et donc potentiellement d'améliorer encore son développement. D'autre part, cela permettrait de réduire les coûts d'implantation. Enfin, suite à la SE de 2015 sur la branche n°3, NT s'est fait la réflexion de l'intérêt réaliser une interculture entre deux blés. L'idée est donc de semer une interculture de vesce dans le blé. N'ayant pas de successions culturales blé-blé en 2016, NT décide d'expérimenter un mélange seigle-vesce dans du blé avant soja dans la branche secondaire (G7), qui s'appuie sur les résultats acquis dans la branche principale. NT rencontre un problème de levée. En effet, de peur que la vesce ne monte trop haut dans le blé, la date de semis est décalée à Avril. NT passe la herse étrille pour tenter d'enterrer la graine mais le couvert ne lève pas. Il estime que la graine de vesce est trop grosse et nécessite d'être plus enterrée. La SE est stoppée car l'agriculteur décide de passer le déchaumeur et de ressemer un couvert classiquement. En 2017, il mobilise ces résultats dans une SE mise en place sur la 3^e branche expérimentale. NT cherche à voir quelle interculture est la plus intéressante entre deux blés en comparant deux modalités. Semer la vesce dans le blé est compliqué car l'agriculteur n'a pas d'outils adéquats pour mieux enterrer la graine. Un passage de rouleau endommagerait trop le blé à ce stade. Il décide donc de mettre en place une modalité de vesce semée après blé, relativement classique et conforme à ce qu'il fait depuis 2009. Pour autant, l'idée de gagner des mois de pousse en semant dans le blé n'est pas écartée. Même si la SE de la première branche a montré un intérêt du couvert de luzerne sur le maïs suivant, NT estime que la luzerne pousse trop lentement pour avoir un effet sur le blé suivant. NT choisit d'utiliser le trèfle violet, une espèce que des agriculteurs voisins utilisent en couvert d'été. Le trèfle violet monte moins haut que la vesce, donc peut être semé plus tôt (début Mars), ce qui autorise un passage de rouleau à ce stade de développement du blé pour rappuyer la graine. De plus, la graine de trèfle est petite, cela permet de moins l'enterrer.

Figure 4.10: Exemple d'ITE arborescent n°2 sur les couverts végétaux

G3 : SEs transposant une pratique expérimentée précédemment

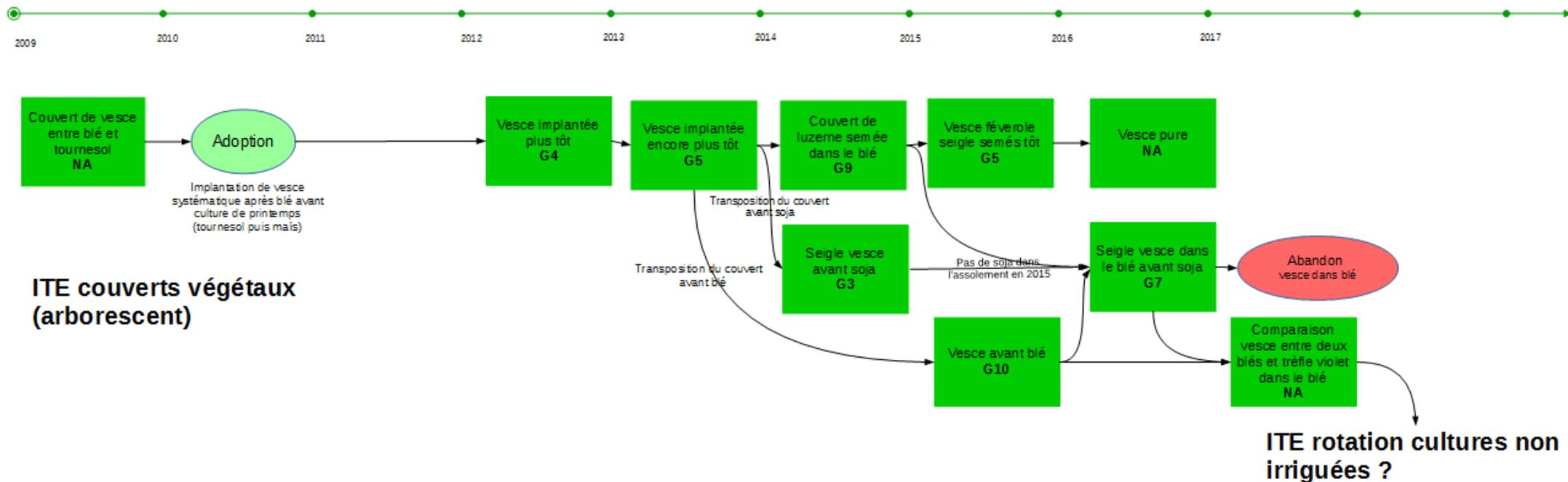
G4 : SEs avec modifications mineures ou uniquement répétition de la pratique expérimentée dans la SE précédente

G5 : SEs avec modifications mineures permettant d'améliorer la maîtrise et la compréhension de la pratique

G7 : SEs révélant un problème agronomique

G9 : SEs comparant deux modalités ou plus d'une pratique

G10 : SEs comparant la nouvelle pratique expérimentée à une pratique de référence pour l'agriculteur



En résumé, l'ITE arborescent de NT possède une branche expérimentale principale sur l'interculture (notamment de vesce) entre blé et maïs marquée par une optimisation de la date de semis. Des branches expérimentales sont émises pour adapter la pratique à d'autres endroits de la rotation. À la différence de CG, les interactions entre branches expérimentales sont ici importantes. L'exemple le plus parlant concerne l'expérimentation de couverts végétaux semés dans le blé. NT expérimente l'idée de semer un couvert pendant la culture de blé. Cette pratique n'est expérimentée qu'une fois sur les deux premières branches car nous pouvons supposer qu'elle présente moins d'intérêt par rapport au risque d'échec actuel. A l'inverse, l'interculture entre deux blés aurait trop peu de temps pour se développer si elle était semée après moisson, ce qui justifie d'essayer le semis dans le blé à cet endroit de la rotation.

Conclusion : Les ITEs arborescents montrent donc comment l'expérimentation d'une thématique agroécologique commence avec une pratique située à un moment précis de la rotation. L'intérêt de la pratique est découvert au bout de quelques SEs et les agriculteurs expérimentent ensuite des variantes de cette pratique à d'autres moments de leur rotation qui n'avaient pas été anticipés au départ. Mais ils peuvent aussi se lancer dans l'expérimentation d'une thématique agroécologique sur plusieurs pratiques à la fois lorsque leur potentiel est rapidement perçu, ce qui correspond aux ITE buissonnants.

3.3.1.3 Itinéraire d'expérimentation buissonnant

L'ITE buissonnant a une forte intensité expérimentale, 2 SEs/an (2,1 en moyenne), et comporte un nombre important de SEs, 11 (9,5 en moyenne). Il est cependant moins long que l'ITE arborescent, puisqu'il ne dure que 4,5 ans (4,8 en moyenne). De plus, il est caractérisé par la présence de nombreuses branches expérimentales, 6 (5 en moyenne). S'il a des caractéristiques communes à l'ITE arborescent, il s'en distingue par sa forte intensité expérimentale ainsi que par des constructions de branches expérimentales en parallèle dès le début d'ITE. Certaines branches indépendantes peuvent être rapidement arrêtées (adoption ou abandon d'une pratique) tandis que d'autres se développent plus longtemps. Ce type d'ITE semble découler de la découverte par l'agriculteur de la richesse d'une thématique agroécologique (couverts végétaux ou biocontrôle par exemple)⁹. Ainsi, l'agriculteur ayant ce type d'ITE expérimente de manière relativement rapide plusieurs SEs sur différentes branches expérimentales mais correspondant à une thématique nouvelle commune. Ces SEs peuvent être différentes positions de la rotation et/ou porter sur des pratiques différentes dans la même position.

⁹ ce qui n'empêche pas que d'autres agriculteurs aient des ITE plus simples sur ces mêmes thématiques

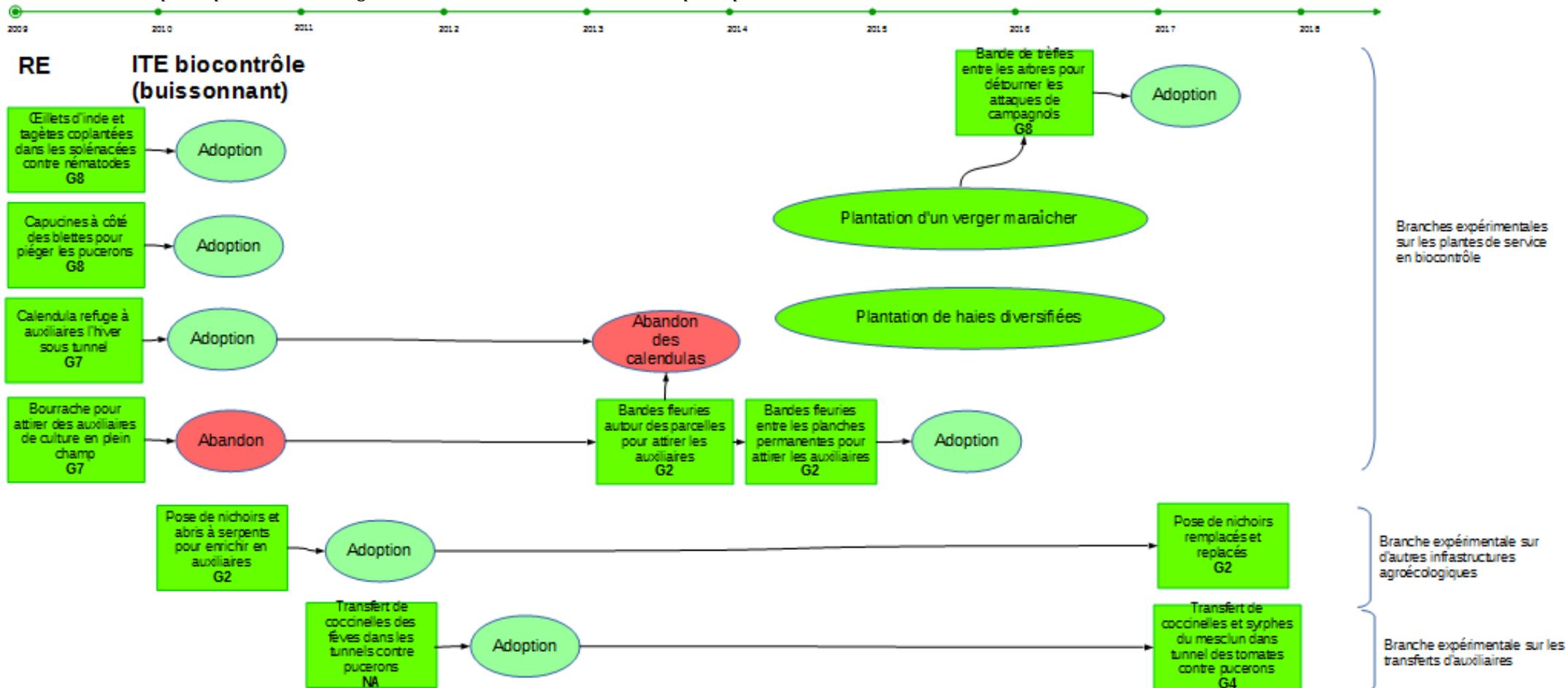
Figure 4.11: Exemple d'ITE buissonnant

G2 : SEs portant sur le coût ou le gain de temps de la pratique

G4 : SEs avec modifications mineures ou uniquement répétition de la pratique expérimentée dans la SE précédente

G7 : SEs révélant un problème agronomique

G8 : SEs de rupture permettant à l'agriculteur de découvrir une nouvelle pratique intéressante



La Figure 4.11 présente l'ITE buissonnant d'un maraîcher en agriculture biologique, RE, qui découvre suite à des lectures et surtout à une formation sur la biodiversité fonctionnelle les techniques de biocontrôle par auxiliaires biologiques et grâce à des plantes de service, sous tunnel et en plein champ. Au total, 7 branches expérimentales vont être développées dont certaines en parallèle.

Cinq branches expérimentales sur les plantes de service

Dès la première année de l'ITE, 4 SEs sur des plantes de service différentes sont mises en place, correspondant chacune à une branche expérimentale. Elles reposent sur deux types de logiques : implantation sous tunnel de plantes pièges à ravageurs ou de plantes refuges à auxiliaires. Les œillets d'indes et une autre espèce de tagètes sont complantés avec les tomates pour lutter contre les nématodes sous tunnel (G8). Des capucines sont expérimentées à côté des blettes pour piéger une partie des pucerons (G8). Sous tunnel, l'agriculteur expérimente aussi des calendulas au milieu des cultures pour attirer les auxiliaires et les héberger l'hiver (notamment *Macrolophus*). Enfin, en plein champ, RE expérimente une autre plante, la bourrache, pour héberger des auxiliaires. Les deux premières branches expérimentales sur l'introduction de capucines et d'œillets d'inde/tagetes donnent des résultats satisfaisants et RE adoptera dès l'année suivante ces pratiques, mettant un terme à ces branches. Concernant la troisième branche expérimentale, pour des questions d'organisation des cultures dans les tunnels, les calendulas doivent être détruits pendant l'hiver pour retravailler la planche de maraîchage ce qui met fin à leur potentiel de refuge à auxiliaires (G7). Cependant l'agriculteur remarque que ces plantes attirent un nombre important d'auxiliaires en cours de culture, notamment des syrphes, qui sont utiles pour les cultures commerciales. Ainsi l'agriculteur adopte aussi cette pratique dès la première SE de la branche expérimentale et pendant quelques années. Pour la quatrième branche, en plein champ, les bourraches sont jugées trop compétitives avec les choux et RE décide d'abandonner cette pratique (G7). Mais trois ans plus tard, en 2013, il découvre des semences pour bandes fleuries dans un catalogue et expérimente ces bandes en plein champ, tout autour de la surface dédiée au maraîchage (G2); il constate que les nouvelles bandes fleuries offrent beaucoup de refuges. Cette pratique est beaucoup plus rapide que la réalisation de plants de bourraches mais aussi de certaines plantes de service sous abri et plus facile à gérer car les plantes de services ne sont pas sur les planches de maraîchage. Cela explique l'abandon de la complantation de calendulas sous tunnel, pratique coûteuses en temps et complexe à gérer. L'année suivante, en 2014, l'agriculteur améliore sa pratique des bandes fleuries et les expérimente en les intercalant entre des planches de maraîchage sur les lignes d'irrigation, ce qui lui permet de gagner du temps de désherbage sur ces lignes tout en favorisant la présence d'auxiliaires en cœur de parcelle (G2). Une cinquième branche démarre en 2016. L'agriculteur ayant installé une parcelle en agroforesterie (arbres fruitiers et planches de maraîchage), il démarre alors une SE pour gérer les attaques de campagnols, en installant du trèfle au pied des arbres fruitiers pour détourner ces ravageurs (G8) puis adopte cette pratique.

Une branche expérimentale sur d'autres infrastructures agroécologiques

En 2010, l'agriculteur expérimente des abris pour des auxiliaires vertébrés (oiseaux, serpents) sur sa ferme et constate une occupation rapide des nichoirs par les mésanges (G2). En 2017, l'arrivée d'un nouvel associé naturaliste le conduit à expérimenter la pose de nichoirs mieux placés pour accueillir d'autres espèces d'oiseaux (G2).

Une branche expérimentale sur les transferts d'auxiliaires

En 2011, l'agriculteur expérimente un transfert de coccinelles depuis des fèves de plein champ sur des cultures sous tunnel pour lutter contre les pucerons et adopte cette pratique. En 2017, RE améliore ce transfert et réalise un transfert d'auxiliaires constitué pour partie de coccinelles mais aussi de larves de syrphes depuis du mesclun vers les tomates sous tunnel pour contrôler les pucerons (G4).

En résumé, l'ITE buissonnant de RE démarre par plusieurs découvertes de pratiques qui sont adoptées assez rapidement (SEs du groupe G8). A l'inverse, la branche expérimentale sur les plantes de service en plein champ se développe pendant plusieurs années et permet à l'agriculteur de gagner du temps d'implantation et de l'efficacité (SEs du groupe 2). Ces différentes branches sont conduites en parallèles sans interagir entre elles, mais elles donnent néanmoins satisfaction à l'agriculteur : il estime que la combinaison des différentes pratiques qu'il a expérimentées et adoptées lui a permis d'atteindre une biodiversité importante responsables de nombreuses régulations biologiques. Il se trouve maintenant beaucoup moins confronté à des attaques de bioagresseurs.

Conclusion : Les ITEs buissonnants partagent la même caractéristique que les ITEs arborescents : plusieurs branches expérimentales coexistent. Cependant, plusieurs branches expérimentales démarrent en même temps quitte à en abandonner certaines rapidement. L'agriculteur expérimente une diversité de pratiques ou de variantes pour chaque pratique, autour d'une même thématique agroécologique qui semble très prometteuse. Il ne continue à expérimenter que les plus intéressantes. Si les branches expérimentales de l'ITE de RE sont souvent très courtes (1 SE) et interagissent peu entre elles, ce n'est pas le cas de tous les ITEs buissonnants (voir l'ITE de TC sur les couverts végétaux en Annexe 8 par exemple).

Ces trois premiers types d'ITEs montrent un investissement important de l'agriculteur (au moins 1 SE par an et potentiellement beaucoup plus ponctuellement). Le quatrième type d'ITE montre au contraire un investissement moindre de la part de l'agriculteur dans l'expérimentation.

3.3.1.4 Itinéraire d'expérimentation à faible investissement

Les ITEs à faible investissement sont caractérisés par une faible intensité expérimentale moyenne de 0,5 SE/an en médiane (0,6 en moyenne). Chaque SE conduit rapidement à un abandon de la pratique expérimentée ou à son adoption, sans que l'agriculteur ne cherche à améliorer sa pratique ou à la valider sur plusieurs années. Les ITEs à faible investissement sont donc constitués de peu de SEs (4 SE en médiane et 3,6 en moyenne) mais peuvent s'étaler sur un nombre d'années important. Les liens entre les SEs sont plutôt faibles, les SEs s'inscrivent avant tout dans une même thématique agroécologique. Dans ce type, nous distinguons deux cas de figure : les ITEs à faible investissement s'étendent soit sur une durée assez longue (jusqu'à 13 ans) avec une très faible intensité expérimentale moyenne (moins de 0,5 SE/an), soit sur un temps très court avec un très faible nombre de SEs (2 SEs) au bout desquels ils s'arrêtent mais avec une intensité expérimentale moyenne plus proche de 1.

Deux exemples d'ITE à faible investissement sont présentés dans la Figure 4.12, qui illustrent les deux cas précédents, le premier en grandes cultures et le second en maraîchage.

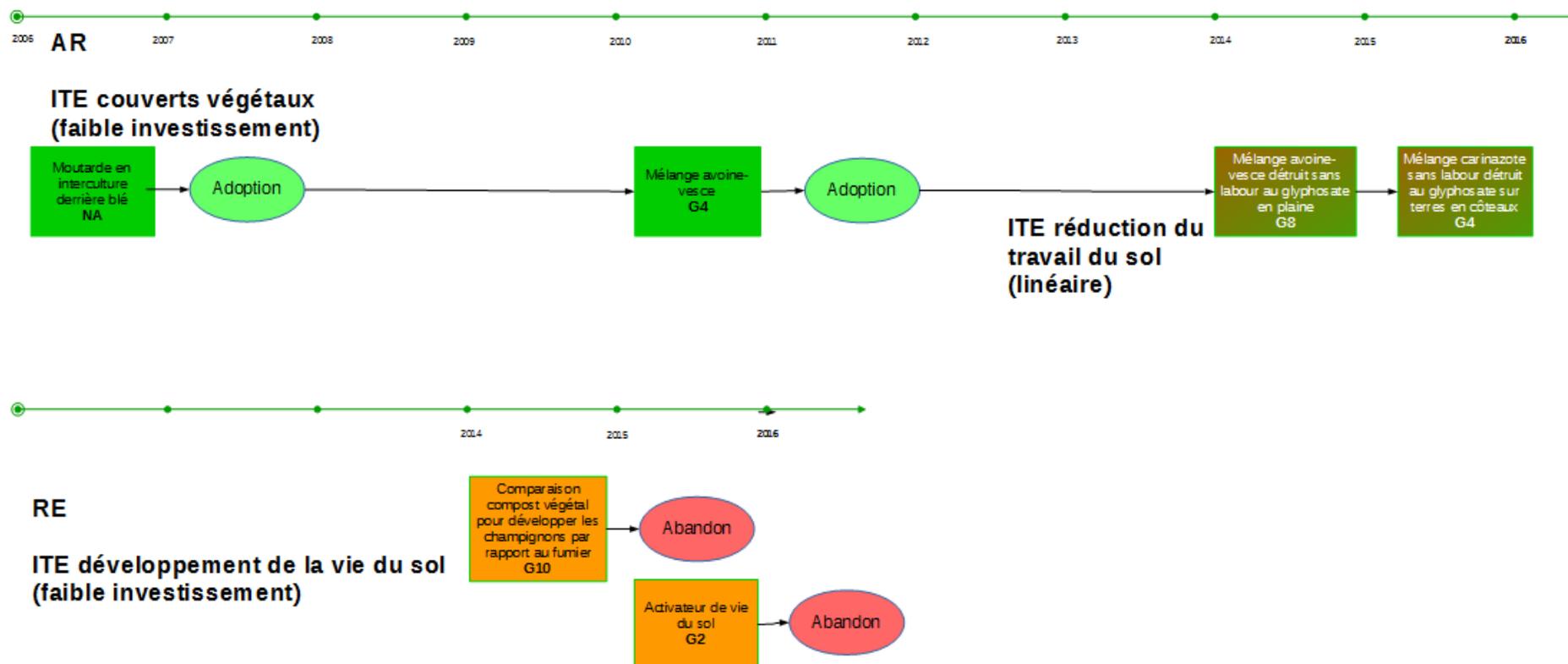
Figure 4.12: Exemples d'ITEs à faible investissement

G2 : SEs portant sur le coût ou le gain de temps de la pratique

G4 : SEs avec modifications mineures ou uniquement répétition de la pratique expérimentée dans la SE précédente

G8 : SEs de rupture permettant à l'agriculteur de découvrir une nouvelle pratique intéressante

G10 : SEs comparant la nouvelle pratique expérimentée à une pratique de référence pour l'agriculteur



3.3.1.4.a Exemple 1 : ITE à faible investissement sur les couverts végétaux

Cet exemple correspond à un itinéraire dont l'intensité expérimentale moyenne est faible. AR cultive des grandes cultures, avec une rotation [Tournesol - Blé - Maïs - Maïs/blé - Blé - Colza]. Il commence en 2006 son ITE d'introduction des couverts végétaux en expérimentant un couvert de moutarde entre blé et maïs pour piéger les nitrates, car il se situe sur une zone de captage d'eau potable. Cette pratique est adoptée dès la première année pour les intercultures entre blé et maïs et une nouvelle expérimentation n'aura lieu que quatre ans plus tard, basé sur un mélange d'autres espèces. Plusieurs raisons sont avancées par l'agriculteur : le couvert de moutarde pur est parfois difficilement détruit ; plusieurs passages d'outils sont nécessaires. De plus, AR a découvert chez un agriculteur bio des couverts incluant de la vesce qui peuvent, en plus de faire office de piège à nitrates, fixer de l'azote atmosphérique. AR redémarre alors une activité d'expérimentation en 2010 et expérimente son premier couvert d'avoine-vesce pour améliorer sa pratique (G4). Ce type de couvert est adopté dès la première année. A nouveau, quatre années s'écoulent avant une nouvelle situation expérimentale. La création d'un GIEE et l'accompagnement par un bureau d'étude le fait avancer dans sa réflexion sur l'agriculture de conservation et l'incite à tester l'utilisation d'un outil de strip-till. Il expérimente alors sur une petite parcelle la destruction sans labour, uniquement chimique, du couvert d'avoine-vesce (G8) puis le passage de strip-till pour y implanter le maïs (voir ITE réduction du travail du sol en Annexe 8 pour plus de détails). Le développement du mélange est un peu décevant mais l'agriculteur est tout de même très intéressé par la technique du strip-till. Ainsi il participe à l'achat de l'outil au sein du GIEE et expérimente un nouveau couvert en 2015. Ce couvert est placé sur des terres en coteaux, plus sensibles à l'érosion. De plus l'année 2015 est relativement sèche et l'agriculteur décide d'expérimenter un couvert plus tolérant à la sécheresse, à base de moutarde et de trèfles (G4). Au final sur une période de 10 ans, il a conduit seulement 4 SEs, mais elles se sont traduites par des changements de pratiques importants sur l'exploitation.

3.3.1.4.b Exemple 2 : ITE à faible investissement sur les microorganismes du sol

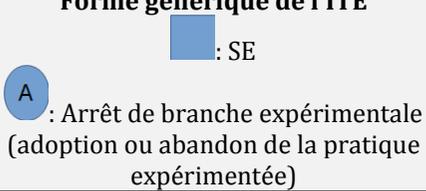
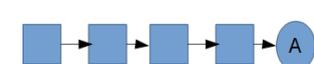
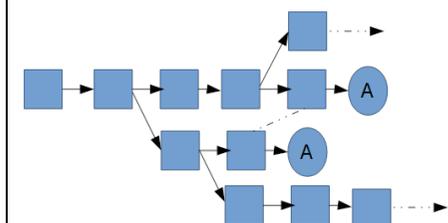
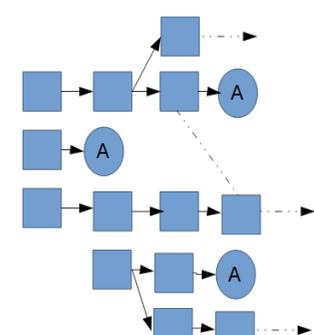
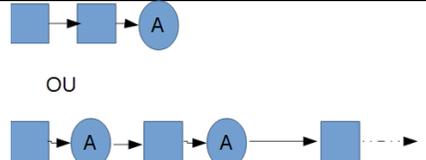
Il s'agit d'un ITE d'un maraîcher RE qui expérimente des pratiques d'apport de compost et d'activateur de sol pour accroître la vie du sol, notamment les microorganismes, aussi bien sous tunnel qu'en plein champ. Son ITE comporte seulement deux SEs, le maraîcher abandonne très vite les pratiques expérimentées. Dans une perspective de diversification des organismes du sol, RE expérimente en 2016 sur deux planches d'un tunnel un compost différent de celui qu'il a l'habitude d'employer. Il choisit un compost de déchets végétaux pour apporter plus de lignine au sol et favoriser les champignons qu'il sait être des acteurs majeurs de ce type de décomposition. Les autres planches du tunnel sont amendées comme d'habitude avec du fumier composté de chèvre (G10). RE constate que le compost de déchet vert évolue très peu (très peu de fragmentation et d'intégration dans le sol) et que les cultures se développent mal. Ainsi, il renonce dès l'année suivante à ce compost et revient au fumier composté. Pour autant, il expérimente en 2017 une autre piste en lien avec les microorganismes du sol (G2). Il teste des activateurs biologiques du sol (type Bactériosol ©) mais rencontre des difficultés au moment de l'épandage. Il constate des effets très limités sur le sol (structure légèrement moins tassée) et n'est pas certain de la cause (confusion d'effet possible). De plus le produit est relativement coûteux et l'agriculteur décide d'abandonner cette pratique dès l'année suivante. Cet itinéraire bref, centré sur l'introduction de produits (compost de déchets végétaux et activateur biologique), lui permet cependant de le conforter dans l'idée de recommencer des expérimentations pour développer la vie du sol, mais grâce à des couverts végétaux.

Conclusion : Les ITEs à faible investissement, bien que peu intensifs, sont décisifs pour les agriculteurs soit parce qu'ils savent très vite s'il faut ou non continuer avec cette thématique, soit parce qu'elle n'est pas prioritaire pour eux et est explorée par opportunisme.

3.3.2 Synthèse

Les principales caractéristiques des 4 types d'ITE identifiés sont synthétisées dans le Tableau 4-3. Une forme générique très simplifiée de l'ITE est présentée pour chaque type. L'intensité expérimentale moyenne, le nombre de SEs et le nombre de branches expérimentales augmentent depuis les ITEs à faible investissement jusqu'aux ITEs buissonnants. Par rapport aux ITEs linéaires, les ITEs arborescents sont plus complexes par émission de nouvelles branches expérimentales. Les ITEs buissonnants sont à la fois plus complexes par émission de nouvelles branches mais aussi par l'addition d'autres branches principales portant sur la même thématique agroécologique.

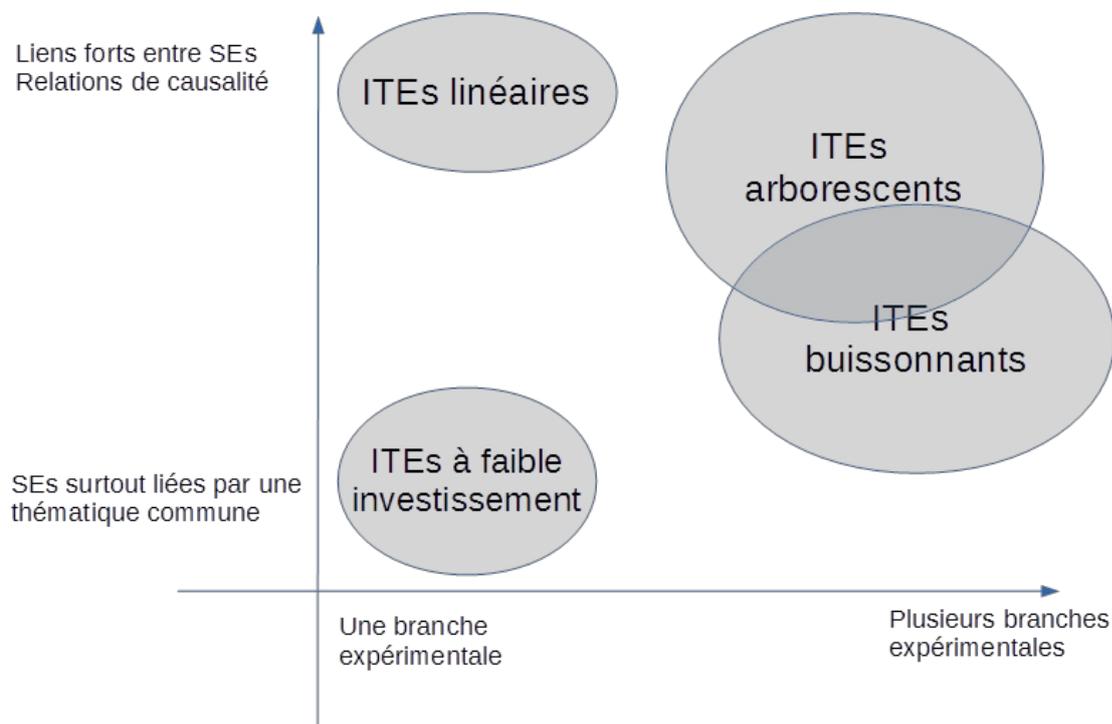
Tableau 4-3: Présentation synthétique des différentes formes d'ITE rencontrées. Pour chaque caractéristique quantitative, ce sont les valeurs médianes qui sont fournies.

Type d'ITE	Intensité expérimentale moyenne	Nombre de SE	Durée de l'ITE	Nombre de branches expérimentale et liens entre SEs	Forme générique de l'ITE 
Linéaire	Moyenne 1 SE/an	4 Au moins 3 SEs qui se suivent	4 ans	1 branche Liens forts entre SE. 1 SE par an qui s'appuie sur les résultats/observations des SEs précédentes.	
Arborescent	Assez forte 1,3 SEs/ an Intensité instantanée croissante	10 Au moins 4 SEs qui se suivent	6 ans	4 branches Une SE d'entrée puis émission de branches. Liens forts au sein des branches voire entre branches.	
Buisonnant	Forte 2 SEs/an Intensité instantanée stable voire décroissante	11 Au moins 3 SEs qui se suivent dont plusieurs une même année	4,5 ans	6 branches Différentes SEs de départ sur la même thématique avec liens faibles entre SEs, arrêt rapide de certaines branches. Liens intra branches forts.	
Faible investissement	Faible 0,5 SE/ an	2 SEs qui se suivent max Ou 4 SEs qui ne suivent pas	2 ans ou 10 ans	1 branche Liens faibles entre les SE. Pas d'émission de branches	

Les différences entre les types d'ITEs peuvent être représentés selon deux axes : l'intensité des liens entre SEs au sein de l'ITE et l'émission de nouvelles branches expérimentales (Figure 4.13 du fait de la dépendance à une branche expérimentale principale.

Figure 4.13). Les ITEs à faible investissement et linéaires sont moins étalés car ils ont moins de variabilité que les deux autres concernant le nombre de nouvelles branches expérimentales émises mais aussi concernant les liens entre SEs. ITEs arborescents et buissonnants se recoupent car ils sont plus proches entre eux que les ITEs linéaires et à faible investissement en termes de liens entre SEs. Les liens entre SEs sont faibles en début d'ITE buissonnant mais se créent par la suite au sein des branches tandis que les SEs des ITEs arborescents ont des liens plus forts du fait de la dépendance à une branche expérimentale principale.

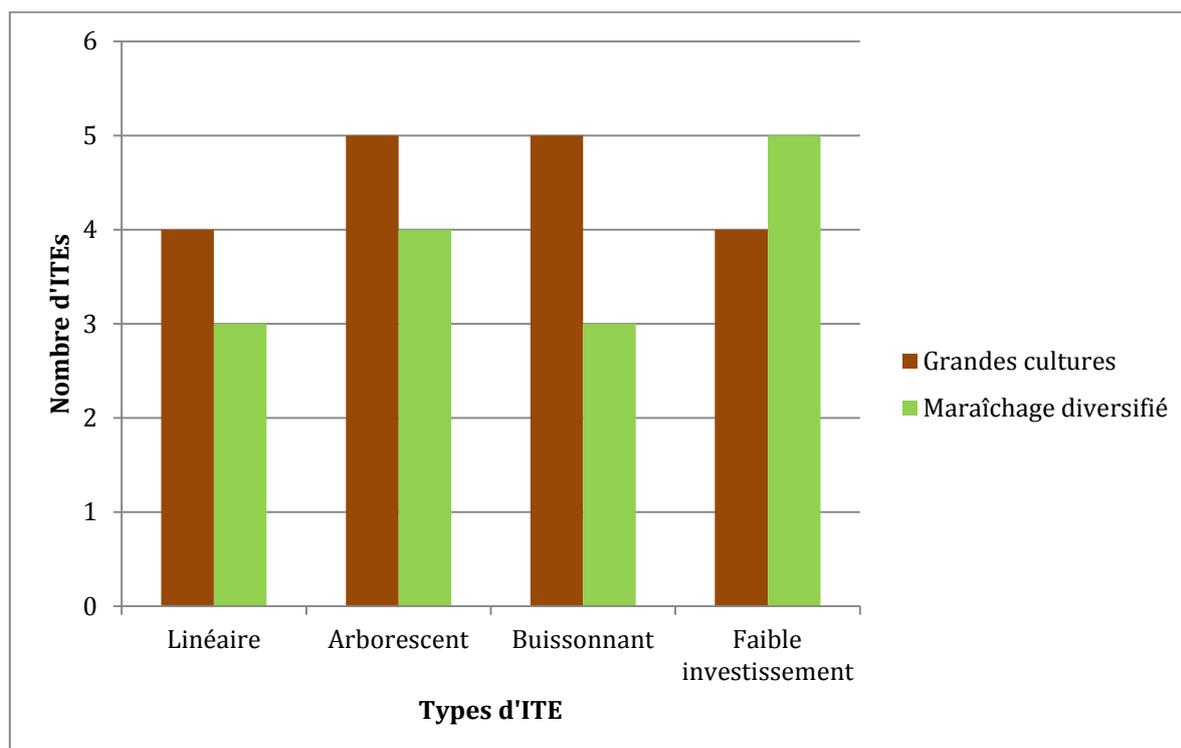
Figure 4.13: Répartition schématique des 4 types d'ITEs selon deux axes : l'émission de nouvelles branches expérimentales et l'intensité des liens entre SEs.



3.3.3 Répartition des types d'ITE par agriculteur et thématique agroécologique

Nous étudions maintenant les liens entre les types d'ITEs, les types de production et thématiques agroécologiques, et les agriculteurs. De même que nous avons montré dans le chapitre 3 que certains groupes de SEs sont plus associés à l'un des deux types de production (groupes 1,7 et 9 pour les grandes cultures et groupes 2 pour le maraîchage diversifié) ainsi qu'à certaines pratiques agroécologiques (groupe 1 pour la fertilisation organique, groupe 10 pour la réduction du travail du sol et groupe 2 pour le biocontrôle), nous avons ici analysé si certains types d'ITE sont plus associés à un type de production ou de thématique agroécologique. L'analyse des résultats montre qu'il n'y a pas de différence de types d'ITEs entre les producteurs maraîchers et de grandes cultures (voir Figure 4.14). Les 4 types sont présents dans des proportions similaires.

Figure 4.14: Répartition des types d'ITE par type de production



La variabilité se retrouve plutôt au niveau des producteurs (voir Figure 4.15). Cinq agriculteurs ont recours exclusivement à des ITE arborescents et buissonnants : 3 maraîchers CM, MJ, VA et deux producteurs en grande culture, GR et TC. CM et MJ expérimentent de nouvelles pratiques de biocontrôle reposant sur les lâchers d'auxiliaires, le transfert d'auxiliaires entre parcelles de la ferme et sur des plantes refuges à auxiliaires car ils font partie d'un réseau de maraîchers dont l'objet de travail porte sur les auxiliaires. Beaucoup d'informations sont donc échangées au cours de formations, dont ils reviennent avec beaucoup d'idées pour expérimenter sur leur ferme de nouvelles pratiques, et ils expérimentent avec une forte intensité. En grandes cultures, TC et GR perçoivent vite l'intérêt des couverts végétaux et expérimentent de manière buissonnante plusieurs types de couverts selon des objectifs ou des caractéristiques propres à chaque parcelle et à la position dans le système de culture. GR, en reprise de ferme familiale, est très intéressé par l'agriculture de conservation (lectures en ligne) et a suivi une formation au préalable aux TCS. Il expérimente aussi les cultures associées avec le colza via un ITE arborescent. Une caractéristique commune à ces pratiques est qu'elles sont aussi peu documentées et peu accompagnées institutionnellement en Drôme. Avec la dimension complexe et systémique de la pratique, cela contribue sans doute à expliquer l'existence d'ITEs arborescents et buissonnants qui sont les types les plus complexes.

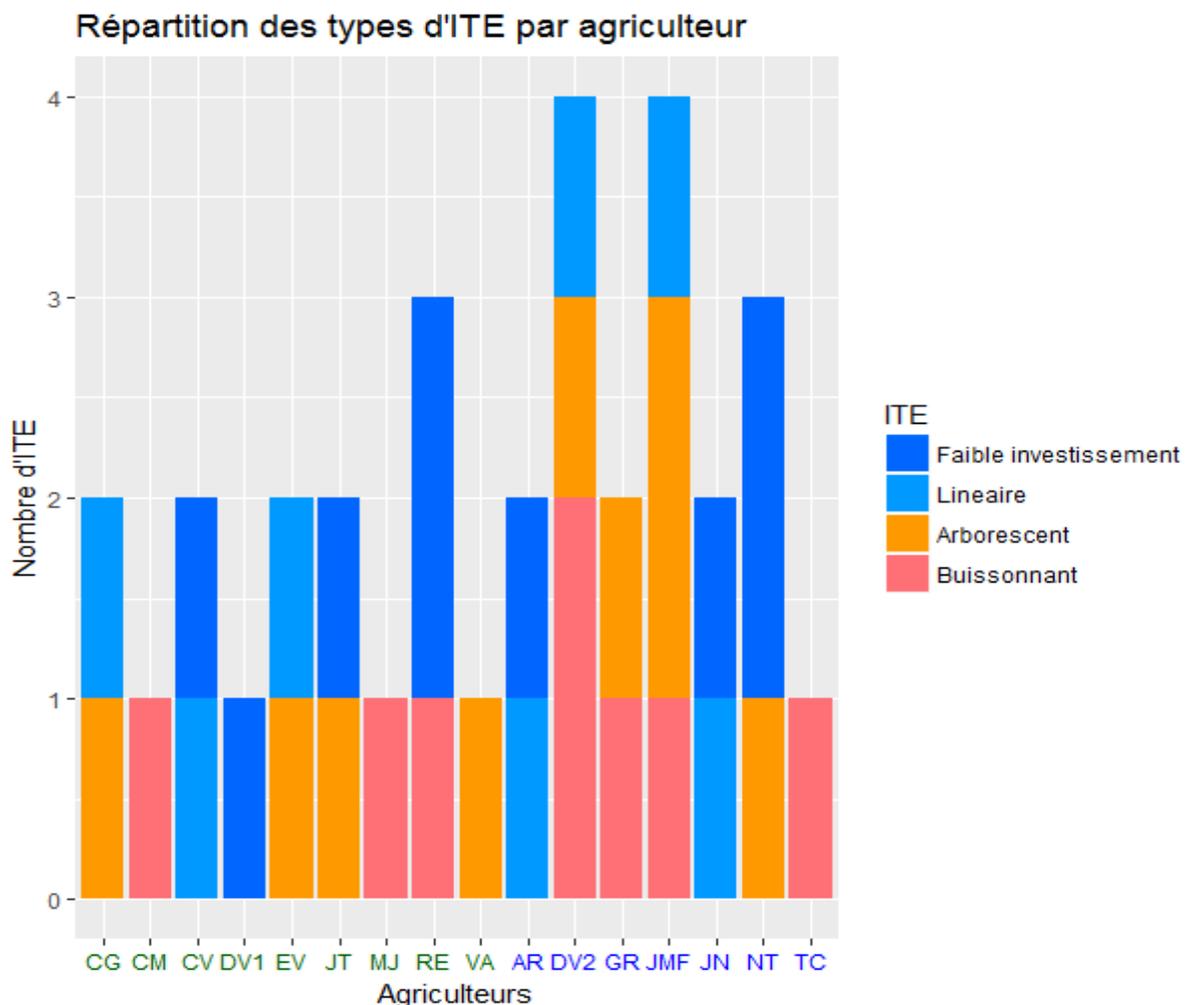
Souvent, les agriculteurs enquêtés suivent au moins une ITE linéaire et un ITE à faible investissement. Mais trois agriculteurs n'ont réalisé que des ITEs linéaires ou à faible investissement sur la période étudiée. JN se concentre sur les couverts végétaux dans une position bien spécifique de sa rotation (entre deux blés) car il bénéficie de peu de marge de manœuvre ailleurs. AR se concentre sur la réduction du travail du sol sur la partie interculture-maïs en expérimentant le strip-till. Cet ITE est encore relativement récent et il est possible qu'il

devienne plutôt être un ITE arborescent. CV, quant à lui, expérimente de manière linéaire la réduction du travail du sol, en progressant pratique par pratique.

Deux agriculteurs sont moins investis. Le premier est l'agriculteur exclu de notre analyse pour ce chapitre qui n'a explicité qu'une seule SE lors de l'enquête. Le deuxième est le maraîcher DV1 qui n'a recours qu'à un ITE à faible investissement. Cet agriculteur a en effet une longue expérience en biocontrôle et est un référent pour d'autres agriculteurs de notre échantillon (CM, MJ et VA). Les nouvelles SEs sont relativement espacées et concernent des transferts d'auxiliaires pour des espèces assez peu connues. Il est probable que l'enquête soit arrivée dans une phase avancée de son processus d'expérimentation et que cet agriculteur ait eu auparavant une phase assez intensive d'expérimentation sur le biocontrôle. Cependant l'enquête n'a pas permis de le révéler car il est souvent difficile de pouvoir remonter au-delà de 10 ans.

Si les différences de recours à tel ou tel type d'ITE s'expliquent individuellement, il est difficile à ce stade de tirer des conclusions plus générales. Le nombre d'agriculteurs enquêtés est trop faible et les causes sont très probablement multifactorielles (expérience de l'agriculteur, motivation à changer, curiosité, contraintes imposées par le système de culture actuel, ressources mobilisées, etc.).

Figure 4.15: Répartition des types d'ITE par agriculteur (en vert maraîchers et en bleu producteurs de grandes cultures)

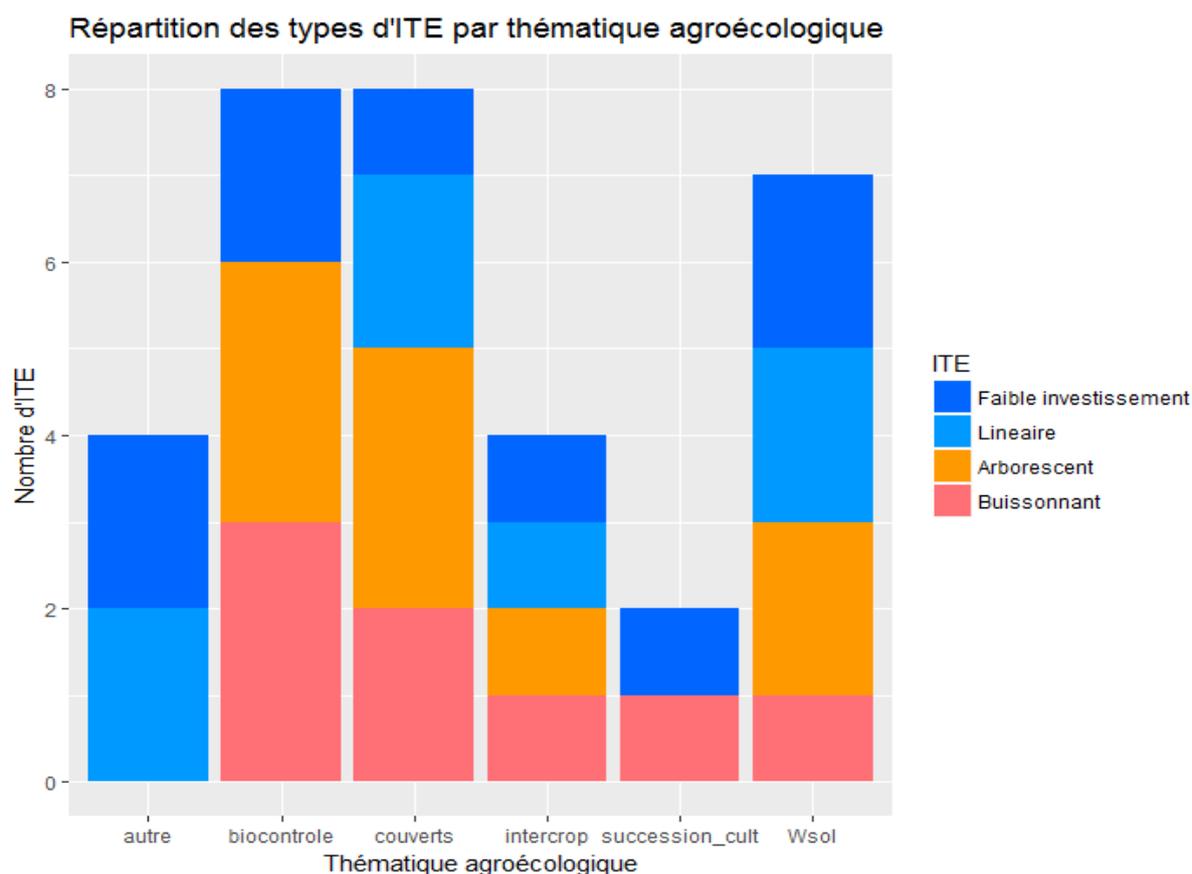


La répartition des types d'ITE en fonction des thématiques agroécologiques est présentée en Figure 4.16. Les thématiques sur le biocontrôle et les couverts végétaux sont majoritairement expérimentées au cours d'ITEs arborescents ou buissonnants. Cela montre que les pratiques de ces thématiques agroécologiques représentent un intérêt pour les agriculteurs mais nécessitent un investissement conséquent en recherche. Elles nécessitent plusieurs SEs pour aboutir à des pratiques satisfaisantes et sont aussi souvent adaptés à plusieurs endroits de la rotation. Les thématiques de cultures associées, de successions culturales et de réduction du travail du sol sont expérimentées dans différents types d'ITEs et dépendent donc des cas. Par exemple, la thématique des successions culturales est expérimentée à deux reprises via un ITE à faible investissement (NT qui modifie de temps en temps sa rotation) et un ITE buissonnant (JMF qui cherche une rotation adéquate en agriculture de conservation avec semis direct et expérimente diverses successions culturales). La thématique de réduction du travail du sol est expérimentée avec :

- un ITE à faible investissement pour NT et RE, car les deux agriculteurs ont eu l'opportunité de réduire le travail du sol une année donnée (parcelle sans adventices pour l'un, découverte des planches permanentes et des outils associés disponibles pour l'autre).
- un ITE linéaire pour AR et CV (respectivement mise au point progressive de la technique du strip-till pour le maïs et de différentes pratiques de conduite des planches maraîchères),
- un ITE arborescent pour JMF et JT (intérêt fort du non travail du sol et application à différentes positions dans la rotation) et buissonnant pour DV2 (arrêt du labour à la fois pour les couverts et le blé derrière soja).

A l'inverse, les thématiques "autres" (fertilisation organique fractionnée, "interculture" avec des poules, microorganismes du sol, ail sous tunnel contre la rouille) sont surtout expérimentées dans des ITEs à faible investissement ou linéaires.

Figure 4.16: Répartition des types d'ITE par thématique agroécologique



3.4 Interactions entre ITEs

Pour quatre agriculteurs, tous en grandes cultures, nous avons pu identifier des interactions entre ITEs. Rappelons qu'un ITE est caractérisé par un ensemble de SEs relevant de la même thématique ; l'interaction entre ITEs renvoie donc à des interactions d'ordre plus élevé que les interactions entre branches explicitées précédemment. Ces interactions se traduisent par la présence de situations expérimentales charnières, communes à deux ITEs. Ce niveau d'interaction demande de prendre en compte l'expérimentation dans un contexte plus large qu'une seule thématique agroécologique. En effet, l'expérimentation porte sur une pratique à la croisée de plusieurs thématiques agroécologiques à la fois. Ces cas concernent souvent la réduction du travail du sol, qui peut impacter fortement les autres pratiques et le raisonnement agronomique associé. Cela se manifeste par des SEs charnières entre des ITEs sur les couverts végétaux et sur les successions culturales.

Le cas de JMF nous permet de voir l'ampleur et la complexité de ces interactions entre ITEs autour de la réduction du travail du sol. En tout, 14 SEs ont été identifiées comme charnières entre deux ou trois ITEs. La description intégrale de ses ITEs se trouve en Annexe 9. JMF expérimente sur plusieurs thématiques agroécologiques à la fois, que l'on transcrit en quatre ITEs (voir Annexe 8). Le principal ITE concerne la réduction du travail du sol. Il est de type arborescent, principalement du fait de la transposition de la pratique d'abord expérimentée sur blé vers les autres cultures et les couverts végétaux. Cet ITE commence en 2009 par la volonté de l'agriculteur de conserver en surface des débris végétaux du précédent pour éviter la

battance avant un semis de blé. Sa découverte de l'agriculture de conservation va l'amener à commencer trois autres ITEs dans les années 2012-2013. L'un concerne les successions culturales et est de type buissonnant : en différents endroits de la rotation, l'agriculteur expérimente de nouvelles successions culturales. Un ITE linéaire porte sur le colza associé. Enfin, un ITE arborescent est créé pour les couverts végétaux.

Suite à la découverte de l'agriculture de conservation, JMF souhaite adopter une rotation qu'il trouve parmi les ressources en agriculture de conservation : [Blé - Blé - Légumineuse - Colza]. La première SE charnière se situe au début de l'ITE buissonnant sur les successions culturales : JMF expérimente avec succès le semis de pois en TCS en 2012, en préparant le sol sans labour de la même manière qu'en blé. L'année suivante, une autre SE charnière est réalisée sur le colza. Ce colza est à la fois semé après un travail du sol en TCS (1^{er} ITE), une nouvelle culture dans la succession culturale (2^e ITE) et il est associé au trèfle blanc, plante compagne (3^e ITE). 2013 est aussi l'année où l'agriculteur achète un semoir direct et, après une première SE en blé, il expérimente cette pratique en débutant ainsi son ITE couvert végétal.

Après ces premières SEs charnières, l'agriculteur commence à rencontrer des difficultés. La SE charnière du colza associé en semis direct de 2014 est un échec : la levée est mauvaise et les limaces attaquent les rares plants qui lèvent. Le ray grass est très présent après deux années de blé. Si le premier couvert de moutarde-gesse en semis direct s'était bien développé (surtout la gesse), ce n'est pas le cas de la féverole qui est expérimentée l'année suivante et est envahie de ray grass. L'agriculteur s'interroge sur sa rotation. Il expérimente alors des cultures de printemps (sorgho, maïs) après blé pour casser le cycle de l'adventice et implante ces cultures en semis direct. La première SE charnière en maïs n'est pas très concluante en raison d'une pression toujours forte en ray grass. L'année suivante, l'agriculteur estime qu'une parcelle argileuse est trop tassée pour du maïs en semis direct. Il met en place une nouvelle SE charnière avec une portion de la parcelle recevant un travail du sol localisé sur la ligne de semis pour faciliter son enracinement grâce à l'autoconstruction d'un outil de strip-till. De même, en 2015, l'agriculteur veut agir sur le ray grass et implante un couvert après le premier blé. Le travail du sol est réintroduit avant l'implantation du couvert. La graine est semée à la volée puis enterrée avec un passage de déchaumeuse à disques. L'agriculteur attend ensuite fin août et vient compléter le semis de féverole avec un semis de moutarde pour concurrencer le ray grass. Cet itinéraire de préparation du sol sera repris sur le colza l'année suivante ainsi que sur des couverts après deux années de blés, précèdent alors des cultures de printemps : un pois chiche et un maïs. La même année, l'agriculteur réintroduit aussi le travail du sol avant un maïs. Ainsi, si la pratique du semis direct n'est pas remise en question pour le blé, sa transposition sur d'autres cultures de la rotation finit, elle, par être remise en question face aux difficultés rencontrées.

Dans cet exemple, la combinaison de plusieurs ITEs simultanément et très tôt dans les ITEs est problématique. Cela est dû en grande partie à la visée d'un système radicalement différent de celui que l'agriculteur connaissait. Les SEs charnières ne sont pas risquées en soi, c'est plutôt leur position dans l'ITE et leur densité qui l'est. Elles arrivent très tôt alors que quatre nouvelles thématiques agroécologiques commencent à être explorées. L'ampleur des changements et des ajustements nécessaires conduit rapidement l'agriculteur à déployer des ITEs complexes (arborescents ou buissonnant) et en interaction. Cela représente un investissement cognitif, financier et en temps conséquent. L'agriculteur exprime d'ailleurs un certain éparpillement et un manque de recul sur toutes les composantes à prendre en compte sur son système en semis

direct. Les trois autres agriculteurs ayant des interactions entre ITEs ont beaucoup moins de SEs charnières et ces dernières se situent à des stades plus avancés dans au moins un des ITEs.

Il est difficile de généraliser à partir d'un seul exemple mais le cas de JMF nous incite à être attentifs aux interactions entre ITEs.

4 Discussion

Plus de 80% des SEs identifiées dans l'échantillon ont pu être positionnées dans des ITEs linéaires, arborescents ou buissonnants. Cela montre que les SEs sont souvent conçues en interaction avec d'autres SEs, **ce qui justifie le concept d'ITE**. De plus, tous les agriculteurs excepté deux ont recours soit à plusieurs types d'ITE, soit au moins à un ITE arborescent ou buissonnant. Le concept d'ITE peut donc s'appliquer à une grande majorité des agriculteurs engagés dans l'expérimentation en agroécologie.

Le concept d'ITE facilite la compréhension du processus d'expérimentation sur le temps long. Une SE est difficilement compréhensible sans l'historique qui la précède (en dehors de certaines SEs isolées). Les expérimentations des agriculteurs sont fortement contextualisées, non seulement par rapport à leur ferme mais aussi par rapport à l'avancée de leurs recherches. Décomposer l'expérimentation en SEs organisées au sein d'ITEs est donc une approche intéressante car elle permet de voir comment se structure le processus d'expérimentation : entre SEs, il y a la fois des liens chronologiques et thématiques. L'ITE est une formalisation prometteuse pour comprendre comment les agriculteurs expérimentent et, à terme, pour pouvoir les aider à expérimenter.

La discussion abordera successivement l'intérêt de la notion d'ITE pour mieux comprendre le changement technique ainsi que des perspectives de recherche (4.1) puis l'intérêt et les limites de la méthodologie employée (4.2).

4.1 Le concept d'ITE, un apport pour l'agronomie dans la compréhension du changement technique

L'ITE n'est pas seulement un processus d'expérimentation, mais aussi un marqueur du changement technique. Le concept d'ITE permet de mieux comprendre, au-delà de la seule dimension expérimentale, comment se construisent et évoluent les systèmes techniques des agriculteurs. Alors que les concepts agronomiques comme le système de culture ou l'itinéraire technique sont souvent représentés comme stables sur une période donnée pour l'agriculteur (Sebillotte, 1990), l'ITE se focalise sur les zones du système qui sont en transformation. Ainsi, si le changement technique n'est pas central dans ce chapitre, il nous semble que l'ITE est un concept intéressant pour rendre compte du changement en train de se faire chez les agriculteurs. Certains changements techniques peuvent être repérés par des arrêts de branches expérimentales correspondant à une adoption de pratique. Par exemple, la branche expérimentale de RE sur les bandes fleuries s'arrête suite à l'adoption de la pratique consistant à installer des bandes fleuries entre les planches de maraîchage. Cependant, les changements techniques peuvent aussi être repérés même si une branche expérimentale n'est pas terminée. Lorsqu'une pratique expérimentée évolue de moins en moins au cours de l'ITE, notamment avec l'apparition de SE du groupe G4, cela traduit une stabilisation de la pratique et donc un changement technique en train de s'opérer. Certains aspects sont encore explorés pour optimiser la pratique, mais la majeure partie est stabilisée et déjà mise en œuvre sur d'autres parcelles. Dans le cas de NT, par exemple, l'ITE sur les couverts végétaux est toujours en cours

de développement en 2018. Pour autant, nous remarquons que des constantes sont peu à peu apparues. Ainsi, le recours à un couvert végétal entre blé et maïs, semé au plus proche de la moisson, est une pratique qui revient systématiquement sur les parcelles concernées par cette succession et qui n'évolue plus beaucoup en fin d'ITE.

Le concept d'ITE pourrait outiller le suivi et la compréhension du changement technique du point de vue de l'agriculteur. Chantre (2011) conçoit le changement technique dans le temps long comme une succession de phases de cohérence agronomique. Ces phases de cohérence se succèdent lorsque des pratiques clefs sont adoptées par l'agriculteur. Cette méthode a le mérite de fournir des critères clairs pour se positionner dans le changement technique. Cependant, la phase de cohérence agronomique est définie par rapport à un nombre limité de pratiques (dans son cas, l'utilisation des intrants pour la fertilisation et la protection des cultures) pour pouvoir classer plusieurs agriculteurs dans une même phase. Les autres pratiques, participant pourtant à la cohérence du système technique de l'agriculteur, n'ont pas été prises en compte pour déterminer les phases (par exemple le travail du sol). Ainsi, la cohérence modélisée selon un nombre réduit de pratiques peut être différente de la cohérence recherchée ou perçue par l'agriculteur. La représentation en phases de cohérence agronomique séparées par des pratiques clefs avec un nombre limité de pratiques prises en compte est donc pertinente comme indicateur de changement pour répondre à des objectifs précis (par exemple la réduction des IFT ou des intrants azotés pour répondre à des collectivités locales ou des syndicats des eaux) mais ces objectifs ne sont pas forcément les premiers visés par l'agriculteur). L'ITE permet de prendre en compte les changements de pratiques que l'agriculteur a besoin de réaliser pour faire évoluer son système sans déterminer des phases homogènes a priori. Il nous semble donc que l'ITE, qui aborde le changement technique du point de vue de l'agriculteur et de façon systémique, pourrait constituer un outil de suivi du changement technique complémentaire aux autres indicateurs déjà développés (évolution des IFT, adoption de pratiques clefs par rapport à un objectif).

La complexité des liens entre SEs constitue un indicateur de l'intensité des changements techniques. Selon l'ampleur des changements visés, la complexité des expérimentations à réaliser varie. Cette complexité peut se traduire par des constructions d'ITEs différentes. Nous avons identifié dans notre analyse plusieurs types d'ITEs : linéaires, arborescents, buissonnants et à faible investissement. Ces types d'ITEs peuvent être représentés selon un niveau de complexité de liens entre SEs (voir Figure 4.17). Le niveau le plus simple est la SE isolée, hors ITE. Trois niveaux plus complexes se situent ensuite à l'échelle de l'ITE. L'ITE à faible investissement implique de faibles liens entre SEs, tandis que les ITEs arborescents ou buissonnants traduisent des liens plus complexes (intra et inter branches d'ITE). Une complexité supplémentaire se situe à l'échelle inter ITEs, lorsqu'il y a des interactions entre ITEs.

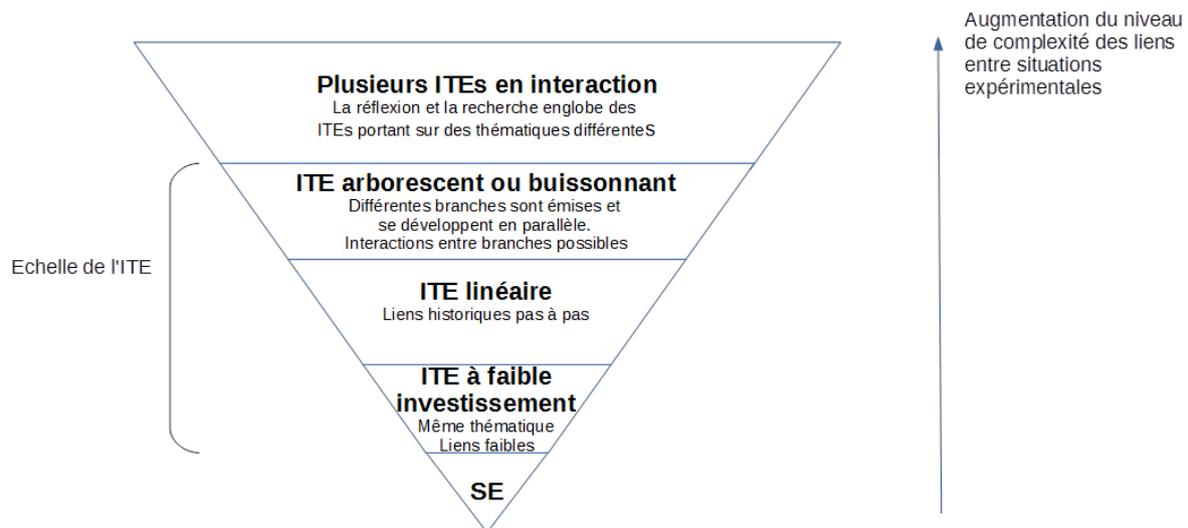


Figure 4.17: Niveaux de complexité des liens entre situations expérimentales

Des perspectives de recherche sur d'autres systèmes de production. Le cas de JMF, présentant beaucoup d'interactions entre ITEs, illustre les difficultés posées pour des systèmes conçus "de novo" par les agriculteurs. Il est possible que, dans le cas d'installations hors cadre familial ou de reconception "brutale", ce cas de figure se rencontre souvent. Nos résultats suggèrent qu'en agriculture de conservation pour les grandes cultures, les ITEs arborescents et buissonnants sont fréquents mais les interactions entre ITEs le sont aussi. Les changements pour remplacer les travaux mécaniques par des processus opérés par les organismes du sol et les plantes de couverture sont difficiles à réaliser et sont souvent progressifs (De Tourdonnet, 2013). En maraîchage diversifié, nous n'avons pas rencontré d'interactions entre ITEs. Les pratiques expérimentées portaient essentiellement sur le biocontrôle n'ayant pas interagi avec d'autres thématiques agroécologiques. Pourtant, nous pouvons imaginer des cas où de telles interactions pourraient avoir lieu : utilisation de couverts végétaux pour améliorer la vie biologique du sol et attirer des auxiliaires, successions culturales ou associations de cultures maraîchères pour l'utilisation des ressources du sol couplé à un intérêt en biocontrôle. Soit les agriculteurs n'y ont pas pensé (manque de ressources dans la bibliographie technique, ITEs trop récents), soit les interactions sont trop complexes à mettre en œuvre en termes d'organisation du travail. De manière plus générale, des analyses dans d'autres systèmes de production seraient nécessaires pour explorer le développement de l'expérimentation des thématiques agroécologiques étudiées ici (et de nouvelles) en terme de types d'ITEs et d'interactions entre ITEs.

Des perspectives de recherche pour mieux caractériser l'adoption des pratiques. Certaines façons d'expérimenter sont-elles plus fréquemment associées à l'abandon ou l'adoption de nouvelles pratiques ? Ce point n'a pu être que partiellement abordé dans la thèse, pour deux raisons.

La première tient à un manque de précision, dans le recueil des données, sur les surfaces sur lesquelles les pratiques sont appliquées. Nous pourrions penser que, lorsqu'il y a adoption, les surfaces où est appliquée la pratique adoptée augmentent brusquement à l'arrêt de l'expérimentation mais ce n'est pas toujours le cas. Dans plusieurs cas, les dernières SEs sont réalisées à l'échelle réelle (par exemple les bandes fleuries pour RE, les couverts végétaux pour NT et JN ou les lâchers d'auxiliaires pour CG). Il manque dans cette analyse une meilleure prise

en compte de l'évolution temporelle des surfaces sur lesquelles une pratique est mise en œuvre, pour suivre l'importance effective que prennent les nouvelles pratiques. De plus, une part des pratiques mises en œuvre au cours des ITEs et adoptées ne sont pas mises en œuvre tous les ans, ce qui complique l'interprétation. Ces pratiques sont mobilisées selon l'évolution des états de l'agroécosystème. Par exemple, certaines pratiques de transferts d'auxiliaires sont très dépendantes à la fois des ressources en auxiliaires disponibles sur la ferme à un moment donné et de la pression en ravageurs sur une culture. En ce sens, les ITEs participent aussi à la construction de ressources cognitives pour piloter à certains moments le système sur un mode de gestion adaptative (Foxon et al., 2008).

La deuxième limite réside dans la manière dont nous avons identifié des adoptions. Nos résultats font ressortir des adoptions réalisées tôt dans les ITEs (après 2 SEs en moyenne ou 3 si on exclut les SEs menant tout de suite à une adoption). Or, plusieurs adoptions pourraient être identifiées plus loin dans l'ITE. Certains aspects d'une pratique expérimentée sont encore explorés mais la majeure partie est stabilisée et mise en œuvre sur les parcelles ce qui peut aussi être considéré comme une adoption.

Le lien entre processus d'expérimentation et adoption des pratiques mériterait donc d'être approfondi, en recueillant des données plus fines au moment de la période d'adoption, et en étudiant un plus grand nombre de situations.

4.2 Discussion méthodologique

La méthode développée dans ce chapitre, basée sur le repérage des liens entre SEs, nous a permis de construire un cadre intégratif et contextualisant des SEs développées dans le chapitre 3, grâce au concept d'ITE. Les SE doivent d'abord être regroupées par leur appartenance à une thématique agroécologique commune, puis, plus finement, par le type de pratique mise en œuvre au sein d'une thématique. La distinction entre thématiques proposée initialement (cf Tableau 4-1) est donc une aide pour repérer rapidement les ITEs. Cependant elle est discutable. Par exemple, nous avons regroupé sous le terme de biocontrôle à la fois les lâchers inondatifs et la biodiversité fonctionnelle car nous avons fait l'hypothèse que les objets biologiques et processus mobilisés sont similaires à ces pratiques (bioagresseurs, auxiliaires) et donc que des liens peuvent s'établir facilement entre SEs. Dans d'autres contextes, il serait utile de subdiviser en sous-thématiques. A l'inverse, au sein même des thématiques, l'enquête a révélé une distance plus grande que prévue entre des SEs à priori proches. Par exemple, pour le contrôle des bioagresseurs en maraîchage, nous avons souvent distingué le transfert d'auxiliaires collectés sur la ferme du lâcher d'auxiliaires commerciaux. En effet, pour les agriculteurs, bien que reposant sur la même logique écologique (inondation des cultures avec des auxiliaires prédateurs), le transfert semblait marquer une rupture conceptuelle avec le lâcher classique d'auxiliaires, du fait de la nécessité de mettre en place des actions d'observations d'auxiliaires, de repérage ou de création de lieux de multiplication et des actions de collecte et de transfert. Cela explique pourquoi les liens sont généralement faibles entre les expérimentations de lâchers d'auxiliaires commerciaux et celles de transferts d'auxiliaires naturels. Lorsque c'est le cas, cela justifie de considérer deux branches d'ITE séparées. Enfin, dans le cas de JMF, le système de culture, en tant que contexte des ITEs, est peu stable et évolutif, ce qui rend la lecture du schéma des ITEs difficile. Il faudrait coupler l'utilisation de la frise chronologique des ITEs avec des représentations de la manière dont l'agriculteur conceptualise son système de culture pas à pas, après prise en compte des récentes SEs.

Vers des régimes d'expérimentation à plus long-terme ? Une limite de ce travail réside dans la distinction entre les 4 types d'ITE sur le long-terme. Les enquêtes réalisées portaient sur des ITEs s'étalant généralement sur 10 ans. Mais, pour des évolutions de pratiques à des échelles plus longues, nous pouvons imaginer de concevoir plutôt ces types d'ITE comme des régimes d'expérimentation. Un régime correspondrait ainsi à une période homogène en termes d'intensité expérimentale et d'émissions de branches expérimentales, qui est caractérisé par un des types identifiés. Ainsi, un agriculteur pourrait passer d'un régime d'ITE à faible investissement à un régime arborescent suite à un gain d'intérêt important pour certaines pratiques. Inversement, un régime d'ITE arborescent ou buissonnant (caractérisés par une forte intensité expérimentale) pourrait être suivi d'un régime à plus faible investissement quand une grande partie des pratiques expérimentées est adoptée ou que le système est mieux maîtrisé par l'agriculteur.

5 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons développé un cadre méthodologique pour caractériser les ITEs des agriculteurs, en décrivant l'organisation temporelle et causale des SEs sur une thématique agroécologique. Chaque SE d'un ITE est conçue en prenant en compte les résultats obtenus lors des SEs précédentes. Nous avons aussi introduit la notion de branche expérimentale pour désigner les ramifications effectuées par les agriculteurs dans leur processus d'expérimentation : une variante d'une pratique peut être expérimentée en parallèle de la pratique expérimentée par ailleurs, ou une pratique peut être expérimentée en la transférant à une autre période de la rotation. Enfin, nous avons montré que les branches expérimentales s'arrêtent après adoption ou abandon d'une pratique.

La très grande majorité des agriculteurs enquêtés a eu recours à des ITEs pluriannuels et la majorité des SEs identifiées s'intègrent dans des ITEs. L'étude de la position des SEs au sein des ITEs a révélé une prépondérance de certains groupes de SEs à des endroits précis de l'ITE. Ainsi, les débuts d'ITEs sont souvent caractérisés par des SEs de rupture (G8) ou de transposition de pratique (G3). Les fins d'ITE sont souvent marquées par des SEs où la nouveauté de la pratique est faible (G4 ou G5), montrant une optimisation ou une consolidation de la pratique. Enfin, les adoptions de pratique sont souvent précédées de SEs de groupe G4 tandis que les abandons de pratique sont plus fréquents après des SEs révélant des problèmes techniques ou agronomiques (G6 et G7).

Nous avons réalisé une typologie des ITEs qui aboutit à quatre types d'ITEs (linéaires, arborescents, buissonnants et à faible investissement).

L'ITE est un concept prometteur pour mieux comprendre la manière dont les agriculteurs réalisent leurs expérimentations dans le temps long. Il permet de faire le lien avec des changements techniques diffus et pas à pas. Pour autant, les processus d'apprentissage des agriculteurs, sous-jacent au déroulement de ces ITEs, restent, à ce stade, une boîte noire. C'est l'objet du chapitre 5, qui va se centrer sur le lien entre l'expérimentation et les connaissances (sur les pratiques, l'agroécosystème, ...) qui sont mobilisées pour concevoir des expérimentations et celles qui résultent de ce processus.

Chapitre 5 - Développement des connaissances pour l'action des agriculteurs au cours de l'expérimentation

Chapitre 5 - Développement des connaissances pour l'action des agriculteurs au cours de l'expérimentation

1 Introduction

Dans les chapitres 3 et 4, nous avons décrit les processus d'expérimentation des agriculteurs à deux pas de temps : à court-terme, grâce au concept de situation expérimentale (SE) et à long-terme grâce au concept d'itinéraire d'expérimentation (ITE). Dans ces deux chapitres, nous nous sommes focalisés sur les pratiques expérimentées, les modalités d'expérimentation et leurs dynamiques, sans traiter explicitement des connaissances qui sont mobilisées pour concevoir des expérimentations ou produites lors des expérimentations. C'est pourquoi **ce chapitre se concentre plus spécifiquement sur la manière dont les agriculteurs développent leurs connaissances grâce à l'expérimentation**. Nous cherchons à mieux comprendre les différentes connaissances mobilisées, adaptées, reconstruites par les agriculteurs au cours de l'expérimentation (de quelle nature sont-elles? Sur quels éléments de l'agroécosystème portent-elles?) ainsi que leur développement à long-terme au cours du processus d'expérimentation. Ce chapitre décale donc le regard pour compléter notre compréhension du processus d'expérimentation en nous centrant sur ce que les agriculteurs mobilisent et développent en termes de connaissances. Comme nous l'avons vu dans la problématique (chapitre 1), beaucoup de définitions existent sous le même terme de connaissances selon les disciplines voire au sein d'une même discipline scientifique. Nous considérons dans cette étude les connaissances pour l'action des agriculteurs. Plus précisément, nous nous intéressons aux connaissances en jeu dans le processus d'expérimentation de pratiques agroécologiques et à leurs évolutions, autrement dit au contenu mais surtout au développement de ces connaissances. Les connaissances en question sont proches de la pratique, utiles pour sa réalisation. Nous étendons cette notion d'utilité aux connaissances permettant de savoir ce qu'il convient d'éviter de faire ou les processus agroécologiques non souhaitables pour l'agriculteur. Ces connaissances embarquent des actions réalisées par l'agriculteur (ex : semer un couvert végétal, introduire un auxiliaire biologique), des objets biologiques (ex : un couvert végétal, une culture, un ravageur), et des processus agroécologiques (ex : la régulation biologique, l'activité des vers de terre). Les connaissances que nous décrivons diffèrent par leur degré de certitude et leur précision : elles peuvent avoir un statut de connaissance supposée (qui peut jouer le rôle d'hypothèse pour une SE), s'affiner progressivement au fil de l'ITE, et aboutir finalement à une connaissance relativement stabilisée, même si des évolutions sont encore possibles. Ainsi, nous ne nous cantonnons pas uniquement aux connaissances stabilisées ou considérées comme vraies pour les agriculteurs car nous nous intéressons à leur développement.

L'analyse vise à identifier :

- comment des connaissances relatives aux actions, objets biologiques ou processus agroécologiques sont acquises grâce aux expérimentations?
- comment des hypothèses nouvelles sont imaginées et mises à l'épreuve grâce aux expérimentations?

2 Méthodologie

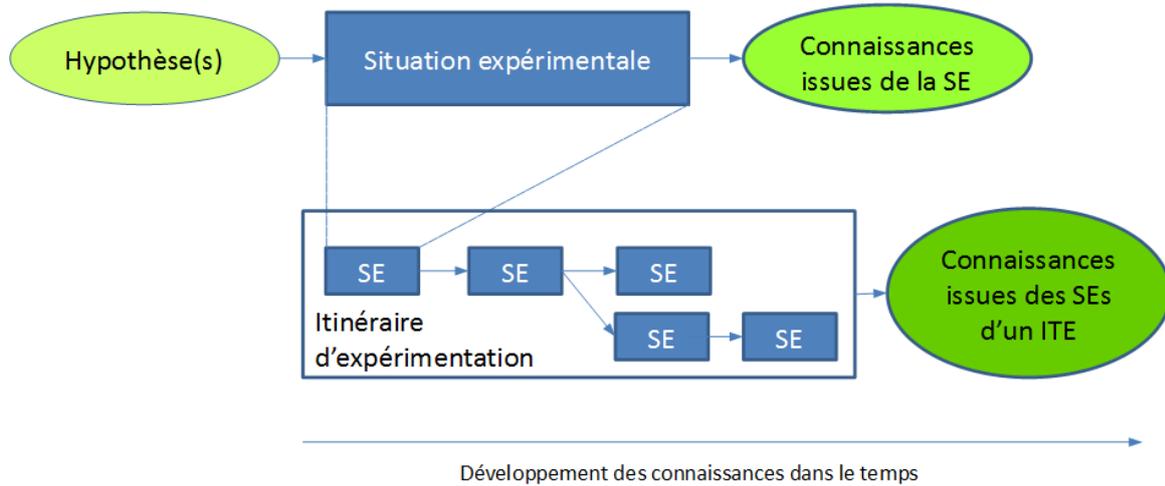
2.1 Principes généraux d'analyse

Contrairement à la caractérisation des expérimentations (questions de recherche 1 et 2), l'objet de ce chapitre, à savoir les connaissances pour l'action en lien avec l'expérimentation des agriculteurs, est une question de recherche qui est arrivée plus tardivement dans cette thèse. Le travail d'analyse a débuté après la réalisation d'une grande partie des entretiens. Le questionnaire d'enquête n'était pas spécifiquement orienté avec un questionnement sur les connaissances pour l'action des agriculteurs. Nous avons donc utilisé un matériau relativement imparfait pour mener notre analyse mais nous avons jugé que les retranscriptions d'entretiens étaient suffisamment riches et précises pour pouvoir étudier cette question.

Nous avons d'abord repéré dans le discours des agriculteurs enquêtés des énoncés, des portions de discours qui se rapportaient à des connaissances en jeu, et qui étaient souvent introduites par des marqueurs linguistiques explicites. Par exemple les hypothèses pouvaient être introduites par des marqueurs du type : "l'idée c'est que...", "pour me dire d'essayer de..." tandis que les connaissances à l'issue de SE(s) pouvaient l'être par "il a quand même bien joué son rôle", "ça a marché/ça n'a pas marché", "systématiquement maintenant...", "j'ai compris que", etc... Ces énoncés indiquent donc des éléments de connaissances sur les actions que les agriculteurs réalisent dans les SEs et/ou sur les processus agroécologiques qui en découlent. Nous avons interprété ces énoncés en connaissances selon une démarche similaire à celle utilisée par Chantre (2011) et Cristofari (2018) traduisant des énoncés en jugements pragmatiques. Pour ce faire, nous avons mobilisé nos propres connaissances agronomiques sur le fonctionnement des systèmes agroécologiques pour reformuler les connaissances de l'agriculteur, qui portent suivant le cas sur une action, un objet biologique, un processus agroécologique ou sur des liens entre eux.

Notre démarche d'analyse part d'une représentation sur trois grandes formes de connaissances. La poursuite d'une démarche inductive nous a permis de confirmer cette distinction et d'affiner les différences au sein des trois formes. Schématiquement, nous représentons les connaissances pour l'action en jeu dans l'expérimentation sous trois formes (voir Figure 5.1). Nous considérons que chaque SE met à l'épreuve des pratiques et donc des connaissances qui la sous-tendent (sous forme d'hypothèses) embarquées dans la pratique expérimentée, qu'elle aboutit (ou vise à aboutir) à de nouvelles connaissances, et qu'à plus long-terme, l'enchaînement des SEs dans un ITE produit des connaissances encore différentes. Ce schéma linéaire traduit un développement des connaissances. Ce schéma structure l'organisation des résultats.

Figure 5.1: Représentation schématique du développement des connaissances dans le temps de l'expérimentation, les connaissances pouvant passer sous trois grandes formes



2.2 Echantillon

Dans ce chapitre, nous étudions le développement des connaissances de 7 des 17 agriculteurs enquêtés, qui ont été enquêtés deux fois. Sur les sept agriculteurs, quatre produisaient en grandes cultures (2 bios, 1 conversion, 1 conventionnel) et trois en maraîchage diversifié (2 bios, 1 conventionnel). Nous avons choisi d'enquêter de nouveau ces agriculteurs étant donnée la richesse de leur expérience repérée lors du premier entretien : leurs ITEs comportaient beaucoup de SEs liées et donc permettaient potentiellement de voir des évolutions dans les connaissances. De plus, étant donné les temporalités entre les premières enquêtes et l'émergence de la question de recherche, le 2^e entretien permettait d'augmenter les chances d'avoir différents énoncés en lien avec une même connaissance (plusieurs moments de discussion sur une même SE, permettant des reformulations), dans une perspective de recoupement et de saturation de la description. Enfin, ce travail d'analyse des discours et d'interprétation des données est complexe et long ce qui a limité de fait notre capacité à traiter un plus grand nombre d'enquêtes.

2.3 Démarche d'analyse des connaissances

2.3.1 Cadre d'analyse pour catégoriser les connaissances des agriculteurs

Le processus de catégorisation se déroule en 3 étapes. Tout d'abord, les entretiens des 7 agriculteurs étant retranscrits sous Nvivo, nous en avons extrait 248 énoncés traduisant l'acquisition ou la production de connaissances en lien avec les expérimentations réalisées (Cf exemple dans Tableau 5-1). Les énoncés extraits ont ensuite été rangés par connaissance (plusieurs énoncés peuvent se rapporter à une même connaissance) et par agriculteur dans un tableur excel (ex: Tableau 5-1). Lorsque plusieurs énoncés se rapportaient à une même connaissance mais étaient éloignés dans l'entretien, ils ont été néanmoins accolés dans le tableau, mais séparés par "[...]".

Une fois les énoncés reflétant des connaissances identifiés (N=248 sur les 7 agriculteurs), nous avons procédé conjointement à la recherche de critères permettant de discriminer certaines connaissances et à la classification des connaissances en groupes homogènes. Deux critères furent déterminants pour imaginer notre première représentation schématique (voir Figure

5.1). Le premier correspond à la temporalité de la connaissance par rapport aux SEs. Nous distinguons deux cas. Soit la connaissance n'a jamais été mise à l'épreuve sur la ferme, elle a un statut d'hypothèse pour la SE (nous emploierons ce terme d'hypothèse par simplification sans toutefois sous-entendre que les expérimentations des agriculteurs relèvent centralement d'une démarche hypothético-déductive, ce qui est mis à l'épreuve est avant tout une pratique). Soit la connaissance est acquise après une ou plusieurs SEs ; elle a alors un statut de résultat, même si là encore, cela ne signifie pas que les expérimentations des agriculteurs sont centralement destinées à produire de la connaissance. Le deuxième critère est le nombre de SEs impliquées sur lesquelles s'appuie la production de chaque connaissance, car certaines connaissances s'appuient sur l'expérience acquise au cours de plus d'une SE.

Enfin, la dernière étape a consisté à définir des types de connaissances à partir des trois formes principales. Cette opération est produite de manière qualitative, itérative et inductive. Avant d'aller plus loin dans le processus de classification, nous avons identifié un troisième critère important pour distinguer les connaissances. Il s'agit de l'objet de la connaissance: la connaissance peut porter sur les actions réalisées, sur les processus agroécologiques en jeu ou sur les relations entre actions et processus agroécologiques. A partir de ces premiers éléments, nous avons organisé un échantillon de connaissances selon plusieurs ensembles homogènes sur la base des critères précédents et de nouveaux découverts au cours du processus de classification (type d'évolution par rapport à l'hypothèse, degré de confiance dans la connaissance, forme prescriptive ou descriptive). Puis, chaque nouvelle connaissance identifiée et non encore classée permettait de tester la cohérence des catégories préalablement obtenues. Si aucune des catégories ne convenait, la définition d'une ou plusieurs d'entre elles était modifiée afin d'intégrer cette nouvelle connaissance ; ou alors, une nouvelle catégorie était créée lorsque la connaissance se distinguait trop fortement de chacune des catégories existantes. Cette méthode emprunte au principe de comparaison continue de la théorie ancrée (Glaser et Strauss). Au cours du processus d'analyse, des catégories ont aussi été fusionnées car elles partageaient des caractéristiques communes et distinctes des autres catégories de connaissances. Les deux catégories concernées deviennent alors des sous-types. Huit types de connaissances ont ainsi été obtenus par l'analyse qualitative.

Tableau 5-1: Exemple de traitement d'une connaissance d'un agriculteur issue d'expérimentation

Enoncé	Connaissance	Temporalité	Nb SEs	Objet de la connaissance
« Oui je ne fais plus de traitements insecticides pour les pucerons. - <i>Depuis quand?</i> Depuis qu'il y a [la bande fleurie]. - <i>Dès la première année?</i> - Ah oui oui, oui parce que il y a toujours eu après des bestioles dehors. Des fois il y a plein de coccinelles et puis en plus l'été là quand ils ont chaud, le plastique des serres il est remonté jusque-là donc ce qu'on peut lâcher dans les serres, il y en a qui vont aussi dehors. Il y en a un peu de partout là. Entre celles qu'on met dans les fraises, celles qu'on met dans les légumes... Il y en a un peu de partout. Du coup ce n'est pas trop loin... »	La bande fleurie combinée aux auxiliaires lâchés sous tunnel attire suffisamment d'auxiliaires pour contrôler seuls les pucerons sur salades de plein champ près des tunnels.	Connaissance acquise suite à une SE	1	Processus écologique (amplitude du processus de biocontrôle précisée pour la bande fleurie associée aux auxiliaires lâchés sous tunnel)

2.3.2 Développement des connaissances avancées des agriculteurs

Après avoir catégorisé les connaissances sous-jacentes aux énoncés des sept agriculteurs, nous sommes ensuite concentrés sur le développement de trois types de connaissances que nous appelons "connaissances avancées". Ces connaissances avancées sont une évolution des autres types de connaissances acquises antérieurement.

- **Des connaissances de type « hypothèse sur une modification complexe des actions »**, qui permettent à l'agriculteur de mobiliser plusieurs connaissances pour imaginer de nouvelles SEs sur des pratiques plus innovantes.
- **Des connaissances de type « synthèse »**, c'est-à-dire permettant à l'agriculteur d'avoir un avis éclairé sur un sujet grâce à l'accumulation d'un nombre important d'expérimentations.
- **Des connaissances de type « règles d'action »**, qui permettent à l'agriculteur de savoir comment agir pour réaliser au mieux une pratique.

Elles nous semblent jouer un rôle central pour l'agriculteur afin de pouvoir avancer au mieux dans son processus d'expérimentation : les premières pour avancer dans le processus d'expérimentation et les suivantes car elles marquent une capitalisation, importante dans une perspective de changement technique. Pour comprendre comment ces connaissances se développent, nous formulons des propositions théoriques de processus que nous étayons avec des exemples. Ces développements de connaissances s'étalent sur plusieurs années. Pour les étudier, nous avons donc utilisé les schémas d'ITEs en nous concentrant sur les portions d'ITE en lien avec les connaissances avancées et en repérant les autres connaissances antérieures qui ont permis d'y aboutir.

3 Résultats

Les résultats sont organisés en deux parties. Premièrement, grâce au cadre d'analyse présenté dans la section 2.3.1, nous présentons une typologie des connaissances que les agriculteurs mobilisent dans leurs SEs ou acquièrent grâce à leurs SEs (partie 3.1). Ces types de connaissances marquent différentes étapes dans le développement des connaissances pour l'action mais ne permettent pas de repérer des processus de développement des connaissances sur le long-terme. C'est pourquoi, dans un deuxième temps, nous proposons trois processus théoriques permettant d'arriver à des connaissances avancées et qui éclairent le développement des connaissances à l'œuvre au cours d'un ITE (partie 3.2).

3.1 Types de connaissances développées par les agriculteurs grâce aux expérimentations

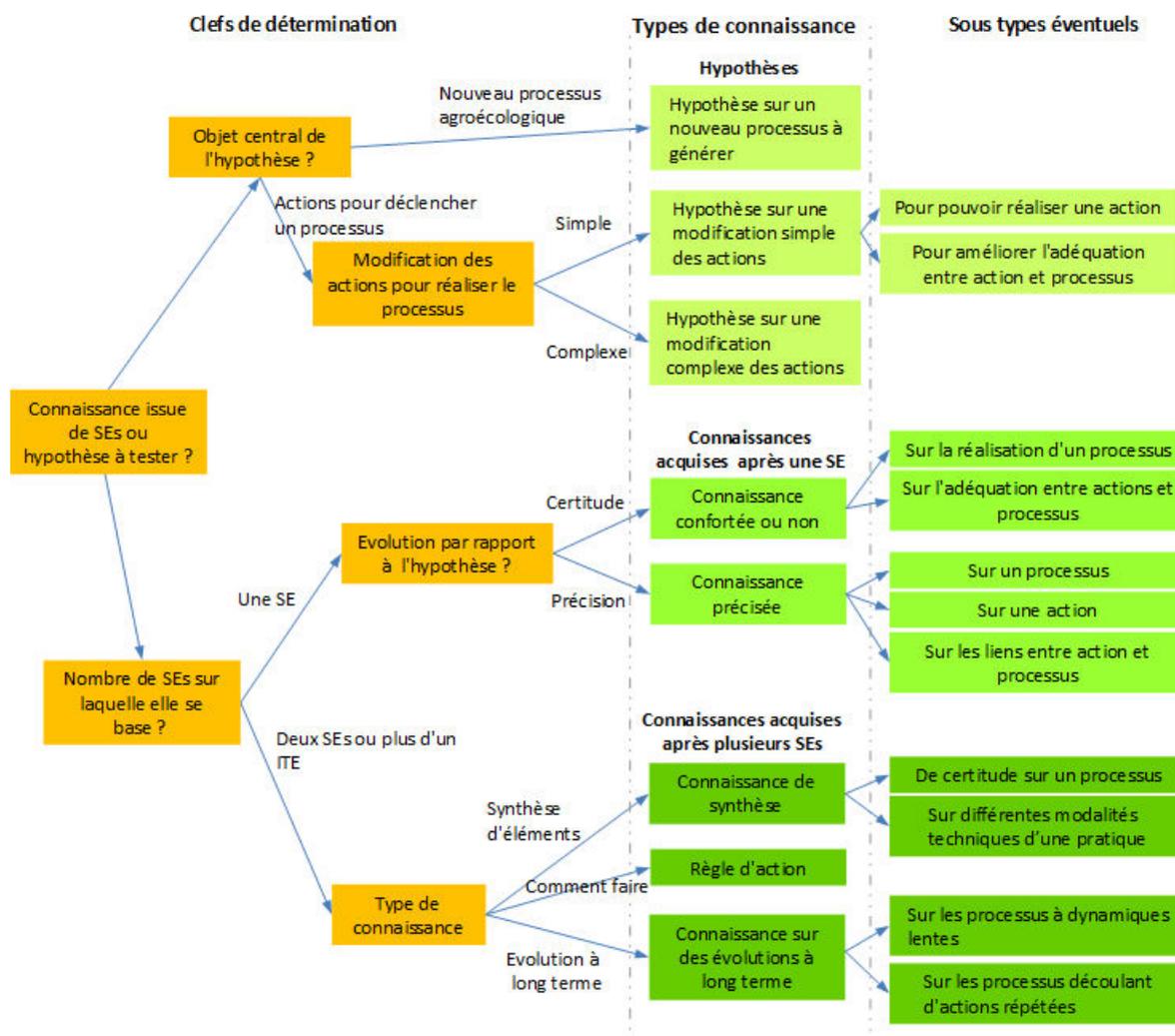
Grâce au cadre d'analyse, huit types de connaissances ont été identifiés chez les agriculteurs enquêtés, que nous explicitons d'abord (partie 3.1.1), avant d'analyser quantitativement leur répartition au sein de l'échantillon (partie 3.1.2).

3.1.1 Description des types de connaissances

L'application de la méthode aux 248 connaissances conduit à distinguer huit types de connaissances. La Figure 5.2 présente les variables clefs qui ont émergé du processus de classification. Nous présentons les types en suivant les trois formes schématisées de connaissances. Les premières connaissances mobilisées en amont d'une SE ont donc un statut d'hypothèse et correspondent à trois types, les connaissances acquises à l'issue de la réalisation

d'une SE correspondent à deux types et les connaissances acquises à l'issue de plusieurs SEs d'un ITE correspondent à trois types. Les sections suivantes vont permettre d'explicitier la figure 1 et chacun des huit types de connaissances.

Figure 5.2: Arbre de détermination des types de connaissances mobilisées ou produites par les agriculteurs en lien avec leurs expérimentations. L'arbre des clefs de détermination n'est donc pas symétrique pour chaque branche car les critères de discrimination aux différents niveaux de catégorisation ne sont pas les mêmes.



3.1.1.1 Hypothèses : connaissances mobilisées en amont d'une situation expérimentale

Dans cet ensemble de connaissances, l'hypothèse renvoie à des connaissances considérées comme probables par l'agriculteur mais qui n'ont jamais été vérifiées dans le contexte de l'agriculteur. En testant une pratique agroécologique dans une SE, l'agriculteur cherche à confirmer, préciser ou approfondir cette hypothèse pour produire de nouvelles connaissances. Les connaissances à statut d'hypothèse sont donc toujours mobilisées en amont d'une situation expérimentale. Elles peuvent s'appuyer sur des connaissances établies auparavant par l'agriculteur ainsi que sur connaissances exogènes, issues de formations, d'un conseiller ou de documents techniques. Trois types d'hypothèses ont été identifiés dans l'échantillon :

- a) les hypothèses sur de nouveaux processus agroécologiques à générer.
- b) les hypothèses sur des modifications simples des actions.

c) les hypothèses sur des modifications complexes des actions.

3.1.1.1.a Hypothèse sur de nouveaux processus agroécologiques à générer

Ce type d'hypothèse porte sur des processus agroécologiques que l'agriculteur imagine pouvoir mobiliser dans son contexte et dont il va chercher à évaluer la mise en œuvre sur une situation spécifique à travers une SE. Ces hypothèses portent sur des objets biologiques souvent spécifiques : par exemple, l'agriculteur GR choisit une espèce végétale, la lentille, pour générer le processus qu'il souhaite tester : avoir une plante gélive et compagne du colza (Tableau 5-2). En effet, les hypothèses visent à expérimenter une pratique concrète dont les paramètres doivent être spécifiés, notamment les objets biologiques. Ces processus sont nouveaux pour l'agriculteur dans le sens où ils n'ont jamais été mis en œuvre sur la ferme. Le Tableau 5-2 présente quelques exemples d'hypothèses sur de nouveaux processus agroécologiques à générer.

Tableau 5-2: Exemples d'hypothèses sur des processus agroécologiques à générer. La première colonne correspond aux hypothèses reformulées à partir du verbatim (colonne 2) des agriculteurs. Les agriculteurs et les SEs correspondant aux hypothèses sont indiquées dans la troisième colonne.

Hypothèses sur de nouveaux processus à générer	Enoncés d'agriculteur	Agriculteurs et SEs correspondantes
Associer de la lentille au colza pour qu'elle soit détruite pendant les gels d'hiver, couvre le sol et restitue des éléments minéraux au colza.	<i>"L'idée c'est que la lentille ne passe pas l'hiver, qu'elle soit détruite par le gel... Et à ce compte-là, elle fait un petit paillage et elle est dégradée et elle fertilise légèrement le colza au printemps."</i>	GR – SE 2015 (ITE cultures associées)
Planter une haie pour conserver une partie des Antochoris lâchés contre le psylle du poirier.	<i>« Dans les poiriers là il y a les psylles [...] maintenant on lâche des auxiliaires, des Antochoris. Donc, en fait, j'ai planté une haie pour essayer de les garder. [...] Il y a des essences dedans qui attirent des psylles, d'autres psylles qui ne sont pas sur les poiriers, mais les Antochoris vont les manger quand même. Donc quand il n'y a plus rien à bouffer dans les poiriers ils vont dans la haie et du coup ils restent là »</i>	EV – SE 2004 (ITE biocontrôle, branche principale)
Semer de la vesce en fin d'été pour avoir de l'azote au printemps rapidement (par rapport à une fumure apportée au printemps)	<i>« Mon idée c'était qu'il y ait de l'azote disponible pour la culture d'après. [...] Mon champ globalement il est exposé sud-est on va dire et à cet endroit-là c'est plutôt Nord-Est. Avec l'ombre des arbres et en plus il est argileux donc ça se réchauffe mal au printemps donc l'idée c'était qu'il y ait de l'azote qui soit disponible au printemps, il n'y avait pas 36 000 solutions. »</i>	CG – SE 2013 (couverts végétaux)

Dans ce type de connaissances, l'action, le comment faire, n'est pas directement questionné. Ce qui est questionné est la **capacité à générer un processus agroécologique dans les conditions spécifiques de l'agriculteur, contrairement aux deux catégories suivantes.**

3.1.1.1.b Hypothèse sur une modification simple des actions

Lorsque l'agriculteur a déjà validé la possibilité de mobiliser un processus agroécologique dans ses propres conditions, il peut faire des hypothèses sur une modification simple de ses actions, de façon à rendre, grâce à la pratique expérimentée, le processus agroécologique plus performant. Nous considérons comme simple une modification qui porte sur un faible nombre

d'actes techniques. Ce type d'hypothèse permet aux agriculteurs de **faire des ajustements techniques par rapport à la SE précédente, de préciser le mode opératoire** (réglage des outils agricoles par exemple).

Ces hypothèses se répartissent en deux sous-types principaux. Dans le premier, l'hypothèse porte sur une modification des actions pour optimiser les processus agroécologiques visés. Dans le deuxième sous-type, les actions sont modifiées car l'agriculteur rencontre des difficultés à les réaliser concrètement. Deux exemples sont présentés dans le Tableau 5-3.

Tableau 5-3 : Exemples d'hypothèses sous forme de modifications simples des actions

Sous-types de connaissances	Hypothèse sur une modification simple des actions	Enoncés d'agriculteur	Agriculteurs et SEs correspondantes
Pour optimiser les processus agroécologiques visés	Pour maximiser les effets de la bande fleurie, il faut la semer en cœur de parcelle , entre les planches de cultures, plutôt qu'en bordure.	<i>"La première année [...] J'ai fait mes bandes fleuries autour. [...] Ça ne sert à rien. Ça sert à rien il ne faut surtout pas faire ça. Tu t'enlèves la moitié de l'effet parce que ta bande fleurie va rayonner que d'un côté au lieu des 2 côtés [...] Et tu n'as pas cet effet pénétrant et c'est ça qu'on recherche avec la bande fleurie. [...]."</i>	RE – SE 2014 (ITE biocontrôle, 4 ^e branche)
Sur des actions seules	Mettre le semoir à l'avant du tracteur pour que les disques puissent rentrer dans du sol non tassé par les traces de roue.	<i>"Alors j'ai eu l'idée moi d'inverser le relevage je l'ai mis sur le devant du tracteur pour ne pas être gêné par les traces de roues."</i>	JMF – SE 2012 (ITE réduction du travail du sol, branche principale)

3.1.1.1.c Hypothèse sur une modification complexe des actions

Ces hypothèses mettent en cohérence plusieurs actions et processus que les agriculteurs connaissent déjà par ailleurs pour les extrapoler et imaginer des pratiques nouvelles. La capacité d'anticipation est plus importante que pour les modifications simples précédemment décrites. Les agriculteurs ont suffisamment d'expertise pour combiner des idées élémentaires et imaginer de nouvelles pratiques. **Ce type d'hypothèse permet aux agriculteurs de réaliser un saut conceptuel, d'imaginer en une seule fois des pratiques à priori cohérentes bien que jamais expérimentées.** Les agriculteurs explicitant ce type d'hypothèses pour concevoir une nouvelle SE modifient plusieurs facteurs ou techniques à la fois et retiennent des combinaisons à priori intéressantes sans avoir à toutes les tester. Ces hypothèses s'appuient souvent sur plusieurs SEs. Ce résultat n'avait pas été anticipé dans le cadre schématique de départ. L'expérience de plusieurs SEs est donc aussi importante pour formuler de nouvelles hypothèses de manière combinatoire que pour acquérir des connaissances. Dans deux cas, les idées n'étaient pas issues de SEs mais, soit de l'expérience de l'agriculteur (inspiration d'une pratique de semis de la luzerne dans le blé, réalisée depuis longtemps), soit de la découverte d'une gestion systémique par une source extérieure à la ferme (contrôle du psylle du poirier combinant fertilisation organique et lâcher d'auxiliaires).

Le Tableau 5-4 présente un exemple d'hypothèse de modification complexe des actions. Dans cet exemple, l'hypothèse repose sur la combinaison de plusieurs actions et processus destinées à implanter puis gérer un semis de couvert dans le blé. L'utilisation du couvert de luzerne dans ces conditions est déjà connue de l'agriculteur ; la nouvelle action imaginée consiste à réaliser le

semis de vesce à la volée dans le blé en mai pour enterrer la graine à l'étrille. En cours d'interculture, un passage de broyeur est réalisé pendant l'été pour gérer les adventices (cette action a déjà été expérimentée auparavant avec de la vesce semée en Juillet). Les processus agroécologiques attendus sont un meilleur développement de la vesce qui reste sous le blé jusqu'à la moisson puis continue à se développer tout l'été. De plus, l'agriculteur remobilise une connaissance sur un processus déjà constaté sur les couverts de vesce dans les SEs précédentes, à savoir que les adventices d'été ne repoussent pas. Au final, pour concevoir une nouvelle SE, il a donc combiné plusieurs processus et actions, certains déjà expérimentés, d'autres espérés, certains déjà validés sur la même espèce, d'autres validés sur d'autres espèces. Et c'est sur cet ensemble complexe de modifications que repose la nouvelle SE.

Tableau 5-4 : Exemples d'hypothèse sur une modification complexe des actions

Hypothèse sur une modification complexe des actions	Enoncés d'agriculteur	Agriculteur et SE correspondante
Itinéraire technique de couvert de vesce dans blé : Semer de la vesce dans le blé, plus tard que la luzerne (SE 2014) pour éviter de la moissonner en même temps que le blé, avec l'épandeur à engrais et enterrer à l'étrille. Broyer le couvert en été pour maîtriser les adventices et avoir un couvert propre (SE 2015)	<i>"Là c'est la vesce que je veux essayer. C'est pour ça que je voudrais la semer maintenant. Normalement on l'a fait comme tout le monde, en septembre. Fin aout... Et moi ce que je voudrais c'est l'implanter maintenant. Je ne sais pas ce que ça apportera, ça apportera peut-être pas grand-chose de plus. Alors surement un broyage à faire parce qu'il y aura de l'ambrosie ou je ne sais pas quoi qui va se développer. [...] Ca va faire partie des essais annuels [...] le semoir, il faut trouver le bon, il va piétiner, il va détruire... Alors que si je passe l'étrille et juste l'étrille pour enterrer un peu la graine...faut que je fasse un essai. [...]Je voulais mettre le couvert le plus tard possible pour ne pas avoir la vesce qui monte plus haut que le blé"</i>	NT – SE 2016 (ITE couverts végétaux, 2 ^e branche)

Nous avons utilisé le terme d'hypothèse pour désigner des connaissances qui n'avaient encore jamais été vérifiées dans le contexte de l'agriculteur. Ces hypothèses peuvent porter spécifiquement sur des processus agroécologiques à générer, ou sur des modifications d'actions pour pouvoir générer certains processus agroécologiques. Dans les deux parties suivantes, les connaissances sont issues d'une ou plusieurs mises à l'épreuve dans le contexte de l'agriculteur.

3.1.1.2 Connaissances acquises à l'issue d'une situation expérimentale

Deux types de connaissances sont produits à l'issue d'une SE et découlent des hypothèses initiales (voir 3.1.1.1).

3.1.1.2.a Des connaissances confortées (ou non)

Les connaissances confortées sont des connaissances acquises par les agriculteurs à l'issue d'une SE qui permet de conforter (ou non) les hypothèses qui ont initié la SE. Les objets biologiques dont il est question sont généralement spécifiques (une espèce cultivée, une espèce d'auxiliaire impliquée dans le biocontrôle, une espèce de bioagresseurs). Ces connaissances ont un degré de certitude différent des hypothèses de départ : le degré de certitude est plus important que celui de l'hypothèse de départ dans le cas d'une connaissance confortée, mais il est plus faible pour les connaissances non confortées.

Deux sous-types majoritaires ont été identifiés (voir Tableau 5-5). Ils impliquent directement des processus agroécologiques. Le premier regroupe les connaissances confortées portant sur la **réalisation de processus agroécologiques**. Le lien à l'action est indirect, ce sont avant tout les processus qui sont l'objet de ces connaissances. Par exemple, suite à une SE, EV conforte son hypothèse sur le contrôle des aleurodes en plein champ par les *Macrolophus* lâchés. Le deuxième sous-type regroupe des connaissances confortées portant sur l'**adéquation entre des actions et des processus**. Grâce à la SE, les actions ont été modulées par rapport à ce qui était fait avant par l'agriculteur. Si la modulation des actions permet de mieux générer ou d'optimiser des processus agroécologiques attendus, alors la connaissance est confortée. Par exemple, NT conforte ses connaissances sur le fait que semer de la vesce plus tôt, proche de la moisson du blé, permet d'obtenir un couvert plus développé. Une autre configuration, minoritaire et non illustrée, ne porte que sur la réalisation d'actions sans que le processus ne soit explicité.

Tableau 5-5 : Exemples de connaissances confortées (ou non).

Sous-types de connaissance confortée	Agriculteurs et SEs correspondantes	Connaissances confortées	Dires d'agriculteur
Sur les processus déclenchés	EV – SE 2010 (ITE biocontrôle, 5 ^e branche)	Les lâchers de <i>Macrolophus</i> maîtrisent les aleurodes sur les choux d'hiver	<i>“(sur les choux) jusqu'à ce qu'il gèle, il n'y a pas d'aleurodes, les macrolophus arrivent à les tenir. Je dis pas qu'il n'y en a pas, mais ils arrivent à être suffisamment présents pour les contenir.”</i>
Sur des actions modulées et les processus déclenchés	NT – SE 2012 (ITE couverts végétaux)	Semer la vesce plus près de la moisson du blé permet d'avoir un couvert plus développé car il profite plus de la lumière et de la chaleur	<i>“J'ai dit, je confirmais que ça marchait. Après je ne l'avais fait qu'un an. Je n'ai expérimenté qu'une fois”</i>

Les connaissances non confortées résultent du constat par l'agriculteur que l'hypothèse n'a pas été vérifiée dans la SE, sans qu'il ne soit capables d'en préciser les raisons. Sur les 62 connaissances de ce type, seules 5 connaissances sont non confortées et 4 concernent une même agricultrice (CG). **Il y a donc beaucoup plus de connaissances confortées par les SEs que non confortées.** Il est probable que les connaissances non confortées poussent les agriculteurs, dans la majorité des cas, à essayer d'en comprendre les raisons. En effet, une connaissance non confortée est peu informative et peu utile pour l'agriculteur, ce qui peut l'amener à développer plutôt le deuxième type de connaissances identifiées : les connaissances précisées.

3.1.1.2.b Des connaissances précisées

A l'issue d'une SE, grâce aux observations réalisées, les agriculteurs peuvent aussi compléter leurs hypothèses : nous parlons ici de **connaissances précisées**. Comme pour les connaissances confortées, les connaissances précisées s'appuient sur une seule SE. Cependant, la différence avec les connaissances confortées réside dans le fait que le résultat diverge de l'hypothèse. La connaissance précisée repose sur la découverte de phénomènes qui enrichissent les hypothèses.

Ces connaissances se répartissent en trois sous-types en fonction du contenu sur lequel elles portent (action et/ou processus). Le Tableau 5-6 illustre un exemple pour chacun de ces sous-types. Le premier concerne des **connaissances précisées sur des processus agroécologiques**, pour un objet biologique particulier lié à ces processus (une espèce d'un couvert, une culture, un groupe d'insectes, un auxiliaire biologique). Les précisions portent parfois sur des conditions particulières qui affectent ce processus, qu'il s'agisse de conditions culturales (processus d'association d'espèces : le comportement d'une plante compagne en fonction du développement d'une culture) ou climatiques (si le printemps est sec, l'interculture de trèfle semée dans le blé crée une forte concurrence pour le blé). Dans le deuxième sous-type, **des connaissances précisées sont apportées sur le lien entre actions et processus agroécologiques**. Plus exactement, les agriculteurs précisent les conséquences de leurs actions effectuées d'une certaine manière sur les processus agroécologiques. Ces processus peuvent être désirables ou non. Les connaissances précisées peuvent ainsi correspondre à une découverte de nouveaux processus liés aux actions de l'agriculteur, qui pourront à l'avenir être pris en compte pour penser les pratiques. Enfin, le troisième sous-type est celui où les **connaissances précisées portent sur les actions seules**, à savoir des actions non satisfaisantes, soit parce qu'elles sont difficiles à mettre en œuvre techniquement, soit parce qu'elles présentent des incompatibilités entre elles.

Tableau 5-6: Exemples de connaissances précisées

Sous-types	Agriculteurs et SEs correspondantes	Connaissances précisées	Dires d'agriculteur
Sur les processus	RE – SE 2013 (ITE biocontrôle, 4 ^e branche)	Dans les bandes fleuries entre les planches de maraîchage, il y a beaucoup plus de carabes.	<i>"Du moment que j'ai commencé à mettre de la bande fleurie, ... on a multiplié les populations (de carabe) peut être par... 50. Avant on voyait un carabule par ci par là, maintenant on en voit tout le temps normalement, en pleine journée. Je l'ai vu tout de suite, ben parce que le gîte était là."</i>
Sur les liens entre actions et processus	GR – SE (ITE couverts végétaux, 4 ^e branche)	Lorsque le couvert de seigle forestier est semé trop tardivement comme en Septembre, l'humidité matinale est favorable aux limaces qui consomment les plantules.	<i>"Ça n'a pas marché. J'avais fait venir des graines de seigle forestier, de sarrasin. Et j'avais tout semé au 10 septembre parce que les graines avaient mis longtemps à venir et j'aurais mieux fait de refaire car tout a été bouffé par les limaces. Ça n'a pas marché, à mon avis à cause de la date tardive, car trop sec au début et après l'humidité est arrivée avec de la rosée le matin"</i>
Sur les actions	JMF – SE 2009 (ITE réduction du travail du sol)	Le semoir à disques sur un sol couvert par des résidus de culture pose deux problèmes : - Il est difficile à passer au niveau des passages de roues car les « efface-traces » accumulent les résidus et bourrent. - En conditions humides, la terre travaillée par ces efface traces bouche les disques.	<i>"On avait un problème technique, c'était, c'était de mettre la culture en place. Alors moi j'avais un semoir à disque, Nodet à l'époque. Mais, quand on le mettait derrière le tracteur il fallait des efface-traces derrière [...] Alors on était obligé de mettre des dents ou quelque chose pour effacer cette roue de tracteur et chaque fois on était embêté, c'était toujours plein et ça faisait pas [...] Et puis, en plus, il y avait un problème quand les terres sont un peu collantes, si on remue un peu la terre ; ça collait, les disques étaient toujours pleins... Ça ne marchait pas "</i>

Alors que les deux types de connaissances précédentes (confortées et précisées) sont produites à partir d'une seule SE, les trois types de connaissances suivants sont des conclusions tirées par l'agriculteur en confrontant/comparant les résultats issus de plusieurs SEs, ce qui permet de s'éloigner du caractère très situé des situations expérimentales et de produire des connaissances plus génériques. Nous verrons donc successivement les connaissances sur les évolutions à long-terme, les connaissances de synthèse et les connaissances sous formes de règles d'action.

3.1.1.3 Connaissances acquises à l'issue de plusieurs SEs d'un même ITE

3.1.1.3.a Connaissances de synthèse

Un autre type de connaissances sont les **connaissances de synthèse**, qui reposent sur plusieurs SEs. Contrairement aux connaissances confortées ou précisées, qui portent toujours sur des objets biologiques très spécifiques, il existe tout un gradient dans la spécificité des objets biologiques concernés par les connaissances de synthèse. Elles peuvent être spécifiques d'une espèce culturale (voire d'une variété) ou communes à des "groupes" fonctionnels comme les engrais verts, les espèces vivant dans le sol ou les auxiliaires de culture. Dans ce dernier cas, elles présentent un degré de généralité plus élevé ; elles fournissent une base de connaissances à l'agriculteur qui pourra ensuite expérimenter sur des objets biologiques spécifiques dans ce large groupe fonctionnel.

Tableau 5-7 : Exemples de connaissances de synthèse

Sous-type de connaissance de synthèse	Agriculteurs et SEs correspondantes	Connaissances de synthèse	Dires d'agriculteur
Sur un processus agroécologique	CG – ITE biocontrôle	Les auxiliaires cécidomyies et micro-hyménoptères ne se développent pas et ne régulent pas les populations de pucerons sur courgettes sous tunnel	<i>"Les cécidomyies machins je veux plus en entendre parler parce que ça ne marche pas de toute façon. "</i>
Sur différentes modalités techniques d'une pratique	JN – ITE couverts végétaux	Semer un couvert de trèfle dans le blé est plus compliqué que pour un semis après moisson car il faut éviter les gelées mais aussi un blé trop haut.	<i>"C'est compliqué d'avoir une fenêtre au mois de mars ; si tu sèmes trop tôt, il va sortir, il va geler ; si tu sèmes trop tard, ton blé est trop haut, trop évolué. Mais dans cette période, ce mois où ton blé n'a pas commencé à taller, à se développer, il faut quand même une fenêtre où tu puisses semer. Tu vois c'est plus compliqué."</i>

Nous distinguons deux sous-types de connaissances de synthèse. Le premier correspond à des **connaissances de synthèse sur un processus agroécologique**. Ces connaissances concernent exclusivement la réalisation de processus agroécologiques expérimentés à différentes reprises. Certains marqueurs linguistiques comme « jamais », « toujours », « de toutes façons » montrent que le résultat, négatif ou positif, a été obtenu plusieurs fois, souvent dans différentes conditions (conditions pédoclimatiques, plusieurs variantes d'une pratique). Le degré de certitude est fort dans ce sous-type de connaissance de synthèse. Le deuxième sous-type concerne des

connaissances de synthèse sur différentes modalités techniques d'une pratique. Par exemple ces connaissances permettent de mieux définir le domaine d'application de certaines pratiques. Le Tableau 5-7 présente des exemples pour chacun des sous-types. CG développe une connaissance de synthèse sur le processus de régulation biologique des pucerons : les auxiliaires biologiques qu'elle lâche ne se développent pas et ne contrôlent pas les pucerons. Pour JN, la connaissance de synthèse porte sur la difficulté à trouver la bonne « fenêtre » de semis dès lors qu'il s'agit de semer l'interculture de trèfle dans le blé et non après la moisson.

3.1.1.4 Des connaissances sous forme de règles d'action

Le dernier type de connaissances exprimées par les agriculteurs sont **des connaissances sous forme de règles d'action**, qu'ils ont acquises à partir de plusieurs SE. Ces connaissances explicitent les actions à réaliser pour que les processus agroécologiques qui en découlent soient les plus intéressants possibles pour les agriculteurs. Les processus agroécologiques étant désormais connus, ces connaissances sont moins descriptives que dans les types précédents et au contraire plutôt prescriptives car elles permettent à l'agriculteur de savoir quoi faire à l'avenir. Elles traduisent une forme d'expertise acquise par les agriculteurs, un stade avancé dans le développement des connaissances pour des pratiques données.

Le Tableau 5-8 présente deux exemples de règles d'action. CG formule une règle d'action pour le choix du moment pour réaliser des lâchers d'acariens prédateurs. JN, lui, formule une règle d'action sur la gestion de l'interculture de trèfle en milieu de culture, concernant la réalisation de fauches. Ces fauches visent à la fois à gérer les adventices, à empêcher le trèfle de monter en graines et à allonger son cycle de développement.

Tableau 5-8: Exemples de connaissances sous forme de règles d'action

Agriculteurs et ITEs correspondantes	Connaissances sous forme de règles d'action	Enoncés d'agriculteur
CG – ITE biocontrôle	Pour réussir la lutte biologique sous serre, il faut lâcher les phytoseilus dès les premiers signes d'attaques d'acariens tétranyques, en général fin mai.	« <i>l'idée, c'est d'arriver à intervenir avant que toute la serre ne soit touchée, bien sûr. C'est pour ça que je te dis, une fois que tu vois les toiles, ne serait-ce que sur un plant, tu intervies. [...] Enfin je sais que tous les ans j'ai des problèmes d'acariens donc maintenant je ne réfléchis même plus. Attaque : j'introduis. [L'effet] , tu le vois sur les jeunes pousses, tu vois que les auxiliaires se développent, tu vois que les jeunes pousses sont plus saines et tu vois que tu ramasses des aubergines ! Et pareil pour les concombres. [...] Mais après sur les acariens je sais que je vais commander des phytoseilus sauf que j'attends d'avoir les premiers points (taches sur les feuilles correspondant aux piqûres) mais en général, je les ai toujours à la même période, c'est au mois de mai, fin mai. »</i>
JN – ITE couverts végétaux	Pour bien réussir l'interculture de trèfle, il faut la faucher plusieurs fois afin de détruire les adventices et d'empêcher le trèfle de grainer pour qu'il pousse plus longtemps.	« <i>Systématiquement donc toutes les ambrosies, et s'il y a du chardon, je les fauche 2 fois, voire 3 fois ça dépend des années. Dans l'été. [...]le fait de faucher, ça repousse derrière alors que si tu laissais comme ça, au bout d'un moment c'est vrai que ça s'épuiserait. Alors imaginons que tu as un couvert végétal, tu le laisses monter, au bout d'un moment il va grainer, ... voilà. Parce que le but ce n'est pas qu'il graine quand même.</i> »

3.1.1.4.a Des connaissances sur des évolutions à long terme

Les **connaissances sur des évolutions à long terme** sont un type de connaissances que produisent les agriculteurs à partir d'une succession de plusieurs SEs. Elles portent sur des effets induits par la mise en œuvre répétées de nouvelles pratiques d'une thématique agroécologique: par exemple des évolutions de population de certaines espèces et donc des processus qu'elles réalisent, des évolutions structurales du sol ou des évolutions de bioagresseurs. Les pratiques ne sont pas forcément répétées à l'identique mais ce sont les processus agroécologiques généraux qui en découlent qui le sont. Ces évolutions prennent en effet du temps à être perceptibles par les agriculteurs et l'expérimentation d'une pratique ou d'un aménagement une seule année ne suffisent pas à produire de la connaissance. Ces évolutions peuvent avoir une cause indépendante des actions de l'agriculteur comme le développement d'habitats naturels (haies) ou au contraire dépendante directement de ses actions (voir Tableau 5-9). Par exemple, JMF a conduit une dizaine de SEs sur le semis direct et une vingtaine en non labour (cf chapitre 4) sur la même parcelle et il en résulte une connaissance sur les évolutions à long-terme des populations de vers de terre et leurs effets sur la structure et la fertilité du sol. Il faut noter que ces connaissances sont issues de SEs se déroulant pendant une longue période, mais aussi sur de grandes surfaces. En grandes cultures, du fait des rotations, expérimenter sur plusieurs parcelles à la fois augmente la probabilité qu'une même parcelle reçoive les effets d'une pratique expérimentée sur une culture pendant plusieurs années. Les effets cumulatifs de la pratique ont donc plus de probabilité d'être visibles ce qui facilite la production de connaissance sur des évolutions à long terme.

Tableau 5-9: Exemples de connaissances sur des évolutions à long terme

Agriculteurs et ITEs correspondants	Connaissances sur des évolutions à long terme	Enoncés d'agriculteur
RE – ITE biocontrôle	L'installation de différentes structures agroécologiques (bandes fleuries, haies, nichoirs) ont permis de réduire progressivement l'impact des bioagresseurs	<i>"Je sens une maturité de mon système. J'ai beaucoup de coccinelles et de syrphes cette année. En 10 ans j'ai vraiment vu les problèmes parasitaires diminuer"</i>
JMF – ITE réduction du travail du sol	Le remplacement du labour par le semis direct ou des TCS depuis plusieurs années a augmenté les populations de vers de terre ainsi que leur activité.	<i>"C'est vrai qu'ils font un sacré travail les vers de terre. On en a un paquet maintenant alors qu'on n'en avait pratiquement plus quand on labourait."</i>

3.1.2 Répartition des types de connaissances dans l'échantillon

L'analyse quantitative porte d'abord sur la répartition des 248 connaissances entre les 8 types de connaissances puis sur leur répartition entre les 7 agriculteurs enquêtés en nous intéressant aux différences entre individus mais aussi entre systèmes de production.

Le Tableau 5-10 présente les effectifs pour chaque type de connaissances décrit précédemment. Sur les 248 connaissances identifiées, 82 ont été formulées en amont de SEs (statut d'hypothèses), 114 connaissances ont été acquises à l'issue d'une SE et 52 à l'issue de plusieurs. Le nombre de connaissances acquises est donc deux fois plus important que le nombre d'hypothèses alors même que certaines hypothèses étaient à l'origine de SEs qui allaient être

mises en œuvre au moment de l'enquête, et donc qui n'avaient pas encore permis d'acquérir des connaissances après SEs. Nous pouvons évoquer deux raisons à cet écart en considérant les connaissances "entrantes" (hypothèses) et "sortantes" (résultats) des SEs. Une partie des connaissances acquises (connaissances sur les évolutions à long-terme, connaissances de synthèse, règles d'action) se base sur la combinaison de plusieurs SEs qui ont déjà permis d'acquérir des connaissances issues d'une seule SE (confortées, précisées). **Une même SE peut donc participer à l'acquisition de plusieurs connaissances alors qu'elle ne repose que sur une seule hypothèse de départ.** De plus, une même SE peut amener à préciser plusieurs connaissances si plusieurs découvertes sont réalisées au cours de celle-ci.

Tableau 5-10: Effectifs par types de connaissances dans l'échantillon (N=248)

	Nombre de connaissances identifiées
Connaissances à statut d'hypothèses en amont de SE	82
Hypothèse sur un processus à générer	30
Hypothèse sur une modification simple des actions	35
Hypothèse sur une modification complexe des actions	17
Connaissances acquises à l'issue d'une SE	114
Connaissances confortées ou non	62
Connaissances précisées	52
Connaissances acquises à l'issue de plusieurs SEs	52
Connaissances de synthèse	30
Règles d'action	16
Connaissances sur des évolutions à long terme	6

Parmi les trois types d'hypothèses, celles sur des modifications complexes des actions sont nettement moins nombreuses. Il est probable que les hypothèses de modification complexe des actions sont plus difficiles à émettre que les hypothèses de modification simple des actions. En effet, elles impliquent de faire varier simultanément plusieurs paramètres de la pratique pour réussir à atteindre le processus agroécologique souhaité. 70% des connaissances acquises sont formulées principalement à l'issue d'une seule SE. Connaissances confortées ou non et connaissances précisées représentent respectivement 62 et 52 connaissances. Les 30% restant concernent des connaissances issues de plusieurs SEs et se distinguent en connaissances de synthèse (N=30), règles d'actions (N=16) et connaissances sur des évolutions à long terme (N = 6).

3.1.2.1 Répartition des connaissances en fonction des systèmes de production et des thématiques agroécologiques

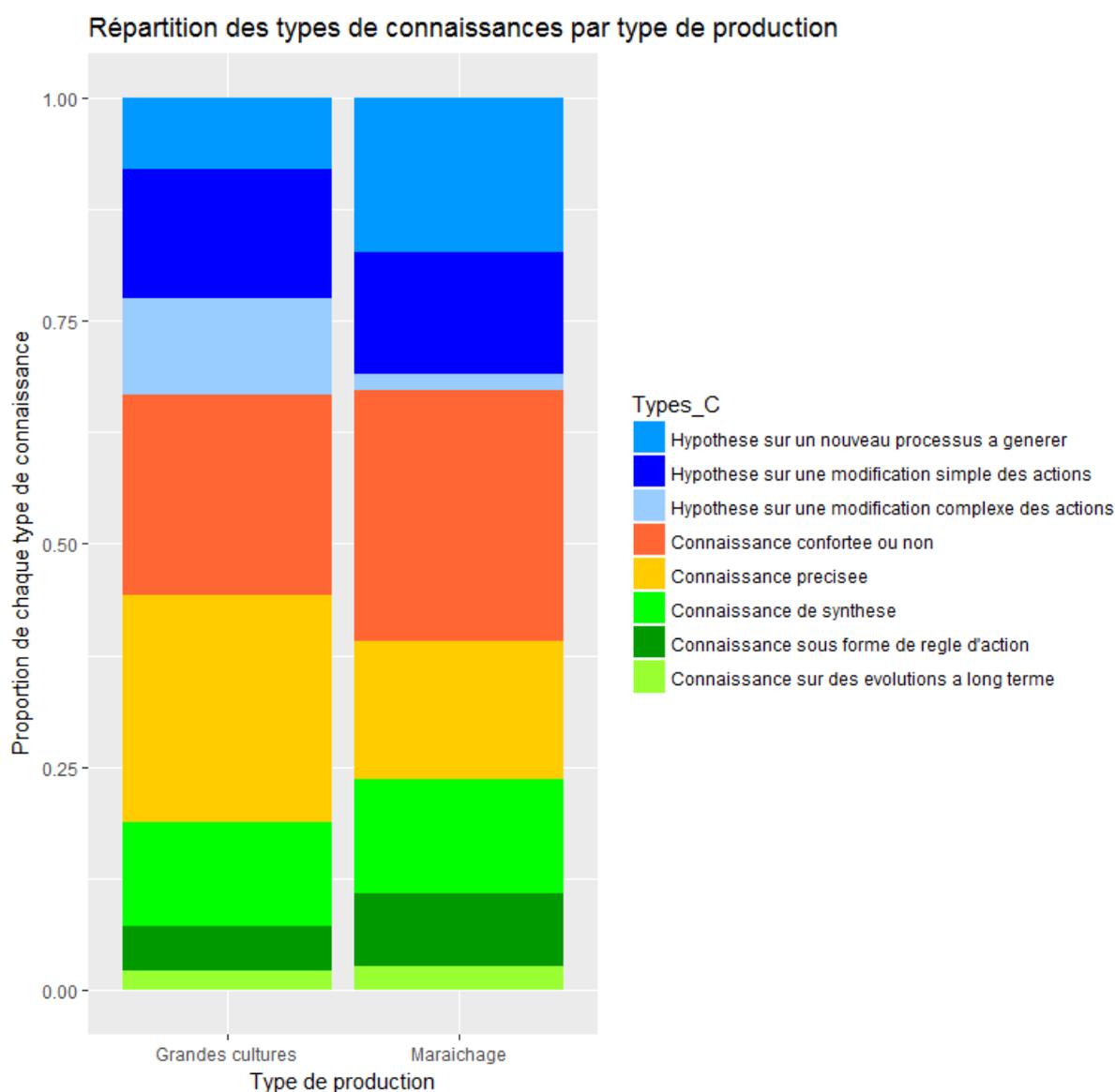
La répartition des connaissances est-elle homogène selon les systèmes de production ? Certains types sont-ils sur-représentés pour un système de production donné ? Nous avons effectivement identifié plusieurs différences dans la répartition des connaissances entre systèmes de production, qui s'expliquent beaucoup du fait que certaines thématiques agroécologiques sont spécifiques d'un système, mais aussi par des différences intrinsèques entre systèmes de production en termes de complexité des systèmes (plus forte en maraîchage),

de disponibilité des agriculteurs (plus faible en maraîchage) et de risques associés aux changements de pratiques (plus fort en grande culture du fait des surfaces concernées).

Les hypothèses sur des modifications complexes des actions sont très peu présentes chez les maraîchers diversifiés (voir Figure 5.3). Elles sont surtout formulées en grandes cultures. **La proportion des connaissances précisées est aussi plus importante en grandes cultures qu'en maraîchage diversifié. Ces deux différences sont surtout à mettre sur le compte des thématiques agroécologiques plus que des systèmes de production.** En grandes cultures, les expérimentations ont majoritairement porté sur la détermination des itinéraires techniques d'implantation de couverts végétaux. L'implantation d'un couvert végétal et plus encore l'agriculture de conservation embarque des changements techniques complexes. Comme les interactions à prendre en compte pour réussir un couvert sont nombreuses, il est nécessaire de produire beaucoup de connaissances précisées : dates de semis optimale pour favoriser la levée mais éviter les ravageurs, gestion de la concurrence avec les adventices, gestion de la montée en graines du couvert, espèces du couvert choisies en fonction des objectifs, etc. Un nombre important d'actions est donc à coordonner pour optimiser l'implantation de couverts végétaux, ce qui explique aussi la proportion importante d'hypothèses de modifications complexes des actions dans ce système de production. A l'inverse, pour le biocontrôle en maraîchage, les actions à coordonner sont plus restreintes que ce soit pour des lâchers d'auxiliaires ou la mise en place d'infrastructures agroécologiques, ce qui pourrait expliquer la plus faible proportion des hypothèses sur des modifications complexes des actions et des connaissances précisées.

Le ratio entre nombre d'hypothèses sur des processus agroécologiques à générer et nombre d'hypothèses sur des modifications (simples ou complexes) des actions est plus grand pour les trois maraîchers que pour les quatre agriculteurs en grandes cultures. Cela tendrait à montrer que, pour un même nombre d'hypothèses sur des processus, les maraîchers cherchent moins à améliorer leurs actions que les producteurs de grandes cultures. Ce résultat s'explique probablement en partie par la plus grande diversité et complexité des situations rencontrées en maraîchage : grand nombre de cultures, cultures plein champ ou sous tunnel et expérimentations en lien avec la vie du sol ou avec la lutte biologique. Les processus agroécologiques à expérimenter sont nombreux alors que les maraîchers diversifiés ont peu de temps disponibles (Dupré et al., 2017). A l'inverse, les agriculteurs en grandes cultures expérimentent moins de processus nouveaux mais cherchent à les améliorer plus longtemps. Le plus petit nombre de cultures céréalières mais les grandes surfaces qu'elles représentent poussent sans doute plus à l'optimisation des processus agroécologiques qu'en maraîchage diversifié où une culture qui échoue est plus facilement abandonnée et détruite pour faire place aux suivantes. Par exemple, JN expérimente peu de nouveaux processus écologiques, mais il réalise beaucoup de SEs qui visent à améliorer l'implantation d'un couvert de trèfle entre deux blés. Il est possible que cette différence soit aussi due au fait que les pratiques de biocontrôle 1) se prêtent bien au 'transfert de technologie' pour les lâchers d'auxiliaires comme nous l'avons déjà souligné dans le chapitre 4 et nécessitent donc peu d'améliorations des actions, 2) disposent d'une faible marge de manœuvre dans le cas des infrastructures agroécologiques pérennes.

Figure 5.3: Répartition des types de connaissances par système de production



3.1.2.2 Répartition des connaissances en fonction des agriculteurs

D'autres différences dans la répartition des connaissances s'expliquent par des différences individuelles, entre producteurs. La Figure 5.4 présente la répartition des types de connaissances par agriculteur. Le nombre de connaissances identifiées par agriculteur varie de 22 à 55. Ce nombre est relativement proportionnel au nombre de SEs mises en œuvre par les agriculteurs. Ainsi, c'est pour JMF que nous avons identifié le plus grand nombre de connaissances et c'est aussi celui dont l'activité d'expérimentation est la plus importante (plus de 20 SEs). Inversement, GR a un petit nombre de connaissances identifiées car son ITE est récent et donc court (trois ans, malgré une douzaine de SEs).

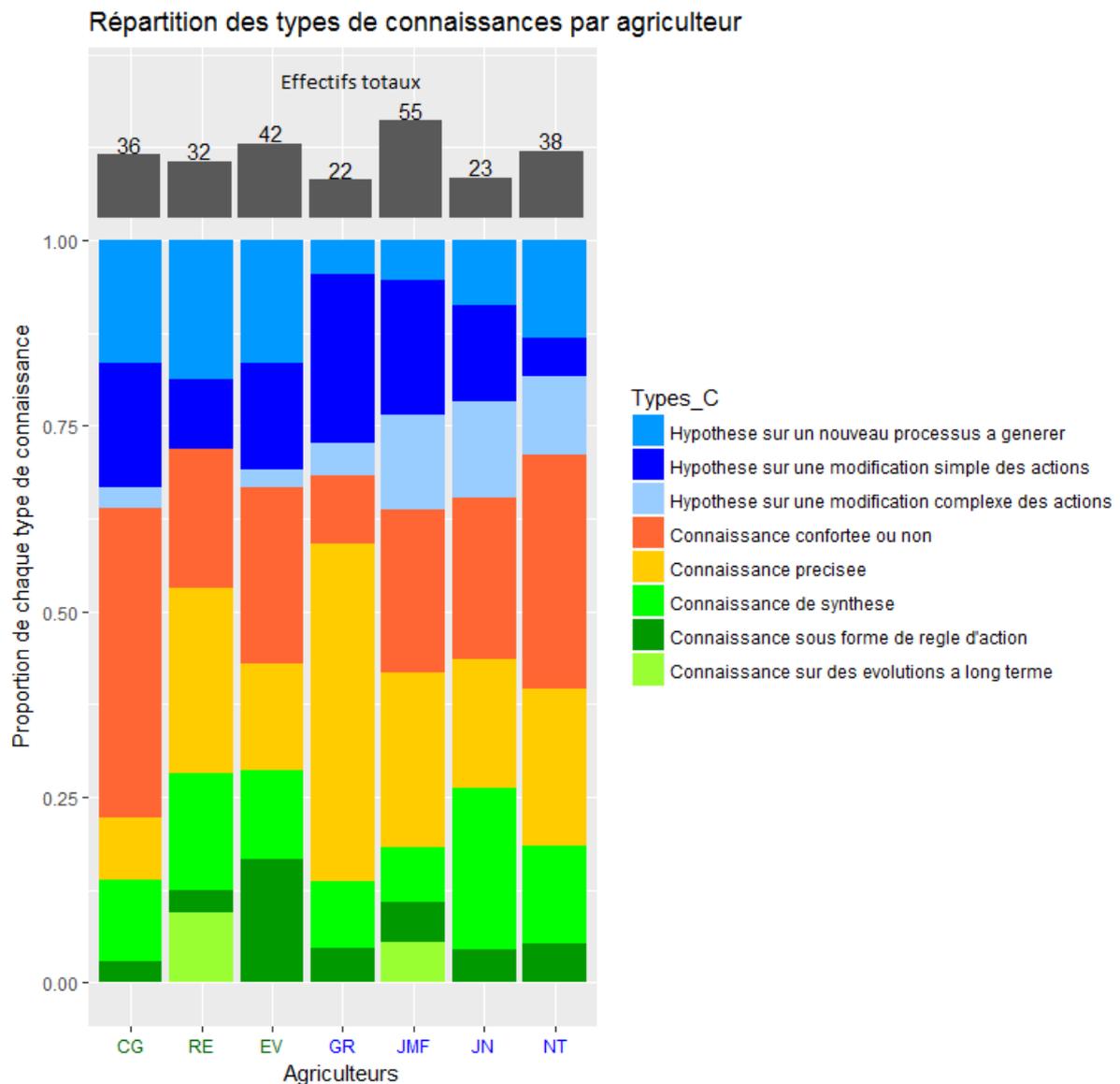
Les huit types de connaissances caractérisés précédemment sont présents chez tous les agriculteurs sauf pour les connaissances sur des évolutions à long terme, où seuls deux agriculteurs (JMF en grandes cultures conventionnelles et RE en maraîchage diversifié biologique) ont formulé ce type de connaissances. Pour JMF, cela concerne la connaissance sur les populations de vers de terre et leur impact sur le sol dans un système où les TCS et le semis direct sont généralisés, ainsi que des connaissances sur le développement de résistances aux

herbicides du ray-grass. Pour RE, les connaissances concernent les évolutions de la biodiversité utile au biocontrôle à l'échelle de l'atelier maraîchage (plantations de bandes fleuries par exemple), de l'activité biologique dans les sols conduits en planches permanentes et de la structure du sol du fait de l'utilisation d'un outil formant les planches permanentes. Plusieurs agriculteurs n'ont pas mis en œuvre de pratiques qui pourraient avoir des effets à long terme : CG fait uniquement des lâchers d'auxiliaires, NT, JN et EV expérimentent les couverts végétaux mais n'arrêtent pas le labour (les évolutions en termes de vie du sol ou de structure sont donc limitées et difficiles à voir) et enfin EV met en œuvre des pratiques avec des infrastructures agroécologiques mais observe plutôt les mêmes effets année après année sur ses cultures qu'une évolution en terme de biodiversité fonctionnelle qui l'amènerait à produire une connaissance de type évolution à long-terme.

Un seul agriculteur formule beaucoup de connaissances sous forme de règles d'actions : EV expérimente avec succès un grand nombre de pratiques : lutte biologique sous tunnel, lutte biologique en arboriculture, engrais verts. Dans son cas, la formulation de règles d'action ne semble pas systématiquement liée à un nombre élevé de SEs, puisque certaines règles sont explicitées dès la première SE. Il semble que cela soit dû à sa proximité avec une technicienne et le monde du conseil technique en général. Par exemple, la règle d'action « lâcher les *Antochoris* en deux fois » provient directement des recommandations techniques auxquelles l'agriculteur a eu accès.

Le rapport entre nombre de connaissances confortées (ou non) et connaissances précisées est généralement proche de 1, sauf pour deux agriculteurs. La maraîchère CG acquiert proportionnellement beaucoup plus de connaissances confortées ou non. La plupart d'entre elles sont liées aux SEs sur les lâchers d'auxiliaires sous tunnel : ce qui intéresse CG est de savoir si les auxiliaires survivent et s'y développent. Une partie des connaissances correspond à des connaissances non confortées. Ainsi, CG fait des constats sur le fait qu'elle ne retrouve pas telle ou telle espèce d'auxiliaire, sans pouvoir les relier avec certitude à des causes précises. Elle suppose que les conditions climatiques n'étaient pas propices ou n'a pas d'explication. Après coup, de nouvelles hypothèses sont produites pour modifier certains paramètres et favoriser l'installation des auxiliaires, sans succès (blanchiment des tunnels, dates de lâchers et ordre par exemple). A l'inverse, GR acquiert un petit nombre de connaissances confortées (ou non) par rapport aux connaissances précisées. GR interprète beaucoup plus de SEs qui échouent mais qui aboutissent à plus de connaissances précisées. Ses échecs sur les couverts végétaux l'amènent à identifier différents problèmes au niveau des dates de semis. Il précise aussi ses connaissances sur les interactions entre plantes au sein de l'association colza – lentille. La différence de proportion entre connaissances confortées et connaissances précisées entre ces deux agriculteurs peut s'expliquer par le fait que l'objet biologique "auxiliaires de culture" est beaucoup plus difficile à observer que l'objet biologique "couverts végétaux". Rechercher des causes ou observer des dynamiques est plus difficile pour des objets biologiques petits et mobiles et une partie des connaissances acquises sont "non confortées", à défaut de pouvoir être précisées.

Figure 5.4: Répartition des types de connaissances par agriculteur. Les 3 premiers agriculteurs sont des maraîchers (en vert) tandis que les autres sont en grandes cultures (en bleu).



3.2 Développement des connaissances avancées

La partie précédente présentait une typologie des connaissances identifiées chez sept agriculteurs. De par sa structure, cette typologie suppose déjà un lien entre les types de connaissances à statut d'hypothèse et ceux à statut de résultat. En effet, les premières permettent de concevoir des SEs, qui à leur tour permettent de produire de nouvelles connaissances, qui, en retour, serviront de base aux agriculteurs pour formuler de nouvelles hypothèses. Cependant, le découpage par type de connaissance ne permet pas d'analyser le développement des connaissances pour un même agriculteur. **C'est l'objet de cette seconde partie. Nous analysons plus précisément le développement de connaissances "avancées": les connaissances de synthèse, les règles d'action et les hypothèses de modification complexe des actions.** Pour cela, nous étudions les liens entre les différents types de connaissances au cours du temps.

Trois processus de développement sont proposés :

- Le premier porte sur la façon de combiner des connaissances antérieures pour formuler des hypothèses de modification complexe des actions,
- Le deuxième processus de développement concerne l'exploration progressive de différentes combinaisons d'actions, d'objets biologiques et de processus agroécologiques qui permet d'aboutir à des connaissances de synthèse ou à des règles d'action.
- Enfin, le troisième porte sur l'évolution du degré de certitude des connaissances.

Ces trois processus de développement ne sont pas forcément réalisés dans un ordre précis. Au contraire, ces trois processus peuvent très bien se superposer et avoir lieu simultanément au cours d'un ITE.

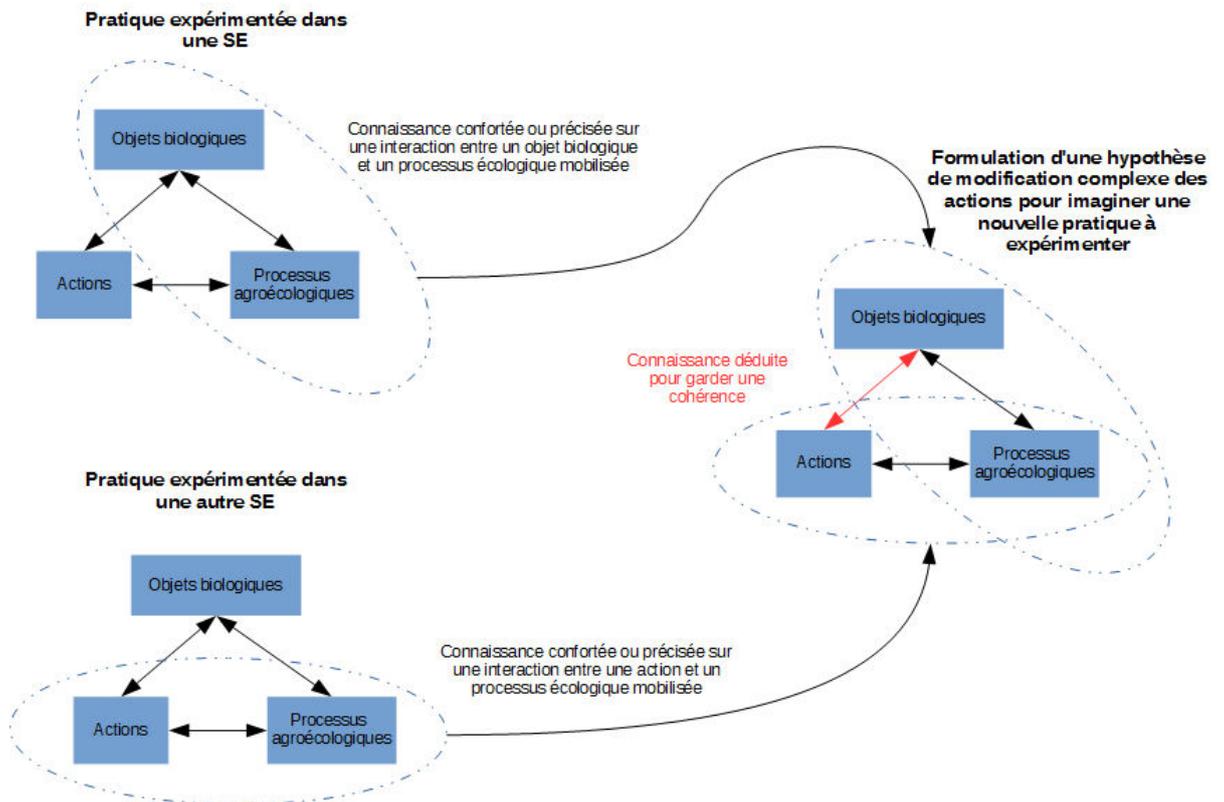
3.2.1 Combinaison des connaissances antérieures pour formuler des hypothèses de modification complexe des actions

Cette première forme s'appuie essentiellement sur l'analyse de situations en grandes cultures, car nous avons rencontré des hypothèses de modifications complexes des actions principalement sur ce système.

L'agroécologie nécessite souvent une réflexion systémique. La formulation d'hypothèses de modifications complexes des actions par les agriculteurs relève d'une démarche systémique similaire à celle des agronomes qui conçoivent de nouveaux systèmes de culture. Plutôt que tester toutes les combinaisons possibles de facteurs, les agronomes « parient » sur les systèmes les plus prometteurs pour gagner en efficacité. Pour cela, ils se basent sur leur expertise pour combiner au mieux des cultures et leurs itinéraires techniques respectifs au sein d'un système de culture cohérent. Comment les agriculteurs procèdent-ils ? Ils combinent eux aussi plusieurs actions et processus pour produire des combinaisons de pratiques cohérentes. **Nous montrons dans cette partie en quoi les connaissances qu'ils ont pu acquérir grâce à leurs expérimentations améliorent l'expertise dont ils disposent pour concevoir ces combinaisons, et donc de nouvelles SEs.**

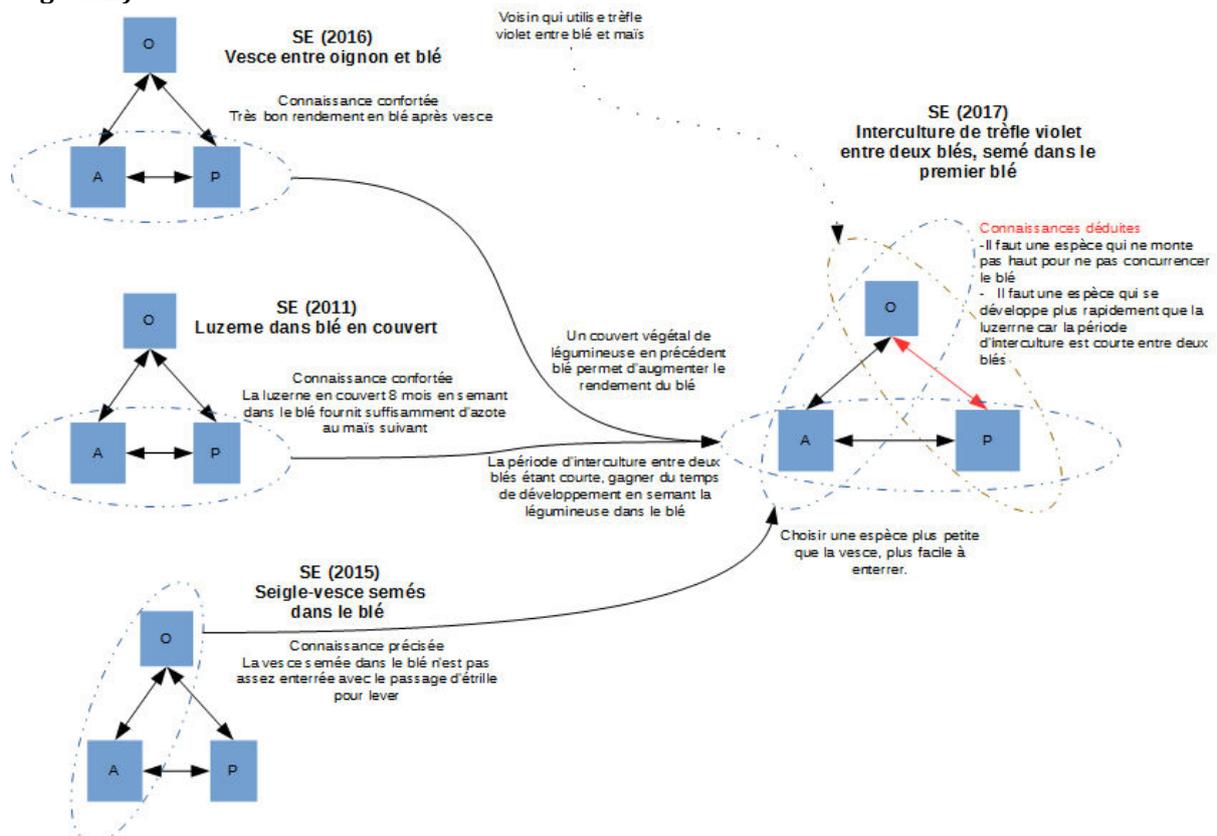
Les pratiques agroécologiques expérimentées peuvent être représentées comme une combinaison d'interactions entre des objets biologiques, des actions et des processus agroécologiques. Lors de la formulation d'une hypothèse de modification complexe des actions, les agriculteurs mobilisent des connaissances sur certaines interactions de pratiques expérimentées antérieurement pour concevoir une nouvelle combinaison cohérente entre objets biologiques, actions et processus agroécologiques (voir Figure 5.5). Toutes les interactions ne sont pas issues de connaissances antérieures. Certaines sont déduites pour assurer la cohérence de la nouvelle pratique imaginée. Les SEs dont sont issues les connaissances antérieures et la nouvelle SE basée sur l'hypothèse de modification complexe des actions appartiennent au même ITE.

Figure 5.5: Mobilisation de connaissances antérieures pour formuler une hypothèse de modification complexe des actions



Nous illustrons ici ce processus de formulation d'hypothèse de modification complexe des actions à partir de connaissances antérieures, dans le cas de NT (voir encadré ci-dessous) mais ce type de processus a été aussi identifié dans d'autres cas (voir Annexe 10 pour JMF sur l'itinéraire d'un couvert de moutarde avant pois chiche par exemple). Nous n'avons pas repris le déroulement des interactions dans l'ordre chronologique d'apparition des connaissances correspondantes mais suivi la logique de combinaison des interactions pour la nouvelle pratique expérimentée. NT formule **une hypothèse de modification complexe des actions** qui vise à semer dans le blé une interculture de trèfle violet précédant un deuxième blé (voir encadré). Pour chaque couple d'interaction (Objet-Action, Action-Processus ou Objet-Processus), nous avons identifié les connaissances antérieures correspondantes ainsi que l'ITE et les SEs dont elles provenaient.

Formulation d'une hypothèse par NT sur une interculture de trèfle violet dans le blé (ITE couverts végétaux)



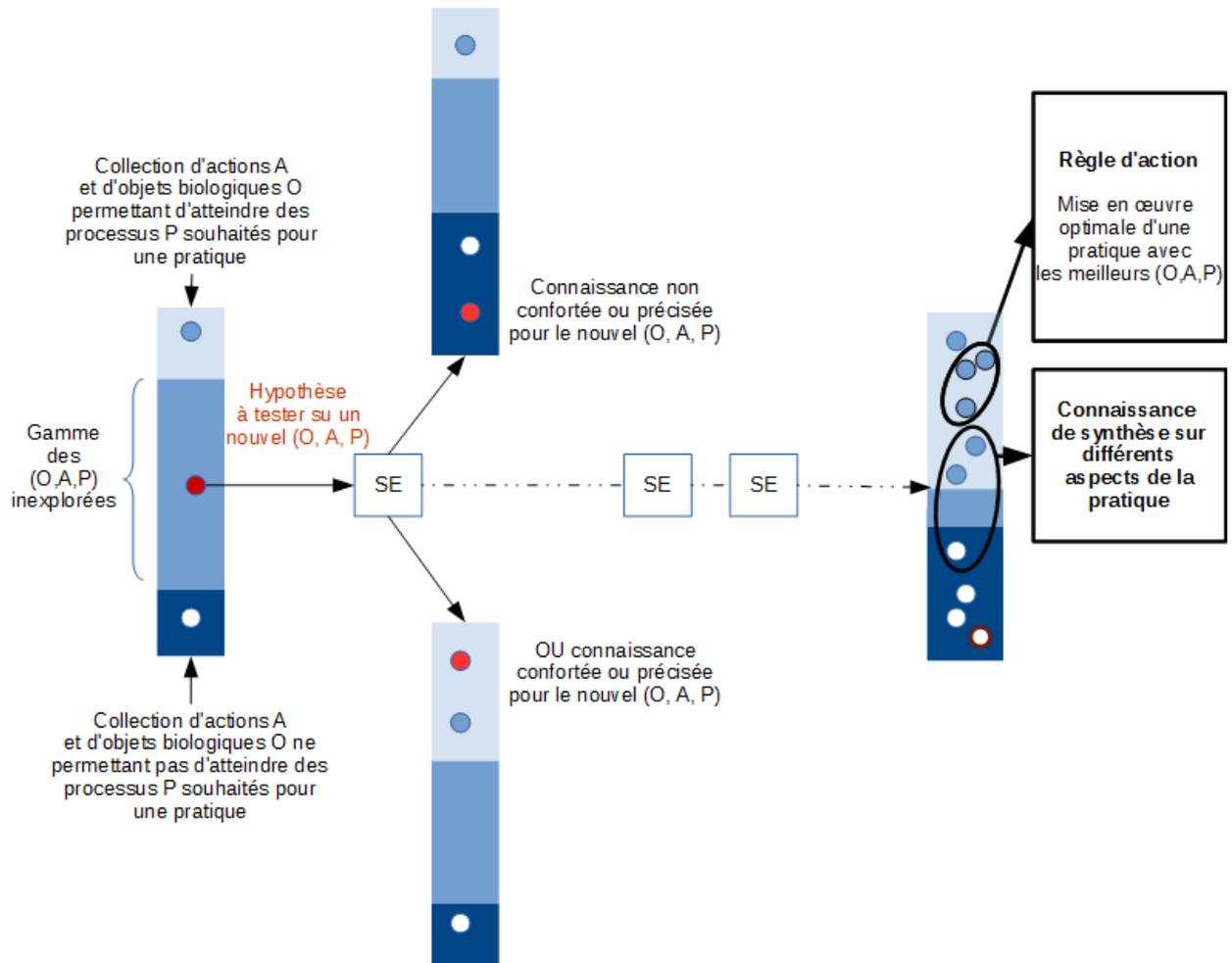
- Interactions (Actions, Processus) :
 - En 2015, NT fait une **hypothèse sur un processus à générer** pour une interculture de vesce après des oignons et avant une culture de blé d'hiver. Les résultats de la SE sont très satisfaisants et **sa connaissance est confortée**, le blé bénéficie bien de l'effet précédent vesce. NT mobilise ces connaissances pour imaginer une interculture entre deux blés : un couvert végétal en précédent blé permet d'augmenter le rendement du blé.
 - En 2011, NT a réalisé une SE en semant de la luzerne dans le blé. La luzerne se développant lentement, il gagne ainsi quelques mois sur la période de développement de l'interculture. Il acquiert **une connaissance confortée** suite à des résultats satisfaisants sur le maïs suivant. Dans son hypothèse de modification complexe des actions, NT mobilise cette connaissance pour gagner du temps de développement sur l'interculture entre deux blés : la période d'interculture entre deux blés étant courte, il est intéressant de pouvoir gagner du temps de développement en semant dans le blé.
- Interactions (Objets biologiques, Actions) :
 - Déjà intéressé par l'idée de semer un couvert dans le blé, NT **précise sa connaissance** en 2016 sur le fait que la vesce semée dans le blé n'était pas assez enterrée avec le passage d'étrille pour lever. NT mobilise cette connaissance pour choisir une espèce plus petite que la vesce, plus facile à enterrer.
- Interactions (Objets biologiques, Processus):
 - NT **déduit** de ces idées qu'il lui faut une espèce qui ne monte pas haut pour ne pas concurrencer le blé.
 - Il **déduit** également qu'il lui faut une espèce qui se développe plus rapidement que la luzerne car la période d'interculture reste courte.
 - En ayant connaissance d'un voisin qui sème du trèfle violet en interculture classique entre blé et maïs, NT estime que cette espèce convient bien.

Nous avons proposé un processus pour expliquer comment les agriculteurs mobilisent des connaissances antérieures pour formuler des hypothèses de modification complexe des actions et comment les contenus de connaissances sur certaines interactions peuvent se combiner. Dans la partie suivante, nous nous intéressons à l'exploration de plusieurs contenus de connaissances pour une pratique.

3.2.2 Exploration de différentes combinaisons d'actions, d'objets biologiques et de processus agroécologiques

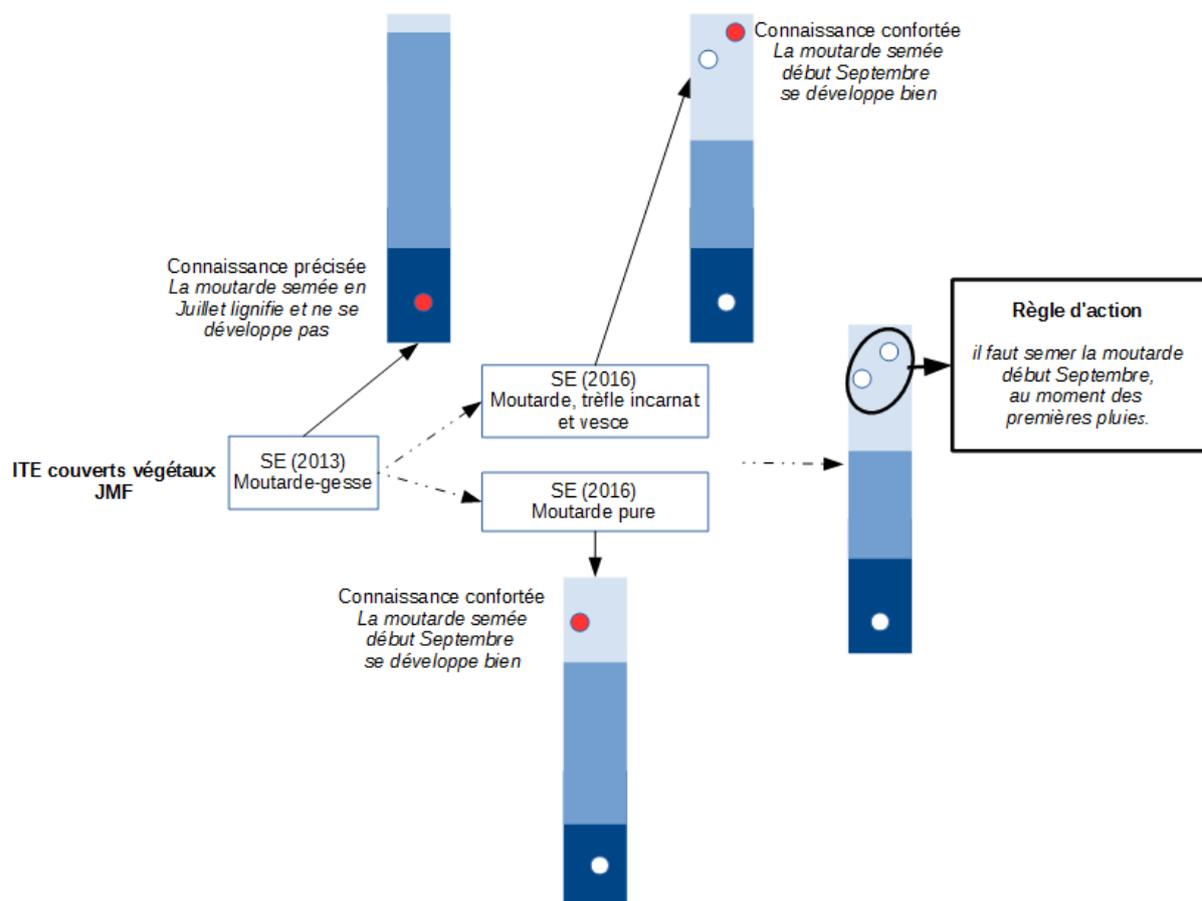
L'exploration de différentes combinaisons d'actions, d'objets biologiques et de processus agroécologiques aboutit à comme une collection de connaissances sur des variantes de pratiques permettant ou non d'atteindre des processus agroécologiques visés (et à des degrés variables). Pour une pratique expérimentée, l'exploration permet de trier les nouvelles combinaisons d'actions, d'objets biologiques et de processus souhaitables (connaissance confortée par exemple) des autres combinaisons non souhaitables (par exemple connaissances non confortées). Nous avons vu dans le chapitre 4 que, au sein d'un même ITE, les agriculteurs explorent différentes combinaisons d'actions, d'objets biologiques et de processus issues de plusieurs SEs. A partir de ces combinaisons connues, les agriculteurs formulent des **connaissances de synthèse sur différents aspects d'une pratique** (par exemple une connaissance sur un comparatif de pratiques via leurs avantages et inconvénients ou une hiérarchie entre des pratiques intéressantes). Une connaissance sous forme de règle d'action peut être formulée lorsque l'agriculteur choisit de mettre en œuvre une combinaison spécifique qui lui semble optimale. La Figure 5.6 schématise ce développement des connaissances.

Figure 5.6: Explorations de différentes combinaisons d'actions, d'objets biologiques et de processus agroécologiques pour une pratique permettant d'atteindre des processus agroécologique souhaitable. Pour une pratique (rond dans la figure), différentes variantes sont expérimentées ce qui réduit la gamme des actions, objets et processus inexplorés tandis que les collections d'actions, objets et processus souhaitables ou non s'enrichissent.



Deux exemples illustrent le processus d'exploration. JMF enrichit ses connaissances sur les moutardes comme engrais verts et détermine, **sous forme de règle d'action**, que la bonne date de semis se situe début Septembre car cela permet d'éviter la montée en graines (voir encadré a).

a) Exploration de JMF sur date de semis optimale de moutarde d'interculture (ITE couverts végétaux)

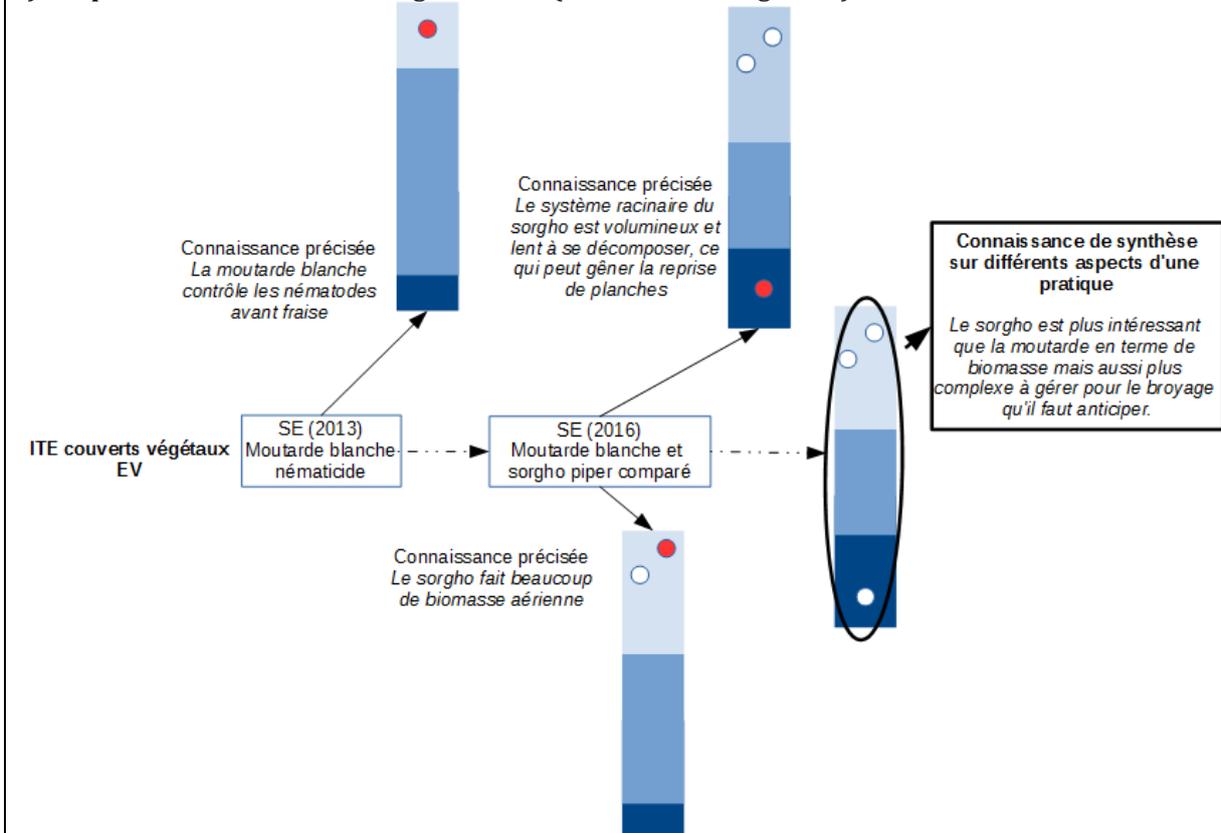


JMF acquiert une **connaissance sous forme de règle d'action** sur la date de semis des moutardes comme engrais verts. Le développement de cette connaissance trouve son origine dans une SE avec un mélange gesse/moutarde en semis direct. **La connaissance est confortée** pour la gesse en termes de processus (bon développement) et précisée pour la moutarde en raison d'une date de semis trop précoce (**connaissance précisée**).

Quelques années plus tard, de nouvelles SEs font intervenir la moutarde semée plus tardivement. JMF **conforte sa connaissance**. Dans les deux SEs, la moutarde s'est bien développée. Il formule alors une **connaissance sous forme de règle d'action** pour optimiser l'implantation des moutardes : *il faut semer la moutarde début Septembre, au moment des premières pluies.*

Via une connaissance de synthèse, EV compare le sorgho piper à la moutarde en considérant le premier comme plus intéressant en termes de biomasse produite mais plus difficile à gérer car il faut plus anticiper sa destruction alors que la moutarde se dégrade rapidement (voir encadré b). Remarquons que, dans ce cas une même SE permet de repérer à la fois une combinaison (O, A, P) produisant un processus souhaitable (production importante de biomasse aérienne) mais aussi une combinaison (O, A, P) produisant un autre processus non souhaitable (le développement racinaire du sorgho est très important et se dégrade lentement ce qui gêne la reprise de planche).

b) Exploration de EV sur les engrais verts (ITE couverts végétaux)



EV formule une **hypothèse sur un processus agroécologique** via la moutarde blanche nématocide pour profiter d'un couvert et réguler les nématodes avant une culture de fraises et **conforte sa connaissance**. Quelques années plus tard, il fait une hypothèse de modification simple des actions et implante une partie des planches en interculture avec du sorgho piper, moins cher et à développement plus rapide que la moutarde blanche. Il **précise sa connaissance** en remarquant que le sorgho produit une biomasse bien plus importante que la moutarde. Il **précise aussi sa connaissance** en observant que le système racinaire du sorgho est volumineux et lent à se décomposer, ce qui peut gêner la reprise de planches. EV compare alors, grâce à une **connaissance de synthèse** la moutarde blanche et le sorgho piper: *Le sorgho est plus intéressant que la moutarde en terme de biomasse mais aussi plus complexe à gérer pour le broyage qu'il faut anticiper.*

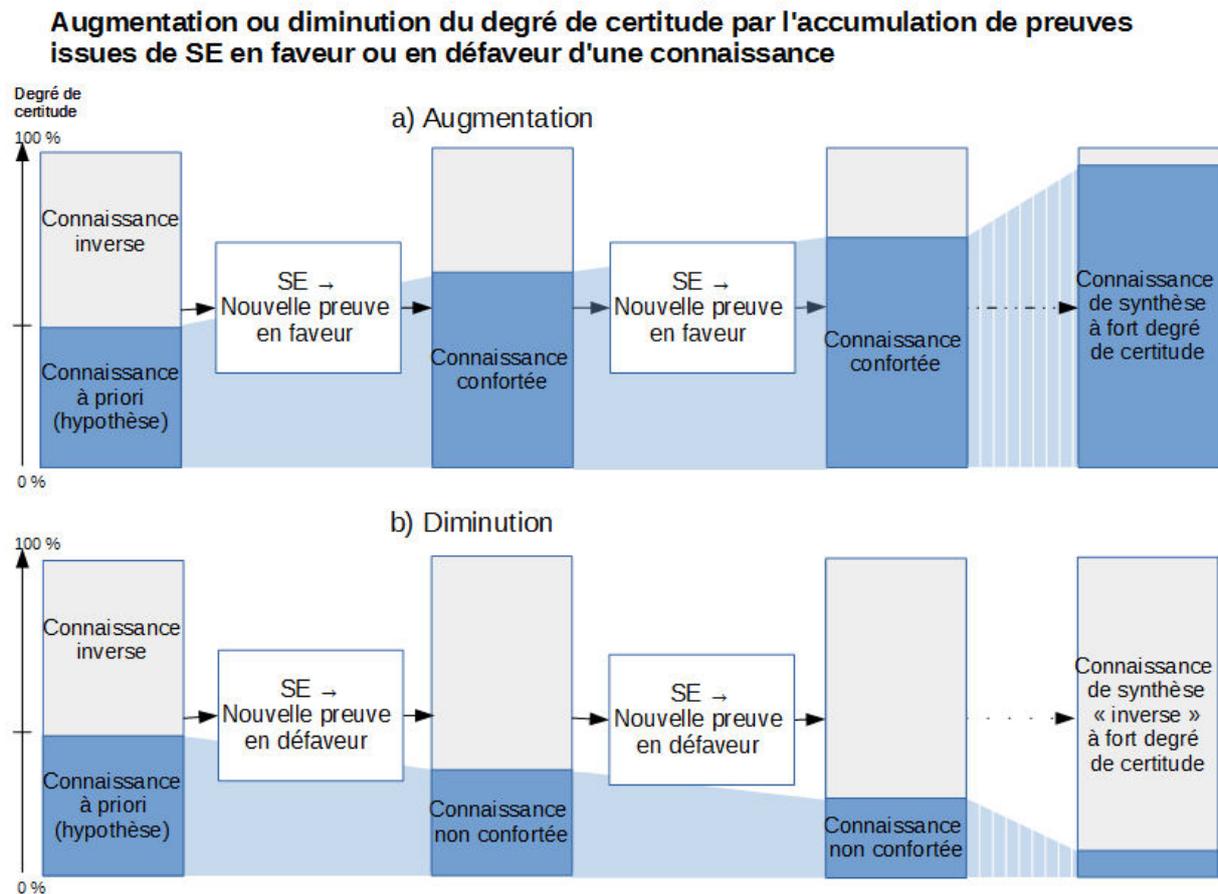
Dans la partie suivante, nous nous intéressons à l'évolution du degré de certitude des connaissances.

3.2.3 Evolution du degré de certitude des connaissances

Pour ce dernier processus, nous avons ici recours à une approche bayésienne des connaissances (Hoang, 2018). C'est une théorie de la connaissance qui a permis d'éclairer un grand nombre de capacités cognitives élevées de l'humain, notamment celle de généraliser à partir d'un petit nombre de données (Tenenbaum et al., 2011). Le bayésianisme propose de considérer le degré de certitude des connaissances selon leur probabilité d'être vraies (probabilité épistémique). Dans des situations d'incertitudes sur des phénomènes, plusieurs connaissances correspondant chacune à une cause hypothétique sont en jeu. Chaque connaissance a une certaine probabilité d'être vraie. La probabilité de chaque connaissance (son degré de certitude) est évolutive en fonction des données, des preuves qui sont rencontrées. A chaque nouvelle preuve, il faut calculer la probabilité que chaque cause soit vraie sachant cette preuve, ce qui déplace

progressivement les degrés de certitude relatifs à chaque cause (voir les détails pour un cas simple en Annexe 11). Dans les cas courants de la vie quotidienne, les calculs ne sont pas vraiment réalisés mais faits et approximés de manière inconsciente (Tenenbaum et al., 2011). Cette approche suggère aussi que le degré de certitude des connaissances est **subjectif** car il dépend des preuves qui sont rencontrées par chaque individu apprenant. Appliquée à l'expérimentation des agriculteurs, ce sont les SEs qui apportent des preuves et font varier le degré de certitude des connaissances. Les deux formes les plus simples de connaissances sur un processus agroécologiques par exemple sont représentées sous la forme "ça marche/ça ne marche pas". En accumulant des expérimentations sur sa ferme, pendant plusieurs années et en plusieurs lieux comme nous l'avons décrit dans le chapitre 4, l'agriculteur teste une pratique dans une gamme de conditions pédoclimatiques et agroécologiques mais aussi, souvent, dans une gamme de plusieurs variantes de la pratique. Lorsqu'un agriculteur conclut que "ça marche", cela se traduit, de manière bayésienne, ainsi : c'est le cumul d'observations de résultats de SEs d'un ITE qui a fait augmenter progressivement le degré de certitude de l'agriculteur sur les connaissances (par exemple sur un processus agroécologique) qui soutenaient une pratique expérimentée. Il devient très probable que la pratique en question permette d'atteindre le processus agroécologique souhaité car il l'a déjà obtenu plusieurs fois dans des conditions et des variantes de pratiques différentes. Imaginons un agriculteur qui formule une hypothèse sur un processus agroécologique. Une SE est mise en œuvre et permet de la tester via une pratique, le processus est évalué lors de la SE et finalement, selon la preuve obtenue, la connaissance est confortée (ou non). Lorsque la connaissance est confortée (Figure 5.7 a), le degré de certitude de la connaissance augmente. Inversement, lorsque la connaissance n'est pas confortée (Figure 5.7 b), le degré de certitude diminue. Ou dit autrement, le degré de certitude de la connaissance inverse augmente. Les connaissances précisées peuvent aussi faire augmenter ou diminuer le degré de certitude selon les cas. La connaissance peut ensuite à nouveau être mise à l'épreuve dans une autre SE. Au sein d'un même ITE, c'est donc l'accumulation de preuves par plusieurs SEs qui permet le processus d'évolution du degré de certitude d'une connaissance. Lorsque le degré de certitude est devenu suffisamment important, les agriculteurs formulent une connaissance de synthèse de certitude.

Figure 5.7: Evolution du degré de certitude d'une connaissance par l'accumulation de preuves issues de SEs



Le processus d'augmentation du degré de certitude est illustré par les cas de EV et NT. L'agriculteur expérimente des moyens de biocontrôle en verger et augmente de manière croissante le degré de certitude de sa connaissance sur le rôle de la haie qu'il a plantée pour maintenir les populations d'*Antochoris* l'hiver et ainsi bénéficier de ces auxiliaires lorsque le psylle du poirier arrive (voir encadré a)). Non seulement les preuves s'accumulent sur l'effet de la haie car les SEs confortent toujours cette connaissance mais, en plus, les preuves gagnent en force¹⁰ au fur et à mesure que les doses de lâchers sont réduites, ce qui montre l'efficacité de la haie.

¹⁰ C'est-à-dire que la preuve augmente d'autant plus la probabilité que la haie ait un effet que la dose de lâcher est faible.

a) Augmentation de la certitude d'une connaissance d'EV sur la capacité d'une haie à abriter des *Antochoris* (ITE biocontrôle, branche 1).

EV réalise une série de SEs sur son verger de poiriers pour gérer le psylle. Au cours des SEs successives, il réduit d'abord ses doses de lâchers d'auxiliaires puis finit par arrêter les lâchers. Ainsi, au départ en 2013, EV **fait une hypothèse sur une modification simple de ses actions** : il est possible de réduire la dose d'*Antochoris* lâchés à $\frac{3}{4}$ de celle utilisée normalement, tout en conservant un bon contrôle des psylles, notamment grâce aux auxiliaires naturels présents dans la haie. A la suite de cette SE, cette **connaissance est confortée**. EV retente l'expérience l'année suivante avec la dose de $\frac{3}{4}$ et la **connaissance est à nouveau confortée**. La troisième année, il réduit la dose de moitié en faisant à nouveau **une hypothèse sur une modification simple de ses actions** (même à une dose de $\frac{1}{2}$ d'*Antochoris*, la haie retient suffisamment d'auxiliaires pour gérer le psylle). La SE lui permet de **conforter cette connaissance**. Enfin, en 2017 il fait **une nouvelle hypothèse sur une modification simple de ses actions**, il ne lâche aucun auxiliaire et s'en remet entièrement à l'effet de la haie. A nouveau la SE mise en place lui permet de **conforter cette connaissance**: *"cette année ça a été sans filet. Et du coup ça s'est bien passé."* Une **connaissance de synthèse** sur le rôle de la haie pour gérer le psylle via les *Antochoris* est finalement produite avec un degré de certitude élevé : *"Donc y a bien quelque chose qui fonctionne"*.

NT conduit deux SEs sur les couverts végétaux sur céréales lui apportent des preuves en faveur du fait qu'un broyage de couvert ne fait repartir que les plantes du couvert et pas les adventices d'été. Il formule une connaissance de synthèse ayant un haut degré de certitude sur la capacité de reprise du couvert (voir encadré b) ci-après).

b) Augmentation de la certitude d'une connaissance de NT sur la reprise de développement d'un couvert (ITE couverts végétaux).

Alors que NT pensait devoir détruire son interculture en mélange de féverole, vesce et seigle à cause du développement important d'adventices, il **précise** sa connaissance en découvrant que les espèces du couvert, et notamment la vesce, se mettent à nouveau à se développer après la fauche, mais pas les adventices. Ainsi, sa connaissance sur la capacité du couvert à repartir, à priori très faible, gagne en certitude. L'année suivante l'agriculteur conforte à nouveau sa connaissance : le semis précoce de vesce pure (avant maïs) demande un broyage à 20 cm pour maîtriser les adventices puis se développe bien : *« Là je l'ai refait cette année où y avait que la vesce. Pour te dire tu vois, toutes les mauvaises herbes sont arrivées à plus que floraison, presque maturité, et là juste avant que ça graine, je broie, comme ça elles ne repartent pas, elles poussent qu'une fois et après la vesce prend le dessus. On dirait que c'est vraiment pur, y a plus une mauvaise herbe. »* NT conclut avec une connaissance de synthèse à fort degré de certitude: *« Donc ça marche super bien »*.

A l'inverse, des échecs successifs de plusieurs SEs conduisent à la diminution du degré de certitude sur la connaissance définie a priori avec un statut d'hypothèse. Ceci est illustré par le cas de CG (voir encadré c)). Alors qu'un conseiller de la coopérative suggère à CG d'utiliser deux auxiliaires associés pour maîtriser le puceron sur les cultures de légumes sous serre, le degré de certitude en cette connaissance diminue à deux reprises à cause de deux SEs où ces auxiliaires ne sont pas retrouvés et où les pucerons se multiplient. La connaissance de synthèse à fort

degré de certitude diffère des connaissances précédentes de par sa généralité. Cette connaissance découle de connaissances non confortées issues de SEs où les conditions climatiques étaient prises en compte. A partir de conditions différentes, l'agricultrice formule une connaissance générique à fort degré certitude (les cécidomyies ne sont pas efficaces pour contrôler le puceron sur courgettes).

c) Diminution de la certitude d'une connaissance de CG sur la capacité de deux auxiliaires à contrôler des pucerons (ITE EV biocontrôle).

Les connaissances pour gérer les pucerons se développent de manière similaire. Suite à un conseil de la Coopérative, CG fait une **hypothèse de processus** de biocontrôle des pucerons avec la combinaison de deux auxiliaires (microhyménoptères et cécidomyies prédatrices) mais **la connaissance n'est pas confortée** car les auxiliaires ne sont pas ou peu retrouvés et les pucerons se multiplient. Le degré de certitude diminue mais CG estime aussi que le climat n'était pas forcément propice. Deux années plus tard, en 2015, une nouvelle SE conduit CG à **ne pas conforter sa connaissance** car elle obtient les mêmes résultats. Le degré de certitude diminue encore et augmente donc pour la connaissance inverse. CG énonce une **connaissance de synthèse** sur ces auxiliaires concernant un faible degré de certitude sur l'hypothèse initiale (ou forte certitude sur la connaissance inverse) : *"les cécidomyies, je ne veux plus en entendre parler parce que ça ne marche pas de toute façon."*

Nous avons proposé ici trois processus éclairant le développement des connaissances avancées des agriculteurs : la combinaison de connaissances pour formuler des hypothèses de modification complexe des actions, l'exploration et l'évolution du degré de certitude. Nous discutons ces propositions ainsi que les types de connaissances identifiés précédemment dans la partie suivante.

4 Discussion

4.1 Synthèse et discussion des résultats

Ce troisième chapitre de résultats permet de mieux comprendre comment les agriculteurs développent leurs connaissances grâce à leurs expérimentations. C'est donc une contribution à la compréhension globale du développement des connaissances chez les agriculteurs. Après un travail d'explicitation des connaissances à partir du discours des agriculteurs, ce travail donne à voir les connaissances en train de se faire grâce à des expérimentations successives. En décrivant finement la façon dont les agriculteurs parlent de leurs SEs et des liens qu'elles entretiennent (que nous avons formalisé sous forme d'ITE), nous avons pu relier les connaissances des agriculteurs aux SEs. Une partie des connaissances est issue des SEs précédentes et est réutilisée pour formuler de nouvelles hypothèses initiant à leur tour de nouvelles SEs. L'analyse des entretiens a fait ressortir huit types de connaissances dont sept sont communs à tous les agriculteurs :

- les hypothèses sur des processus agroécologiques à générer
- les hypothèses sur des modifications simples des actions
- les hypothèses sur des modifications complexes des actions
- les connaissances confortées
- les connaissances précisées

- les connaissances de synthèse
- les connaissances sous forme de règles d'action
- les connaissances sur des transformations à long terme (identifiées chez seulement deux agriculteurs)

Une originalité de ce travail est de **considérer les hypothèses comme une forme de connaissance**, peu stabilisée, pour voir comment elles évoluent grâce aux SEs. Maîtriser une pratique agroécologique demande la mobilisation et l'acquisition d'une diversité de types de connaissances. Certaines sont plutôt descriptives et accumulent de l'information, comme les connaissances confortées et précisées. D'autres sont remobilisables directement dans l'action comme les connaissances sous forme de règles d'action décrivant comment mettre en œuvre les pratiques pour réaliser un processus agroécologique au mieux.

Les connaissances sous forme de règles d'action nous paraissent être **un indicateur du changement technique**. Cet indicateur est en particulier intéressant lorsque le changement technique est difficile à voir parce que l'ITE est toujours en cours (voir chapitre 4). En effet, lorsque l'agriculteur formule une règle d'action, c'est qu'il a déjà suffisamment stabilisé sa connaissance et gagné en certitude pour fixer une manière de faire. A l'inverse, les connaissances de synthèse "inverse" à fort degré de certitude permettent de repérer les abandons, notamment les abandons de certaines variantes de pratiques lorsque les ITEs n'ont pas été arrêtés pour autant.

Si le cadre ESR a été développé pour représenter les niveaux de changements dans les modes de ressources naturelles (Hill and MacRae, 1995) puis dans l'agriculture (Chantre, 2011; Lamine, 2011), il nous semble ici possible de faire un rapprochement avec deux types d'hypothèses que les agriculteurs réalisent lorsqu'ils modifient les pratiques à expérimenter. Les hypothèses sur une modification simple des actions rappellent l'innovation incrémentale (efficacité) ou de type substitution. Les hypothèses sur des modifications complexes des actions renvoient par contre à la reconception.

Les répartitions non homogènes des types de connaissances que nous avons observées dans l'échantillon s'expliquent par des différences entre systèmes de production, mais aussi entre thématiques agroécologiques. Lorsqu'ils expérimentent en biocontrôle, les maraîchers font plus d'hypothèses sur les processus à générer que sur les actions à modifier, par comparaison avec les producteurs de grandes cultures. Cela s'explique par le fait que les maraîchers disposent de moins de marges de manœuvre pour les lâchers d'auxiliaires et les infrastructures agroécologiques que les producteurs en grandes cultures expérimentant des couverts végétaux. Pourtant, il peut sembler étrange que nous observions moins d'hypothèses de modifications d'actions en biocontrôle qu'en couverts végétaux alors que les ITEs arborescents ou buissonnants sont fréquents pour ces thématiques agroécologiques. Les différences sont à rechercher dans le détail de la structure de ces ITEs. Dans l'échantillon des sept agriculteurs de ce chapitre, il y a plus de branches expérimentales nouvelles sur les ITE en biocontrôle (5,3 en moyenne) qu'en grandes cultures (3,5) donc plus d'hypothèses à tester (liées au nombre de branches) et moins d'actions.

La prise en compte du temps long dans l'analyse (plusieurs années) a permis de montrer le développement progressif de certaines connaissances avancées comme les hypothèses sur des modifications complexes des actions, les connaissances de synthèse et les règles

d'actions. Nous l'avons illustré à travers trois processus de développement des connaissances : combinaison de connaissances antérieures pour formuler des hypothèses sur une modification complexe des actions, exploration de pratiques via différentes combinaisons d'actions, objets biologiques et processus agroécologiques, évolution du degré de certitude. Parmi les huit types de connaissances, le degré de certitude est variable, puisqu'il va de simples hypothèses sur des nouveaux processus, relativement incertaines, à des connaissances de synthèse à fort degré de certitude. Ce résultat en termes de degré de certitude fait échos aux travaux de Cristofari (2018). Cette auteure montre qu'une partie des apprentissages réalisés par les agriculteurs consiste en une évolution du degré de certitude des jugements pragmatiques. En particulier, les jugements pragmatiques procéduraux des agriculteurs voient majoritairement leur degré de certitude augmenter (ou diminuer) grâce à une mise à l'épreuve à la ferme (expérimentation) par rapport aux autres mécanismes que l'auteure identifie (congruence d'observation, explication et constat d'existence d'un potentiel inexploité). Le cadre bayésien a déjà été utilisé dans des travaux en économie pour comprendre les décisions des agriculteurs dans l'adoption des innovations technologiques (Leathers and Smale, 1991; Lindner and Gibbs, 1990) ou pour mesurer l'aversion au risque entre agriculteurs bios et conventionnels (Gardebreek, 2006). Lindner et Gibbs (1990) teste l'hypothèse d'un apprentissage bayésien des agriculteurs sur une nouvelle variété de blé expérimenté deux ans de suite mais les auteurs ne parviennent à conclure sur cette hypothèse. Il est intéressant cependant de noter que ces auteurs (Leathers et Smale, 1991 mais surtout Lindner et Gibbs, 1990) font correspondre l'apprentissage bayésien à une succession d'expérimentations à la ferme par les agriculteurs. Dans notre cas, le cadre bayésien se marie bien à la formalisation des expérimentations sous forme d'ITEs : chaque SE est susceptible de faire évoluer le degré de certitude d'une connaissance en apportant une nouvelle preuve, permettant ainsi à l'agriculteur de réviser ses certitudes. Notre modèle n'est cependant pas quantitatif et reste théorique. Il serait intéressant, toutefois, de tester de manière plus quantitative l'évolution du degré de certitude. En particulier il serait intéressant de voir si les certitudes varient plus fortement lorsqu'une SE est plus démonstrative qu'une autre. Cela pourrait se faire en suivant les expérimentations des agriculteurs en temps réel et leur faisant attribuer les niveaux de preuves qu'ils estiment avoir eu avec chaque SE.

Les connaissances portant sur des évolutions à long terme ne sont présentes que chez deux agriculteurs. Or ces connaissances sont généralement considérées comme essentielles à acquérir en agroécologie, puisque de nombreux phénomènes se produisent à moyen ou long terme (réduction du stock de graines adventices en l'absence de travail du sol, augmentation du taux de matière organique et de l'activité biologique dans les sols, augmentation de la biodiversité fonctionnelle, etc.). Buckles et Perales (1999) montrent que les agriculteurs expérimentant regardent les évolutions à long terme qu'à court terme (évolution du sol VS rendement annuel des cultures). Toffolini (2016) montre que les agriculteurs en reconception mobilisent des connaissances sur de telles dynamiques, surtout lors de la phase d'évaluation des effets, dernière phase du changement technique qu'il définit. Pourquoi seuls deux agriculteurs de notre échantillon, RE et JMF, ont produit des connaissances sur les évolutions à long-terme ? D'une part, ce sont les deux seuls qui explorent les thématiques agroécologiques en lien avec la réduction du travail du sol, une thématique dont les effets sur le sol sont cumulatifs année après année. De plus, ces pratiques sont mises en œuvre sur toutes les parcelles de l'exploitation. Tous ces éléments sont donc favorables pour la production de connaissances long-terme. Au contraire, les expérimentations sur les couverts végétaux non couplées à une réduction du travail du sol ne sont pas suffisantes pour produire des

connaissances sur les effets à long terme sur le sol (NT, JN), d'autant que l'effet des couverts végétaux est dilué par la rotation des cultures : une même parcelle ne va pas recevoir systématiquement chaque année un couvert végétal. D'autre part, nous avons repéré des contraintes à la mise en place d'expérimentations qui favoriseraient la production de connaissances sur les évolutions à long-terme : difficulté à observer et mémoriser des évolutions souvent discrètes (notamment pour le sol) lorsque peu d'informations sont notées par les agriculteurs ; difficulté à identifier les effets propres d'une pratiques vs des facteurs non contrôlés (climat, variabilité interannuelle du niveau de contamination, effets d'autres pratiques...). Par exemple EV expérimente sur les capacités de régulation permises par la biodiversité fonctionnelle (haies, bandes fleuries et autres infrastructures agroécologiques), mais ne produit pas pour autant de connaissances sur des évolutions à long-terme : EV a implanté une haie pour gérer les psylles mais a couplé cette haie à des lâchers d'*Antochoris*. La potentielle dynamique d'installation de la biodiversité fonctionnelle est donc masquée par ces lâchers. Une autre difficulté est que certaines évolutions à long terme sont difficilement perceptibles à l'œil nu (taux de MO dans le sol, biodiversité). Il nous faut toutefois nuancer ces résultats au vu du petit échantillon sur lequel nous avons étudié les connaissances. Il est possible que, pour des agriculteurs engagés dans une reconception de leur système comme JMF ou RE ou comme pour les agriculteurs rencontrés par Toffolini (2016), les expérimentations se déroulent plus systématiquement sur le temps long et sur les mêmes parcelles, ce qui permet de voir des effets long terme. Les explications que nous proposons doivent donc être validées sur un nombre et une diversité plus importante d'agriculteurs que ceux de notre échantillon.

4.2 Discussion méthodologique et perspectives

Nous avons pu expliciter des types de connaissances différentes en combinant dans l'analyse, celle des énoncés des agriculteurs et celle préalable des expérimentations des agriculteurs. Cependant, cette explicitation n'est pas simple. Les agriculteurs peuvent formuler des connaissances d'une certaine façon et, si nous avons essayé au mieux d'interpréter les énoncés, tous n'ont pas pu être repris (discours trop vague, relance insuffisante pendant l'entretien car question de recherche encore embryonnaire). De plus, notre échantillon est limité aux sept agriculteurs pour lesquels nous disposons des données les plus fines, car ils avaient été enquêtés deux fois. Cela a nécessité un temps important pour extraire et reformuler les différentes connaissances et leurs liens aux expérimentations. Pourtant, des études complémentaires sont nécessaires pour tester la robustesse des types de connaissances que nous avons identifiées. En particulier, cela permettrait de pouvoir mieux déterminer quelles différences de répartition des types de connaissances sont attribuables aux systèmes de production ou aux thématiques agroécologiques, ou encore à d'autres facteurs que nous n'avons pas pu identifier. Par exemple nous n'avons pas cherché à explorer les dimensions humaines et sociales (âge, formation, origine sociale, exploitant seul ou associé, etc...). Or ces facteurs pourraient être source de variabilité dans les façons d'expérimenter et de développer ses connaissances au sein d'une même thématique agroécologique et d'un même système de production. Il serait intéressant d'étudier aussi d'autres systèmes de production et d'autres thématiques agroécologiques (en élevage ou en culture pérenne par exemple) pour tester la robustesse de nos résultats et/ou les enrichir. Ces critiques sont également valables pour les processus de développement de connaissances avancées que nous proposons.

Les types de connaissances identifiées dans ce chapitre ne sont pas exhaustives de ce dont les agriculteurs ont besoin pour changer techniquement. Nous nous sommes focalisés sur les

connaissances acquises après des SEs ou formulées en amont de SEs par chaque agriculteur individuellement, donnant donc la priorité à l'apprentissage individuel et environnemental (Stone, 2016) réalisé grâce à l'expérimentation. Notre travail masque donc les apports externes de connaissances provenant de canaux multiples : conseil technique, forums d'agriculteurs, échanges dans des collectifs. Il serait intéressant de comprendre comment les agriculteurs qui expérimentent sur leurs fermes mobilisent ces ressources externes pour concevoir les expérimentations ou en interpréter les résultats. Toffolini (2016) montre en particulier que les connaissances externes ne sont pas seulement sources de nouvelles hypothèses. Les connaissances fondamentales externes permettent par exemple aux agriculteurs de réinterpréter leurs actions passées, d'identifier de nouveaux indicateurs, ou encore de gagner en certitude sur leurs propres connaissances. Cela pourrait donc permettre, à terme, de proposer un cadre plus global de construction des connaissances.

Les échanges de connaissances entre pairs sur leurs façons de faire et leurs pratiques techniques sont anciens et ont été beaucoup étudiées (Compagnone et al., 2008; Darré, 1996, 1984). Avec le développement récent de l'agroécologie, on assiste au développement de collectifs d'agriculteurs qui expérimentent à plusieurs, souvent accompagnés par un tiers (CUMA, groupes Chambre d'Agriculture, GIEE, Dephy-fermes...). Comme nous avons pu le montrer dans le projet COTRAE (Navarrete et al., 2018), il existe une large variabilité d'organisation de l'expérimentation en collectif, depuis des situations où chaque agriculteur conçoit seul ses expérimentations mais échange les résultats avec ses pairs, jusqu'à des situations où c'est le collectif qui définit, et donc coordonne, les expérimentations à réaliser par chaque individu (avec un certain nombre de situations intermédiaires). Si les premières répondent finement aux attentes de chaque individu et sont bien adaptées aux conditions locales de chaque exploitation, les secondes sont moins situées mais plus favorables à la production de connaissances génériques, ou du moins à la définition d'un domaine de validité.

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé les connaissances pour l'action des agriculteurs en lien avec l'expérimentation. Nous avons explicité les connaissances acquises à l'issue de SEs ainsi que les connaissances à priori, les hypothèses, formulées en amont des SEs. En analysant les entretiens des agriculteurs et en nous appuyant sur notre compréhension préalable des ITEs des agriculteurs, issue du chapitre 4, nous avons pu identifier huit types de connaissances. Nous avons pour cela procédé de manière inductive en regroupant des ensembles homogènes de connaissances selon plusieurs critères notamment : position par rapport aux SEs, nombre de SEs en jeu et contenu de la connaissance portant sur les actions et/ou les processus agroécologiques. Les types de connaissances identifiés diffèrent aussi par leur forme descriptive (de connaissances précisées sur des processus agroécologiques découverts par exemple) ou plus prescriptive (connaissances sous forme de règles d'action) et par leur degré de certitude (des connaissances à statut d'hypothèse jusqu'aux connaissances de synthèse à fort degré de certitude). Nous avons ensuite analysé la manière dont ces connaissances évoluent en suivant sur des portions d'ITEs. Nous conceptualisons trois formes de développement de connaissances qui relient les types de connaissances que nous avons identifiés. La première forme montre la mobilisation de connaissances antérieures qui sont recombinaisonnées et permettent la formulation d'hypothèses de modifications complexes des actions. La deuxième forme de développement correspond à l'enrichissement des connaissances par l'exploration de différentes SEs précisant ou confortant certaines connaissances ce qui aboutit à des connaissances de synthèse et à des

connaissances sous forme de règles d'action. Enfin, la troisième forme de développement des connaissances montre l'évolution du degré de certitude selon une approche bayésienne de la connaissance. Ce travail fournit donc une meilleure compréhension de la manière dont les agriculteurs produisent leurs connaissances grâce à l'activité d'expérimentation. Cela permet d'imaginer des pistes pour l'accompagnement des agriculteurs dans leurs démarches d'expérimentation, qui sont explicitées dans la discussion générale de cette thèse.

Chapitre 6 - Discussion générale

Chapitre 6 - Discussion générale

Les résultats ayant déjà été discutés pour partie dans chacun des chapitres de résultats, cette discussion générale vise dans un premier temps à remettre en interaction les apports des trois chapitres d'un point de vue théorique, et à évaluer leur portée et leur spécificité par rapport à l'agroécologie (section 1). Puis dans la section 2, nous revenons sur les choix méthodologiques. Enfin la section 3 identifie quelques perspectives d'un point de vue scientifique, mais aussi d'un point de vue opérationnel, afin de contribuer à la réflexion des acteurs de l'accompagnement dans le département de la Drôme et au-delà.

1 Apports théoriques de la thèse

Le travail de cette thèse s'inscrit dans l'agronomie système et plus particulièrement l'agronomie des pratiques initiée dans les années 80 (Landais et al, 1988; Sebillotte, 1990), et il vise à l'enrichir par des analyses à l'interface entre les thématiques du changement de pratique et de l'apprentissage. Aussi, cela contribue aux travaux développés dans la dernière décennie visant à mieux comprendre l'apprentissage des agriculteurs (Chantre, 2011; Cristofari, 2018) ou le développement de leurs connaissances au cours de phases de transformation, de reconception de leur système technique (Toffolini, 2016). Nos travaux éclairent une partie de ce nouveau champ d'étude qu'est l'apprentissage pratique des agriculteurs, en se concentrant sur l'activité d'expérimentation, en la décrivant très finement grâce à deux nouveaux concepts de SE et d'ITE et en analysant la production de connaissances qui en est issue.

1.1 Le modèle ITE/SE pour mieux comprendre l'activité d'expérimentation

Au cours de cette thèse, nous avons défini deux notions relatives à deux échelles de temps différentes pour mieux saisir l'activité d'expérimentation des agriculteurs. La situation expérimentale (SE) se focalise sur le court terme, sur l'expérimentation réalisée au champ une année donnée. L'itinéraire d'expérimentation (ITE) se focalise sur le long terme et prend en compte les dynamiques d'évolution des pratiques expérimentées ainsi que les adoptions ou abandons éventuels de pratiques. Dans la plupart des travaux rencontrés jusqu'ici sur l'expérimentation des agriculteurs, cette distinction n'était pas faite : des caractéristiques relevant du court et du long terme étaient utilisées sur le même plan pour décrire l'expérimentation des agriculteurs. Par exemple, Leitgeb et al., (2014) et Kummer (2011) considèrent à la fois le recours à des comparaisons, la surface dédiée à l'expérimentation et la durée de l'expérimentation. Or, nos travaux montrent que le recours à des comparaisons et la surface dédiée à l'expérimentation sont de l'ordre de décisions annuelles, pour le choix de la SE, alors que la durée d'expérimentation est de l'ordre de l'ITE. Le concept d'ITE que nous avons développé a par ailleurs permis d'identifier de nouvelles caractéristiques expérimentales comme les branches expérimentales (qui illustrent l'extension d'une expérimentation à de nouveaux éléments du système) ou l'intensité expérimentale (nombre de SEs par unité de temps). Le modèle ITE/SE est donc un apport théorique qui aide à décrire très précisément l'activité d'expérimentation des agriculteurs selon l'échelle de temps considérée. Au-delà de ce découpage en deux concepts, l'intérêt de ce modèle est de concevoir l'activité expérimentale sur le long terme, l'ITE, comme un niveau d'organisation supérieur à la SE. L'ITE résulte de la mise en œuvre de plusieurs SEs entretenant des liens entre elles, dont nous avons précisé la nature : modification progressive de la pratique expérimentée, transposition de pratiques expérimentées à d'autres éléments de la rotation, combinaison de plusieurs SEs pour en imaginer une nouvelle... Nous avons donc montré comment ITE et SEs sont interdépendants.

Etudier les SEs permet de voir par quel dispositif conduit une année donnée certains résultats ont été obtenus, mais aussi comment l'agriculteur en a tenu compte pour avancer dans son ITE (continuité d'une branche expérimentale, émission d'une nouvelle branche ou arrêt de branche). A l'inverse, étudier les ITEs permet de voir comment l'agriculteur conçoit de nouvelles SEs à partir de ce qu'il a déjà expérimenté et appris. Les objectifs propres à chaque SE pouvant évoluer en fonction de l'antérieur, ce modèle permet de mettre en regard une SE une année donnée par rapport à ce qu'a déjà expérimenté l'agriculteur.

1.2 Expérimentation des agriculteurs et changement technique

Nos travaux sont une contribution pour enrichir les modèles des agronomes sur la représentation des activités des agriculteurs. Plus précisément, nos modèles sont un apport sur la manière dont les activités des agriculteurs évoluent. Le modèle d'action (Sebillotte, 1990) représente un panel d'actions ajustables en cours de campagne mais ces actions sont déjà connues de l'agriculteur : il sait à l'avance ce qu'il faut faire selon les situations rencontrées. Les règles de décision sur les objets agronomiques comme le système de culture ou l'itinéraire technique sont donc ajustables mais dans la gamme des décisions déjà connues. Cela ne permet pas de comprendre comment ce modèle lui-même évolue et se construit. Nos travaux, au contraire, se sont focalisés sur les transformations des systèmes techniques et décisionnels (Le Gal et al., 2010). Le modèle SE/ITE et l'étude du développement des connaissances pour l'action sur les pratiques expérimentées nous permettent ainsi d'appréhender des évolutions tant sur les plans technique que cognitif. Ils apportent de nouveaux éléments dans le changement technique chez les agriculteurs dans la suite des travaux de cette décennie (Chantre, 2011; Toffolini, 2016; Cristofari, 2018) qui portent sur le développement des connaissances de chaque individu à même de permettre des changements techniques majeurs.

Comment définir le changement technique? Nous souhaitons ici revenir sur la notion de changement technique. De par la définition que nous avons donnée à l'expérimentation (un processus de mise à l'épreuve de pratiques embarquant des hypothèses tant sur leur mise en œuvre que sur les processus agroécologiques que ces pratiques visent à induire), nous faisons l'hypothèse, au début de cette thèse, que les phases d'expérimentation et de changement technique étaient bien distinctes, du fait notamment d'un changement de surface (limitée pour l'expérimentation, plus large pour les techniques adoptées) et du passage d'une pratique en construction à une pratique stabilisée. Dans le chapitre sur les ITEs, nous avons ainsi estimé que les arrêts de branches expérimentales finissant par une adoption de pratique constituent bien **un marqueur du changement technique**. Pour autant, nous avons vu que le changement technique ne pouvait se résumer à la détection d'adoptions de pratiques qui, bien souvent, concernaient des régimes d'adoptions très rapides. Dans plusieurs autres cas, les pratiques étaient toujours en cours d'expérimentation par les agriculteurs mais, pour autant, de nombreuses constantes étaient déjà reproduites année après année (ex : intérêt de semer un engrais vert dans la culture précédente). Ainsi, même si une pratique agroécologique continue d'être expérimentée, beaucoup d'actes techniques sont déjà adoptés et marquent le changement technique. A ce titre, le passage par l'analyse des connaissances, notamment en repérant des connaissances avancées de synthèse ou des connaissances sous forme de règles d'actions, est utile pour évaluer la position de l'agriculteur dans son processus de changement technique. Des connaissances de synthèse à fort degré de certitude sur les processus agroécologiques indiquent que l'agriculteur a confiance en la capacité à mobiliser ces processus sur sa ferme. Les connaissances sous forme de règle d'action permettent de repérer les "automatismes" que

l'agriculteur a acquis dans les actions réalisées. Les connaissances de synthèse sur différents aspects d'une pratique permettent de voir les hiérarchisations éventuelles que fait l'agriculteur entre variantes d'une pratique mais aussi ce qu'il repère en terme d'inconvénients et donc ses freins potentiels à l'adoption définitive ou systématique. En ce sens, cela rejoint la proposition de Toffolini (2016), qui est de considérer le changement technique comme étant aussi un changement dans l'organisation de l'activité sur le plan cognitif. Enfin, le type de SE est un indicateur complémentaire pour repérer le changement technique. En effet, les SEs des groupes 4 (modifications mineures ou répétition de la pratique expérimentée précédemment) ou 5 (modifications mineures permettant d'améliorer la maîtrise et la compréhension de la pratique) marquent une stabilisation de la pratique, et permettent de repérer que l'agriculteur a atteint un stade avancé dans la démarche d'adoption de la pratique expérimentée.

Expérimenter sur certaines parties du système pour le changer progressivement. Nous souhaitons ici revenir sur l'objet d'expérimentation des agriculteurs que nous avons enquêtés, à savoir les pratiques agroécologiques. Les agronomes n'expérimentent plus uniquement des techniques simples mais des systèmes de culture entiers voire des systèmes de production (par exemple dans certaines Unités expérimentales de l'INRA comme celle de Mirecourt), pensant ainsi se rapprocher des pratiques plus systémiques des agriculteurs. Pourtant, bien que les agriculteurs enquêtés aient cette vision systémique, nous n'avons quasiment pas rencontré de situations d'expérimentation de systèmes de culture : les objets d'expérimentation ne portaient que sur une partie du système expérimenté, allant de la pratique unique (par exemple un lâcher d'auxiliaire) à un itinéraire technique (du mode d'implantation d'un couvert végétal à sa destruction) ayant des répercussions sur la culture suivante (effet sur le rendement). Comparé aux expérimentations sur les systèmes de culture où l'évaluation est réalisée sur l'ensemble des règles de décision du système, il semble que les agriculteurs se concentrent plus sur les entités du système en évolution, soit parce qu'elles posent problème, soit parce que ce sont celles que l'agriculteur souhaite modifier. C'est ce que traduisent les concepts d'ITE et de branche expérimentale. La prise en compte du système est faite avant tout pour situer la pratique, pour la rendre opérable dans les conditions propres de l'agriculteur (positionnement dans la rotation, choix des espèces). Ces constats vont dans le sens de Toffolini (2016). Il établit que les agriculteurs en reconception organisent graduellement leurs connaissances sur le fonctionnement de parties limitées du système et ne considèrent pas le système dans son ensemble. Pour cet auteur, l'hypothèse selon laquelle une compréhension préalable d'un système agroécologique est nécessaire en vue de sa conception est à nuancer. Une grande partie de cette compréhension émerge de l'action, au cours du processus de conception. Une exception dans nos enquêtes a été le cas de JMF qui expérimente sur plusieurs thématiques agroécologiques en interaction et cherche (entre autre) une rotation adaptée à ses conditions et à la pratique du non labour. Mais, dans son cas, les difficultés d'expérimentation étaient grandes, notamment la complexité des interactions à prendre en jeu à cette échelle. Aussi, il nous semble que la prise en compte limitée de la dimension systémique dans l'expérimentation est liée au fait que l'expérimentation d'un système de culture innovant en agroécologie, même de manière itérative, représente un investissement conséquent pour un agriculteur seul, sur les plans de la cognition, du temps disponible et des impacts économiques. C'est la raison pour laquelle les agriculteurs privilégieraient les expérimentations sur des portions plus limitées du système. Les ITEs se structurent par thématique agroécologique à partir de pratiques expérimentées sur certaines portions. Les pratiques basées sur les principes d'une thématique agroécologique

peuvent ensuite diffuser à d'autres portions du système, le transformant ainsi graduellement. La prise de risque, l'investissement cognitif et en temps sont ainsi dilués dans le temps long.

1.3 Mise en évidence des mécanismes de production de connaissances en lien avec l'expérimentation des agriculteurs

En ayant consacré une partie de cette thèse à l'analyse des connaissances en lien avec l'expérimentation, nous avons contribué à mieux comprendre l'apprentissage pratique des agriculteurs. Il s'agissait de comprendre en quoi les expérimentations développent les connaissances des agriculteurs. Nous avons montré que les connaissances mobilisées et produites dans l'expérimentation diffèrent par leur degré de certitude, par leur généralité et par leur contenu (portant sur les actions et/ou les processus agroécologiques en jeu). Nos résultats laissent penser que schématiquement, les connaissances se développent d'abord par le repérage d'un processus agroécologique potentiellement intéressant à mobiliser dans les conditions propres de l'agriculteur. Cela permet de faire augmenter le niveau de certitude de la connaissance sur la possibilité de la réalisation de ce processus au champ et/ou permet d'aboutir à des connaissances précisées. Dans la démarche d'expérimentation, viennent ensuite des hypothèses sur des modifications des actions, permettant d'exécuter différemment la pratique. Enfin des connaissances avancées sont formulées. Nous avons proposé trois processus de développement de connaissances, qui doivent être vus comme des modèles théoriques permettant d'arriver à des connaissances avancées : les connaissances de synthèse, les règles d'action et les hypothèses complexes. Pour de telles connaissances, plusieurs années sont nécessaires à leur développement car elles demandent souvent l'acquisition d'autres types de connaissances. Les connaissances avancées s'appuient sur plusieurs SEs, très souvent au sein d'un même ITE.

Nous n'avons pas tenu compte d'éléments plus généraux, structurant les modèles opératifs des agriculteurs comme les principes organisateurs de l'action (par exemple « faire de la biodiversité entomologique et floristique une ressource pour gérer mes cultures ») (Chantre, 2011) ou des changements de normes voire de vision du monde comme la décroissance (Coquil, 2014). Nous nous sommes focalisés sur l'acquisition de connaissances permettant d'agir sur certains processus agroécologiques. Nous n'avons pas non plus pris en compte les connaissances des agriculteurs qui portent sur leurs propres connaissances, qui sont généralement appelées métaconnaissances (connaissance sur ses propres connaissances). Par exemple RE formule une métaconnaissance sur son manque de connaissances fondamentales en détermination d'espèces: "*l'entomo, je ne suis pas assez bon, je connais les grands groupes mais pas les espèces*". Nous avons relevé quelques métaconnaissances qui permettent aux agriculteurs d'organiser le développement des connaissances et des expérimentations. Ainsi, plusieurs agriculteurs identifient des connaissances à développer et/ou la fin du développement de certaines connaissances. Par exemple, EV formule une métaconnaissance sur une action adéquate à trouver avec les processus agroécologiques : "*Maintenant ce qu'il va falloir trouver c'est la bonne période pour détruire le sorgho avant d'implanter la culture suivante*". RE et NT formulent une métaconnaissance sur une fin de développement et un nouveau sujet à explorer : "*maintenant, au niveau de la manière dont je travaille le sol, je ne vois pas d'évolution possible supplémentaire [...] Maintenant il faut plus travailler les engrais verts*" (RE) ; "*Voilà, je sais que la vesce marche. Après, pour le reste, peut être que ça marche aussi, ... Mais je veux voir, je veux constater ce qui est faisable, ce qui l'est pas... Ce qui est mieux, moins bien, ce qui est le plus onéreux...*" (NT). Les métaconnaissances semblent intéressantes pour organiser, hiérarchiser

voire, dans une certaine mesure, planifier les ITEs. Savoir ce qu'il convient de savoir en priorité pourrait permettre d'éviter des éparpillements comme pour JMF où l'introduction combinée du semis direct, des engrais verts et d'une évolution de la rotation finit par constituer une grosse charge cognitive : *"le problème tu vois, c'est qu'on part dans tous les sens..."*. Cependant, trop peu de métaconnaissances ont pu être identifiées pour aller plus loin dans l'analyse et devraient faire l'objet d'études ultérieures.

Une question en suspens est la temporalité entre l'expérimentation et ces changements plus profonds. Pour Coquil (2014) les changements sont effectués lorsque le monde professionnel de l'agriculteur devient trop incohérent. Nos travaux ne montrent pas si de telles transformations sont acquises en amont et déclenchent des expérimentations, ou si elles se déroulent conjointement avec le processus d'expérimentation. Le chapitre 4 nous permet cependant de penser que les deux cas de figures sont envisageables. Certains principes sont acquis en amont et motivent l'expérimentation, comme pour JMF qui adopte de nombreux principes propres à l'agriculture de conservation à la suite desquels plusieurs ITEs sont mis en œuvre. A l'inverse, nous pouvons aussi imaginer que l'expérimentation à la ferme peut concourir à créer de l'incohérence. Par exemple l'expérimentation sur l'emploi d'auxiliaires biologiques sous serre amène BP à réfléchir au-delà sur les modes d'utilisation des insecticides pour mieux préserver les auxiliaires endémiques et introduits. L'emploi de couverts végétaux a contribué à amener TC à mieux prendre en compte la vie du sol et à envisager de revoir les modalités de travail du sol impactant cette vie via de futures expérimentations. L'expérimentation de pratiques "simples", de nature additive (comme les couverts végétaux) ou substitutive (lâchers d'auxiliaires) seraient alors à encourager pour 1) augmenter le degré de certitudes sur certains processus agroécologiques directement utiles à l'agriculteur et 2) engager des transformations plus profondes au niveau du modèle opératif de l'agriculteur. Mais pour tester cette hypothèse, des études complémentaires sur le lien entre expérimentation et ces changements plus profonds seraient nécessaires. Pour cela, il faudrait coupler l'étude des expérimentations des agriculteurs avec l'étude de leur modèle opératif ou de leur monde professionnel par exemple.

2 Discussion méthodologique

2.1 Apports méthodologiques

L'activité d'expérimentation des agriculteurs telle que nous la comprenons après ce travail reprend bien les trois dimensions que Stolzenbach (1994) avait proposées : mise à l'épreuve d'hypothèses, exploration et progression pas à pas pour atteindre un objectif. Nous avons montré, à partir de situations diversifiées en agroécologie, que cette activité expérimentale se déploie (majoritairement) sur plusieurs années au cours desquelles nous observons progressivement une évolution de la pratique expérimentée, mais aussi souvent, son extension à d'autres parties du système de l'agriculteur. Ces évolutions résultent à la fois des apprentissages progressifs des agriculteurs et des évolutions des états du système (sol, biodiversité, ...).

Dans ce travail de thèse, nous fournissons plusieurs cadres théoriques pour mieux appréhender l'expérimentation des agriculteurs. Ces cadres peuvent servir de base pour des recherches futures sur l'expérimentation. Le cadre proposé pour décrire les SEs intègre un certain nombre de variables et de modalités génériques. Par exemple, les variables « objectifs » et « liens aux SEs précédentes » (en tout cas la plupart des modalités de cette variable) renvoient à un double objectif. Le premier est un objectif à plus ou moins long terme qui peut être maintenu longtemps

au cours de l'ITE (par exemple implanter une interculture blé-maïs pour ses avantages agronomiques). A l'inverse, le deuxième objectif, plus concret, est relatif à ce qui a été obtenu dans les SEs précédentes et peut évoluer rapidement selon les résultats obtenus (par exemple améliorer la part de légumineuse dans le couvert). Ces éléments de caractérisation peuvent être réutilisés pour décrire les SEs dans d'autres contextes, pour d'autres cultures annuelles ou pour des pratiques agroécologiques expérimentées différentes. En effet le cadre a été développé pour deux systèmes de production de cultures annuelles (grandes cultures et maraîchage diversifié) et une diversité de thématiques agroécologiques.

2.2 Limites et perspectives

2.2.1 Méthode d'enquête

Ce travail présente plusieurs limites méthodologiques. Avant tout, la collecte des données permettant leur traduction en SEs et ITEs repose en majorité sur des logiques de décision et des actes déjà réalisés, parfois il y a une dizaine d'année, et qui sont peu tracés par les agriculteurs. Cette approche rétrospective nécessite donc pour l'agriculteur un effort de remémoration mais aussi de reconstruction. Nous ne pouvons pas garantir que cette reconstruction par les agriculteurs n'ait pas parfois déformé la réalité, par exemple en rationalisant des SEs fondées sur des hypothèses précises. Cependant, la deuxième série d'enquêtes a permis d'avoir une confiance plus importante sur ce point, en ré-enquêtant les agriculteurs sur des SEs qui étaient en construction au moment de la première enquête. En effet, la formulation en amont d'hypothèses par les agriculteurs peut se faire plusieurs mois avant la mise en place effective de la SE, et la deuxième enquête a permis d'informer ce processus. Une autre difficulté est l'étape de reconstruction de la part de l'enquêteur pour formaliser l'activité d'expérimentation extraite des discours des agriculteurs. Le modèle ITE/SE est évidemment une déformation et une simplification de la réalité mais il a le mérite de proposer un formalisme nouveau prenant en compte le temps long, précis de par son pas de temps annuel (voire infra-annuel) mais aussi suffisamment générique pour couvrir une diversité de situation d'expérimentation. C'est le compromis que nous avons choisi de faire.

Une difficulté supplémentaire de ce genre d'enquête est de ne pas se focaliser uniquement sur les actions réalisées et des logiques qui sous-tendent les pratiques mais aussi de chercher à faire expliciter aux agriculteurs pourquoi et comment ces logiques et pratiques ont évolué au fil des expérimentations. Pour parvenir à recueillir des informations très fines sur les actions réalisées mais aussi sur les évolutions des connaissances autour de chaque SE, il a fallu remettre en situation les agriculteurs. Pour cela et selon les cas, d'autres éléments ont dû être recueillis au cours de l'enquête pour parvenir à reconstruire le puzzle: productions sur la ferme, parcellaire et caractéristiques des parcelles, liens de l'agriculteur au conseil et au développement, liens avec d'autres producteurs. La deuxième enquête fut précieuse pour reconstituer la cohérence des ITEs dans des cas plus complexes (ITEs buissonnants, arborescents). Le travail de reconstruction à froid après l'enquête (SEs "éclatées" dans le discours, mise en lien selon un déroulement historique) a permis de préparer les questions sur les zones d'ombre, de s'imprégner des ITEs, des lieux, des parcelles et des logiques de conduite des cultures des agriculteurs. Cependant, nous ne pouvons pas garantir l'exhaustivité des expérimentations de pratiques agroécologiques réalisées par les agriculteurs. Il est possible que, dans certains cas (notamment pour les agriculteurs enquêtés une seule fois), des SEs n'aient pas été identifiées comme telles, soit parce que l'agriculteur éprouvait des difficultés à se remémorer certains

événements, soit parce qu'en tant qu'enquêteur, je ne rebondissais pas sur un détail dans le discours de l'agriculteur, détail qui aurait pu permettre de découvrir une nouvelle SE.

2.2.2 Limite dues à l'échantillon

Une limite à pouvoir généraliser nos résultats réside aussi dans l'échantillon d'agriculteurs que nous avons enquêté. Seuls deux types de production étaient concernés : les grandes cultures et le maraîchage diversifié. Nous pouvons alors nous poser la question de la généralité de notre modèle ITE/SE pour le cas des cultures pérennes (arboriculture, viticulture). Certaines pratiques ont des effets sur plusieurs années (taille des arbres, forte attaque d'un bioagresseur pénalisant la production de l'année suivante). Est-ce que les agriculteurs ont recours à l'expérimentation dans ces situations ? Comment? Est-ce que le modèle ITE/SE annuelle toujours valable ou alors la distinction entre SE et ITE devient plus floue (le lien entre SEs ne dépend plus uniquement des connaissances acquises précédemment dans les SEs mais aussi d'une mémoire des états biologiques de l'arbre)? Est-ce que les agriculteurs collectent plus de connaissances externes en amont avant de concevoir une SE, pour minimiser les risques d'erreur ? Quelle est l'importance de cette phase de conception? Ces questions restent ouvertes.

Notre travail met en évidence l'importance de l'expérimentation de pratiques en agroécologie pour les agriculteurs, faisant ainsi écho à d'autres travaux (Goulet, 2008; Cristofari, 2018), qui n'ont pas nécessairement porté centralement sur l'agroécologie. Il nous faut alors discuter de la généralité de cette activité d'expérimentation: est-elle spécifique à l'agroécologie? L'agroécologie étant une complexification de l'agronomie, une complexification de l'étude des interactions biotiques et techniques, nous pouvons penser que pour des pratiques ne relevant pas de l'agroécologie telle que nous l'avons défini, l'activité d'expérimentation est tout aussi présente. D'ailleurs nous avons vu chez les agriculteurs enquêtés d'autres formes d'expérimentations qui pourraient s'organiser en SE/ITE notamment concernant l'autoconstruction d'outils. Cependant, pour Stone (2016), l'expérimentation des agriculteurs, de manière générale, est surestimée quant à son rôle pour l'apprentissage. Les apprentissages sociaux (où les agriculteurs copient simplement le choix d'une nouvelle variété parce que tout le monde l'utilise ou bien parce qu'un agriculteur reconnu l'utilise) et didactiques (solutions intéressées fournies par une entreprise, un organisme d'Etat ou une ONG) jouent un rôle fondamental. Bien souvent l'apprentissage environnemental est couplé et à posteriori à des apprentissages sociaux. C'est peut-être parce qu'en agroécologie, les ressources externes manquent ou ne sont pas adaptées pour reproduire des techniques telles que l'expérimentation par les agriculteurs est si fréquente. L'agroécologie implique certaines spécificités qui amènent à nuancer l'importance de l'expérimentation dans d'autres domaines. Pour les agriculteurs, cela crée des incertitudes pour agir. L'expérimentation est un moyen qu'ils utilisent pour faire face aux incertitudes en apprenant à les réduire (développement de pratiques adaptées ainsi que des connaissances qui le sous-tendent). Cependant, une partie des innovations actuelles autres que l'ingénierie agroécologique repose sur une maîtrise accrue de l'incertitude et donc, peut-être, sur un recours moindre voire anecdotique aux expérimentations. Nous pensons ici au développement des technologies numériques embarquant des modèles et des connaissances auxquelles l'agriculteur n'a pas forcément accès directement mais qui, précisément, l'affranchissent d'une certaine charge cognitive et de connaissances à développer. De même, avec les variétés "classiques" ou les variétés hybrides, la stabilité génétique assure des peuplements très homogènes. A l'inverse, pour pouvoir utiliser des variétés populations ou paysannes, moins stables génétiquement, un certain nombre

d'agriculteurs ressentent le besoin de s'organiser pour les sélectionner et de conduire eux-mêmes une forme d'expérimentation variétale (Derbez, 2018).

De plus, si nous estimons que l'expérimentation touchant des pans entiers du système de culture a été rare dans l'échantillon et peut être risquée pour un agriculteur seul, nous ne pouvons conclure cela pour tous les agriculteurs. Nous n'avons pas rencontré d'agriculteur très expérimenté pour certaines thématiques agroécologiques et toujours en train d'expérimenter. Des interactions entre ITEs pourraient être analysées plus en profondeur chez certains producteurs expérimentant depuis longtemps des pratiques basées sur les principes de l'agriculture de conservation (par exemple des membres des réseaux BASE, A2C ou maraîchage sur sol vivant). Nos travaux ne nous permettent pas non plus de dire si avoir recours à l'expérimentation développe des compétences pour mieux expérimenter ou si les agriculteurs révisent leur manière d'expérimenter. Il serait intéressant pourtant de voir si ces agriculteurs expérimentés "apprennent" à expérimenter et en quoi consistent ces apprentissages (meilleure prise en compte du risque et de la taille d'une SE par exemple ?).

Enfin, les agriculteurs enquêtés expérimentaient en très grande majorité seuls. Autour de l'agriculture de conservation, deux groupes de pairs animés par la Chambre d'Agriculture de la Drôme se sont constitués à la fin de notre travail de terrain, un en agriculture de conservation conventionnelle et l'autre sur les couverts végétaux en agriculture biologique. Certains agriculteurs enquêtés les ont intégrés et il aurait été intéressant de voir en quoi la participation à un collectif pouvait les aider dans leur processus d'expérimentation. Par exemple, l'échange entre pairs en amont de la conception d'une SE pourrait aider l'agriculteur à expliciter ses objectifs en lien avec ce qui a été observé dans les SEs précédentes, ou encore l'échange sur le terrain pourrait aider l'agriculteur à évaluer les effets de la pratique expérimentée ou les possibles confusions d'effets.

2.2.3 Dimension sociale de l'expérimentation

Nous faisons ici une autre critique de notre travail : la manière dont nous avons décrits les expérimentations masque l'influence de la dimension sociale sur l'activité d'expérimentation. Tout au plus notre travail suggère des influences comme des ressources externes qui peuvent orienter un ITE vers une direction différente soit parce que des connaissances "externes" sont apportées à l'agriculteur ou parce que l'agriculteur peut avoir accès à de nouvelles ressources matérielles (semences à tester) ou immatérielles (groupe de pairs expérimentant une pratique).

Ainsi, la dimension sociale de l'expérimentation n'a pas été traitée. Est-ce que l'appartenance à un groupe de pairs favorise l'expérimentation? En quoi? Pour distribuer une partie des expérimentations ou pour partager ses expériences, avoir des retours et avoir de nouvelles idées? En particulier, des agriculteurs peuvent expérimenter en groupe et les SEs des uns peuvent profiter aux autres. Nous n'avons pas traité cet aspect dans cette thèse mais le sujet a été analysé dans un article collectif (Navarrete et al. 2018) dans lequel nous avons montré que l'expérimentation au sein de collectifs joue plusieurs rôles : non seulement produire de la connaissance comme nous l'avons montré dans la thèse, mais aussi partager des connaissances, bénéficier de l'expertise de pairs ou de conseillers, réassurer chaque individu dans ses nouvelles pratiques, créer une dynamique de groupe et une émulation. Dans ce même article, j'ai décrit le fonctionnement d'un collectif de maraîchers qui échangent sur l'utilisation d'auxiliaires naturels, et dont le maraîcher DV enquêté pour la thèse fait partie. DV étant devenu expert dans l'utilisation d'auxiliaires biologiques endémiques de la ferme, il faisait à la fois profiter des

connaissances pour l'action qu'il avait acquises au cours de ses expérimentations personnelles (quels auxiliaires transférer, où les trouver, comment les collecter) à travers des journées de formation mais il expérimentait aussi avec des auxiliaires moins connus chez lui et chez certains agriculteurs du groupe, dans leurs conditions. Cet agriculteur expert s'occupait donc de défricher des questions avant d'en faire part aux agriculteurs.

La critique est également valable pour l'analyse des connaissances que nous proposons. Les trois processus de développement de connaissances avancées que nous proposons pourraient intégrer des connaissances non liées aux expérimentations de l'agriculteur. Il est possible que, à partir des expérimentations réalisées par d'autres agriculteurs (ou par lecture de résultats techniques), un agriculteur "explore" une variante de pratique qu'il n'a alors pas besoin d'expérimenter (processus d'exploration de différentes combinaisons d'actions, d'objets biologiques et processus). De même, d'autres informations sur une pratique parvenant à l'agriculteur peuvent jouer le rôle de preuve et sont susceptibles de faire évoluer le degré de certitude de ses connaissances, que ce soit des faits rapportés par des voisins voire des expérimentations observées chez d'autres agriculteurs, des lectures ou des échanges techniques.

3 Propositions pour le développement et la recherche

Nous estimons que le modèle SE/ITE représente un outil de formalisation générique qui peut être ajustable pour différentes approches : accompagnement individuel et collectif des agriculteurs, nouvel outil d'interface entre expérimentations de systèmes de culture des agronomes et des agriculteurs, modèle pour imaginer des outils de capitalisation des démarches d'expérimentation des agriculteurs. Dans la section qui suit, nous explicitons ces possibles utilisations, bien que nous n'ayons pas eu le temps de recueillir formellement le point de vue des acteurs du développement de la zone d'étude.

3.1 Accompagnement des agriculteurs dans leur démarche d'expérimentation

Dans cette partie, les agronomes auxquels il est fait référence correspondent aux accompagnateurs des agriculteurs, aux conseillers.

3.1.1 *Accompagnement individuel*

Plusieurs agriculteurs ont trouvé que l'enquête les avait aidés à clarifier leurs idées, ce qu'ils avaient appris, les pratiques qu'ils avaient adoptées ou écartées (notamment les agriculteurs enquêtés deux fois à qui j'ai présenté les ITEs reconstruits). Il nous semble que le concept d'ITE offre un regard nouveau aux agriculteurs sur la manière dont ils structurent leurs expérimentations. En effet, peu d'agriculteurs ont décrit leurs expérimentations de manière processuelle. D'une part, les agriculteurs ne notaient pas les expérimentations réalisées et me livraient les SEs dans l'ordre de leur remémoration. D'autre part, ils expérimentaient relativement seuls et donc n'avaient pas forcément l'occasion de décrire leurs expérimentations. C'est l'enquête qui a permis d'exhiber la cohérence dans les enchaînements de SEs, cohérence que nous proposons de structurer sous forme d'ITE. L'ITE est un niveau d'organisation dont les agriculteurs avaient plus ou moins conscience. Et c'est un niveau d'organisation qui nous semble intéressant pour engager un travail d'accompagnement, en mettant l'agriculteur dans une posture réflexive. Echanger avec un agriculteur sur ses méthodes d'expérimentation et sur les connaissances qui en découlent favoriserait donc ce travail réflexif.

Accompagner l'agriculteur dans ses ITEs est une posture qui, si l'on reprend les différentes catégories "d'expérimentation paysanne" (Jouve, 1990), se situe à l'extrême où l'agriculteur a le plus de marge de manœuvre. L'agronome a essentiellement un rôle d'accompagnateur. Il est là pour structurer les échanges avec l'agriculteur et réalise une co-construction (Compagnone, 2011). Il peut apporter son expertise dans certaines situations : en amont la conception de nouvelles SEs (prévoir les observations, apporter des connaissances agronomiques, discuter des biais éventuels) et en aval des sorties des expérimentations de l'agriculteur. Il doit être en mesure de fournir les conditions d'une bonne réflexivité. Pour ce dernier point, il s'agit, au-delà de l'explicitation par l'agriculteur des résultats et processus en lien avec les actions, de formaliser des hypothèses explicatives supplémentaires, d'aider l'agriculteur à expliciter des connaissances avancées si son cheminement dans l'ITE le permet (ou, le cas échéant, de repérer des expérimentations à conduire). Cela demande pour l'agronome une plus grande flexibilité ainsi qu'une capacité de recontextualisation importante : système technique, objectifs de changement, expérimentations déjà réalisées de l'agriculteur.

Pour cela, les schémas d'ITEs peuvent être un support utile pour assister l'agronome dans cette tâche. C'est un outil parlant à la fois pour l'agronome et l'agriculteur. Pour l'agriculteur, cela lui permet de se mettre en posture réflexive. La capitalisation préalable des SEs permet de gagner du temps et de l'énergie quant au travail de remémoration de l'agriculteur. De plus, garder une trace des SEs passées permet d'avoir des données plus fiables que celles basées sur la mémoire des agriculteurs. Regarder l'intégralité de l'ITE permet notamment d'estimer si certaines pratiques en cours d'expérimentation peuvent créer des incohérences au sein du système de l'agriculteur en cas d'adoption. Un élément important à discuter nous semble être l'évaluation et la gestion du risque : quel risque l'agriculteur est-il prêt à prendre? Les expérimentations envisagées dépassent-elles ce risque? Le risque est ici vu à 3 niveaux: (1) risque de se perdre dans l'exploration de thématiques trop nombreuses ou complexes ; (2) risque économique liés à l'expérimentation sur des surfaces trop importantes ; (3) risque économique lié à l'achat de matériel pour mettre en œuvre des pratiques en cours d'expérimentation qui ne seront finalement pas adoptées.

Avant de se lancer dans l'accompagnement à la conception de SEs, il est donc important que l'agronome fasse expliciter l'ampleur des changements visés par l'agriculteur (par exemple un « système idéal » visé par l'agriculteur même s'il est relativement flou ou existe en plusieurs versions) ainsi que les expérimentations déjà réalisées. Dans le cas d'un agriculteur n'ayant entrepris que des ITEs à faible investissement, il peut s'agir de trouver un objectif technique et d'encourager l'agriculteur à se donner plus de moyens d'y parvenir (essais plus réguliers avec une garantie de suivi et de conseil sur la conception des SEs par exemple). Pour les ITEs linéaires, il s'agirait de voir s'il est souhaitable d'émettre d'autres branches expérimentales, et si oui, quels sont les facteurs qui bloquent ces transpositions de pratiques (lorsque l'agriculteur n'en a pas eu l'idée ou lorsqu'il y a des contraintes du système : rotation à allonger, achat de matériel). Les ITEs arborescents et buissonnants demandent un travail réflexif conséquent pour synthétiser l'information, analyser la cohérence des résultats obtenus et concevoir la suite des expérimentations à mener. Dans le cas de changements visés plus profonds, mobilisant plusieurs thématiques agroécologiques à la fois, il convient de gérer en priorité le risque. Une première stratégie peut être de dédier une petite surface de la ferme à l'expérimentation. Des expérimentations simultanées sur plusieurs thématiques agroécologiques y sont réalisées, avec éventuellement des SEs charnières à plusieurs ITEs et à transposer progressivement les

éléments intéressants et maîtrisés dans le reste du système. Cette stratégie a été observée lorsque des expérimentations de système de culture sont réalisées chez les agriculteurs à l'initiative des scientifiques : certains éléments du système sont transposés dans le vrai système de culture de l'agriculteur (Deytieux et al, 2012). Une autre stratégie peut être de discuter de la planification d'ITEs. Expérimenter simultanément plusieurs thématiques agroécologiques peut être très difficile à gérer (coût cognitif, en temps, économique) voire décourageant. L'agronome pourrait alors, grâce à la formalisation de l'ITE antérieur s'il existe, aider l'agriculteur à hiérarchiser par priorité les thématiques agroécologiques en fonction de ses objectifs de changements.

Ainsi, **le formalisme ITE/SE nous semble un moyen de suivre régulièrement les expérimentations des différents agriculteurs enquêtés.** Les schémas d'ITE utilisés dans cette thèse pourraient donc être adaptés pour construire des outils d'accompagnement des agriculteurs dans le changement technique. Comment les agronomes peuvent-ils procéder dans cet accompagnement ? La première enquête nécessaire à la remémoration des SEs et aux liens entre SEs est chronophage. Après cette étape, un accompagnement régulier est donc envisageable pour engager un travail de réflexivité avec les agriculteurs tout en étant efficace. Ce travail pourrait être assuré de manière routinière dans une perspective d'accompagnement par un tiers. Capitaliser les SEs annuellement conserverait la mémoire des pratiques réalisées dans les conditions propres de chaque agriculteur. Cela permettrait aussi de gagner du temps lors du travail réflexif : il suffirait alors de mettre à jour (annuellement ou tous les deux ans) les ITEs de l'agriculteur. De plus, tenir à jour l'ITE des agriculteurs (par eux-mêmes ou par un accompagnateur) permettrait aussi à une personne externe à la ferme d'avoir des bases en tête pour réfléchir avec l'agriculteur au "meilleur pari", c'est-à-dire à concevoir une SE future incluant un choix de pratiques mais aussi un choix de parcelles, de modalités éventuelles ainsi que d'observations à réaliser.

Le travail réflexif permis par l'étude de l'ITE servirait aussi à interroger les abandons. Il y a différents niveaux d'abandon : abandon d'une thématique, abandon d'une branche d'ITE, abandon d'une modalité technique ou biologique. Au cours d'un ITE, beaucoup de modalités techniques sont abandonnées. Certains abandons ne se justifient peut-être plus ou ont été décidés trop tôt après quelques années. A l'inverse, il y a des abandons non décidés alors qu'ils seraient justifiés.

Enfin, la réalisation d'expérimentations constitue un coût cognitif (voir économique ou en temps de travail) non négligeable. Il convient donc d'allouer ces ressources cognitives au mieux, sur les SEs prioritaires. L'accompagnateur échangerait avec l'agriculteur sur la base de son ITE pour l'aider à organiser la suite de son ITE. En particulier, les ITEs arborescents, buissonnants voire des ITEs en interaction nécessitent un recul plus important pour pouvoir planifier la suite au mieux. Les caractéristiques de l'ITE (intensité expérimentale moyenne, émission ou non de branches, nombre de SEs) sont des éléments réflexifs qui peuvent l'aider à prendre conscience d'un investissement trop important. Il conviendrait alors, dans ce cas, de redéfinir avec l'agriculteur les expérimentations prioritaires et de hiérarchiser dans le temps les thématiques et pratiques à expérimenter. Viser des points d'étapes est d'ailleurs un moyen utilisé par certains agriculteurs pour faciliter la reconception de leur système vers l'agroécologie (Toffolini, 2016). Cet accompagnement des ITEs notamment par une planification plus précise, plus explicite, plus réflexive mérite d'être testée pour voir si les agriculteurs gagnent en efficacité dans l'expérimentation.

3.1.2 *Accompagnement collectif*

Nous formulons trois propositions pour faciliter les fonctionnements collectifs autour des expérimentations :

(1) faire rencontrer des agriculteurs qui démarrent leur ITE et des agriculteurs plus avancés dans leur démarche d'expérimentation pour aider les débutants à se projeter et identifier des étapes.

(2) Assurer un travail de réflexivité sur les ITEs de chacun.

(3) Constituer des groupes sur des pratiques communes pour échanger sur les SEs individuelles et ainsi identifier le domaine d'application de ces pratiques.

(1) Le développement de l'agroécologie en France s'est largement faite à travers les collectifs d'agriculteurs comme les groupes locaux de développement, et notamment grâce à des réseaux d'échanges autour des expérimentations en ferme, qu'ils soient institutionnels (DEPHY), associatifs (BASE, Maraîchage sur sol vivant, Association Française d'Agroforesterie, Réseau Semences Paysannes) ou plus informels (Agriculture de Conservation des Sols). L'ITE d'un agriculteur déjà expérimenté donne à voir aux agriculteurs du groupe qui ne sont pas encore engagés comment peut se passer le changement (nombre d'expérimentations nécessaires, variabilité des expérimentations et changements réalisés parmi les membres du collectif).

(2) L'échange en collectif est intéressant pour faire remonter des expériences et des idées à expérimenter. L'ITE pourrait être un outil permettant de cadrer les récits de chacun pour partager l'expérience entre agriculteurs (Goulet, 2013). Par exemple, un animateur de groupe pourrait mettre à jour chaque ITE d'agriculteur chaque année (comme indiqué dans la partie 3.1.1) et faire part (lui ou l'agriculteur) des avancées des ITEs de chacun lors de réunions de groupe.

(3) La capitalisation permettrait aussi de voir la diversité des situations agronomiques dans lesquelles une pratique a pu être testée et donc d'en préciser son domaine d'application. A l'issue des enquêtes, par exemple, nous avons identifié plusieurs agriculteurs ayant expérimenté la pratique du trèfle semé dans le blé. Le croisement de ces expérimentations fait ressortir des résultats satisfaisants de cette pratique d'intercropping lorsque le blé n'est pas trop couvrant, par exemple dans des situations de parcelles avec un faible un potentiel de rendement, d'utilisation de variétés anciennes ou de successions culturales peu favorable au développement du blé. Il pourrait, à ce titre, être intéressant de coordonner des expérimentations entre agriculteurs. Il peut être difficile de trouver un consensus au sein d'un groupe pour une expérimentation commune. Les agriculteurs ne sont pas forcément au même stade d'avancement. Certains ont déjà des pratiques agroécologiques poussées et sont très avancés dans leurs ITEs quand d'autres les démarrent à peine ou s'intéressent à des pratiques différentes. Il est alors très probable qu'ils n'aient pas non plus les mêmes attentes sur l'expérimentation, tant dans les pratiques retenues que dans les modalités d'expérimentation de la nouvelle SE (choix parcelle, mesures, observations). Coordonner les expérimentations sur un sujet implique d'avoir acquis un certain nombre de connaissances communes et de partager un même questionnement sur une pratique ou thématique agroécologique précise.

L'accompagnement des agriculteurs dans leur processus d'expérimentation via le cadre SE/ITE est une proposition qui, à terme, pourrait devenir un nouveau "format" institué parmi ceux

existant pour accompagner les agriculteurs dans les changements techniques, en plus des tours de plaine, formation avec un expert (Cerf et al., 2012).

3.2 Propositions pour la recherche agronomique

Dans cette partie, nous nous adressons à la communauté scientifique des agronomes.

3.2.1 Intégration du modèle ITE/SE dans l'expérimentation de système de culture

A cause du caractère difficilement transférable des systèmes de culture expérimentés dans les expérimentations-système, une partie des chercheurs agronomes misent aujourd'hui sur un transfert non pas des systèmes mais plutôt de la méthode. Nos résultats de thèse constituent une voie potentielle pour améliorer le transfert de méthodes d'expérimentation-système aux agriculteurs. La combinaison de SEs sous forme d'ITEs fait écho aux modifications de pratiques apportées pas à pas aux systèmes expérimentés, qui sont tracées à travers l'évolution des règles de décision. Pour les expérimentations systèmes, représenter les ITEs contribuerait à garder trace des apprentissages réalisés par l'équipe qui expérimente et d'en faire part : par exemple mettre en récit les évolutions des règles de décision voire des stratégies agronomiques. L'ITE pourrait donc devenir un outil supplémentaire pour la conception pas à pas.

Deux grandes démarches de conception de systèmes de culture existent (Meynard et al., 2012). Soit les agronomes conçoivent un système proche de celui des agriculteurs mais plus écologique, souvent pas une démarche de conception pas à pas. Soit ils conçoivent un système en rupture, plus risqué mais permettant d'explorer des systèmes inédits qui peuvent être riches d'enseignements. Avec le cadre ITE/SE, la hiérarchisation des objectifs des pratiques à mettre en œuvre, la planification du déroulement des expérimentations peut aussi être une manière de repenser la mise en œuvre des expérimentations-système associées aux deux démarches. Lorsqu'un système très innovant est visé, notre proposition est d'organiser les expérimentations à mettre en œuvre pour y arriver à partir d'un système de culture actuel. Une option serait d'organiser séquentiellement les expérimentations selon les priorités des techniques à atteindre. Formaliser les ITEs qui en découlent permettrait aux agriculteurs de voir le chemin qu'il y a à parcourir pour aboutir à ce type de système. Le système de culture cible évoluera lui-même en fonction des retours, des impasses qui semblent se dessiner lors de l'expérimentation ou au contraire des opportunités à pousser certains principes agroécologiques. Cette manière d'expérimenter sera plus longue mais la consolidation des premières pratiques mises en œuvre sera plus importante et sera certainement un moyen d'engager un nombre plus grand d'agriculteurs. Il me semble que cette manière de procéder rapprocherait encore d'avantage agronomes et agriculteurs dans la manière de construire des systèmes agroécologiques

Il pourrait aussi devenir un outil d'échange commun entre agronomes développant des systèmes de culture innovants et agriculteurs développant leur propre système. En effet, l'ITE pourrait orienter les échanges non pas sur le résultat, à savoir le système de culture, mais sur la manière dont ce système se construit progressivement. Ainsi il donne à voir la dynamique d'adoption (certaines pratiques étant rapidement adoptées, ou seulement certaines composantes pour d'autres, tandis que d'autres encore sont toujours en cours d'expérimentation) ; les ramifications de l'ITE (comment une pratique a été imaginée être expérimentée ailleurs dans la rotation et comment elle a été adaptée en conséquences) ; les questionnements sur la suite à entreprendre en termes d'expérimentation à partir du réalisé.

3.2.2 Vers des outils numériques ?

Comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises dans ce chapitre, le partage d'expériences (notamment des SEs) est probablement un moyen d'accompagner les acteurs dans la mise en œuvre de pratiques agroécologiques. Nous avons évoqué des possibilités d'échanges locaux, entre agriculteurs d'une même zone. Mais avec le développement du numérique, les échanges à distance se développent. Beaucoup d'agriculteurs postent déjà des photos des essais qu'ils réalisent sur les réseaux actifs comme Facebook, des vidéos sur YouTube ou des forums spécialisés (Agricool). Les plateformes institutionnalisées d'échange des connaissances se développent (GECO, OSAE). Prost et al., (2017) se sont intéressées à l'utilisation du forum national Agricool par les agriculteurs. Les auteurs montrent que les échanges entre agriculteurs permettent de faire un diagnostic de situation avant d'entamer une phase d'évaluation des solutions, d'abord d'un point de vue agronomique puis de manière plus fine par rapport à la situation en question, pour enfin permettre à l'initiateur du sujet de déterminer une solution à tester chez lui. L'association MSV (Maraîchage sur Sol Vivant) a même dédié une partie de son site à un espace collaboratif permettant de décrire les expérimentations de chacun. La représentation ITE/SE pourrait être utilisée pour faciliter l'échange sur ces plateformes collaboratives en ligne en jouant un double rôle:

- Un rôle collectif de consultation des différentes SEs sur une thématique agroécologique ou une pratique, tous les agriculteurs confondus. Cela permet d'explorer la manière dont une pratique est expérimentée dans différents contextes, ainsi que ses variantes et faciliter l'exploration de solutions (Prost et al., 2017). Le cadre développé dans le chapitre 3 sur les SEs peut être adapté pour concevoir une table adaptée dans une base de données. Nous pouvons imaginer une modalité de saisie spécifique dans l'outil web collaboratif AgroPeps/GECO (Guichard et al., 2015) pour recueillir les SEs des agriculteurs. L'échelle de la SE a l'avantage de fournir des éléments de contextualisation des pratiques concrètes, de connaître finement de ce qui est vraiment mis en œuvre et à l'épreuve (réalisation de l'action, observation du processus agroécologique au champ ou optimisation entre action et processus). La partie évaluation des résultats laisse la possibilité de discuter les résultats obtenus (conditions pédoclimatiques particulières ou éléments entraînant des résultats décevants). La diversité des SEs sur une même pratique entre agriculteurs apporte donc des éléments pour instruire la question de son domaine d'application et des adaptations à réaliser selon les contextes. Un autre type de consultation peut être de regarder, pour une thématique agricole ou une pratique, les ITEs des agriculteurs l'ayant expérimentée.

- Un rôle individuel en réservant un espace personnel à chaque agriculteur pour renseigner et suivre ses expérimentations via l'enregistrement de ses SEs et ITEs en ligne. A partir de cet espace, l'agriculteur formaliser ses expérimentation et les garder en mémoire. Il peut aussi interroger la communauté par rapport à une ou plusieurs SEs réalisées ou encore pour réaliser une nouvelle SE compte tenu de ce qui a été expérimenté et obtenu précédemment.

Conclusion

L'agroécologie propose de modifier la gestion des agroécosystèmes en y intensifiant les processus écologiques. Ces processus sont cependant partiellement connus, de même que les conditions nécessaires à leur mise en œuvre. En effet, ils sont sensibles à la spécificité des fermes, des ressources disponibles et des conditions pédoclimatiques. Leur mise en œuvre concrète est dès lors difficile voire même impossible à prescrire au-delà de concepts généraux. L'agroécologie nécessite donc un renouvellement des savoirs sur l'exploitation agricole. Cette thèse s'intègre dans un champ des recherches en émergence en agronomie sur le lien entre changement technique et apprentissage des agriculteurs. A ce titre, j'ai étudié l'activité d'expérimentation des agriculteurs, mise en évidence il y a quelques décennies, dans le contexte de la transition agroécologique. L'expérimentation des agriculteurs recouvre une diversité d'acception, et dans la thèse, j'ai défini l'expérimentation définie comme un processus de mise à l'épreuve de pratiques embarquant des hypothèses tant sur leur mise en œuvre que sur les processus agroécologiques que ces pratiques visent à induire. L'expérimentation est donc un moyen d'apprentissage qui repose sur une expérience concrète, dans les conditions propres de l'agriculteur. Pour autant, si l'expérimentation a été un outil fondateur de l'agronomie, peu de travaux ont encore étudié l'expérimentation réalisée par les agriculteurs d'un point de vue agronomique, c'est-à-dire se déroulant dans un système agricole dont les règles de gestion, les connaissances qui les régissent et les pratiques mises en œuvre sont en évolution. L'objectif de la thèse était donc de comprendre **comment des expérimentations de pratiques agroécologiques sont construites par l'agriculteur et s'organisent sur son exploitation.**

L'étude a été réalisée dans le contexte des grandes cultures et du maraîchage diversifié, majoritairement en Drôme et a reposé sur des enquêtes semi-directives au cours desquelles nous avons reconstruit les expérimentations menées individuellement sur les 10 dernières années par 17 agriculteurs. Les pratiques expérimentées portaient le plus souvent sur l'amélioration de la fertilité du sol (travail du sol réduit en maraîchage et agriculture de conservation en grandes cultures) et la gestion des bio-agresseurs (via des auxiliaires de cultures en maraîchage et des infrastructures agroécologiques).

Ce travail propose une formalisation originale de l'activité d'expérimentation des agriculteurs. J'ai développé deux notions pour analyser cette activité : la situation expérimentale (SE) et l'itinéraire d'expérimentation (ITE). Elles concernent respectivement le temps court (annuel ou infra-annuel) et le temps long (pluri-annuel) et font l'objet des deux premiers chapitres de résultat. Le troisième chapitre de résultat traite la question du développement des connaissances des agriculteurs grâce à leurs expérimentations. Chaque SE correspond à l'expérimentation d'une pratique ou d'une combinaison de pratiques agroécologiques une année donnée à un endroit donné. Dans le chapitre 3, je propose un cadre conceptuel organisé en trois phases : la phase de conception du dispositif expérimental de la SE, la phase de réalisation de la SE qui inclut la mise en œuvre des pratiques testées et l'observation des effets au champ, et la phase d'évaluation des effets et d'explicitation des résultats. J'applique ensuite ce cadre pour étudier la diversité des SEs. J'ai identifié 10 groupes de SEs organisés en 4 clusters (SEs d'amélioration, SEs menant à un problème agronomique ou technique, SEs de rupture et SEs mettant en jeu des comparaisons à petite échelle). La typologie obtenue dépend d'une

variable particulière qui est le type de lien aux SEs précédentes (amélioration des processus agroécologiques en jeu, de la faisabilité technique, du coût ou de l'ergonomie de la pratique, transfert et adaptation sur une autre partie du système, répétition ou absence de lien). Dans le chapitre 4, j'approfondis les relations entre SEs en m'intéressant aux itinéraires d'expérimentation (ITEs), définis comme la combinaison de différentes SEs portant sur une thématique agroécologique (couverts végétaux, réduction du travail du sol, biocontrôle, ...). Il se construit au cours du temps par l'agriculteur et permet de voir comment l'agriculteur chemine (transformation de la pratique expérimentée, transposition et application sur d'autres entités du système de culture, adoption ou abandon). J'ai identifié 4 types d'ITE qui diffèrent par leur intensité expérimentale (nombre de SEs par an), les liens entre SEs et l'émission ou non de nouvelles branches expérimentales (variante de la pratique expérimentée en parallèle ou transfert et adaptation d'une pratique expérimentée au préalable et adaptée sur une autre partie du système de l'agriculteur). Le chapitre 5 montre comment les agriculteurs développent leurs connaissances grâce à leurs expérimentations. Je m'intéresse à des connaissances plus ou moins stabilisées et à leur évolution. Les formes les moins stabilisées sont formulées comme des hypothèses et se situent en amont des SEs, qu'elles servent à structurer. D'autres connaissances peu stabilisées sont celles issues d'une seule SE et donc très situées. Les formes de connaissances les plus stabilisées correspondent à des connaissances de synthèse ou des connaissances sont forme de règles d'action. Elles résultent de l'accumulation et de la stabilisation de connaissances basées sur plusieurs SEs. Enfin, cette analyse se conclut par l'explicitation de trois processus de développement des connaissances grâce aux expérimentations menées : combinaisons de connaissances antérieures pour propose une nouvelle hypothèse complexe, exploration de différentes combinaisons d'actions, objets biologiques et processus et évolution du degré de certitude des connaissances.

Cette thèse permet de mieux comprendre comment l'expérimentation est construite au cours du temps par l'agriculteur en considérant la double échelle temps court/temps long et les connaissances associées à l'expérimentation, ce qui structure le cadre d'analyse. Il serait maintenant nécessaire de valider ces résultats produits en grandes cultures et en maraîchage diversifié dans le territoire de la Drôme. Plus généralement, cette thèse contribue à mieux connaître les apprentissages réalisés par les agriculteurs. Au-delà de ces apports théoriques, la thèse propose également des pistes pour accompagner les agriculteurs dans leurs activités d'expérimentation. En effet, accompagner, capitaliser et intégrer l'expérimentation de l'agriculteur dans des projets de recherche ou de développement pourraient constituer un levier important pour développer l'agroécologie. A ce titre, l'ITE et la SE sont des notions prometteuses pour accompagner les agriculteurs. La frise chronologique des SEs organisées en ITE représente un outil de réflexivité potentiel.

Références bibliographiques

- Altieri, M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, ecosystems & environment* 93, 1–24.
- Altieri, M.A., 1989. Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 27, 37–46. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(89\)90070-4](https://doi.org/10.1016/0167-8809(89)90070-4)
- Avenier, M.-J., 2007. Repères pour la transformation d'expérience en science avec conscience, in: *La Construction de Savoirs Pour l'action*, Coordonateur Avenier M.-J. et Schmitt C. L'Harmattan, pp. 139–169.
- Baars, T., 2011. Experiential Science; Towards an Integration of Implicit and Reflected Practitioner-Expert Knowledge in the Scientific Development of Organic Farming. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 24, 601–628. <https://doi.org/10.1007/s10806-010-9281-3>
- Barbier, J.-M., Goulet, F., 2013. Moins de technique, plus de nature : pour une heuristique des pratiques d'écologisation de l'agriculture. *Natures Sciences Sociétés* 21, 200–210. <https://doi.org/10.1051/nss/2013094>
- Bazuin, S., Azadi, H., Witlox, F., 2011. Application of GM crops in Sub-Saharan Africa: Lessons learned from Green Revolution. *Biotechnology Advances* 29, 908–912. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.07.011>
- Bentley, J., 2006. Folk experiments. *Agriculture and Human Values* 23, 451–462. <https://doi.org/10.1007/s10460-006-9017-1>
- Berthet, E., 2013. Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes: Fonds écologique et inconnu commun (PhD thesis). École nationale supérieure des mines de Paris, Paris.
- Bhuktan, J., Denning, G., Fujisaka, S. (Eds.), 1999. Rice cropping practices in Nepal, indigenous adaptation to adverse and difficult environments, in: *Biological and Cultural Diversity, the Role of Indigenous Agricultural Experimentation in Development*, IT Studies in Indigenous Knowledge and Development. Gordon Prain, London, pp. 6–31.
- Braun, A., Jiggins, J., Röling, N., van den Berg, H., Snijders, P., 2006. A global survey and review of farmer field school experiences. Report prepared for ILRI. Endeleva, Wageningen, The Netherlands.
- Braun, A.R., Thiele, G., Fernandez, M., 2000. Farmer field schools and local agricultural research committees: complementary platforms for integrated decision-making in sustainable agriculture, AgREN network paper. Overseas Development Institute, London.
- Briggs, J., 2013. Indigenous knowledge: A false dawn for development theory and practice? *Progress in Development Studies* 13, 231–243. <https://doi.org/10.1177/1464993413486549>
- Buckles, D., Perales, H. (Eds.), 1999. Farmer-based experimentation with velvetbean, innovation within tradition, in: *Biological and Cultural Diversity: The Role of Indigenous*

Agricultural Experimentation in Development, IT Studies in Indigenous Knowledge and Development. Gordon Prain, London, pp. 32–49.

- Cannet, P., Wackernagel, M., 2018. L'autre déficit de la France. WWF & Global Footprint Network.
- Cardona, A., Lefèvre, A., Simon, S., 2018. Les stations expérimentales comme lieux de production des savoirs agronomiques semi-confinés: Enquête dans deux stations INRA engagées dans l'agro-écologie. *Revue d'anthropologie des connaissances* 12,2, 139. <https://doi.org/10.3917/rac.039.0139>
- Caron, P., Biénabe, E., Hainzelin, E., 2014. Making transition towards ecological intensification of agriculture a reality: the gaps in and the role of scientific knowledge. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 8, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.004>
- Catalogna, M., Navarrete, M., 2016. An agronomical framework for analyzing farmers' experiments, in: 12th European IFSA Symposium. Presented at the Social and technological transformation of farming systems: Diverging and converging pathways, Harper Adams University, Newport, UK.
- 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., Petit, M.S., 2012. Les métiers d'agent de développement agricole en débat. *Innovations Agronomiques* 101–121.
- Chambers, R., Thrupp, L.A., Pacey, A., 1994. *Farmer First: Farmer Innovation and Agricultural Research*, Intermediate Technology Publications. ed. Chambers R., Pacey A., Thrupp L.A., London.
- Chantre, E., 2011. *Apprentissages des agriculteurs vers la réduction d'intrants en grandes cultures: Cas de la Champagne Berrichonne dans les années 1985-2010.* (PhD thesis). AgroParisTech, Paris.
- Chantre, E., Cardona, A., 2014. Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices: Change, Learning, and Links with the Advisory Services. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38, 573–602. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>
- Chantre, E., Le Bail, M., Cerf, M., 2014. Une diversité de configurations d'apprentissage en situation de travail pour réduire l'usage des engrais et pesticides agricoles. *Activités* 11. <https://doi.org/10.4000/activites.1061>
- Compagnone, C., 2011. Quelles formes d'accompagnement des agriculteurs à l'innovation ? *Pour* 212, 123. <https://doi.org/10.3917/pour.212.0123>
- Compagnone, C. (INRA, Hellec, F. (INRA, Macé, K. (Chambre d'Agriculture des C. d'Armor, Morlon, P. (INRA, Munier-Jolain, N. (INRA, Quéré, L. (Chambre d'Agriculture d'Ille et V., 2008. Raisonement des pratiques et des changements de pratiques en matière de désherbage: regards agronomique et sociologique à partir d'enquêtes chez des agriculteurs.
- Coquil, X., 2014. *Transition des systèmes de polyculture élevage laitiers vers l'autonomie. Une approche par le développement des mondes professionnels* (PhD thesis). AgroParisTech, Mirecourt.

- Coquil, X., Béguin, P., Dedieu, B., 2014. Systèmes de polyculture élevage laitiers évoluant vers l'AB Renforcement des interfaces cultures/élevage. *Économie rurale* 81-94. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4239>
- Cristofari, H., 2018. Une analyse pragmatiste des processus d'apprentissage en agroécologie : le cas de l'agriculture de conservation (PhD thesis). Université Toulouse 3 Paul Sabatier, Toulouse.
- Dagnelie, P., 2012. Principes d'Experimentation. *Biometrics* 38, 1134. <https://doi.org/10.2307/2529921>
- Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B., Milestad, R., 2010. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 545-555. <https://doi.org/10.1051/agro/2009053>
- Darré, J.-P., 1996. L'invention des pratiques dans l'agriculture: vulgarisation et production locale de connaissance. KARTHALA Editions.
- Darré, J.-P., 1984. La production des normes au sein d'un réseau professionnel : l'exemple d'un groupe d'éleveurs. *Sociologie du travail* 26, 141-156. <https://doi.org/10.3406/sotra.1984.2058>
- De Tourdonnet, S., Brives, H., Denis, M., Omon, B., Thomas, F., 2013. Accompagner le changement en agriculture: du non labour à l'agriculture de conservation. *Agronomie, Environnement & Sociétés* 3, 19-27.
- Debaeke, P., Munier-Jolain, N., Bertrand, M., Guichard, L., Nolot, J.-M., Faloya, V., Saulas, P., 2009. Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 73-86. <https://doi.org/10.1051/agro:2008050>
- Deffontaines, J.-P., 1973. Analyses de situation dans différentes régions de France: freins à l'adoption d'innovations techniques. *Études rurales* 52, 80-90. <https://doi.org/10.3406/rural.1973.1912>
- Defoer, T., 2002. Learning about methodology development for integrated soil fertility management. *Agricultural Systems* 73, 57-81.
- Derbez, F., 2018. D'un maïs, l'autre: Enquête sur l'expérimentation collective d'agriculteurs rhône-alpins autour de variétés de maïs population. *Revue d'anthropologie des connaissances* 12,2, 259. <https://doi.org/10.3917/rac.039.0259>
- Deytieux, V., Vivier, C., Minette, S., Nolot, J.M., Piaud, S., Schaub, A., Lande, N., Petit, M.S., Reau, R., Fourrié, L., Fontaine, L., 2012. Expérimentation de systèmes de culture innovants: avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innovations Agronomiques* 20, 49-78.
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tittonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy* 34, 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>
- Duchene, O., Vian, J.-F., Celette, F., 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil

- microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240, 148–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019>
- Evenson, R.E., Gollin, D., 2003. Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* 300, 758–762. <https://doi.org/10.1126/science.1078710>
- Foxon, T.J., Stringer, L.C., Reed, M.S., 2008. Governing long-term social-ecological change: What can the resilience and transitions approaches learn from each other? 15.
- Gardebroek, C., 2006. Comparing risk attitudes of organic and non-organic farmers with a Bayesian random coefficient model. *European Review of Agricultural Economics* 33, 485–510. <https://doi.org/10.1093/erae/jbl029>
- Girard, N., 2014. Gérer les connaissances pour tenir compte des nouveaux enjeux industriels: *L'exemple de la transition écologique des systèmes agricoles*. *Revue internationale de Psychosociologie* XIX, 51. <https://doi.org/10.3917/riips.049.0049>
- Girard, N., Navarrete, M., 2005. Quelles synergies entre connaissances scientifiques et empiriques ? L'exemple des cultures du safran et de la truffe. *Natures Sciences Sociétés* 13, 33–44. <https://doi.org/10.1051/nss:2005004>
- Glaser, B.G., Strauss, A.L., 2010. La découverte de la théorie ancrée: Stratégies pour la recherche qualitative. Armand Colin, Paris.
- Gliessman, S.R., 1990. Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture, in: Gliessman, S.R. (Ed.), *Agroecology, Ecological Studies*. Springer New York, pp. 3–10. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3252-0_1
- Goulet, F., 2013. Mettre en récits et partager l'expérience. *Revue d'anthropologie des connaissances* 7, n° 2, 501–524.
- Goulet, F., Pervanchon, F., Contreau, C., Cerf, M., 2008. Les agriculteurs innovent par eux-mêmes pour leurs systèmes de culture, in: *Systèmes de Culture Innovants et Durables : Quelles Méthodes Pour Les Mettre Au Point et Les Evaluer ? / Reau Raymond (Ed.), Dore Thierry (Ed.)*. Educagri ed., Dijon, pp. 53–69.
- Griffon, M., 2017. Elements théoriques en agroécologie : l'intensivité écologique. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017016>
- Guichard, L., Ballot, R., Halska, J., Lambert, E., Meynard, J.M., Minette, S., Petit, M.S., Reau, R., Soullignac, V., 2015. AgroPEPS, a collaborative web tool of knowledge management to Share, Practice, Inform on sustainable cropping systems. *Innovations Agronomiques* 43, 83–94.
- Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Reau, R., Savini, I., 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France: décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cah. Agric.* 26, 14002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017004>
- Hill, S.B., MacRae, R.J., 1995. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7, 11.
- Hoang, L.N., 2018. La Formule du Savoir: Une philosophie unifiée du savoir fondée sur le théorème de Bayes. EDP sciences.

- Hocdé, H., 2002. Expérimentation paysanne, expérimentation en milieu paysan et consolidation de l'organisation paysanne : un exemple au Costa Rica [WWW Document]. Mémento de l'agronome. URL <http://agritrop.cirad.fr/511860/> (accessed 9.6.15).
- Hocdé, H., 1997. Crazy but not mad., in: *Farmer's Research in Practice, Lessons from the Field*. Veldhuizen L. van, Waters-Bayer A., Ramirez R., Johnson D. A. , Thompson J., London, pp. 49–66.
- Hoffmann, V., Probst, K., Christinck, A., 2007. Farmers and researchers: How can collaborative advantages be created in participatory research and technology development? *Agric Hum Values* 24, 355–368. <https://doi.org/10.1007/s10460-007-9072-2>
- Husson, O., Quoc, H.T., Boulakia, S., Chabanne, A., Tivet, F., Bouzinac, S., Lienhard, P., Michellon, R., Chabierski, S., Boyer, J., Enjalric, F., Rakotondramanana, Moussa, N., Jullien, F., Balarabe, O., Rattanatrav, B., Castella, J.-C., Charpentier, H., Séguy, L., 2016. Co-designing innovative cropping systems that match biophysical and socio-economic diversity: The DATE approach to Conservation Agriculture in Madagascar, Lao PDR and Cambodia. *Renewable Agriculture and Food Systems* 31, 452–470. <https://doi.org/10.1017/S174217051500037X>
- Jas, N., 2016. Savoirs agronomiques et développement agricole. Réflexions à partir de l'histoire et de la sociologie des sciences agronomiques. *AES* 6, 15–17.
- Jeuffroy, M.-H., Bergez, J.-E., David, C., Flénet, F., Gate, P., Loyce, C., Maupas, F., Meynard, J.M., Reau, R., Surleau, C., 2008. Utilisation des modèles pour l'aide à la conception et à l'évaluation d'innovations techniques en production végétale : bilan et perspectives, in: *Systèmes de Culture Innovants et Durables : Quelles Méthodes Pour Les Mettre Au Point et Les Évaluer ?*, Transversales. Educagri Editions.
- Johnson, A.W., 1972. Individuality and experimentation in traditional agriculture. *Human Ecology* 1, 149–159. <https://doi.org/10.1007/BF01531352>
- Jourdan, M. Développement technique dans l'exploitation agricole et compétences de l'agriculteur. *Performances humaines & techniques*, 1997, no 90, p. 26-31.
- Jouve, P., 2007. Périodes et ruptures dans l'évolution des savoirs agronomiques et de leur enseignement, in: Robin, P., Aeschlimann, J.-P., Feller, C. (Eds.), *Histoire et agronomie*. IRD Éditions, pp. 109–120. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.4645>
- Jouve, P., 1990. L'expérimentation en Milieu Paysan: démarches et méthodes. Cahiers de la Recherche Développement.
- Kloppenborg, J., 1991. Social Theory and the De/Reconstruction of Agricultural Science: Local Knowledge for an Alternative Agriculture. *Rural Sociology* 56, 519–548. <https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.1991.tb00445.x>
- Knittel, F., 2010. L'Europe agronomique de C.J.A. Mathieu de Dombasle. *Revue d'histoire moderne & contemporaine* 119–138. <https://doi.org/10.3917/rhmc.571.0119>
- Kolb, 1984. *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Pearson Education.

- Kulagowski, R., Riggi, L., Chailleux, A., 2016. Short-Term Effects of Conversion to Direct Seeding Mulch-Based Cropping Systems on Macro-Fauna and Weed Dynamics. *Journal of Crop Improvement* 30, 65–83. <https://doi.org/10.1080/15427528.2015.1113222>
- Kummer, S., 2011. Organic farmers' experiments in Austria (PhD thesis). University of Natural Resources and Life Sciences, Vienne.
- Kummer, S., Aigelsperger, L., Milestad, R., Chowdhury, A.H., Vogl, C.R., 2010. Knowledge systems, innovations and social learning in organic farming—an overview, in: 9th European IFSA Symposium. Presented at the Building sustainable rural futures, Vienna, Austria, pp. 664–669.
- Kummer, S., Milestad, R., Leitgeb, F., R. Vogl, C., 2012. Building Resilience through Farmers' Experiments in Organic Agriculture: Examples from Eastern Austria. *Sustainable Agriculture Research* 1, 308–321. <https://doi.org/10.5539/sar.v1n2p308>
- 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, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.02.001>
- Lançon, J., Reau, R., Cariolle, M., Munier-Jolain, N., Omon, B., Petit, M.-S., Viaux, P., Wery, J., 2008. Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer* 91–107.
- Landais, E., Deffontaines, J.-P., Benoît, M., 1988. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Études rurales* 109, 125–158. <https://doi.org/10.3406/rural.1988.3226>
- Le Gal, P.-Y., Merot, A., Moulin, C.-H., Navarrete, M., Wery, J., 2010. A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environmental Modelling & Software* 25, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.12.013>
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Leathers, H.D., Smale, M., 1991. A Bayesian Approach to Explaining Sequential Adoption of Components of a Technological Package. *American Journal of Agricultural Economics* 73, 734. <https://doi.org/10.2307/1242825>
- Lechenet, M., Deytieux, V., Antichi, D., Aubertot, J.-N., Bàrberi, P., Bertrand, M., Cellier, V., Charles, R., Colnenne-David, C., Dachbrodt-Saaydeh, S., Debaeke, P., Doré, T., Farcy, P., Fernandez-Quintanilla, C., Grandeau, G., Hawes, C., Jouy, L., Justes, E., Kierzek, R., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Lescourret, F., Mazzoncini, M., Melander, B., Messéan, A., Moonen, A.-C., Newton, A.C., Nolot, J.-M., Panozzo, S., Retaureau, P., Sattin, M., Schwarz, J., Toqué, C., Vasileiadis, V.P., Munier-Jolain, N., 2017. Diversity of methodologies to experiment Integrated Pest Management in arable cropping systems: Analysis and reflections based on a European network. *European Journal of Agronomy* 83, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.012>
- Leitgeb, F., Kummer, S., Funes-Monzote, F.R., Vogl, C.R., 2014. Farmers' experiments in Cuba. *Renewable Agriculture and Food Systems* 29, 48–64. <https://doi.org/10.1017/S1742170512000336>

- Lindner, R.K., Gibbs, M., 1990. A TEST OF BAYESIAN LEARNING FROM FARMER TRIALS OF NEW WHEAT VARIETIES*. *Australian Journal of Agricultural Economics* 34, 21–38. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.1990.tb00490.x>
- Lyon, F., 1996. How farmers research and learn: The case of arable farmers of East Anglia, UK. *Agric Hum Values* 13, 39–47. <https://doi.org/10.1007/BF01530522>
- Maat, H., 2011. The history and future of agricultural experiments. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, Technography and Interdisciplinarity: Performance, Practices and Experiments* 57, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2010.11.001>
- Mak, S., 2001. Continued innovation in a Cambodian rice-based farming system: farmer testing and recombination of new elements. *Agricultural Systems* 69, 137–149. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00022-1)
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., Tourdonnet, S., Valantin-Morison, M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 43–62. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>
- Mazoyer, M., Roudart, L., 2002. *Histoire des agricultures du monde : Du néolithique à la crise contemporaine*. Seuil, Paris.
- Médiène, S., Valantin-Morison, M., Sarthou, J.-P., de Tourdonnet, S., Gosme, M., Bertrand, M., Roger-Estrade, J., Aubertot, J.-N., Rusch, A., Motisi, N., Pelosi, C., Doré, T., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 491–514. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0009-1>
- Meynard, J.-M., 2017. L'agroécologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017021>
- Meynard, J.-M., Messéan A, Charlier A, Charrier F, FaresM, Le BailM, et al. 2015. *La diversification des cultures : lever les obstacles agronomiques et économiques*. Éditions Quae, 106 p.
- Meynard, J.-M., 2012. 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), 143-153. (2012).
- Meynard, J.-M., Dedieu, Benoit, Bos, A.P. (Bram), 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, Benoît (Eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer Netherlands, pp. 405–429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18
- Millar, D., 1994. Experimenting farmers in northern Ghana, in: *Beyond Farmer First. Rural Peoples' Knowledge, Agricultural Research and Extension Practice*. Scoones I., Thompson J., London, pp. 160–165.
- Navarrete, M., Brives, H., Catalogna, M., Gouttenoire, L., Lamine, C., Ollion, E., Simon, S., 2018. Farmers' involvement in collective experimental designs in a French region, Rhône-Alpes. How do they contribute to farmers' learning and facilitate the agroecological transition?, in: *13th European IFSA Symposium. Presented at the Farming systems: facing uncertainties and enhancing opportunities*, Chania, Crete, Greece, p. 12.

- Nolot, J.-M., Debaeke, P., 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. Cahiers Agricultures 12, 387-400 (1).
- Osty, P.-L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. Bulletin technique d'information du Ministère de l'Agriculture 326, 43-49.
- Pastré, P., 2008. Apprentissage et activité. Didactique professionnelle et didactiques disciplinaires en débat 53-79.
- Petit, M.S., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., Josse, S., 2012. Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. Innovations Agronomiques 20, 79-100.
- Prost, M., Prost, L., Cerf, M., 2017. Les échanges virtuels entre agriculteurs : un soutien à leurs transitions professionnelles ? Raisons éducatives 21, 129. <https://doi.org/10.3917/raised.021.0129>
- Quiroz, C. (Ed.), 1999. Farmer experimentation in a Venezuelan Andean group, in: Biological and Cultural Diversity: The Role of Indigenous Agricultural Experimentation in Development, IT Studies in Indigenous Knowledge and Development. Gordon Prain, London, pp. 113-124.
- Reau, R., Meynard, J.-M., Robert, D., Gitton, C., 1996. Des essais factoriels aux essais "conduite de culture," in: Expérimenter sur les conduites de cultures: un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation. Paris, pp. 52-62.
- Richards, P., 1994. Local knowledge formation and validation: the case of rice in Sierra Leone, in: Beyond Farmer First. Rural Peoples' Knowledge, Agricultural Research and Extensions Practice. pp. 165-170.
- Saad, N., 2002. Farmer processes of experimentation and innovation: a review of the literature, in: CGIAR Systemwide Program on Participatory Research and Gender Analysis, CGIAR Gender Working Papers. Presented at the CGIAR Systemwide Program on Participatory Research and Gender Analysis, Cali, Colombia : CGIAR.
- Salembier, C., Segrestin, B., Berthet, E., Weil, B., Meynard, J.-M., 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. Agricultural Systems 164, 277-290. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.005>
- Scheuermeier, U., 1997. Let's try it out and see how it works., in: Farmers' Research in Practice, Lessons from the Field. Veldhuizen L. van, Waters-Bayer A., Ramirez R., Johnson D. A. , Thompson J., London, pp. 31-38.
- Schön, D., 1983. The reflective practitioner. How professionals think in action, Basic Books. ed. New York.
- Sebillotte M., 1977. Agronomie et agriculture. Document pour l'enseignement 1ère année, 61p. INAPG, Paris.)
- Sebillotte M., 1990. Les processus de décision des agriculteurs. Conséquences pour les démarches d'aide à la décision. In Brossier J., Vissac B., Lemoigne J.-L., (eds.), Modélisation systémique et systèmes agraires, Paris, INRA, 103-117.

- Stolzenbach, A., 1994. Learning by improvisation: farmer experimentation in Mali., in: *Beyond Farmer First. Rural Peoples' Knowledge, Agricultural Research and Extension Practice.* Scoones I., Thompson J., London, pp. 155–165.
- Stone, G.D., 2016. Towards a General Theory of Agricultural Knowledge Production: Environmental, Social, and Didactic Learning. *Culture, Agriculture, Food and Environment* 38, 5–17. <https://doi.org/10.1111/cuag.12061>
- Stützel, H., 2007. Experimental agronomic sciences: memories from yesterday, hopes for tomorrow, in: Robin, P., Aeschlimann, J.P., Feller, C. (Eds.), *Histoire et Agronomie : Entre Ruptures et Durée, Colloques et Séminaires.* IRD, Paris, pp. 139–150.
- Suh, J., 2014. Theory and reality of integrated rice–duck farming in Asian developing countries: A systematic review and SWOT analysis. *Agricultural Systems* 125, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.003>
- Sumberg, J., Okali, C., 1997. *Farmers' Experiments: Creating Local Knowledge.* Lynne Rienner Publishers Inc, London.
- Sutherland, A.M., Parrella, M.P., 2009. Mycophagy in Coccinellidae: Review and synthesis. *Biological Control, Trophic Ecology of the Coccinellidae* 51, 284–293. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.012>
- Tenenbaum, J.B., Kemp, C., Griffiths, T.L., Goodman, N.D., 2011. How to Grow a Mind: Statistics, Structure, and Abstraction. *Science* 331, 1279–1285. <https://doi.org/10.1126/science.1192788>
- Toffolini, Q., 2016. *Produire des connaissances actionnables pour la re-conception pas-à-pas de systèmes de culture vers l'agroécologie.* (PhD thesis). AgroParisTech, UMR 211 Agronomie, F-78850 Thiverval-Grignon, INRA, UMR 1326 LISIS, F-77454 Marne-la-Vallée, France.
- Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Mischler, P., Pernel, J., Prost, L., 2017. Farmers' use of fundamental knowledge to re-design their cropping systems: situated contextualisation processes. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 80, 37–47.
- Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., 2016. Indicators used by farmers to design agricultural systems: a survey. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0340-z>
- Valantin-Morison, M., 2012. Comment favoriser la régulation biologique des insectes de l'échelle de la parcelle à celle du paysage agricole, pour aboutir à des stratégies de protection intégrée sur le colza d'hiver? *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 19, 169–183. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0455>
- Wettasinha, C., Gunaratne, A.K., Vitharana, P., 1997. Moulding our own future., in: *Farmer's Research in Practice, Lessons from the Field.* Veldhuizen L. van, Waters-Bayer A., Ramirez R., Johnson D. A., Thompson J., London, pp. 109–114.

Annexes

<u>ANNEXE 1. GUIDE D'ENTRETIEN TELEPHONIQUE POUR L'IDENTIFICATION DES AGRICULTEURS EXPERIMENTANT EN AGROECOLOGIE ET LA PRISE DE RENDEZ-VOUS.</u>	<u>180</u>
<u>ANNEXE 2. GUIDE D'ENTRETIEN POUR LA PREMIERE ENQUETE</u>	<u>181</u>
<u>ANNEXE 3. CARACTERISTIQUES DE L'ECHANTILLON</u>	<u>182</u>
<u>ANNEXE 4. RESSOURCES EXTERNES MOBILISES AU COURS DE L'EXPERIMENTATION PAR LES AGRICULTEURS</u>	<u>183</u>
<u>ANNEXE 5. RESULTATS DE LA CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE DES SES AVEC FACTOMINER(CHAPITRE 3)</u>	<u>185</u>
<u>ANNEXE 6. REPARTITION DES GROUPES DE SES PAR AGRICULTEUR (NB DE SE DE CHAQUE GROUPE)</u>	<u>189</u>
<u>ANNEXE 7. CARACTERISTIQUES DES ITES IDENTIFIES PAR AGRICULTEUR</u>	<u>190</u>
<u>ANNEXE 8. ITES DES AGRICULTEURS ENQUÊTÉS</u>	<u>191</u>
<u>ANNEXE 9. DESCRIPTION DES ITES DE JMF EN GRANDES CULTURES</u>	<u>206</u>
<u>ANNEXE 10. FORMULATION D'UNE HYPOTHESE DE MODIFICATION COMPLEXE DES ACTIONS PAR JMF SUR UNE INTERCULTURE DE MOUTARDE ENTRE BLE ET POIS CHICHE (ITE COUVERTS VEGETAUX)</u>	<u>210</u>
<u>ANNEXE 11. EVOLUTION DES CONNAISSANCES SELON UN MODELE BAYESIEN.....</u>	<u>211</u>

Annexe 1. Guide d'entretien téléphonique pour l'identification des agriculteurs expérimentant en agroécologie et la prise de rendez-vous

Présentation de l'enquêteur et de la raison de l'appel

Bonjour M/Mme XXXX ?

Je suis Maxime Catalogna du Service Développement Rural au Département de la Drome. Mon travail en tant qu'agronome est d'aller à la rencontre des producteurs de la Drôme pour comprendre comment, concrètement, vous faites évoluer vos pratiques. Je suis en lien avec l'INRA et on fait l'hypothèse que, dans un grand nombre de cas, les agriculteurs essaient des techniques avant de changer. Les agronomes s'intéressent encore timidement à ça, pourtant il y aurait un vrai intérêt à accompagner des agriculteurs qui essayent. Vous avez quelques minutes?

Oui:

On essaye de comprendre comment les agriculteurs développent ou adaptent de nouvelles pratiques en faisant des tests, des essais tout seul et sur leur propre ferme. On pense que les agriculteurs représentent une source importante d'innovations et de solutions et un objectif de mon travail est de voir comment mieux valoriser ces expériences individuelles à travers des actions politiques à l'échelle du Département.

Pour qu'on se comprenne bien, puis-je vous poser deux ou trois questions:

- Depuis quand êtes-vous installé?
- Etes-vous en agriculture biologique? Si oui, avez-vous toujours été en bio?
- **Si aucune information avant l'entretien sur les pratiques voire les essais de l'agriculteur -> Avez-vous connu des changements importants de production à la ferme ou des changements techniques?**
 - ➔ Si oui, demander si ces changements portaient sur des pratiques plus écologiques. Est-ce que vous avez réalisé des essais de pratiques pour y parvenir?
 - Si besoin de précision, donner des exemples (couverts végétaux, réduction du travail du sol, auxiliaires de culture, cultures associées)
 - ➔ Si non, demander si certaines nouvelles pratiques plus écologiques sont quand même apparues ou ont été testées sur la ferme (donner des exemples si besoin).
 - Si besoin de précision, donner des exemples (couverts végétaux, réduction du travail du sol, auxiliaires de culture, cultures associées)
- **Si information avant l'entretien sur les pratiques voire les essais de l'agriculteur-> J'ai vu par exemple que vous mettez en œuvre XXX (pratique agroécologique). Comment et quand est-ce arrivé sur la ferme? Est-ce que vous l'avez testée avant de la faire?**

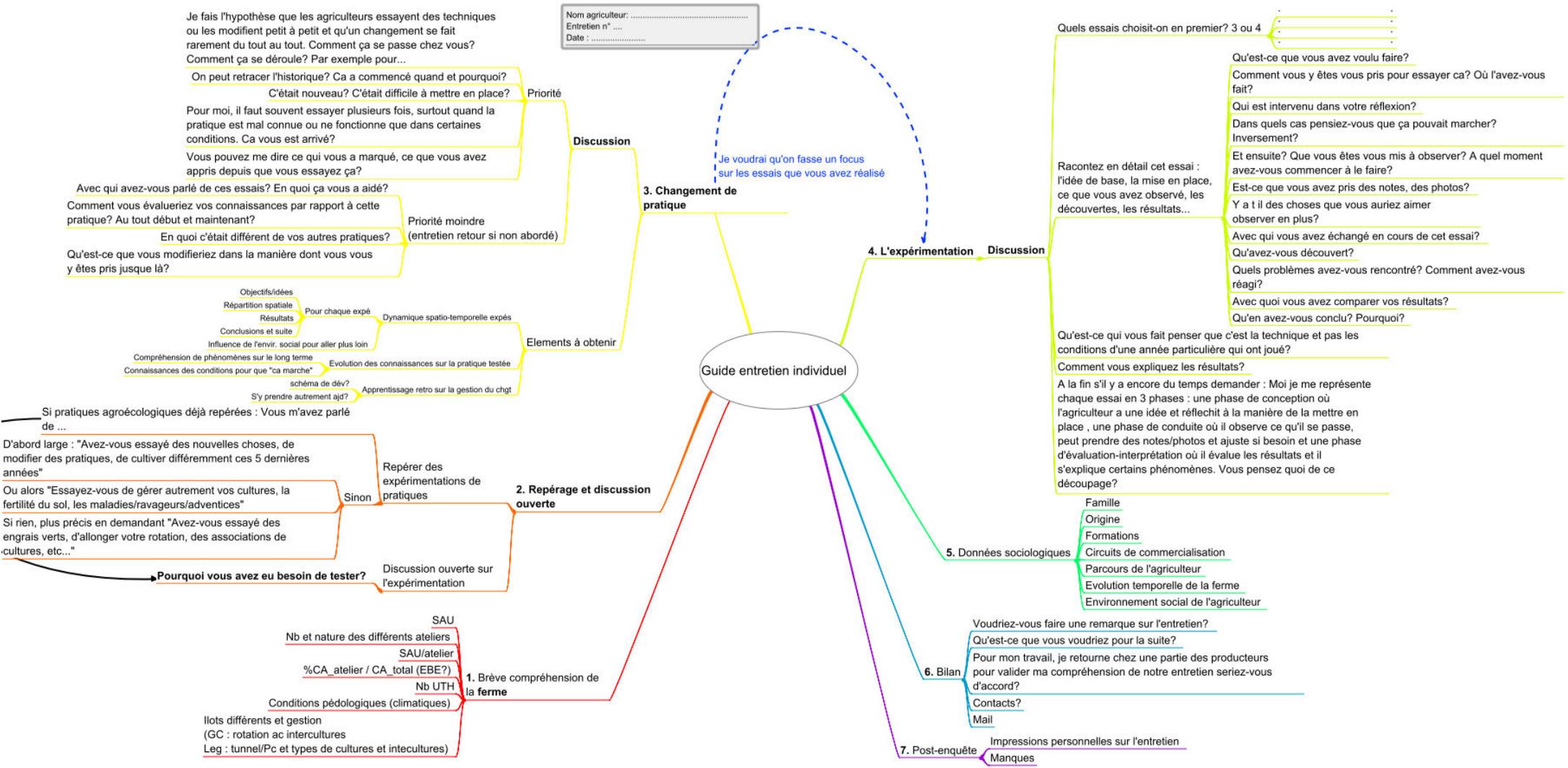
Si tests de pratiques agroécologiques mentionnées par l'agriculteur -> D'accord, je suis intéressé pour en savoir plus sur la manière dont vous avez procédé, seriez-vous d'accord pour qu'on se rencontre ?

Non:

D'accord, vous souhaitez que je vous rappelle plus tard ?

Non -> Entendu, au revoir, merci.

Annexe 2. Guide d'entretien pour la première enquête



Annexe 3. Caractéristiques de l'échantillon

Agriculteurs	Atelier enquêté	Autres ateliers	UTH total	Labellisation	Installation	Année installation	Formation	Thématiques expérimentées principales
AR	Grandes cultures 140 ha (plaine irrigable et côteaux non irrigués)	Arboriculture 15 ha	2	Conventionnel	Reprise familiale	2009 GIEE en 2012	BTS agricole	Couverts végétaux Réduction du travail du sol
BP	Maraîchage diversifié 3 ha de tunnels froids	-	2 (4 en été)	Conventionnel	Reprise familiale	1978	BEP	Biocontrôle
CG	Maraîchage diversifié 1,6 ha dont 1000m ² tunnel	Arboriculture 3 500m ²	1	Bio	Hors cadre familial	2010 directement en bio	BPREA	Biocontrôle Couverts végétaux
CV	Maraîchage diversifié 4 ha dont 3000m ² tunnels	Luzerne 15 ha	3	Bio	Reprise familiale	1998 Bio en 2011	BTS agroalim + maîtrise biologie végétale	Biocontrôle Réduction du travail du sol
CM	Maraîchage diversifié 10 ha dont 1 ha de tunnels	-	4,5 (+2 été)	Bio	Hors cadre familial	2014 (sur la ferme depuis 2013)	Ingénieur agronome	Biocontrôle
DV1	Maraîchage diversifié 3 ha dont 4500 m ² de tunnels	-	2,5	Conventionnel	Hors cadre familial	1992	Etudes supérieures agriculture	Biocontrôle Couverts végétaux
DV2	Grandes cultures 90 ha (80% irrigable)	Arboriculture 8 ha	1,3	Bio	Hors cadre familial	1982 Bio en 1999 GIEE en 2012	BTS gestion EA	Couverts végétaux Réduction du travail du sol Cultures associées
EV	Maraîchage diversifié 4,5 ha Arboriculture 10 ha	Grandes cultures 36 ha	2 (+3 en été)	Conventionnel	Reprise familiale	1997	B TSA protection des végétaux	Biocontrôle Couverts végétaux
GR	Grandes cultures 73 ha (50 irrigables)	Poires 2,2 ha Elevage de porcs intégré	2	Conversion bio	Reprise familiale	2016	BTS production végétale Licence dév. durable	Couverts végétaux Cultures associées
JMF	Grandes cultures 36 ha	PPAM 9ha	1	Conventionnel	Reprise familiale	Années 70	NA	Couverts végétaux Réduction du travail du sol Cultures associées Successions culturales
JN	Grandes cultures 14 ha	Légumes plein champ 2 ha	1,1	Bio	Reprise familiale	1996 directement en bio	BTA polyculture élevage	Couverts végétaux Cultures associées
JT	Maraîchage diversifié 2,2 ha	Prairies et blé 3 ha	2,5	Bio	Reprise familiale	2007 directement en bio	BPREA	Réduction du travail du sol
MJ	Maraîchage diversifié 3 ha (1,2 ha cultivé), 5 tunnels (1860 m ²)	-	0,7 (+ 2 via asso)	Bio	Hors cadre familial	2010	BPREA	Biocontrôle
NT	Grandes cultures 23 ha	-	1	Bio	Hors cadre familial	1995 directement en bio	BEPA	Couverts végétaux Réduction du travail du sol Successions culturales
RE	Maraîchage diversifié 2 ha	Elevage caprin 26 ha Noix 1ha	3	Bio pour le maraîchage	Hors cadre familial	2007 directement en bio	BTS expérimentation	Biocontrôle Réduction du travail du sol
TC	Grandes cultures 70 ha (50 irrigables)	Volailles et veaux de boucherie	1	Conventionnel	Reprise familiale	2001	BPA	Couverts végétaux
VA	Maraîchage diversifié 1,5 ha, 6 tunnels (1500 m ²)	-	2,4	Bio	Hors cadre familial	2011	Reconversion BPREA	Biocontrôle

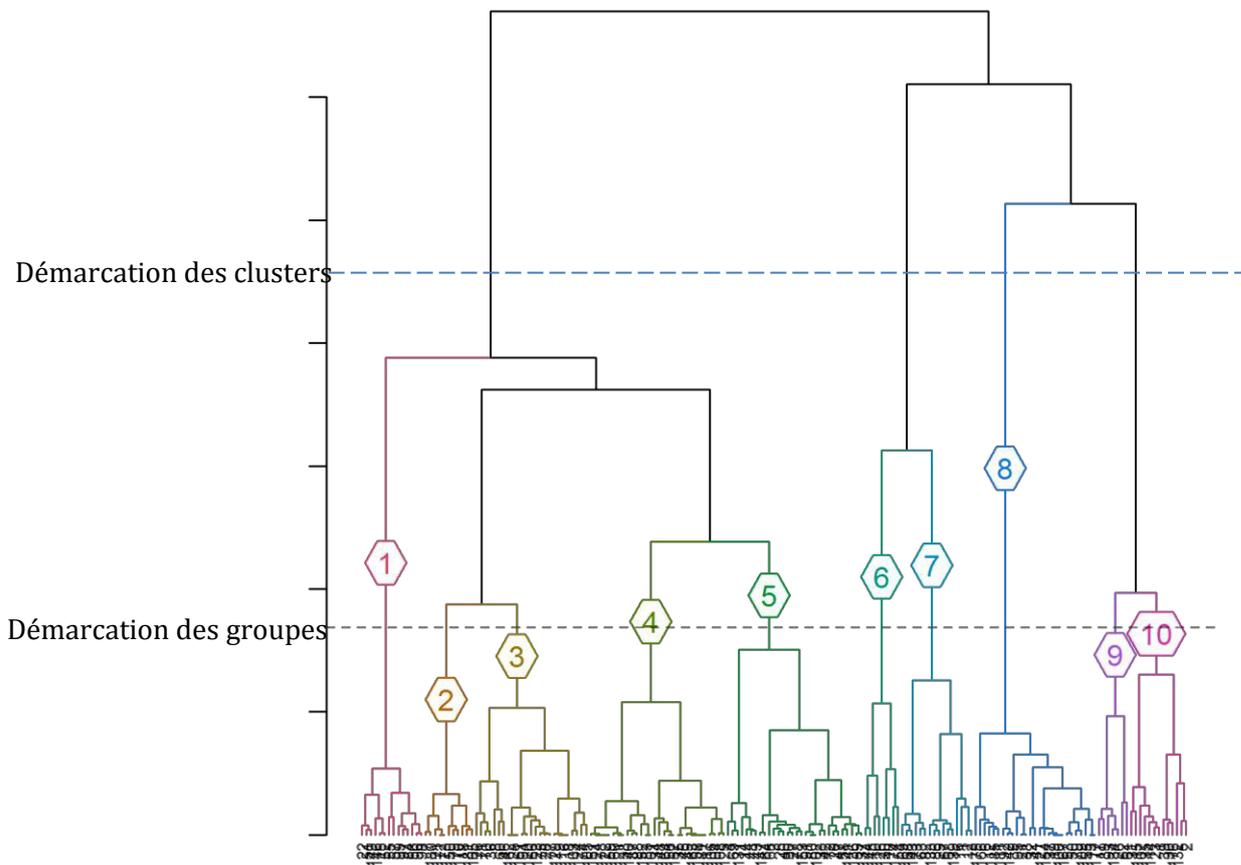
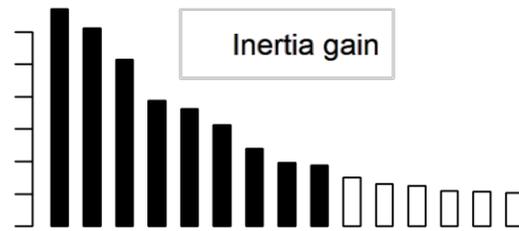
Annexe 4. Ressources externes mobilisés au cours de l'expérimentation par les agriculteurs

Agriculteurs	Organismes techniques	Agriculteurs pairs	Ouvrages techniques ou ressources en ligne	Formations
NT		Voisins Itinéraires sans labour et espèces possibles de couverts	TCS, Cultivar Culture générale sur l'agriculture de conservation	CA et réseau A2C
AR	Conseil privé			
DV2	Conseil privé			
JMF		Membres du réseau BASE Fourniture en semences de féverole	TCS, A2C, forum agricole, ouvrages et dvds Idées à expérimenter (rotation, non labour, couverts etc...)	BASE
GR	CA, syndicat eau		x	CA et réseau A2C
TC	CA			
JN				Agribiodrôme avec C. Bourguignon Idées pour réussir le couvert entre deux blés
EV	Coopérative via Biotop Choix d'espèces pour les		Idées à expérimenter	
CV	GRAB			
CG	Coop Idées d'auxiliaires à utiliser, aide à la reconnaissance		Ephytia, divers Connaissances fondamentales sur les espèces, idées d'auxiliaires à utiliser	CA auxiliaires et maraîchage Connaissances fondamentales sur les espèces, idées d'auxiliaires à utiliser

Agriculteurs	Organismes techniques	Agriculteurs pairs	Ouvrages techniques ou ressources en ligne	Formations
DV1	x	x	Livre auxiliaires de culture (ACTA) et divers Connaissances fondamentales sur les espèces, idées d'auxiliaires à utiliser	Groupe Insectes Connaissances fondamentales sur les espèces
VA	SERAIL	Agriculteur expert (fondateur groupe insecte) Connaissances fondamentales sur les espèces, idées de pratiques à expérimenter		
BP	Biotop			
JT			MSV, permaculture, divers	rencontres MSV
CM	x	Agriculteur expert (fondateur groupe insecte) Fourniture d'auxiliaires coccinelles et parasitoïdes		x
MJ	CA			X
RE		Agriculteur expert (fondateur de l'atelier paysan) Idées des planches permanentes à expérimenter	Idées de pratiques à expérimenter	Connaissances fondamentales sur les espèces, idées de pratiques à expérimenter

Annexe 5. Résultats de la classification ascendante hiérarchique des 181 SEs avec FactomineR(chapitre 3)

NCP = 8 with 10 Groups



num_clust	modality	Cla/Mod	Mod/Cla	p.value	v.test	signif
1	Inf4=Inf4_agroecosys_No	43	94	1.5e-11	6.7	***
1	Obj=Imp_yield	48	75	4.1e-09	5.9	***
1	Practice=ferti	86	38	1.2e-06	4.9	***
1	Inf3=Inf3_res_crop_yes	17	94	7.1e-05	4.0	***
1	Spat=Spat_whole	36	50	9.9e-05	3.9	***
1	Prod=GC	15	81	4.5e-03	2.8	**
1	Agric=10	33	31	5.5e-03	2.8	**
1	Progress=Progress_ok	12	100	5.6e-03	2.8	**

num_clust	modality	Cla/Mod	Mod/Cla	p.value	v.test	signif
1	Discov=Discov_dec_aucun	12	94	1.4e-02	2.5	*
1	Novelty=Similar	13	88	2.2e-02	2.3	*
1	Eval=Eval_relattiv_cdt	25	25	4.6e-02	2.0	*
1	Discov=Discov_dec_positif	0	0	4.8e-02	-2.0	*
1	Progress=Progress_adjust	0	0	3.8e-02	-2.1	*
1	Practice=biopred	0	0	1.9e-02	-2.3	*
1	Obj=Obj_pb_agro	2	6	1.1e-02	-2.5	*
1	Obj=Obj_etat_agrosysteme	3	19	5.2e-03	-2.8	**
1	Prod=Mar	3	19	4.5e-03	-2.8	**
1	Inf3=Inf3_res_crop_no	1	6	7.1e-05	-4.0	***
1	Inf4=Inf4_agroecosys_yes	1	6	1.5e-11	-6.7	***
2	Link=Link_org_W_economic	56	53	4.5e-07	5.0	***
2	Agric=17	44	41	1.3e-04	3.8	***
2	Practice=fbd	32	47	5.2e-04	3.5	***
2	Novelty=New_practice	31	47	7.2e-04	3.4	***
2	Spat=Spat_whole	32	41	1.5e-03	3.2	**
2	Inf3=Inf3_res_crop_no	16	88	1.6e-03	3.2	**
2	Prod=Mar	16	88	1.9e-03	3.1	**
2	Inf2=Inf2_workload_yes	30	41	2.0e-03	3.1	**
2	Progress=Progress_ok	13	100	4.0e-03	2.9	**
2	Eval=Eval_valid_post	14	88	5.9e-03	2.8	**
2	Aim=Aim_positif	13	94	1.2e-02	2.5	*
2	Spat=Spat_1ou2plot	6	35	3.4e-02	-2.1	*
2	Progress=Progress_ajust	0	0	3.1e-02	-2.2	*
2	Link=Link_repetition	0	0	2.4e-02	-2.3	*
2	Aim=Aim_negative	0	0	2.1e-02	-2.3	*
2	Practice=greencover	0	0	1.0e-02	-2.6	*
2	Inf2=Inf2_workload_no	6	59	2.0e-03	-3.1	**
2	Prod=GC	2	12	1.9e-03	-3.1	**
2	Inf3=Inf3_res_crop_yes	2	12	1.6e-03	-3.2	**
3	Link=Link_transpos_principe	74	100	3.2e-19	9.0	***
3	Agric=8	67	24	7.5e-04	3.4	***
3	Progress=Progress_ok	13	100	4.0e-03	2.9	**
3	Spat=Spat_1or2plot	14	88	1.1e-02	2.5	*
3	Practice=biopred	21	47	1.3e-02	2.5	*
3	Novelty=New_practice	23	35	2.4e-02	2.3	*
3	Label=Conv	16	59	3.0e-02	2.2	*
3	Discov=Discov_dec_negative	0	0	4.4e-02	-2.0	*
3	Progress=Progress_ajust	0	0	3.1e-02	-2.2	*
3	Label=Bio	6	41	3.0e-02	-2.2	*
3	Link=Link_repetition	0	0	2.4e-02	-2.3	*
3	Link=Link_aucun	0	0	4.5e-03	-2.8	**
3	Link=Link_am_AE	0	0	2.6e-03	-3.0	**
4	Novelty=Similar	29	97	3.4e-07	5.1	***
4	Aim=Aim_positif	27	100	7.8e-07	4.9	***
4	Link=Link_repetition	50	52	1.7e-06	4.8	***
4	Spat=Spat_>3plot	48	33	5.1e-04	3.5	***
4	Agric=16	58	21	1.7e-03	3.1	**
4	Progress=Progress_ok	23	94	1.7e-03	3.1	**
4	Inf4=Inf4_agroecosys_yes	22	97	4.5e-03	2.8	**
4	Comp=Comp_no	21	100	5.5e-03	2.8	**
4	Eval=Eval_valid_post	25	79	5.7e-03	2.8	**
4	Eval=Eval_conf_effet	50	18	1.1e-02	2.5	*

num_clust	modality	Cla/Mod	Mod/Cla	p.value	v.test	signif
4	Inf1=Inf1_setup_no	20	100	2.2e-02	2.3	*
4	Practice=biopred	32	36	2.4e-02	2.2	*
4	Progress=Progress_ajust	6	6	4.6e-02	-2.0	*
4	Obj=Obj_am_rdt	4	3	3.7e-02	-2.1	*
4	Eval=Eval_relattiv_cdt	0	0	3.4e-02	-2.1	*
4	Progress=Progress_interrup	0	0	3.4e-02	-2.1	*
4	Inf1=Inf1_setup_yes	0	0	2.2e-02	-2.3	*
4	Agric=7	0	0	1.7e-02	-2.4	*
4	Discov=Discov_dec_negative	3	3	1.6e-02	-2.4	*
4	Practice=intercrop	0	0	1.4e-02	-2.5	*
4	Aim=Aim_pos&neg	0	0	8.7e-03	-2.6	**
4	Inf4=Inf4_agroecosys_no	3	3	4.5e-03	-2.8	**
4	Novelty=New_practice	0	0	3.4e-03	-2.9	**
4	Spat=Spat_<1plot	0	0	2.7e-03	-3.0	**
4	Novelty=New_logic	2	3	5.4e-04	-3.5	***
4	Aim=Aim_negative	0	0	3.7e-04	-3.6	***
4	Eval=Eval_prop_hyp_effet	0	0	1.3e-04	-3.8	***
4	Link=Link_aucun	0	0	1.5e-05	-4.3	***
5	Progress=Progress_ajust	53	57	7.0e-08	5.4	***
5	Novelty=Similar	26	97	2.0e-06	4.8	***
5	Link=Link_faisable	70	23	1.6e-04	3.8	***
5	Aim=Aim_pos&neg	45	33	6.9e-04	3.4	***
5	Spat=Spat_1or2plot	24	87	8.3e-04	3.3	***
5	Agric=6	47	23	5.0e-03	2.8	**
5	Eval=Eval_relattiv_cdt	44	23	7.9e-03	2.7	**
5	Inf4=Inf4_agroecosys_yes	20	97	9.0e-03	2.6	**
5	Comp=Comp_no	19	100	9.2e-03	2.6	**
5	Eval=Eval_prop_hyp_effect	31	40	1.2e-02	2.5	*
5	Novelty=New_practice	4	3	4.9e-02	-2.0	*
5	Agric=17	0	0	4.8e-02	-2.0	*
5	Progress=Progress_interrup	0	0	4.8e-02	-2.0	*
5	Agric=13	0	0	3.9e-02	-2.1	*
5	Eval=Eval_valid_post	11	37	1.4e-02	-2.5	*
5	Inf4=Inf4_agroecosys_no	3	3	9.0e-03	-2.6	**
5	Achiev=Achiev_positif	10	43	2.0e-03	-3.1	**
5	Progress=Progress_ok	10	43	1.4e-04	-3.8	***
5	Novelty=New_logic	0	0	9.7e-05	-3.9	***
5	Link=Link_aucun	0	0	4.6e-05	-4.1	***
6	Eval=Eval_prop_tk	50	100	1.6e-07	5.2	***
6	Discov=Discov_dec_negative	17	100	7.8e-05	4.0	***
6	Progress=Progress_interrup	19	60	5.3e-03	2.8	**
6	Inf1=Inf1_setup_yes	17	60	7.7e-03	2.7	**
6	Inf3=Inf3_res_crop_no	5	100	3.8e-02	2.1	*
6	Inf3=Inf3_res_crop_yes	0	0	3.8e-02	-2.1	*
6	Progress=Progress_ok	1	20	1.9e-02	-2.3	*
6	Eval=Eval_valid_post	0	0	1.3e-02	-2.5	*
6	Inf1=Inf1_setup_no	1	40	7.7e-03	-2.7	**
6	Discov=Discov_dec_aucun	0	0	3.3e-03	-2.9	**
7	Progress=Progress_interrup	75	86	8.9e-14	7.5	***
7	Achiev=Achiev_negative	37	93	7.9e-10	6.1	***
7	Eval=Eval_prop_hyp_effet	26	71	4.3e-05	4.1	***
7	Discov=Discov_dec_negative	28	57	2.9e-04	3.6	***
7	Agric=2	44	29	2.4e-03	3.0	**

num_clust	modality	Cla/Mod	Mod/Cla	p.value	v.test	signif
7	Spat=Spat_1or2plot	12	93	7.2e-03	2.7	**
7	Prod=GC	13	79	1.6e-02	2.4	*
7	Obj=Obj_am_rdt	20	36	3.4e-02	2.1	*
7	Inf3=Inf3_res_crop_no	12	79	4.6e-02	2.0	*
7	Inf3=Inf3_res_crop_yes	3	21	4.6e-02	-2.0	*
7	Practice=biopred	0	0	3.2e-02	-2.1	*
7	Prod=Mar	3	21	1.6e-02	-2.4	*
7	Discov=Discov_dec_aucun	4	36	1.4e-02	-2.5	*
7	Obj=Obj_pb_agro	0	0	2.4e-03	-3.0	**
7	Eval=Eval_valid_post	1	7	7.5e-05	-4.0	***
7	Achiev=Achiev_positif	1	7	1.1e-06	-4.9	***
7	Progress=Progress_ok	0	0	1.7e-09	-6.0	***
8	Link=Link_aucun	62	100	1.5e-21	9.5	***
8	Novelty=New_logic	61	93	2.1e-18	8.8	***
8	Eval=Eval_valid_post	21	76	2.9e-02	2.2	*
8	Link=Link_transpos_principe	0	0	1.3e-02	-2.5	*
8	Achiev=Achiev_negative	3	3	1.1e-02	-2.5	*
8	Link=Link_repetition	0	0	1.3e-03	-3.2	**
8	Link=Link_am_AE	0	0	2.5e-05	-4.2	***
8	Novelty=Similar	0	0	1.3e-14	-7.7	***
9	Comp=Comp_2+_mod	80	89	1.6e-11	6.7	***
9	Link=Link_am_AE	14	78	2.4e-03	3.0	**
9	Novelty=New_practice	19	56	3.9e-03	2.9	**
9	Prod=GC	9	89	1.2e-02	2.5	*
9	Inf3=Inf3_res_crop_yes	9	89	1.3e-02	2.5	*
9	Eval=Eval_prop_hyp_effet	13	56	2.7e-02	2.2	*
9	Spat=Spat_<1plot	15	44	3.4e-02	2.1	*
9	Discov=Discov_dec_negative	14	44	4.4e-02	2.0	*
9	Discov=Discov_dec_aucun	2	33	4.0e-02	-2.1	*
9	Eval=Eval_valid_post	2	22	3.7e-02	-2.1	*
9	Inf3=Inf3_res_crop_no	1	11	1.3e-02	-2.5	*
9	Prod=Mar	1	11	1.2e-02	-2.5	*
9	Comp=Comp_no	0	0	2.8e-09	-5.9	***
10	Comp=Comp_Ref	71	91	1.3e-12	7.1	***
10	Spat=Spat_<1plot	33	82	4.6e-07	5.0	***
10	Inf3=Inf3_res_crop_yes	12	91	3.1e-03	3.0	**
10	Progress=Progress_ok	8	100	3.0e-02	2.2	*
10	Practice=notill	17	36	4.9e-02	2.0	*
10	Inf3=Inf3_res_crop_no	1	9	3.1e-03	-3.0	**
10	Spat=Spat_1ou2plot	0	0	2.4e-05	-4.2	***
10	Comp=Comp_no	0	0	2.0e-11	-6.7	***

Annexe 6. Répartition des groupes de SEs par agriculteur (nb de SE de chaque groupe)

Agriculteurs	CLUSTER 1					CLUSTER 2		CLUSTER 3	CLUSTER 4	
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
JT	0	2	1	0	2	0	0	1	0	2
JN	1	0	0	0	1	1	4	1	1	0
NT	2	1	1	1	2	0	1	2	1	2
BP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
VA	0	0	1	2	1	0	0	3	0	0
CG	2	0	1	2	7	0	0	3	0	0
JMF	3	0	4	0	6	1	2	1	2	0
DV1	0	0	4	0	1	0	1	0	0	0
CM	1	0	0	2	1	0	0	2	0	0
DV2	5	0	1	2	2	0	1	2	2	0
CV	0	1	0	3	1	0	0	2	0	0
AR	0	0	0	3	0	0	0	2	0	1
EV	0	4	2	5	0	0	0	3	1	2
GR	0	0	0	2	5	1	2	0	1	1
TC	2	1	0	3	2	1	1	2	0	0
MJ	0	1	2	7	0	0	0	2	0	0
RE	0	7	0	1	0	1	2	3	0	2

Annexe 7. Caractéristiques des ITEs identifiés par agriculteur

ITE par agriculteur et agroécologique	thématique	Type de production	Intensité expérimentale moyenne (SE/an)	Nb SEs	Durée de l'ITE (ans)	Nb branches	Type d'ITE
AR_ITE_couverts		grande culture	0,4	4	10	1	Faible investissement
CV_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	0,3	3	10	1	Faible investissement
DV_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	0,5	6	13	6	Faible investissement
JN_ITE_intercrop		grande culture	1,0	2	2	1	Faible investissement
JT_ITE_poules		maraîchage diversifié	1,0	2	2	1	Faible investissement
NT_ITE_succ_cult		grande culture	0,6	4	7	2	Faible investissement
NT_ITE_Wsol		grande culture	0,4	4	11	3	Faible investissement
RE_ITE_Viedusol		maraîchage diversifié	1,0	2	2	2	Faible investissement
RE_ITE_Wsol		maraîchage diversifié	0,5	5	10	1	Faible investissement
AR_ITE_Wsol		grande culture	2,0	4	2	1	Linéaire
CG_ITE_ail		maraîchage diversifié	1,0	3	3	1	Linéaire
CV_ITE_Wsol		maraîchage diversifié	0,8	6	8	1	Linéaire
DV2_ITE_ferti		grande culture	1,0	3	3	1	Linéaire
EV_ITE_couverts		maraîchage diversifié	1,0	4	4	2	Linéaire
JMF_ITE_intercrop		grande culture	1,0	4	4	1	Linéaire
JN_ITE_couverts		grande culture	1,0	7	7	1	Linéaire
CG_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	2,0	12	6	3	Arborescent
DV_ITE_couverts		grande culture	0,8	12	15	6	Arborescent
EV_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	1,1	16	14	6	Arborescent
GR_ITE_intercrop		grande culture	1,3	4	3	2	Arborescent
JMF_ITE_couverts		grande culture	1,4	7	5	4	Arborescent
JMF_ITE_Wsol		grande culture	2,2	20	9	9	Arborescent
JT_ITE_Wsol		maraîchage diversifié	1,2	6	5	3	Arborescent
NT_ITE_couverts		grande culture	1,3	10	8	3	Arborescent
VA_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	1,8	9	5	5	Arborescent
CM_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	1,7	5	3	2	Buissonnant
DV_ITE_intercrop		grande culture	1,8	7	4	4	Buissonnant
DV_ITE_Wsol		grande culture	1,5	3	2	2	Buissonnant
GR_ITE_couverts		grande culture	3,7	11	3	6	Buissonnant
JMF_ITE_succ_cult		grande culture	2,2	13	6	6	Buissonnant
MJ_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	2,2	11	5	6	Buissonnant
RE_ITE_biocontrôle		maraîchage diversifié	1,2	11	9	7	Buissonnant
TC_ITE_couverts		grande culture	2,5	15	6	7	Buissonnant

Annexe 8. ITES des agriculteurs enquêtés



Colza associé à trèfle incarnat
G8

Colza associé à mélange de trèfles
G6

Abandon

ITE cultures associées (faible investissement)

Trèfle en interculture de deux blés
G7

Trèfles semés à la volée et déchaumage en interculture de deux blés
G7

Trèfles semés juste après moisson en interculture de deux blés
G7

Trèfles semés dans le blé
G5

Trèfles semés dans le blé
G1

Trèfles semés dans le blé
G7

Comparaison mélanges de trèfles dans blé
G9

JN

ITE couverts végétaux (linéaire)



ITE couverts végétaux (faible investissement)

Moutarde en interculture derrière blé
NA

Adoption

Mélange avoine-vesce
G4

Adoption

Formation d'un GIE

ITE réduction du travail du sol (linéaire)

Mélange avoine-vesce détruit sans labour au glyphosate en plaine
G8

Mélange carinazote sans labour détruit au glyphosate sur terres en côteaux
G4

Comparaison strip till dans un couvert puis semis maïs avec labour et semis maïs en plaine
G10

Strip till dans un couvert puis semis maïs sur terres en côteaux
G4

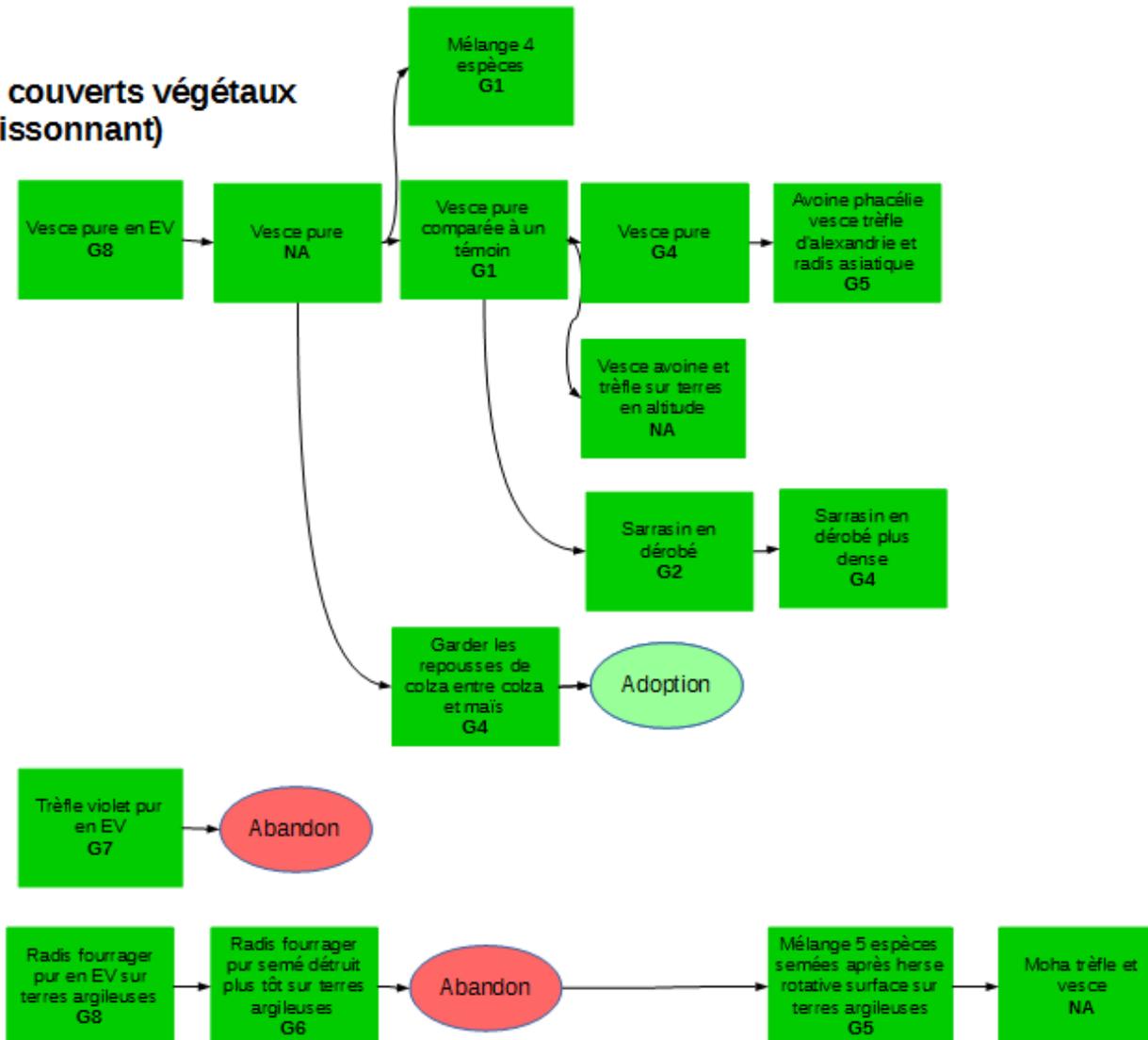
SE allongement de la rotation avec luzerne relais (hors ITE)

Tournesol associé à de la luzerne semence
G8



TC

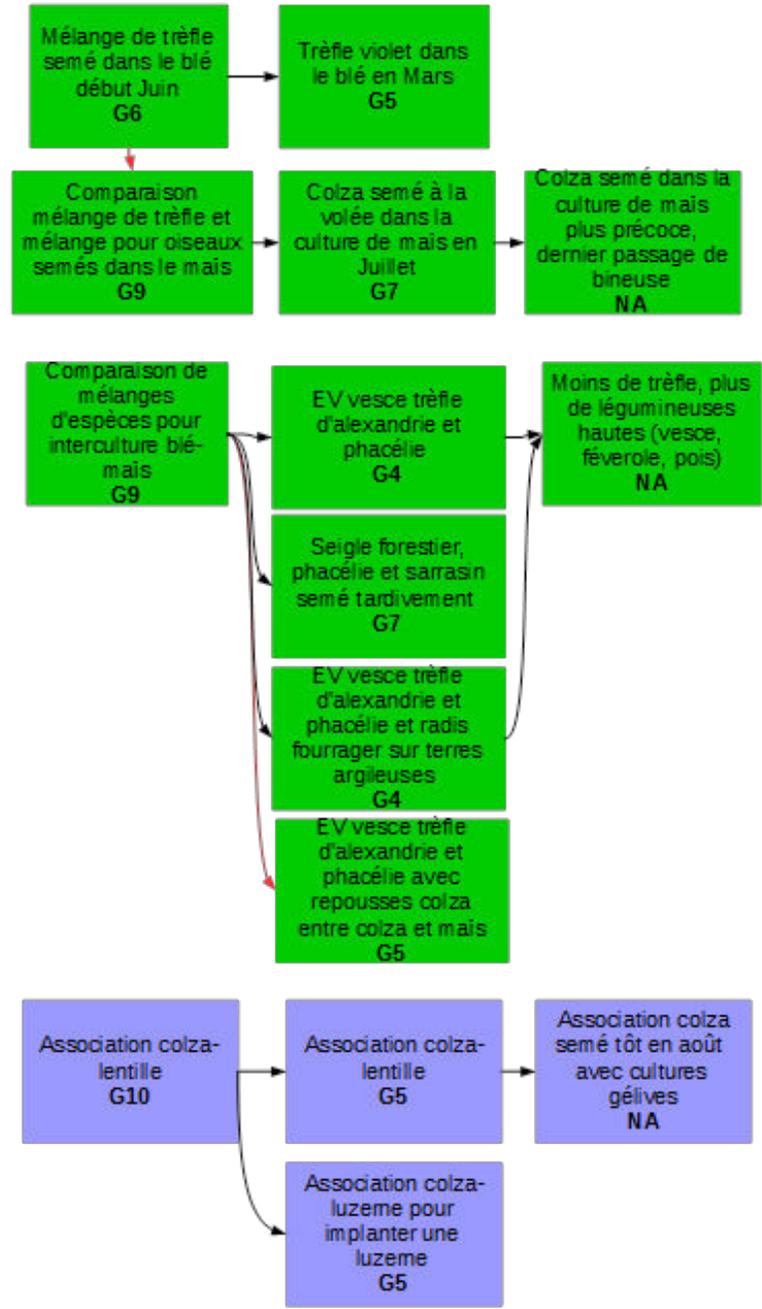
ITE couverts végétaux
(buissonnant)





GR

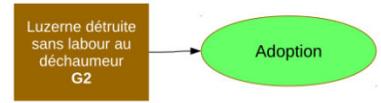
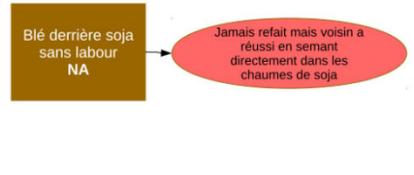
ITE couverts végétaux (buissonnant)



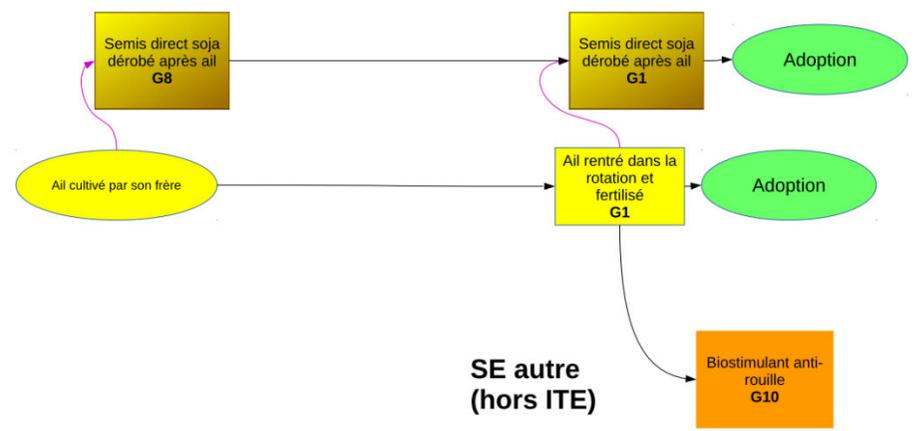
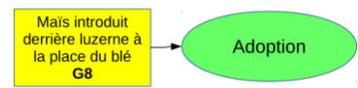


NT

ITE travail du sol réduit (faible investissement)

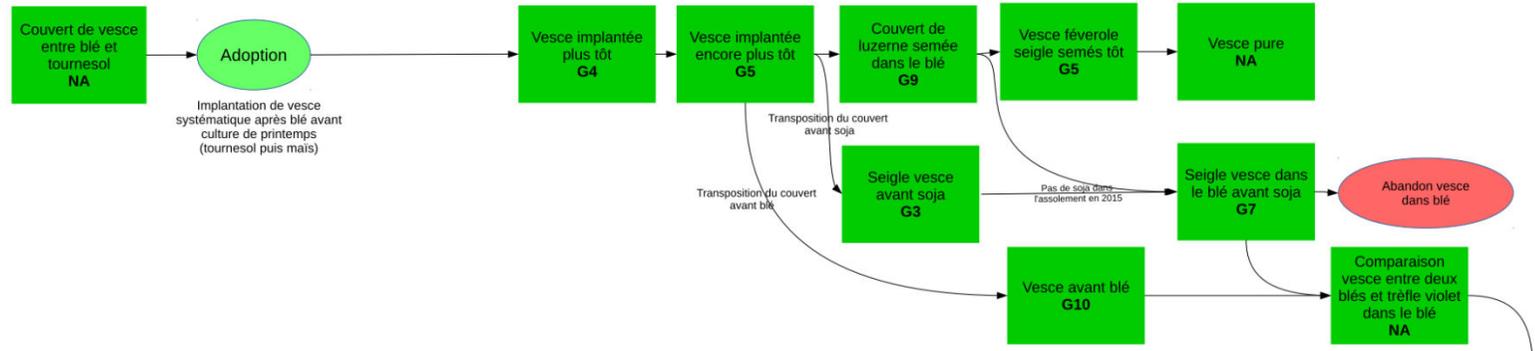


ITE successions culturales (faible investissement)



SE autre (hors ITE)

ITE couverts végétaux (arborescent)



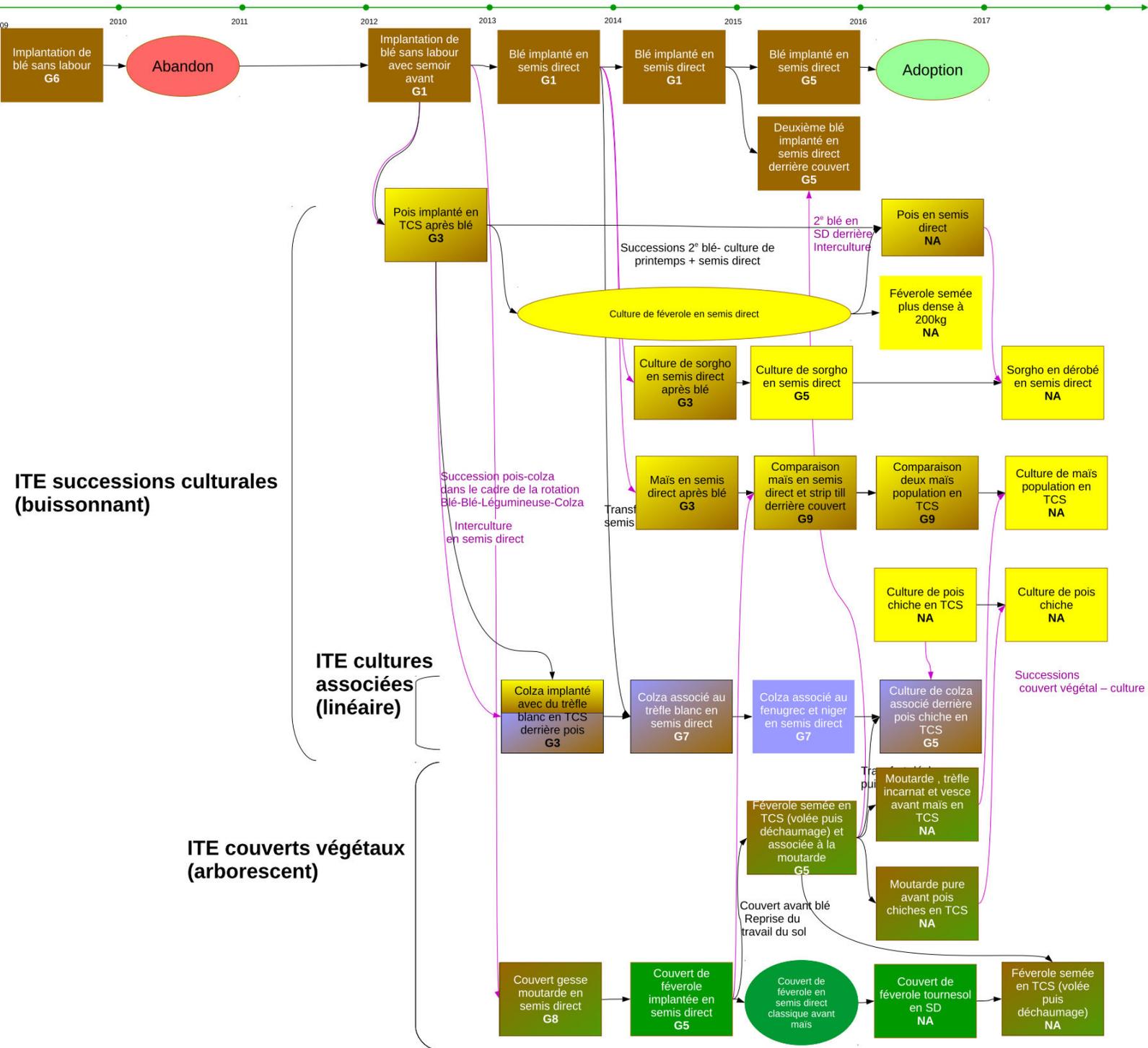
ITE rotation cultures r irriguées ?

Commence à s'intéresser à l'AC (TCS, cultivar)

Formation TCS

Essais couverts avec moutarde CUMA et Tech & Bio : plante qui lignifie beaucoup

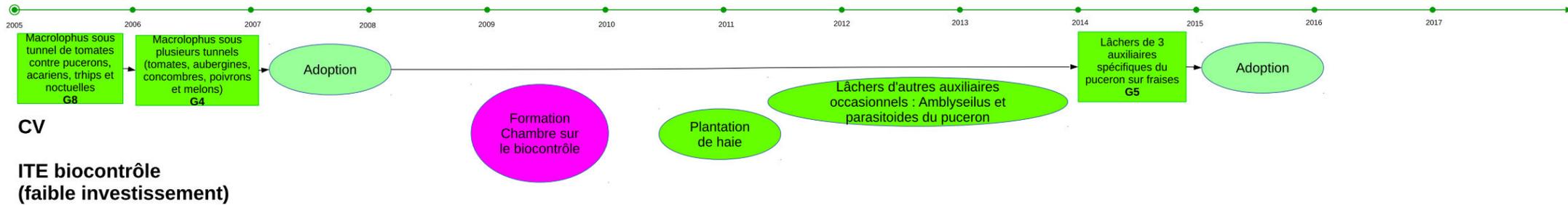
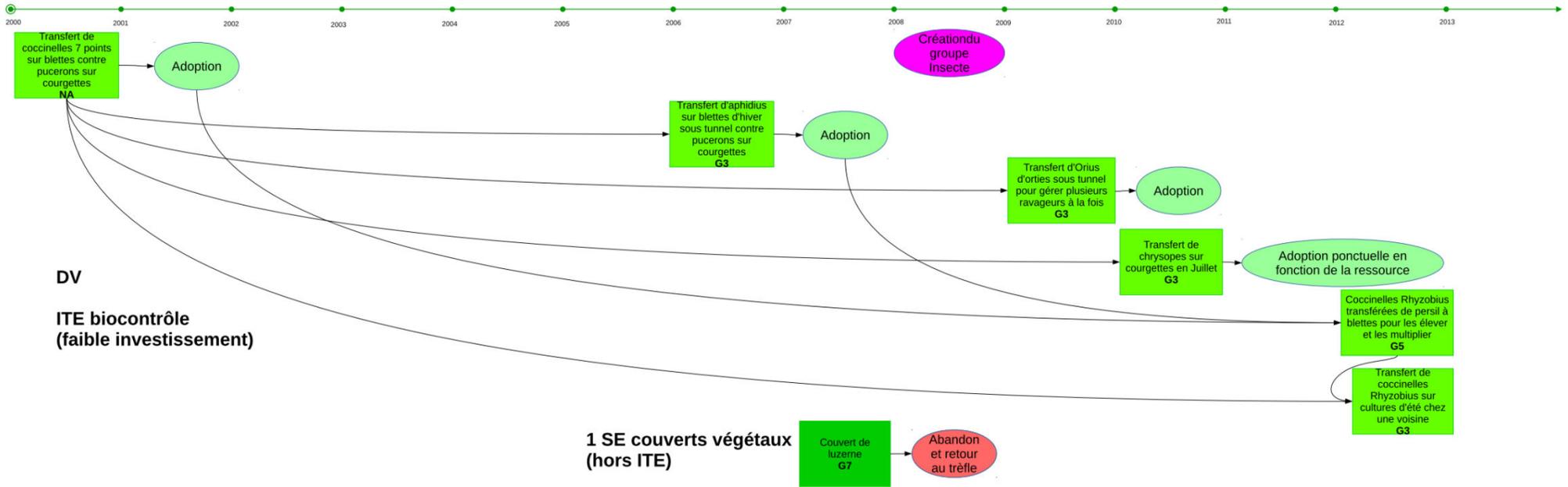
ITE réduction du travail du sol (arborescent)

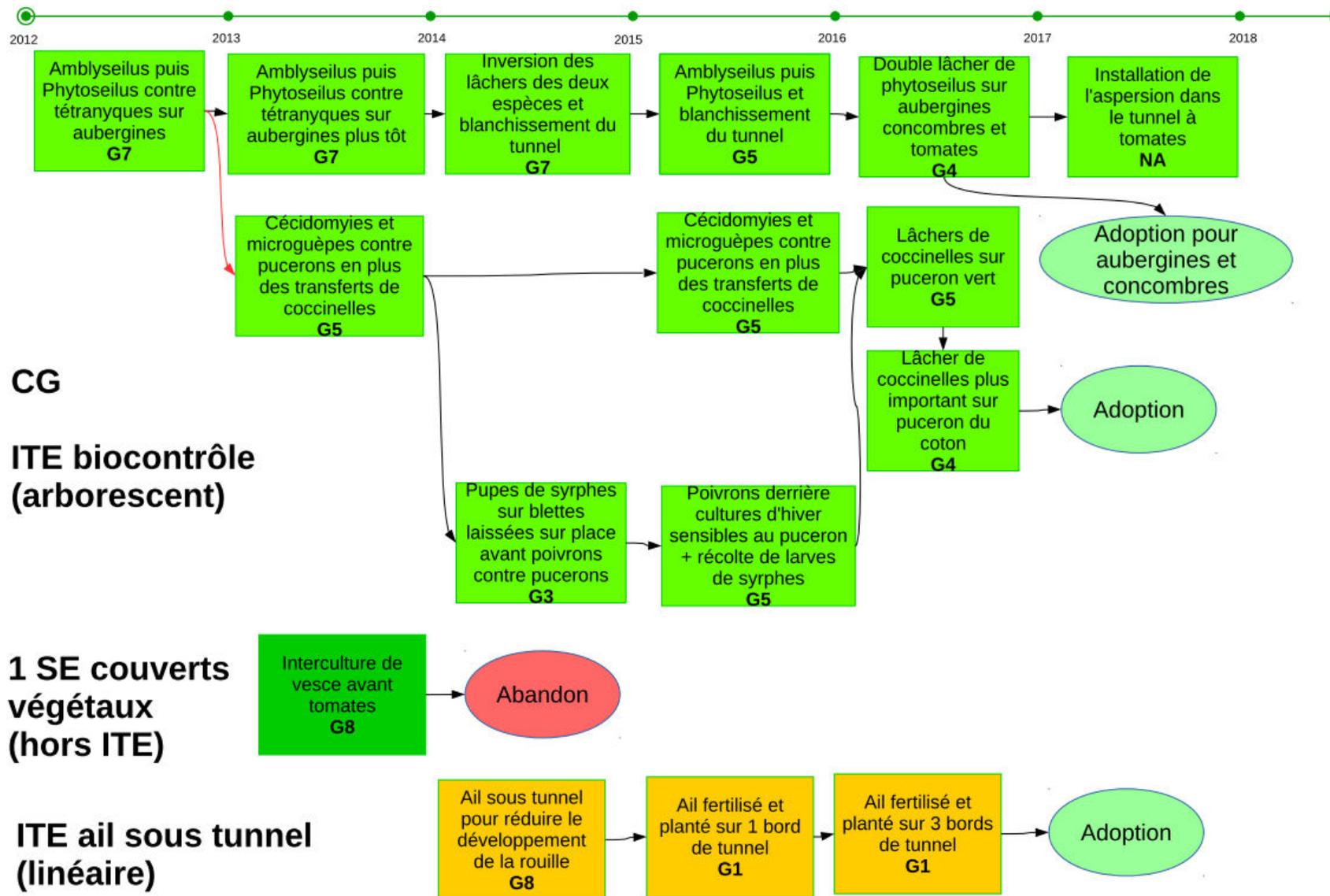


ITE successions culturales (buissonnant)

ITE cultures associées (linéaire)

ITE couverts végétaux (arborescent)







2009
Planches permanentes sans labour : rotovator, cultiplanche, cultivateur G6
Planches permanentes billonnées pour choux, poireaux comparé à planches plates G10

Adoption et amélioration des outils de travail du sol pour les rendre plus solides en sols lourds

2017
Planches permanentes avec nouvel outil à gros disques + vibroculteur+ herse étrille G2

Planches permanentes préparées sans rotovator avec outil à disques G2

Planches permanentes préparées sans rotovator NA

RE
ITE réduction du travail du sol (faible investissement)

ITE développement de la vie du sol (faible investissement)

Comparaison compost végétal pour développer les champignons par rapport au fumier G10

Abandon

Activateur de vie du sol G2

Abandon

ITE couverts végétaux ?

ITE biocontrôle (buisonnant)

Œillets d'inde et tagètes coplantées dans les solénacées contre nématodes G8

Adoption

Capucines à côté des blettes pour piéger les pucerons G8

Adoption

Calendula refuge à auxiliaires l'hiver sous tunnel G7

Adoption

Abandon des calendulas

Bourrache pour attirer des auxiliaires de culture en plein champ G7

Abandon

Bandes fleuries autour des parcelles pour attirer les auxiliaires G2

Bandes fleuries entre les planches permanentes pour attirer les auxiliaires G2

Adoption

Plantation de haies diversifiées

Pose de nichoirs et abris à serpents pour enrichir en auxiliaires G2

Adoption

Pose de nichoirs remplacés et remplacés G2

Transfert de coccinelles des fèves dans les tunnels contre pucerons NA

Adoption

Transfert de coccinelles et syrphes du mesclun dans tunnel des tomates contre pucerons G4

Plantation d'un verger maraîcher

Bande de trèfles entre les arbres pour détourner les attaques de campagnols G8

Adoption



Planche de culture sableuse peu travaillée et couverte avec du BRF
G10

Culture sur simili-butte + mulch de luzerne et travail du sol limité
G2

Culture sur simili-butte + mulch de luzerne et travail du sol limité année 2
G5

Sol travaillé après plusieurs amendements organiques
G5

Adoption

Buttes sous serre
G10

Adoption

Mulch en surface sans travail du sol pour améliorer l'infiltration de l'eau d'une parcelle
G3

Abandon

Poules sur mulch avant culture de tomates
G8

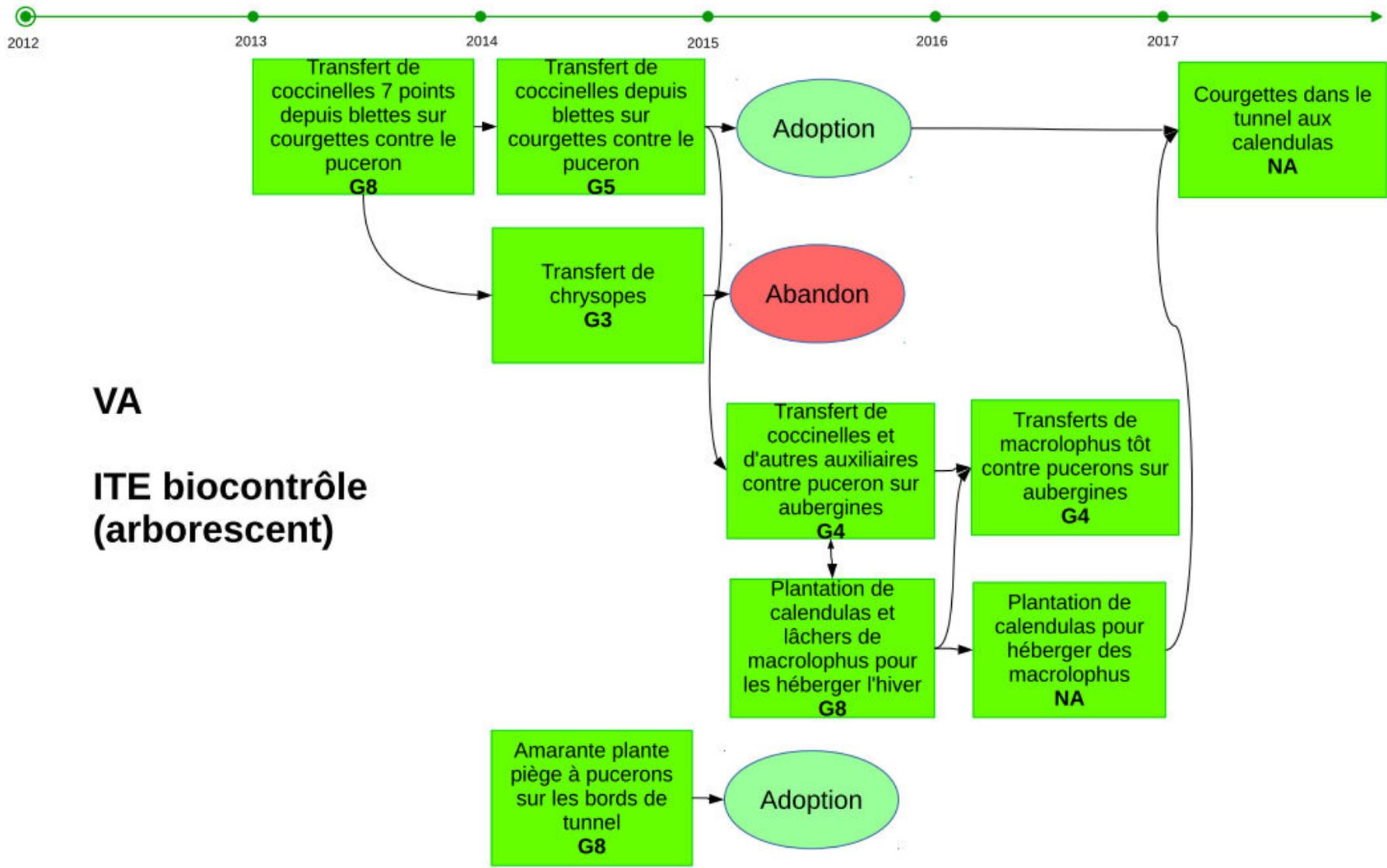
Poules intégrées de manière très simplifiée
G2

Adoption

JT

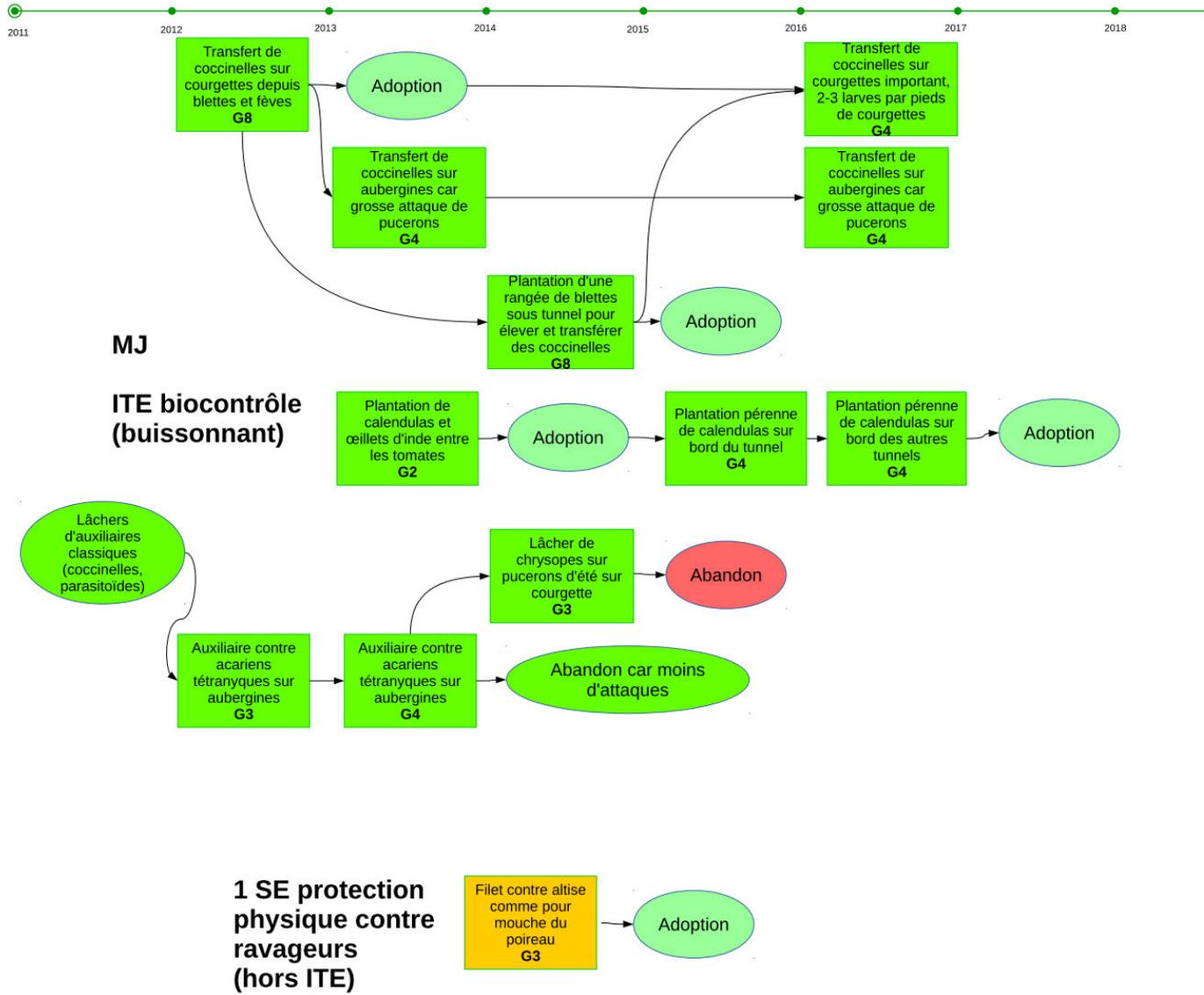
ITE travail du sol limité et mulch de surface (arborescent)

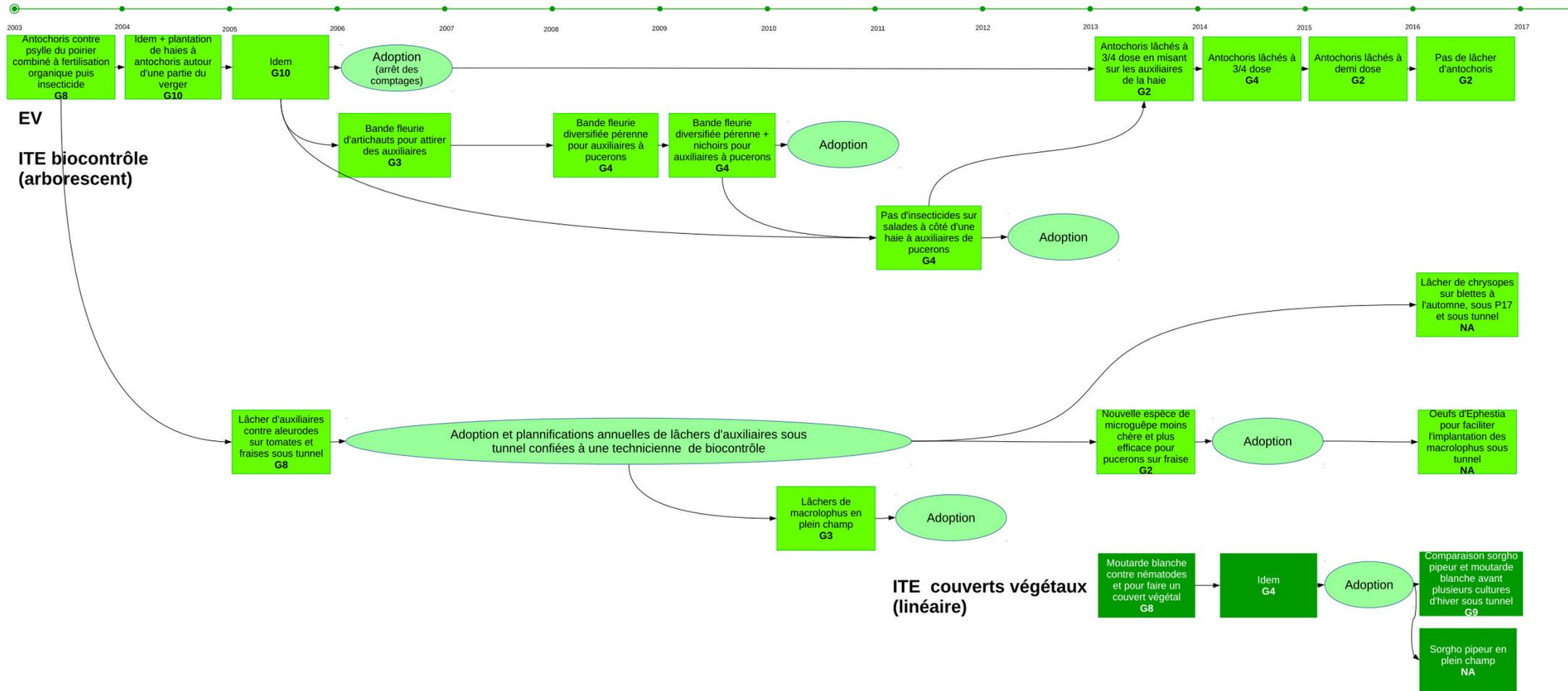
ITE intégration des poules en rotation avec des cultures maraîchères (faible investissement)



VA

**ITE biocontrôle
(arborescent)**







Transfert de
coccinelles sur
blettes sur des
courgettes attaquées
par pucerons
G8

Transfert de
coccinelles sur
premier tunnel de
courgettes
G5

Transfert de
coccinelles sur
deuxième tunnel
de courgettes
G4

Adoption

Calendulas pour
héberger des
macrolophus sous
un tunnel
G8

Calendulas pour
héberger
macrolophus sur
plusieurs tunnels
G4

Adoption

CM

**ITE biocontrôle
(buissonnant)**

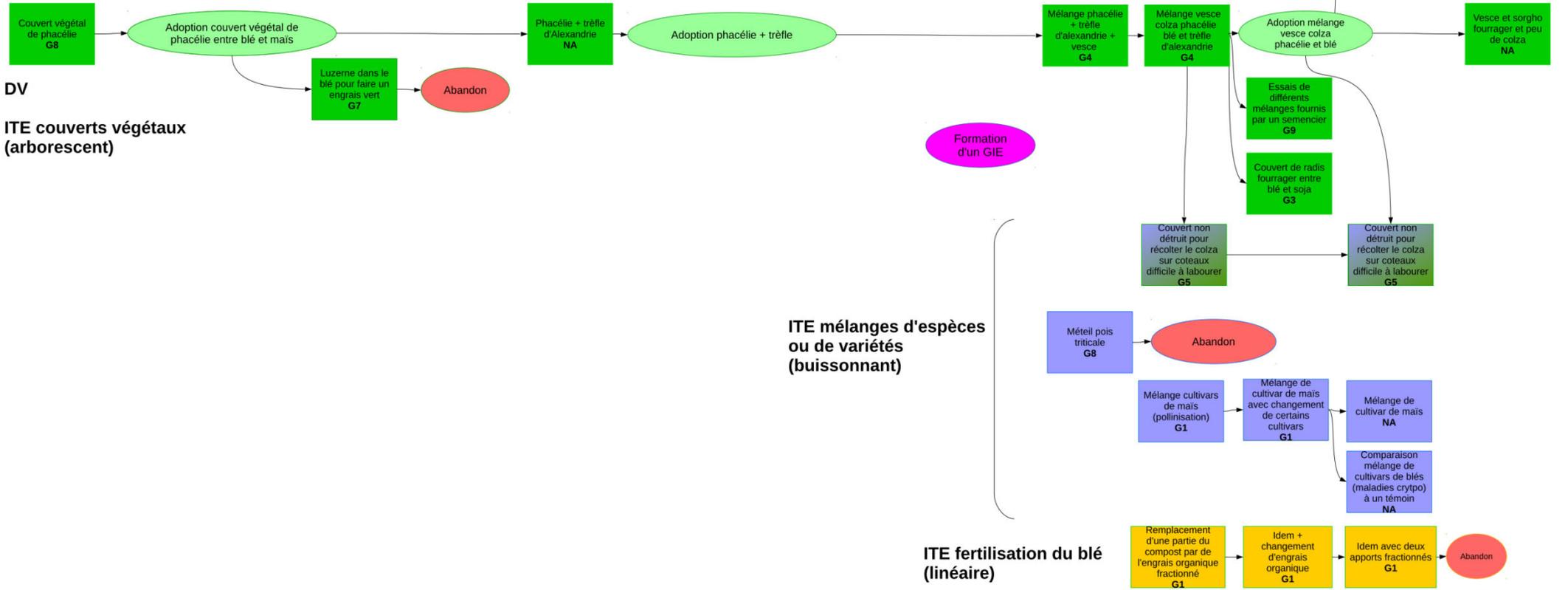
Pas de fertilisation
sur un tunnel avec
un sol à fort taux
de MO
G1

Abandon

**1 SE fertilisation sous
tunnel**



Essai avec l'ISARA : non labour pendant 9 ans sur une parcelle Blé (puis Phacélie) – Maïs - Soja. Enherbement croissant et labour à la fin.



Annexe 9. Description des ITEs de JMF en grandes cultures

Itinéraire d'expérimentation arborescent travail du sol

JMF s'était rendu compte que les zones avec de la matière organique en surface étaient moins sensibles à la battance et la terre y restait plus humide. Ce constat se traduisait à l'époque par l'usage systématique, à l'été de la sous-soleuse pour décompacter les sols tout en laissant les résidus en surface. Cependant, le remplacement des PAM par du blé, ou un blé sur blé se faisaient encore par un labour. JMF chercha donc à planter un blé sans recourir à l'usage du labour. En 2009, JMF met en place sa première situation expérimentale (SE 01-G6). Il déchaume les résidus de culture d'aromatiques puis plante des blés au semoir à disques. Deux problèmes sont rencontrés entre le semoir et les chaumes lors de la mise en œuvre de la situation expérimentale. La première concerne le cas où le semoir est utilisé avec des effaces traces de roue du tracteur : la matière organique en surface s'accumule sur les dents de herse et bourre ce qui complique fortement le passage de l'outil. De plus, en conditions humides ce travail du sol préalable rend collante la terre qui bouche les disques du semoir. La deuxième concerne le cas où les effaces traces sont retirés : le semoir à disques ne traverse pas derrière les roues et dépose donc les grains de blés en surface, rendant impossible l'implantation de la culture. JMF est alors souvent contraint d'utiliser la herse rotative ou de repasser les disques de déchaumage pour enfouir la matière organique. Quelques années plus tard, JMF découvre par hasard le blog de Gilles Domenech sur le jardin avec un sol vivant puis l'agriculture de conservation avec un ouvrage du couple Bourguignon et la revue TCS de Frédéric Thomas à laquelle il s'abonne. Ainsi, en 2012, JMF est conforté dans son idée de laisser la matière organique en surface car elle s'inscrit dans une logique agronomique plus large visant à mobiliser les processus écologiques du sol, qui passent notamment par la réduction du travail du sol. JMF a alors l'idée d'inverser le relevage du semoir (c'est-à-dire le mettre à l'avant du tracteur) pour s'affranchir des traces de roue lors du semis. Cette nouvelle situation expérimentale (SE 02-G1) est un succès, le semis de blé est satisfaisant et toute la sole en blé est semée ainsi. Dans la foulée, cette pratique est transposée et expérimentée avec le pois, semé quelques semaines après (SE 07-G3). En 2013, le semis sans labour est transposé au colza qui suit la culture de pois (SE 19-G3). Ces deux cultures sont semées et se développent avec succès. En 2013, JMF fait aussi l'acquisition d'un semoir à disques conçu pour le semis direct. Il a en effet découvert cette pratique avec l'agriculture de conservation et souhaite aller plus loin que les TCS. Toute la sole de blé est expérimentée en semis direct (SE 03-G1). Les rendements sont catastrophiques mais cela est généralisé, les voisins ayant aussi de très mauvais rendements en blé dur ce qui amène l'agriculteur à relativiser ses résultats. Les SEs de 2014 et 2015 verront les rendements en blé s'améliorer. JMF commence aussi son itinéraire d'expérimentation sur les couverts végétaux l'année d'achat du semoir direct, en 2013. Il commence par expérimenter pour la première fois les couverts végétaux semés en direct après deux cultures de blés (SE 23-G8). Il choisit un mélange de gesse et moutarde. La gesse se développe bien mais la moutarde monte en graines. JMF juge que la date de semis était trop précoce pour la moutarde. Ce couvert est détruit au cover crop et un blé est semé derrière. En 2014, l'agriculteur crée aussi deux nouvelles SEs de semis direct avec les cultures de printemps qui sont maïs et sorgho. Pour le sorgho (SE 10-G3), le rendement est correct. Pour le maïs, l'agriculteur ne désherbe pas préalablement et sème directement sur un petit hectare (SE 13-G3). Le maïs s'implante bien mais est trop pénalisé par la concurrence adventice. Suit une situation expérimentale de semis direct en colza associé en

automne (SE 20-G7), où celui-ci se fait consommer par les limaces. JMF décide de détruire la culture pour y ressemer un blé. En été 2014, un nouveau couvert est implanté en semis direct (SE 24-G5). L'espèce semée est la féverole car JMF autoproduit sa semence depuis 2014. Certaines zones sont mal semées car le semoir à disques a roulé sur les zones présentant trop de résidus de paille en surface. Beaucoup de ray grass se développe. JMF constate que le ray grass a bien couvert le sol et a réalisé un travail intéressant au niveau de sa structure. Cette fois, le couvert est détruit au glyphosate pour effectuer un semis direct de maïs derrière (SE 14-G9). Malheureusement, le semis direct de maïs pose des problèmes de verse. JMF associe ce problème à un sol trop peu travaillé. En effet, il met aussi en place une modalité avec un strip till bricolé pour créer un lit de semence plus adéquat et constate moins de verse sur celle-ci. De plus, un technicien Arvalis lui dit lors du Tech & Bio que le maïs doit s'implanter dans un sol travaillé. C'est pourquoi l'année suivante le sol sera légèrement travaillé avec une herse rotative après un couvert de féverole (et ray grass) et avant un maïs (SE 15-G9). Le ray grass est cependant un problème dès le deuxième blé en semis direct. Ainsi, la même année, JMF met en place une autre situation expérimentale sur 2 parcelles (SE 25-G5) visant à planter un couvert entre deux blés et à lutter contre le développement du ray grass. C'est la première fois que JMF plante un couvert pour planter un blé au semoir direct après. Contrairement à l'interculture moutarde-gesse de 2013, ici le semis est réalisé avec un travail du sol préalable alors que la destruction est faite avec un herbicide pour semer le blé en direct dedans. Ainsi, l'agriculteur a l'idée de semer de la féverole à la volée juste après la moisson du blé puis de passer le déchaumeur à disques. Cela lui permet de détruire le ray grass qui s'était développé au cours de la première année de blé et d'enterrer la graine de féverole qui se développe en étant peu concurrencée. Un peu plus tard dans la saison, JMF a l'idée d'associer à la féverole de la moutarde pour couvrir fortement le sol et concurrencer encore plus le ray grass. Pour procéder au semis sur la parcelle recouverte par les chaumes de blé, JMF se souvient du semoir avant qu'il avait construit en 2012 pour planter le blé en TCS, précisément après un travail de déchaumage et l'utilise pour la moutarde. Le couvert se développe très bien sauf sur les zones présentant trop de résidus de paille en surface. Le ray grass prend le dessus sur ces zones. JMF constate aussi que même sous le couvert bien développée, les résidus de paille ne sont pas assez bien décomposés à l'automne et gênent le semoir direct qui suit. En effet, l'agriculteur expérimente le blé de deuxième année en semis direct derrière ce couvert détruit au glyphosate quelques mois plus tard (SE 06-G5). Les zones comportant trop de paille manquent de blé. De plus, à sa surprise, une différence importante de développement du blé apparaît entre les deux parcelles. Les deux lèvent bien mais l'une arrête de se développer normalement. L'agriculteur pense que l'excès de paille en surface a pu favoriser le piétin sur l'une des parcelles. Il n'en reste pas moins que la pratique du déchaumage et du semoir avant est réutilisée l'année suivante dans un contexte différent : ces couverts sont semés après deux cultures de blés et seront suivis par une culture de printemps. Ainsi, deux situations expérimentales sur des couverts à base de moutarde (SE 26-NA et SE 27-NA) sont mises en place. De plus, après une nouvelle situation expérimentale en féverole et tournesol (SE 28-NA) qui démarre assez mal, il envisage dans une situation expérimentale future (SE 29-NA) de déchaumer une première fois pour planter la féverole puis de repasser le déchaumeur pour détruire le couvert si la culture qui suit est un 2^e blé d'hiver.

Itinéraire d'expérimentation buissonnant sur les successions culturales

Avec l'agriculture de conservation, JMF découvre l'idée de la rotation blé blé légumineuse colza en semis direct. L'objectif général est de casser les cycles de développement des adventices qui seront problématique en l'absence de travail du sol. Alternier 2 ans de monocotylédones avec 2 ans de dicotylédones permettrait de cibler les adventices dicotylédones puis monocotylédones. Ainsi, dès 2012, il implante un pois en expérimentant les TCS, c'est-à-dire en le semant dans un sol déchaumé mais non labouré (SE 07-G3). Le pois est par la suite remplacé par de la féverole (non décrit en terme d'expérimentations) car cette plante est cultivée pour autoproduire la semence de couverts végétaux. En 2013, les parcelles suivant la culture de pois sont donc implantées en colza en TCS (SE 19-G3). Le colza des années suivantes sera implanté derrière de la féverole. En 2014 les premières cultures de printemps sont expérimentées. L'objectif est là aussi de casser les cycles de développement des adventices, notamment du ray grass. Introduire des cultures de printemps avec des dates de travail du sol et de levée différentes des cultures d'hiver est un nouveau levier expérimenté par JMF pour lutter contre le problème émergent du ray grass en semis direct. En effet, les deux années de blés en semis direct débouchent sur des parcelles très envahies par cette adventice. C'est pourquoi JMF expérimente le maïs et le sorgho derrière secondes cultures de blé en 2014. Le semis direct est transposé aux cultures de printemps pour quelques hectares de sorgho (SE 10-G3) et pour un hectare de maïs (SE 13 –G3). Ces cultures continueront à être expérimentées les années suivantes. Le ray grass pose toujours problème car il se développe aussi dans ces cultures. Ainsi, en 2016, une nouvelle culture de printemps est expérimentée (SE 17-NA). JMF choisit le pois chiche car elle présente le double avantage d'être une dicotylédone (donc possibilité d'utiliser un désherbant sélectif en cours de culture contre le ray grass) et d'être une légumineuse, ce qui est plus intéressant après deux années de blé. Malheureusement la culture est en grande partie détruite par les sangliers. En 2017, JMF envisage de profiter d'une culture de pois (revenu en 2017 car débouchés plus intéressants que la féverole) pour planter derrière une culture de sorgho en dérobé et ainsi faire deux cultures commerciales en une année (SEs 9 et 12-NA).

Itinéraire d'expérimentation arborescent sur les couverts végétaux

En 2013, l'agriculteur expérimente pour la première fois les couverts végétaux avec un mélange moutarde gesse semé sans travail du sol (SE 23-G8). L'année d'après, c'est la féverole qui est utilisée, toujours en semis direct mais celle-ci est fortement concurrencée par le ray grass. En 2015, une branche expérimentale est émise et JMF expérimente l'implantation de la féverole en réintroduisant le travail du sol (SE 25-G5). Cette SE s'avère concluante. Le pouvoir couvrant de la moutarde intéresse JMF par rapport au ray grass et c'est pourquoi il crée deux SEs en 2016 sur des couverts à base de moutarde et avec travail du sol. Il souhaite mettre en place un couvert suivi d'une culture de printemps. JMF met en place un premier couvert de moutarde pure (SE 27-NA) avant une culture de pois chiche. La deuxième SE (SE 26-NA) porte sur une moutarde associée à deux légumineuses (trèfle incarnat et vesce) avant une culture de maïs. Ces deux couverts étaient bien développés au moment de l'enquête et JMF souhaite semer la féverole intégralement de cette manière l'année suivante (SE 28-NA).

Itinéraire d'expérimentation linéaire sur les cultures associées

Cet itinéraire est linéaire et ne concerne que le colza associé. Suite à la première SE, JMF découvre que le trèfle blanc se développe peu en début de culture de colza mais est bien développé et continue d'occuper le sol après la récolte du colza (SE 19-G3). L'agriculteur révisé le rôle de cette espèce : c'est une espèce intéressante en tant qu'interculture plus qu'une plante compagne (surtout en début de culture). L'agriculteur recommencera une année à y associer du trèfle blanc (SE 20-G7) puis remplacera cette espèce par des plantes gélives et à développement rapide comme le niger et le fenugrec (SE 21-G7) pour concurrencer le ray grass en début de culture de colza. Malheureusement, les problèmes d'implantation du colza ne seront réglés que lorsque l'agriculteur expérimentera à nouveau le colza en TCS (SE 22-G5).

Annexe 10. Formulation d'une hypothèse de modification complexe des actions par JMF sur une interculture de moutarde entre blé et pois chiche (ITE couverts végétaux)

- Interactions (Objets biologiques, Processus):
 - En 2016, JMF **précise ses connaissances** en découvrant que le ray grass se développait quand même dans le pois chiche après deux années de blés. Il mobilise cette connaissance en remettant un pois chiche après deux années de blés mais avec une interculture qui doit mieux gérer le ray grass.
 - JMF **déduit** aussi que le pois chiche convient bien après moutarde car il souffrira moins du puisement de l'azote par la moutarde.
 - Dans la SE de 2015 sur les couverts végétaux, JMF fait, en cours d'expérimentation, une hypothèse sur un processus agroécologique : planter une moutarde pour concurrencer encore plus le ray grass pendant l'interculture. Il **conforte sa connaissance**. Il mobilise cette connaissance : utiliser de la moutarde concurrentielle sur le ray grass.
- Interactions (Actions, Processus) :
 - En 2015 (même SE que précédemment), JMF souhaite mieux réussir son interculture et fait une **hypothèse de modification simple des actions** : il ne fait plus de semis direct mais réalise un travail de déchaumage préalable avant d'implanter le couvert pour détruire le ray grass. Sa **connaissance est confortée** : le couvert de féverole se développe bien. Il mobilise ces connaissances : planter un couvert pour détruire le ray grass et faciliter le développement du couvert, moins concurrencé.
- Interactions (Objets biologiques, Actions) :
 - En 2015 (même SE que précédemment SE), JMF plante une moutarde (associé à une féverole déjà semée) à partir d'une **hypothèse de modification simple des actions** : il propose d'utiliser un semoir modifié et placé à l'avant du tracteur qui convient pour un passage après un déchaumage et pour la taille de cette graine. La SE **confortera sa connaissance**. Il mobilise ces connaissances pour savoir comment planter la moutarde après un déchaumage.

Annexe 11. Evolution des connaissances selon un modèle bayésien

La formule de Bayes s'écrit $P(A|B) = P(B|A).P(A)/P(B)$

Soit H une hypothèse et E une preuve issue d'une expérimentation. P(H) est la probabilité que l'hypothèse H soit vraie. P(E) est la probabilité que la preuve E soit vraie, c'est-à-dire la probabilité de n'obtenir ni un faux positif, ni un faux négatif.

Selon la formule de Bayes, on écrit alors $P(H|E) = P(E|H).P(H)/P(E)$

Considérons un cas simple avec deux hypothèses H1 et H0 plausibles (par exemple, du type "ça marche", "ça ne marche pas" pour une pratique agroécologique).

Ainsi, $P(E) = P(E|H1).P(H1) + P(E|H0).P(H0) = P(E|H1).P(H1) + P(E|H0).(1-P(H1))$

On a donc $P(H1|E) = P(E|H1).P(H1) / P(E|H1).P(H1) + P(E|H0).P(H0)$

Si une preuve expérimentale est plus plausible sous l'hypothèse H1 que H0, c'est-à-dire $P(E|H1) > P(E|H0)$, alors, P(H1/E) augmente tandis que P(H0/E) diminue.

Ainsi, à chaque nouvelle preuve expérimentale, nous pouvons réévaluer P(H1). P(H1|E) devient le nouveau P(H1) lorsque la preuve suivante est apportée.

Résumé : L'intensification des processus écologiques proposée par l'agroécologie est très dépendante du contexte agricole. Un renouvellement des savoirs sur l'exploitation agricole est nécessaire pour adapter chaque pratique agroécologique. Dans cette thèse, nous avons étudié l'activité d'expérimentation des agriculteurs, définie comme un processus de mise à l'épreuve de pratiques embarquant des hypothèses tant sur leur mise en œuvre que sur les processus agroécologiques que ces pratiques visent à induire. Notre travail est basé sur des enquêtes auprès de 17 agriculteurs majoritairement drômois, étant soit en maraîchage diversifié, soit en grandes cultures.

Nous avons formalisé l'activité d'expérimentation des agriculteurs avec deux notions : la situation expérimentale (SE) et l'itinéraire d'expérimentation (ITE). Elles concernent respectivement le temps court (annuel ou infra-annuel) et le temps long (pluri-annuel) et font l'objet des deux premiers chapitres de résultat. Dans le premier, nous avons construit un cadre d'analyse des SEs comprenant des phases de conception, de réalisation et d'évaluation. A partir de ce cadre, nous avons étudié la diversité d'un échantillon de 181 SEs et identifié 10 groupes de SEs organisés en 4 clusters. La typologie obtenue dépend d'une variable particulière qui est le type de lien aux SEs précédentes. Dans le deuxième chapitre de résultat, nous avons approfondi ces liens en nous intéressant aux ITEs, définis comme la combinaison de différentes SEs portant sur une thématique agroécologique particulière. Nous avons identifié 4 types d'ITE qui diffèrent par leur intensité expérimentale, les liens entre SEs et l'émission ou non de nouvelles branches expérimentales.

Le troisième chapitre de résultat traite la question du développement des connaissances des agriculteurs grâce à leurs expérimentations. Après avoir caractérisé différentes formes de connaissances, plus ou moins stabilisées, nous proposons trois processus de développement de connaissances avancées grâce aux expérimentations menées.

Le modèle SE/ITE est prometteur pour accompagner les agriculteurs. La frise chronologique des SEs organisées en ITE représente un outil de réflexivité potentiel.

Mots-clefs : expérimentation des agriculteurs, connaissance, agroécologie, agronomie, grandes cultures, maraîchage diversifié

Abstract : The intensification of ecological processes proposed by agroecology is highly dependent on the agricultural context. A renewal of farming knowledge is necessary to adapt each agro-ecological practice. In this thesis, we studied farmers' experiments, defined as a process of testing practices that embody hypotheses both on their implementation and on the targeted agro-ecological processes. Our work is based on surveys of 17 farmers, mainly Drôme farmers, who were either diversified market gardeners or cereal farmers.

We have formalized the farmers' experiments with two notions: the experimental situation (SE) and the experimentation itinerary (ITE). They concern respectively short time (annual or infra-annual) and long time (multi-year) and are the subject of the first two chapters of the results. In the first one, we built an analytical framework that includes design, implementation and evaluation phases. From this framework, we studied the diversity of a sample of 181 SEs and identified 10 groups of SEs organized into 4 clusters. The typology obtained depends on a particular variable which is the type of link to previous SEs. In the second chapter of the result, we have deepened these links by focusing on ITEs, defined as the combination of different SEs on a particular agro-ecological theme. We identified 4 types of ITEs that differ in their experimental intensity, the links between SEs and the emission or not of new experimental branches.

The third chapter of the result deals with the question of farmers developing knowledge through their experiments. After having characterized different forms of knowledge, more or less stabilized, we propose three processes for the development of advanced knowledge through experimentation.

The SE/ITE model is promising to support farmers. The chronological timeline of SEs organized in ITEs represents a potential reflexivity tool.

Keywords : farmers' experiments, knowledge, agroecology, agronomy, arable crops, market gardening