



HAL
open science

La nutrition des plantes : des savoirs scientifiques aux conceptions des élèves de terminale scientifique : difficultés de la construction de savoirs problématisés lors d'une séquence forcée

Francis Rouquet

► **To cite this version:**

Francis Rouquet. La nutrition des plantes : des savoirs scientifiques aux conceptions des élèves de terminale scientifique : difficultés de la construction de savoirs problématisés lors d'une séquence forcée. Education. Nantes Université, 2022. Français. NNT : 2022NANU2024 . tel-04000023

HAL Id: tel-04000023

<https://theses.hal.science/tel-04000023>

Submitted on 22 Feb 2023

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

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

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 603
Éducation, Langues, Interaction, Cognition, Clinique
Spécialité : « Sciences de l'éducation »
Discipline : « Didactique des sciences »

Par

« **Francis ROUQUET** »

« **La nutrition des plantes** »

« Des savoirs scientifiques aux conceptions des élèves de terminale scientifique. Difficultés de la construction de savoirs problématisés lors d'une séquence forcée. »

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 13 décembre 2022

Unité de recherche : CREN, Nantes Université

Thèse N° :

Rapporteurs avant soutenance :

Patricia SCHNEEBERGER
Marco BARROCA-PACCARD

Professeure émérite, Université de Bordeaux LAB-E3D
Professeur associé, Haute École Pédagogique de Lausanne

Composition du Jury :

Président : Yann LHOSTE
Examineurs : Patricia SCHNEEBERGER
Marco BARROCA-PACCARD

Professeur, Université des Antilles LAB-E3D
Professeure émérite, Université de Bordeaux LAB-E3D
Professeur associé, Haute École Pédagogique de Lausanne

Dir. de thèse : Christian ORANGE
Co-en. de thèse : Hanaà CHALAK

Professeure émérite, Nantes Université
Maître de conférences, Nantes Université



Remerciements

A mon père Jules qui m'a transmis sa passion pour la nature et les plantes. Il m'a appris à les reconnaître, ce qui est devenu un jeu entre nous pour lutter contre sa maladie. C'est lui aussi qui m'a appris à planter un arbre, j'avais 10 ans. Cet événement est probablement à l'origine de ma curiosité du monde des plantes et de leurs singularités. A mon parrain Georges, sociologue et anthropologue, qui a nourri ma culture scientifique dans des domaines qui étaient éloignés de la didactique et de la biologie. Il a été le premier à lire un premier jet de ma thèse en août 2020, ses conseils m'ont aidés à tirer un fil rouge. Ces quelques lignes me permettent de lui rendre hommage. A mes filles, Mayliss, Lou et Jade, pour leurs lectures et encouragements. A Sandrine qui a partagé mes bonheurs et a supporté mes tensions pendant ces cinq années de doctorat. A Joëlle et Philippe qui ont eu la gentillesse de relire les différents chapitres de la thèse.

Mes remerciements vont en premier lieu à Christian Orange, Professeur émérite, Professeur des Universités en Sciences de l'éducation à Nantes - didactique des SVT - et directeur du séminaire problématisation au CREN et Hanaà Chalak, Maîtresse de Conférence à l'INSPE de Nantes, qui ont dirigés cette cette recherche doctorale. Leurs lectures expertes ont fait évoluer mes productions et pointer mes errances contribuant à une production plus structurée. Ce travail m'a permis de développer les compétences professionnelles qui étaient ma motivation première dans le cadre de la formation des étudiants du premier degré et des stagiaires SVT.

Je remercie également Magali Hersant, Professeure des Universités en Sciences de l'éducation - didactique des mathématiques - et Yann Lhoste, Professeur des universités en sciences de l'éducation - didactique des SVT – à l'Université des Antilles, qui ont acceptés de participer aux différents comités de thèse. Leurs conseils et recommandations ont été précieux tout au long de ma thèse.

Le directeur de l'INSPE de Nantes, Mohammed Bernoussi, et le directeur de l'INSPE d'Angers, Christophe Doré sont vivement remerciés pour leurs encouragements et soutien financier.

Cette thèse est également le fruit de belles rencontres. D'abord, depuis six ans maintenant, le collectif des chercheurs du CREN et particulièrement ceux du séminaire problématisation dont Christian Orange et Michel Fabre, Professeur émérite, Professeur en sciences de l'éducation - philosophie de l'éducation - sont les pierres fondatrices. Ensuite, cinq chercheurs qui ont acceptés de répondre à mes questions et dont l'expertise a contribué à orienter ma recherche, je pense notamment à Denis Lamy, spécialiste de la botanique et de son histoire, Centre Alexandre-Koyré de l'EHESS du CNRS au Museum d'Histoire Naturelle de Paris ; Marc-André Sélosse , spécialiste de botanique et mycologie, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité du CNRS au Museum d'Histoire Naturelle de Paris ; Valéry Malécot, systématicien spécialiste des végétaux, Agrocampus Ouest d'Angers ; Guy Rumelhard, directeur de recherches en didactique des SVT et des thèses de didactique à l'Université Paris VII ; Robin Bosdeveix, directeur de l'INSPE de l'académie de Créteil et auteur d'une thèse en 2016 – didactique des SVT : celui-ci m'a apporté de précieux conseils en début de thèse.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Chapitre 1 : la connaissance scolaire vue par le prisme de trois concepts clés : apprentissage, conceptions et obstacles.....	9
Introduction.....	9
1. LA QUESTION DES SAVOIRS.....	10
1.1. Les élèves et le savoir.....	11
1.1.1. Le métier d'élève.....	11
1.1.2. Le rapport de l'élève au savoir.....	12
1.1.3. L'élève face aux disciplines scolaires : le cas des SVT.....	12
1.1.4. L'apprenant, un sujet engagé dans l'apprentissage.....	13
1.2. L'école : lieu des apprentissages scolaires.....	14
1.2.1. Apprendre dans la vie et apprendre à l'école.....	14
1.2.2. Des savoirs scientifiques façonnés par l'école.....	15
1.2.3. Le propositionnalisme scolaire.....	16
1.2.4. L'école lieu d'apprentissages scolaires.....	17
1.3. Bilan : la question des savoirs en milieu scolaire.....	18
2. DEUXIÈME CONCEPT : LES CONCEPTIONS.....	19
2.1. Une définition possible de conception.....	19
2.2. Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage.....	21
2.2.1. La nécessité d'une rupture épistémologique pour apprendre.....	21
2.2.2. Les conceptions des apprenants comme outil de la connaissance scolaire.....	22
2.2.3. L'utilisation des conceptions en didactique.....	22
2.3. Les origines possibles des conceptions.....	23
2.3.1. Des origines multiples.....	24
2.3.2. Les conceptions dans les programmes de sciences.....	24
2.4. Bilan : le concept de conceptions.....	26
3. TROISIÈME CONCEPT : LES OBSTACLES.....	27
3.1. Le concept d'obstacle : un concept bachelardien.....	27
3.1.1. La transition entre l'esprit préscientifique et l'esprit scientifique.....	27
3.1.2. La notion d'obstacles épistémologiques.....	29
3.1.3. L'expérience première.....	29
3.2. Des catégorisations d'obstacles.....	30
3.2.1. D'autres obstacles possibles.....	30
3.2.2. Les obstacles selon Brousseau.....	33
3.2.3. Les nœuds d'obstacles selon Astolfi.....	34
3.2.4. Les obstacles spécifiques au concept de vie.....	34
3.3. Une vision dynamique de l'obstacle : l'objectif obstacle.....	35
3.3.1. Une tension entre objectif et obstacle selon Martinand.....	35
3.3.2. Permanence, latence et résistance de l'obstacle.....	36
3.4. Des objectifs obstacles aux situations didactiques.....	37
3.4.1. Les caractéristiques des obstacles pour les situations didactiques.....	37
3.4.2. Apprendre oui, mais comment ?.....	38
3.4.3. Bilan intermédiaire.....	39
3.5. La construction de problèmes et le franchissement des obstacles.....	39

3.5.1. La nécessaire fissuration des obstacles.....	39
3.5.2. La construction de problèmes ordinaires.....	40
3.5.3. Le processus de problématisation.....	40
3.6. Bilan : le concept d'obstacles.....	41
4. BILAN DU CHAPITRE 1.....	42
Chapitre 2 : étude épistémologique et didactique du concept de plante et de leur nutrition.....	45
Introduction.....	45
1. LA NUTRITION DES PLANTES.....	46
1.1. La fonction de nutrition chez les plantes : la possibilité d'une île ?.....	47
1.2. Le caractère amphibie de leur nutrition.....	48
1.2.1. Les feuilles.....	48
1.2.2. Les racines.....	50
1.3. La nécessité d'une circulation de matières dans la plante.....	53
1.3.1. Les vaisseaux du xylème.....	53
1.3.2. Les vaisseaux du phloème.....	54
1.3.3. La nécessité d'un flux de matières.....	55
1.4. Entre autotrophie et hétérotrophie.....	56
1.4.1. Les mycorhizes.....	57
1.4.2. La symbiose légumineuses-Rhizobiums.....	58
1.4.3. Le parasitisme.....	58
1.5. Bilan intermédiaire.....	59
2. LES PLANTES ET LEUR NUTRITION : UNE HISTOIRE ÉPISTÉMOLOGIQUE POUR COMPRENDRE CERTAINES DIFFICULTÉS DES ÉLÈVES.....	60
2.1. Les fondements de la botanique.....	61
2.1.1. De l'Antiquité à la renaissance.....	62
2.1.2. Un tournant du XVII ^{ème} jusqu'au début du XVIII ^{ème} siècle.....	63
2.1.3. Le milieu du XVIII ^{ème} et le XIX ^{ème} siècle.....	64
2.2. L'évolution de la théorie de la nutrition des plantes à travers l'histoire de la botanique.....	65
2.2.1. Aux origines de la théorie.....	67
2.2.2. Une conception de la nutrition à la fin de la Renaissance.....	68
2.2.3. L'évolution rapide de la théorie de la deuxième moitié du XVII ^{ème} au début du XVIII ^{ème} siècles.....	69
2.2.4. Une stagnation des connaissances au XVIII ^{ème} siècle.....	74
2.2.5. Une nouvelle théorie au début du XIX ^{ème} siècle.....	77
2.2.6. Des avancées difficiles dans la première moitié du XIX ^{ème} siècle.....	81
2.2.7. La question des matières nutritives des plantes est tranchée à la fin du XIX ^{ème} siècle..	85
2.2.8. Les nouveaux apports à la théorie depuis Sachs de la fin du XIX ^{ème} au XX ^{ème} siècle...	88
2.2.9. Une proposition de résumé de l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes.....	89
2.3. Bilan intermédiaire.....	96
3. BILAN DU CHAPITRE 2.....	97
Chapitre 3 : activité langagière et problématisation.....	101
Introduction.....	101
1. L'ACTIVITÉ LANGAGIÈRE ET L'ACTIVITÉ DISCURSIVE.....	102
1.1. Le langage comme pratique signifiante.....	102
1.1.1. Le rapport entre langage et pensée.....	102
1.1.2. Le langage pour communiquer.....	104

1.1.3. Le rapport entre langage, concepts linguistique et scientifique.....	105
1.1.4. Le rapport entre langage, raison et troisième monde.....	107
1.1.5. Le langage et la notion de genre de discours.....	108
1.2. Langage, savoirs et construction des savoirs scolaires.....	108
1.2.1. Langage et activité scientifique.....	109
1.2.2. Langage et savoirs scolaires.....	109
1.2.3. Le passage de l'oral à l'écrit.....	110
1.3. L'argumentation dans les apprentissages.....	112
1.3.1. La secondarisation du discours pour construire les savoirs.....	112
1.3.2. L'argumentation comme outil didactique.....	113
1.4. Le débat scientifique : un dispositif didactique pour construire les savoirs.....	114
1.4.1. Le débat dans la communauté discursive.....	114
1.4.2. Le débat dans l'enseignement des SVT.....	115
1.4.3. Le champ argumentatif de Toulmin pour comprendre la logique du discours.....	118
1.4.4. Positions, positionnements et postures de l'énonciateur.....	119
1.5. Observer et analyser des pratiques langagières.....	120
1.5.1. Observer et analyser des fonctions didactiques du débat.....	121
1.5.2. Observer et analyser des fonctions épistémologiques du débat.....	121
1.6. Bilan de l'activité langagière.....	122
2. LA PROBLÉMATISATION.....	124
2.1. La place du problème dans l'enseignement scientifique.....	125
2.1.1. Le problème et la connaissance objective.....	125
2.1.2. Le sens du problème.....	125
2.1.3. Problèmes à résoudre ou problèmes à construire.....	126
2.2. La problématisation : définition et critères.....	128
2.2.1. Vers une définition de la problématisation.....	128
2.2.2. La problématisation : un double dédoublement.....	129
2.2.3. Les critères de la problématisation.....	130
2.3. Le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation.....	131
2.3.1. Les différents registres du cadre théorique de la problématisation.....	131
2.3.2. Un espace de contraintes du cadre théorique par problématisation.....	133
2.4. Le bilan de la problématisation.....	134
3. BILAN DU CHAPITRE 3.....	135
4. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ENQUÊTE.....	137
Chapitre 4 : étude qualitative des connaissances d'élèves de Terminale scientifique relative au concept de plante.....	139
Introduction.....	139
1. UNE ENQUÊTE EXPLORATOIRE POUR CIBLER LES DIFFICULTÉS DES ÉLÈVES.....	139
1.1. Le positionnement théorique.....	140
1.1.1. Le concept de plante dans le curriculum du premier degré.....	140
1.1.2. Des conceptions des élèves du premier degré relatives à la nutrition des plantes.....	142
1.2. Positionnement théorique à partir des difficultés des élèves du premier degré pour comprendre celles des élèves de Terminale Scientifique dans les connaissances relatives au concept de plante.....	144
2. LA MÉTHODOLOGIE DE LA PREMIÈRE ENQUÊTE.....	145
2.1. La méthodologie du recueil de données par questionnaire individuel.....	145
2.1.1. Le public visé pour le recueil de données exploratoire.....	146

2.1.2. Le questionnaire basé sur plusieurs items du concept de plante.....	147
2.2 La méthodologie d'analyse des connaissances des élèves de Terminale Scientifique.....	149
2.2.1. « Que sais-tu de la croissance des plantes ? ».....	150
2.2.2. « Que sais-tu de la nutrition des plantes ? ».....	151
2.2.3. « Autres informations que tu souhaites apporter concernant les végétaux.....	151
2.3. Bilan de la méthodologie mise en œuvre.....	152
3. LES RÉSULTATS ET LA DISCUSSION.....	153
3.1. Les résultats concernant la croissance des plantes.....	153
3.1.1. L'analyse des réponses des élèves.....	153
3.1.2. L'analyse des erreurs scientifiques et l'absence de réponses.....	156
3.2. Les résultats concernant la nutrition des plantes.....	157
3.2.1. L'analyse des réponses des élèves.....	157
3.2.2. L'analyse des erreurs et l'absence de réponse.....	159
3.3. Les résultats concernant d'autres connaissances relatives aux plantes.....	160
3.3.1. L'analyse des réponses des élèves.....	160
3.3.2. L'analyse des erreurs.....	163
4. LA CONCLUSION SUR L'ENQUÊTE DIDACTIQUE ET LA NOUVELLE FORMULATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE.....	163
4.1. L'identification des conceptions des élèves de Terminale Scientifique au sujet de la nutrition des plantes.....	163
4.2. Les nouvelles formulations des questions de recherche.....	167
Chapitre 5 : étude qualitative des interactions entre élèves lors d'une séquence forcée traitant de la nutrition des plantes.....	171
Introduction.....	171
1. DEUXIÈME ENQUÊTE DIDACTIQUE SUR L'APPRENTISSAGE DU FONCTIONNEMENT DE LA NUTRITION DES PLANTES.....	172
1.1. La visée scientifique de la recherche.....	172
1.1.1. Une origine possible de certaines difficultés d'apprentissages des élèves.....	172
1.1.2. La nouvelle formulation des questions de recherche.....	173
1.1.3. La stratégie de l'enquête.....	174
1.1.4. Bilan intermédiaire.....	174
1.2. La mise en place d'une séquence forcée.....	175
1.2.1. Définition et intérêts d'une séquence forcée.....	175
1.2.2. Le déroulement de la séquence permettant l'enquête didactique.....	176
1.2.3. Bilan intermédiaire.....	177
1.3. Bilan des objectifs de l'enquête didactique.....	177
2. PREMIÈRE SÉANCE : LES CONNAISSANCES INITIALES DES ÉLÈVES.....	178
2.1. L'objectif de la séance 1.....	179
2.2. Le déroulement et le recueil de données de la séance 1.....	179
2.3. L'analyse des productions des élèves.....	181
2.3.1. Les productions individuelles des élèves.....	181
2.3.1.1. La catégorisation des productions individuelles.....	182
2.3.1.2. Les résultats issus de l'analyse des productions individuelles.....	183

2.3.1.3 Des difficultés de catégorisation des productions individuelles.....	186
2.3.2. Les productions de groupes de 4 élèves.....	188
2.3.2.1. La catégorisation des productions de groupes de 4 élèves.....	188
.....	192
2.3.2.2 Les résultats issus de l'analyse des productions de groupes de 4 élèves.....	192
2.4. Bilan de la séance 1.....	193
3. DEUXIÈME SÉANCE : LES CARICATURES POUR PRÉPARER L'ARGUMENTATION DES	
ÉLÈVES AU DÉBAT SCIENTIFIQUE.....	194
3.1. Objectif de recherche de la séance 2.....	194
3.1.1. Connaissances et difficultés des élèves pour le concept de nutrition des plantes.....	194
3.1.2. Problématisation et débat argumentatifs.....	195
3.1.3. Une situation qui utilise des caricatures pour induire un processus de problématisation	
.....	197
3.2. Le déroulement et le recueil de données de la séance 2.....	198
3.3. Analyse des résultats.....	201
3.3.1. Méthodologie d'analyse des productions individuelles.....	201
3.3.2. Résultats et discussion de l'analyse des productions individuelles.....	201
3.3.3. Méthodologie d'analyse du débat.....	203
3.3.4. La structure argumentative d'un épisode du débat.....	204
3.3.4.1. Le lancement du débat.....	204
3.3.4.2. La poursuite du débat.....	205
3.3.5. Des espaces de contraintes pour rendre compte de la problématisation lors du débat.	208
3.3.5.1. La construction d'un espace de contraintes.....	208
3.3.5.2. Le registre empirique des élèves (RE).....	209
3.3.5.3. Le registre des modèles (RM).....	210
3.3.5.4. Le registre explicatif (REX).....	210
3.3.6. Les espaces de contraintes construits pour le fonctionnement de la nutrition des plantes	
.....	211
3.4. Bilan de la séance 2.....	214
4. TROISIÈME SÉANCE : LA POURSUITE DU TRAVAIL SUR LES NÉCESSITES.....	216
4.1. Objectif de recherche de la séance 3.....	216
4.1.1. Présentation succincte de la séance 3.....	216
4.1.2. La mise au travail d'obstacles épistémologiques.....	217
4.2. Le déroulement de la séance 3.....	219
4.2.1. Recueil des productions écrites en binômes ou trinômes.....	219
4.2.2. Les modalités du débat.....	221
4.3. Résultats et discussion.....	221
4.3.1. Le classement des 13 affirmations par les élèves.....	222
4.3.2. Les textes produits par les binômes/trinômes qui résument le fonctionnement de la	
nutrition des plantes.....	224
4.3.3. Le débat qui a suivi les productions écrites.....	226
4.3.4. La structure argumentative d'un épisode du débat.....	226
4.3.5. Un espace de contraintes pour rendre compte de la problématisation lors du débat...	228
4.4. Bilan de la séance 3.....	230
5. CINQUIÈME SÉANCE : LES NUTRIMENTS, OBSTACLE SÉMANTIQUE IDENTIFIÉ	
LORS DU DÉBAT.....	231
5.1 Objectif de recherche de la séance 5.....	232

5.1.1. Le signifiant et le signifié.....	232
5.1.2. Un obstacle sémantique rencontré lors des débats : les nutriments.....	233
5.2. Le déroulement de la séance 5.....	234
5.2.1. Le déroulement et le recueil de données.....	234
5.2.2. Méthodologie d'analyse des données.....	236
5.3. Résultats et discussion.....	237
5.3.1. Le débat de classe de la séance 3 à propos du mot « nutriment ».....	237
5.3.2. Analyse des productions des élèves relatives à la définition de « nutriment ».....	240
5.3.2.1. Les critères d'analyse.....	240
5.3.2.2. L'analyse des définitions du mot « nutriment ».....	240
5.3.3. Analyse des textes relatifs à la définition de fonctionnement de la « nutrition des plantes ».....	243
5.4. Bilan de la séance 5.....	247
6. BILAN DU CHAPITRE 5.....	248
Chapitre 6 : études quantitative et qualitative des connaissances relatives à la nutrition des plantes des élèves de Terminale Scientifique et à distance de la séquence forcée.....	251
Introduction.....	251
1. CONTEXTUALISATION DE LA TROISIÈME ENQUÊTE DIDACTIQUE.....	252
1.1. Une étude longitudinale pour la même classe de Terminale Scientifique.....	252
1.2. Le nouvel objet de la recherche.....	253
2. POSITIONNEMENT THÉORIQUE.....	254
2.1. La dimension didactique.....	254
2.2. La dimension curriculaire.....	255
3. MÉTHODOLOGIE DE L'ENQUÊTE.....	256
3.1. Une approche quantitative sur le lexique.....	256
3.2. Une approche qualitative lors des entretiens directs.....	256
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	258
4.1. Quelle est l'origine de tes connaissances sur les plantes ?.....	258
4.2. Que sais-tu de la croissance des plantes ? Que sais-tu de la nutrition des plantes ?.....	258
4.2.1. L'approche quantitative à l'échelle de la classe.....	259
4.2.2. L'approche qualitative du point de vue des connaissances scolaires.....	260
4.2.3. L'approche qualitative du point de vue des nécessités.....	261
5. BILAN DU CHAPITRE 6.....	264
Chapitre 7 : Discussion générale et mise en perspective.....	267
Introduction.....	268
1. DISCUSSION DES DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE DES ÉLÈVES CONCERNANT LA NUTRITION DES PLANTES.....	268
1.1. Les divergences entre les savoirs scientifiques relatifs à la nutrition des plantes visés par l'enseignement des programmes scolaires de SVT et les connaissances des élèves de Terminale scientifique.....	269
1.2. Les connaissances des élèves : des enquêtes didactiques à la construction des conceptions qu'ils se font de la nutrition des plantes.....	270
1.2.1. Les représentations initiales des élèves.....	270
1.2.2. Les connaissances construites lors de la séquence forcée.....	273
1.2.3. Les connaissances à distance de la séquence forcée.....	276

1.3. L’histoire des sciences comme aide à la compréhension des difficultés des élèves	279
.....	
1.3.1. Les relations entre histoire des sciences et didactique.....	279
1.3.2. L’étude de la construction de la théorie de la nutrition des plantes.....	280
1.4. Bilan sur les origines possibles des difficultés d’apprentissage de la nutrition des plantes pour les élèves.....	282
2. DISCUSSION DE LA PROBLÉMATISATION ET DU CADRE THÉORIQUE DE L’ACTIVITÉ LANGAGIÈRE ET DE LA PROBLÉMATISATION.....	283
2.1. L’activité langagière à analyser pour comprendre le processus de problématisation.....	284
2.2. Le cadre théorique de la problématisation pour faire émerger les relations entre les différents registres des élèves.....	286
2.3. Une dialectique problématisation et obstacles au cœur des difficultés d’apprentissage des élèves.....	287
2.4. Bilan de la discussion problématisation et cadre théorique de la problématisation et des activités langagières.....	289
3. MISE EN PERSPECTIVE POUR L’ENSEIGNEMENT des svt ET LA FORMATION des ENSEIGNANTS.....	290
3.1. La portée de cette recherche pour d’autres thèmes des SVT.....	290
3.1.1. Des difficultés de généralisation à propos des plantes.....	291
3.1.2. Des connexions directes avec d’autres êtres vivants et d’autres fonctions.....	292
3.1.3. Des connexions indirectes.....	293
3.2. Les implications didactiques pour l’enseignement et la formation des professeurs de SVT.....	295
3.2.1. L’apprentissage par problématisation.....	295
3.2.2. La place du débat dans les apprentissages scientifiques.....	296
Conclusion générale.....	300
Introduction.....	300
1. LES PRINCIPAUX APPORTS DE CETTE RECHERCHE.....	301
1.1. L’épistémologie du concept de la nutrition des plantes.....	301
1.2. Les difficultés d’apprentissage scolaire pour le concept de la nutrition des plantes.....	302
1.3. Apprentissage par problématisation et débat scientifique de classe.....	303
1.4. Bilan des apports de la recherche.....	304
2. LES LIMITES ET LES PERSPECTIVES DE CETTE RECHERCHE.....	305
2.1. Étude de la nutrition des plantes dans le second degré en SVT.....	305
2.2. Étude des implications didactiques pour l’enseignement et la formation des enseignants en SVT.....	306
Bibliographie.....	307
Astolfi, J-P. (1990). Les concepts de la didactique des sciences, des outils pour lire et construire les situations d’apprentissage. <i>Recherche & Formation</i>, 8, 19-31.....	307
Table des figure et des tableaux.....	320
1. Table des figures.....	320
2. Table des tableaux.....	324
Annexes.....	326

INTRODUCTION GÉNÉRALE

A quoi sert une plante ? Pour répondre à cette question lors de ses conférences, Pelt¹ aimait reprendre à son compte les propos de Darwin (1859/2008, p.126) :

« Après de nombreuses expériences, j'ai reconnu que le bourdon est presque indispensable pour la fécondation de la pensée (Viola tricolor) parce que les autres insectes du genre abeille ne visitent pas cette fleur. J'ai reconnu également que les visites des abeilles sont nécessaires pour la fécondation du trèfle, mais le bourdon seul ne visite que le trèfle rouge (Trifolium pratense), parce que les autres abeilles ne peuvent pas en atteindre le nectar. Le nombre des bourdons, dans un district quelconque, dépend, dans une grande mesure, du nombre des mulots qui détruisent leurs nids et leurs rayons de miel ; or, H. Newman, qui a longtemps étudié les habitudes du bourdon, croit que « plus des deux tiers de ces insectes sont ainsi détruits chaque année en Angleterre ». D'autre part, chacun sait que le nombre des mulots dépend essentiellement de celui des chats, et Newman ajoute « J'ai remarqué que les nids de bourdons sont plus abondants près des villages et des petites villes, ce que j'attribue au plus grand nombre de chats qui détruisent les mulots ». Il est donc parfaitement possible que la présence d'un animal félin dans une localité puisse déterminer, dans cette même localité, l'abondance de certaines fleurs en raison de l'intervention des souris et des abeilles ! ».

Ainsi, Pelt concluait que les veuves des marins anglais avaient toutes des chats pour les consoler de leur mari disparu, ce qui laisse entrevoir au lecteur averti à quoi sert le trèfle...

Au jardin, en ville ou à la campagne, en promenade ou au cours d'un voyage, en bord de mer ou à la montagne, les plantes nous entourent et sont reconnaissables au premier regard. C'est probablement à cause de leur omniprésence qu'on ne les voit plus jusqu'à se demander à quoi elles servent ? D'ailleurs, sont-elles vivantes ? Paradoxalement, elles sont magnifiées chez les particuliers et dans les jardins prestigieux, les manifestations culturelles ou sociales, elles

1 Pelt Jean-Marie (1933-2015) : docteur en pharmacie, botaniste et écologue renommé, il enseigne la botanique et la physiologie végétale dès 1972 à l'université de Metz. Homme de terrain, il a effectué de nombreuses missions notamment en Afghanistan et dans plusieurs pays d'Afrique. Écrivain prolifique, chroniqueur radio, il a également réalisé des documentaires pour la télévision française dont « L'aventure des plantes » en 1982 et 1987. Nous avons pu assister à la conférence du 8 mai 2015 à Terra Botanica (parc du végétal à Angers) où il racontait cette anecdote.

témoignent de l'amitié ou de l'amour porté(e) à une personne. C'est peut-être parce que la couleur verte est apaisante, tonifiante voire rafraîchissante et que la couleur des fleurs embellit notre horizon. Ou bien parce qu'elles sont mystérieuses et nous interpellent comme l'indique Baudelaire² dans la première strophe de son poème tiré des *Fleurs du mal* :

La Nature est un temple où de vivants piliers
Laissent parfois sortir de confuses paroles;
L'homme y passe à travers des forêts de symboles
Qui l'observent avec des regards familiers.

Leur importance est telle que Candide nous invite à cultiver notre jardin pour des raisons alimentaires et philosophique. Voltaire n'était-il pas devenu jardinier à la retraite pour subvenir à ses besoins ? Malheureusement, force est de constater que les connaissances au sujet des plantes font le plus souvent défaut au non spécialistes et qu'il n'y a pas de curiosité spontanée à les découvrir davantage. Probablement parce que « *notre esprit a une irrésistible tendance à considérer comme plus claire l'idée qui lui sert le plus souvent* » (Bachelard, 1938/2011, p.15).

Notre recherche s'inscrit dans ce paysage où les plantes qui sont familières, sont tout autant étrangères. Dans un contexte d'éducation formelle, la mission première de l'école est d'instruire, de contribuer à l'émancipation du citoyen en devenir, et de favoriser la réussite scolaire des élèves. Notre objet d'étude, les plantes, à ainsi toute sa place à l'école, du cycle 1 à la terminale, et participe à la construction des connaissances générales nécessaires à la compréhension du monde. Ainsi, les recherches que nous menons portent sur la question des connaissances des élèves mais aussi des processus, des dynamiques et des conditions de possibilité d'apprentissage de savoirs problématisés relatifs aux plantes, et, plus particulièrement, leur nutrition. Pour ce dernier point, ce sont les premières analyses du chapitre 4 (analyse quantitative) qui ont orientées notre thèse parce que nous avons constaté des connaissances partielles chez les élèves lorsque nous pensions que la notion de la nutrition des plantes était plutôt de l'ordre des acquis scolaires. La thèse s'inscrit dans le champ large des didactiques des disciplines et plus singulièrement dans celle de la didactique des sciences de la vie et de la Terre (SVT). Le public visé en situation scolaire correspond à des élèves de Terminale scientifique. Ce choix s'exprime parce qu'ils sont en fin de curriculum scolaire, cette dernière année du second degré étant sanctionnée par une évaluation normative : le Baccalauréat.

2 Baudelaire Charles : « les fleurs du mal » (1857), Spleen et Idéal.

La thèse a ainsi pour objet de contribuer à comprendre les processus d'appropriation des connaissances en regard des savoirs en biologie et dans des situations scolaires d'apprentissage. Une partie du recueil de données étant réalisé lors d'une séquence forcée (Orange, 2012), le cadre théorique de la problématisation est mobilisé comme outil d'analyse. Plus largement, le cadre didactique embrassé repose sur une dominante épistémologique de l'histoire de la nutrition des plantes (chapitre 2) mais également dans le champ des sciences humaines (chapitre 3) dans la mesure où nous accordons au langage une place primordiale dans toutes ses dimensions. Ce dernier correspond aux codes et comme l'affirme Popper (1972/1998, p.250), le langage « *consiste en actions ou en symboles physiques, il appartient au premier monde. [...] il exprime un état subjectif [...], il appartient au second monde. [...] Le langage contient de l'information [...], il appartient au troisième monde.* ». Aussi, nous accordons aux productions écrites et orales une importance de choix pour analyser et comprendre les processus d'apprentissage. Ainsi, nous mettons au travail le cadre épistémique des apprenants dans, et par lequel, ils développent des explications et leur argumentation dans un contexte scolaire. Dans cette optique, les situations de débats scientifiques de classe sont des dispositifs qui facilitent le travail de l'argumentation et du problème en jeu. Si l'objectif est bien de s'appuyer sur un problème scientifique et sa résolution, il est surtout question de mettre au travail le problème et de participer à sa construction, « *c'est à dire à l'édification de la problématique* » (Fabre, 2017, p.17). Il s'agit de proposer une éducation dans un monde problématique. Autrement dit, nous visons un apprentissage par problématisation, c'est à dire un processus qui fait « *des liens entre les savoirs scientifiques, leurs apprentissages, les problèmes* » (Orange, 2012, p.11).

Pour comprendre le cheminement opéré pour cette thèse, nous avons organisé notre texte en 7 chapitres : la partie théorique embrasse le général du rapport au savoir (chapitre 1) pour laisser place au particulier, c'est-à-dire pour notre recherche, le cadre de la nutrition des plantes (chapitre 2), l'étude des codes fait suite et elle est reliée au cadre de la problématisation (chapitre 3). Les enquêtes de terrain sont scindées en 3 étapes (chapitres 4, 5 et 6). Il faut donc comprendre que nous proposons une triple enquête à la recherche de la compréhension des difficultés des élèves pour un objet de savoir : la nutrition des plantes. Le dernier chapitre (7) engage à une discussion générale eu égard aux questions posées.

Le premier chapitre pourrait répondre aux premières questions qui préfigurent notre parcours de thèse : « Qu'est ce qu'apprendre ? », « Quels sont les liens entre connaissances et savoirs scientifiques ? », « Quels sont les obstacles épistémologiques à l'origine de difficultés d'apprentissage des élèves ordinaires ? ». Aussi, le chapitre fait un tour de ces questions pour initier une partie du cadre théorique qui nous anime dans la recherche en didactique : les apprentissages, du côté des connaissances et des savoirs scientifiques stabilisés, mais aussi le concept d'obstacles épistémologiques (Bachelard, 1938/2011) qui permet de mieux comprendre certaines difficultés des élèves. Ce sont effectivement les difficultés des élèves que nous qualifions d'ordinaires, l'expression est développée plus loin, qui motivent notre travail. Elles sont à l'origine de notre question de recherche formulée un peu plus loin.

L'étude épistémologique et didactique du concept de plante est abordée dans le chapitre 2. Celui-ci cherche à expliciter l'étude du concept à travers une étude non exhaustive des savoirs scientifiques actuels. Dans ce même chapitre, nous avons également souhaité nous attarder sur la lente construction de la théorie de la nutrition des plantes pour repérer les problèmes scientifiques et les ruptures qui ont marquée cette histoire. En effet, nous faisons l'hypothèse que les difficultés de la construction de la théorie peuvent se retrouver chez les élèves. Aussi, l'enquête historique est une approche épistémologique qui peut éclairer les apprentissages de classe, certaines résistances cognitives voire des difficultés majeures malgré les dispositifs pluriels des enseignants.

Le chapitre 3 étoffe le cadre théorique par une exploration de l'activité langagière et la problématisation (Orange, 2012). Puisque nous souhaitons comprendre ce qu'il reste dans les connaissances des plantes pour des élèves de Terminale scientifique, comment accéder à leur pensée pour comprendre les processus d'apprentissage ? Si le choix des productions orales et écrites nous semblent un terrain fertile, comment les analyser ? Nous considérons que l'analyse langagière et le cadre théorique de la problématisation sont des outils d'analyse pertinents pour l'étude de nos recueils de données.

Dans le chapitre 4, nous souhaitons mobiliser un objet d'apprentissage qui traverse tous les niveaux de la scolarité et pour laquelle des recherches en didactique étaient accessibles : les savoirs scientifiques des plantes visées par les programmes scolaires, en particulier en SVT. Pour répondre à notre questionnement, il nous a semblé pertinent de réaliser une double enquête, cette première enquête,

quantitative et qualitative, sur le concept de plante pour évaluer les connaissances des élèves au terme de leur curriculum scolaire, c'est à dire en Terminale scientifique. Quelles sont leurs connaissances sur le groupe des plantes ? Que restent-ils des heures d'enseignement à travailler le sujet ? Le choix d'orienter notre recherche sur la nutrition des plantes est secondaire. Il découle de la lecture et l'analyse des réponses des élèves au questionnaire de l'enquête. En effet, la matière semblait propice à une étude plus approfondie d'autant que la nutrition des plantes est abordée dans une partie du programme de Terminale scientifique.

Avec le cinquième chapitre, la deuxième enquête est centrée sur une classe de Terminale scientifique. Les recueils de données réalisés dévoilent notre intention de recourir à une complémentarité entre le nombre de réponses obtenues et le qualitatif dans le traitement des données. L'étude qualitative présentée dans ce chapitre repose sur l'élaboration d'une séquence forcée, c'est à dire un ensemble de séances construites à la fois pour enseigner et pour être un objet de recherche. Le problème mobilisé concerne l'origine de la nutrition des plantes. Nous partons des connaissances des élèves de la classe dans la première séance puis, nous mettons au travail le problème pour que les élèves soient acteurs de sa construction. 5 Séances ont été nécessaires pour réaliser la séquence forcée. Partant de l'analyse des données du chapitre 4, nous poursuivons donc notre cheminement de thèse dans une séquence forcée relative à la nutrition des plantes. Conformément aux questions que nous nous posons, nous cherchons à comprendre comment la connaissance évolue et quels sont les obstacles qui lui font face. Comme l'enquête³ est la forme de la pensée (Fabre, 2005), le chapitre 5 avance, de séance en séance, à l'examen d'un changement possible de registre explicatif des élèves.

Dans le chapitre 6, nous interrogeons la pérennité des connaissances à distance de l'enseignement de la nutrition des plantes. Il s'agit de notre troisième et dernière enquête. D'abord la comparaison des connaissances à 3 moments (début de séquence, fin de séquence et à distance de la séquence) permet de faire un état des lieux objectifs de la persistance des connaissances. Ensuite, nous avons souhaité accéder au déclaratif de tous les élèves de la classe grâce à des entretiens directifs. L'intention est cette fois d'évaluer l'argumentation des élèves dans un autre contexte et de se rendre compte des apports de l'apprentissage par problématisation : quelle efficience ?

3 La théorie de l'enquête empruntée à Dewey (1967/1993, version originale de 1938), pour l'auteur, penser c'est problématiser.

Enfin, dans le dernier chapitre, le septième, nous discutons de l'ensemble des résultats obtenus au regard du cadre théorique. Nous indiquons également en quoi ces résultats nous ont permis de progresser dans la compréhension du processus de problématisation, de l'évolution possible des connaissances des élèves relatives à la nutrition des plantes. Nous présentons alors nos découvertes tout en conservant un regard critique dans l'étude de cas que nous engageons.

La conclusion générale est la résultante de notre cheminement. Elle est force de proposition quant à la réponse à notre double question de recherche :

Comment expliquer les divergences entre les savoirs scientifiques scolaires et les connaissances des élèves de terminale scientifique à propos de la nutrition des plantes et quelles sont les difficultés de construction de ces savoirs problématisés lors d'une séquence forcée ?

Concernant les connaissances et pour dessiner d'ores et déjà notre pensée, nous faisons nôtres les propos de Canguilhem (1977/2009, p.58) qui affirme que « *connaître c'est moins buter contre un réel, que valider un possible en le rendant nécessaire* ».

Chapitre 1 : la connaissance scolaire vue par le prisme de trois concepts clés : apprentissage, conceptions et obstacles

Introduction

1. La question des savoirs

1.1 Les élèves et le savoir

1.1.1 Le métier d'élève

1.1.2 Le rapport de l'élève au savoir

1.1.3 L'élève face aux disciplines scolaires : le cas des SVT

1.1.4 L'apprenant, un sujet engagé dans l'apprentissage

1.2 L'école : lieu des apprentissages scolaires

1.2.1 Apprendre dans la vie et apprendre à l'école

1.2.2 Des savoirs scientifiques façonnés par l'école

1.2.3 Le propositionnalisme scolaire

1.2.4 L'école lieu d'apprentissages scolaires

1.3 Bilan : la question des savoirs en milieu scolaire

2. DEUXIÈME CONCEPT : LES CONCEPTIONS

2.1 Une définition possible de conception

2.2 Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage

2.2.1 La nécessité d'une rupture épistémologique pour apprendre

2.2.2 Les conceptions des apprenants comme outil de la connaissance scolaire

2.2.3 L'utilisation des conceptions en didactique

2.3 Les origines possibles des conceptions

2.3.1 Des origines multiples

2.3.2 Les conceptions dans les programmes de sciences

2.4 Bilan : le concept de conceptions

3. TROISIÈME CONCEPT : LES OBSTACLES

3.1 La notion d'obstacle : un concept bachelardien

3.1.1 La transition entre l'esprit préscientifique et l'esprit scientifique

3.1.2 La notion d'obstacles épistémologiques

3.1.3 L'expérience première : le premier obstacle

3.2 Des catégorisations d'obstacles

3.2.1 D'autres obstacles possibles

3.2.2 Les obstacles selon Brousseau

3.2.3 Les nœuds d'obstacles selon Astolfi

3.2.4 Les obstacles spécifiques au concept de vie

3.3 Une vision dynamique de l'obstacle : l'objectif obstacle

3.3.1 Une tension entre objectif et obstacle selon Martinand

3.3.2 Permanence, latence et résistance de l'obstacle

3.4 Des objectifs obstacles aux situations didactiques

3.4.1 Les caractéristiques des obstacles pour les situations didactiques

3.4.2 Apprendre oui, mais comment ?

3.4.3 Bilan intermédiaire

3.5 La construction de problèmes et le franchissement des obstacles

3.5.1 La nécessaire fissuration des obstacles

3.5.2 La construction de problèmes ordinaires

3.5.3 Le processus de problématisation

3.6 Bilan : le concept d'obstacles

4. BILAN DU CHAPITRE 1

Chapitre 1 : la connaissance scolaire vue par le prisme de trois concepts clés : apprentissage, conceptions et obstacles

« C'est à l'homme surtout qu'appartient, à cause de sa position droite, le privilège d'avoir sa partie haute dans le même sens que le haut du monde entier. Quant aux plantes qui sont immobiles et qui tirent du sol leur nourriture, toujours elles ont nécessairement cette partie en bas. C'est que les racines sont l'analogie de ce qu'on appelle la bouche chez les animaux, et par cet intermédiaire les unes reçoivent leur nourriture du sol, les autres, grâce à eux-mêmes. ».

Aristote. *Petits Traités d'histoire naturelle*, Livre II, 468 a (cité par Delaporte, 1979/2011, p.29)

Introduction

Si notre thèse interroge les divergences entre les savoirs scientifiques scolaires et les connaissances des élèves c'est que la question des savoirs est inhérente à la fonction d'enseigner (Astolfi, 2008/2014). Aussi, ce premier chapitre a pour objectif de débiter notre cadre théorique en présentant notre positionnement vis-à-vis du rapport au savoir en général (Charlot, 1997). Il est utile pour éclairer notre cheminement dans les chapitres 4 et 5 où nous attacherons plus spécifiquement aux plantes et à leur nutrition. En effet, reprenant les propos d'Astolfi (2008/2014, p.14) nous nous demandons : *« pourquoi valorisons-nous aujourd'hui l'interdisciplinarité, les compétences, l'apprendre à apprendre, en dévalorisant si facilement les savoirs, comme s'ils étaient inutiles, indigestes, obsolètes ? »*. Pour soutenir la place du savoir à l'école que nous limitons, dès à présent, aux Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), nous explorons trois points . D'abord la question des savoirs dans un cadre scolaire mais qui ne peuvent s'envisager sans aborder les difficultés de leur appropriation. Aussi, il nous semble indispensable d'aborder les conceptions des élèves face à un savoir et les obstacles rencontrés lors des apprentissages. Ces points nous aiderons à développer l'analyse des productions d'élèves dans les chapitres associés.

Le premier point aborde donc la question des savoirs et nous cherchons le rapport des élèves face à ceux-ci. Ensuite, nous visitons plus particulièrement ce rapport au savoir à l'école, lieu singulier d'éducation.

Concernant les conceptions, nous commençons par distinguer le couple représentation/conception parfois utilisé, à défaut, sans distinction. Ensuite, il est question des origines possibles des conceptions chez les apprenants à partir de l'analyse des productions langagières des élèves.

Le troisième point relève des obstacles. Bachelard est un point d'appui essentiel pour en donner une définition. Afin d'envisager une perspective dynamique de l'obstacle, nous en présentons une catégorisation possible. Ensuite, nous continuons notre cheminement par définir l'objectif obstacle puis sa prise en compte dans la mise en place d'un dispositif didactique. Le franchissement de l'obstacle est envisagé du côté de la construction des problèmes, ce qui fait lien avec le chapitre 3.

1. LA QUESTION DES SAVOIRS

La transmission des savoirs scientifiques à l'école s'inscrit, à une autre échelle, dans le but de la science. En effet, cette dernière correspond à une branche de la connaissance pour « *découvrir des explications satisfaisantes de tout ce qui nous étonne et paraît nécessiter une explication* » (Popper, 1972/1998, p.297). Nous comprenons donc que l'activité scientifique procède à l'élaboration de nouveaux savoirs. Le problème est que le savoir transposé à l'école a une connotation encyclopédique voire intellectuelle qui s'éloigne du sens à donner aux apprentissages des élèves. Est-ce une conséquence nécessaire de toute transposition ? La didactique des sciences est ce champ de recherche qui interroge notamment les relations entre savoirs scientifiques et sens aux apprentissages scolaires, autrement dit, elle regarde les contenus dispensés dans les programmes et s'intéresse aux processus d'apprentissage. Son importance est grande puisque le savoir et son apprentissage participent à enrichir les individus dans leur vie quotidienne, l'école est bien émancipatrice dans sa finalité. Cette réflexion est au cœur de la formation des futurs enseignants des parcours MEEF⁴ des INSPE⁵.

4 Parcours MEEF acronyme pour Métiers de L'Enseignement, de l'Éducation et de la formation

5 INSPE pour Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation.

1.1. Les élèves et le savoir

L'élève est un apprenant de l'école, il y découvre son « métier » dès le cycle 1⁶ et se frotte aux savoirs disciplinaires. Pour autant, pour apprendre, nous gageons que l'élève est un sujet engagé qui ne peut se contenter d'une présence en classe et l'enseignant ne peut le considérer comme passif. Au risque de croire que l'apprentissage nécessite peu efforts, « *comme si les choses pouvaient s'engrammer⁷ silencieusement dans la tête des élèves à mesure que l'explication avance* » dit Astolfi (2008/2014, p.58).

1.1.1. Le métier d'élève

Le concept de métier d'élève s'inscrit dans une sociologie du sujet qui elle-même cherche à analyser les techniques et stratégies d'apprentissage des élèves mais aussi les distances qu'ils prennent face aux adultes. Loin d'être une relation symétrique, l'enseignant « adulte » et « professeur » affiche une double dissymétrie dans laquelle l'apprenant doit se construire. La première contrainte est une dissymétrie enfant/adulte, où le rapport social impose un déséquilibre relationnel. La seconde est une dissymétrie élève/professeur qui induit un déséquilibre statutaire et épistémique. C'est dans cet espace dynamique que doit se tisser un relationnel entre l'apprenant et l'enseignant, où l'autorité émerge dans une confiance réciproque. Perrenoud (2018) indique que le métier d'élève les invite à apprendre. Or, l'école reçoit des enfants qui doivent devenir des élèves qui seront des apprenants. Dans la construction des apprentissages scolaires, il s'agit de mieux comprendre le triptyque enfant-élève-apprenant (Daunay et Fluckiger, 2011) comme des sujets différents : l'enfant comme sujet social, l'élève comme sujet scolaire, l'apprenant comme sujet didactique. L'élève est, par conséquent, le produit de l'école dont la mission principale est de « *donner envie aux enfants d'aller à l'école pour apprendre, s'épanouir et affirmer leur personnalité* » (MEN, 2019). Paradoxalement, l'élève est considéré comme un être hétéronome « *qu'il conviendrait de diriger par les règles scolaires, pour lui permettre de se discipliner et de cheminer vers un état de raison* » (Leroy, 2017, p.129). S'agit-il de former à une posture ? La visée est plus large. L'école a pour fonction de faire construire des connaissances mais aussi de préparer les adultes de demain à vivre en société, des citoyens en devenir dont le Parcours citoyen⁸ de 2016 incarne les objectifs recherchés.

6 Le cycle 1 correspond aux apprentissages premiers, il correspond à la maternelle où les élèves sont âgés de 3 à 6 ans.

7 Engramme : c'est la trace laissée dans le cerveau par un événement du passé et qui constituerait notre mémoire

8 Parcours citoyen : circulaire du 23 juin 2016, « De l'école au lycée, le parcours citoyen vise à la construction, par l'élève, d'un jugement moral et civique, à l'acquisition d'un esprit critique et d'une culture de l'engagement » repéré à : <https://eduscol.education.fr/cid107463/le-parcours-citoyen-eleve.html>

1.1.2. Le rapport de l'élève au savoir

Nous rappelons que nous limitons nos propos au cas des sciences. Force est de constater qu'elles ne font pas l'unanimité parmi les élèves. Si certains prennent plaisir et se dirigent vers des études scientifiques, nombreux sont ceux qui y voient « *rien d'autre qu'un outil de sélection. Pour d'autres, elle conduit vers des démarches irrationnelles.* » (Giordan, 1998/2016, p.38). Cet auteur ajoute même que certains auront « *tôt fait d'associer sciences et catastrophes écologiques ou sciences et chômage* » (ibid). C'est que l'élève fait face à un savoir qui est plaqué sur des objets scolaires. Pour autant, un sens aux apprentissages est-il donné à la réalité ? Le jeu scolaire ne permet-il pas simplement que l'élève joue à faire l'élève pour respecter son métier ? Apprendre ne va pas de soi et nécessite un effort cognitif, des dispositions d'écoute et d'engagement. Aussi, si l'objet d'apprentissage est trop éloigné de l'appétence des apprenants, « *ils résistent tant que nous restons trop étrangers à leur saveur* » (Astolfi, 2008/2014, p.36). Mais c'est aussi parce que chaque nouveauté apprise s'accompagne d'un voyage (Serres, 1991) que l'élève s'éloigne du rivage, en d'autres mots celui qui ne bouge pas ne peut pas apprendre (ibid). Ce voyage peut s'avérer anxiogène puisqu'il nécessite de modifier ses conceptions fausses ou partiellement fausses scientifiquement, concept que nous développerons plus loin. Dans le rapport au savoir se dessine donc un « *rapport du sujet au monde, à soi-même et aux autres* » (Charlot, 1997, p.90). Or, pour Canguilhem (1952/2009), le rapport au monde qui nous entoure relève d'un débat entre le vivant et son milieu. Manifestement, ce débat est affaire de symbolisme et se réfère au langage, concept qui sera également explicité dans le prochain chapitre. Il est aussi un horizon d'activités, de perspectives futures qui dépassent la simple relation au savoir. Ainsi, un apprentissage s'inscrit dans le temps d'un sujet singulier participant à un espace social. On comprend pourquoi Charlot (1997, p.91) propose alors qu'un rapport au savoir c'est « *analyser un rapport au symbolisme, actif et temporel* ». Comment cela se manifeste-t-il dans les disciplines scolaires ?

1.1.3. L'élève face aux disciplines scolaires : le cas des SVT

Le cloisonnement du savoir en disciplines est un phénomène sociologiquement daté, il remonte à « *une mentalité universitaire née au milieu du XIX^{ème} siècle* » (Giordan, 1998/2016, p. 304). Comme nous nous consacrons aux Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), nous précisons que le nom de cette discipline ne prend naissance qu'en sixième dans les programmes scolaires (cycle 3), ses objets étant portés, dans une certaine mesure, par d'autres titres dans le premier degré⁹. Les

9 Au premier degré, les SVT se retrouvent dans le domaine 5 du cycle 1 « Explorer le monde », au cycle 2 « Questionner le monde » et au cycle 3 « Sciences et technologie »

SVT contribuent spécifiquement à former et éduquer les élèves du second degré par les connaissances, les concepts et les méthodes qui sont propres à la biologie et à la géologie. Le portail national¹⁰ de la discipline ajoute dans son introduction « *les SVT au sein du dispositif éducatif* » que :

« Par leur essence même de sciences expérimentales étudiant la nature et notamment les phénomènes avec de grandes composantes historiques comme l'évolution et la géologie, les SVT permettent des approches pédagogiques et didactiques variées pour les élèves (observations à différentes échelles de temps et d'espace, expérimentations, simulation, modélisation, conceptualisations, démarches d'investigation, utilisation du numérique, etc.) permettant à ceux-ci de mettre en œuvre des compétences variées indispensables à la réussite d'une formation solide. »

Une discipline telle que les SVT est servie par des textes officiels, des discours ministériels souvent relayés par les médias, des lois, des ordonnances, des décrets, des arrêtés, des instructions, des circulaires... Pratiquement, les savoirs sont transposés dans les programmes qui relèvent d'une logique curriculaire. Et la question essentielle est de savoir pourquoi l'école enseigne t-elle ce qu'elle enseigne, et pour notre recherche, dans cette discipline ? L'aspect fonctionnel des SVT est d'acculturer les élèves aux sciences de la Terre pour mieux la comprendre, mais aussi aux sciences de la Vie pour étudier les êtres vivants dont notre espèce. Pour l'étude de l'Homme, la raison sociale est mise en avant, par exemple le thème de la santé qui vise à prévenir les citoyens de certaines pathologies (maladies cardio-vasculaires, diabètes...). Elles ont également une vertu épistémique. Et « *en balisant les savoirs et en adaptant leur évolution à celle de la société, les disciplines scolaires préservent l'accès à la connaissance pour tous* » (Biagioli et Legendre, 2010, p.23). Si nous revenons au rapport au savoir, l'élève doit pouvoir réaliser une projection qui éclaire sa motivation et le fait entrer dans la discipline.

1.1.4. L'apprenant, un sujet engagé dans l'apprentissage

Considérant l'élève comme un apprenant engagé, notre questionnement traverse le métier d'élève et le rapport aux savoirs car « *apprendre à l'école peut rentrer en opposition avec apprendre la vie* » (Charlot, 1997, p.62). Notre recherche s'attache en particulier à l'apprentissage

10 Portail Eduscol Science de la vie et de la Terre repéré à : <https://eduscol.education.fr/svt/sinformer/les-svt-au-sein-de-leducation-nationale/les-svt-au-sein-du-dispositif-educatif.html>

qui relève de l'enseignement des SVT. La figure 1 reprend notre investigation pour apporter des éléments de compréhension possibles.

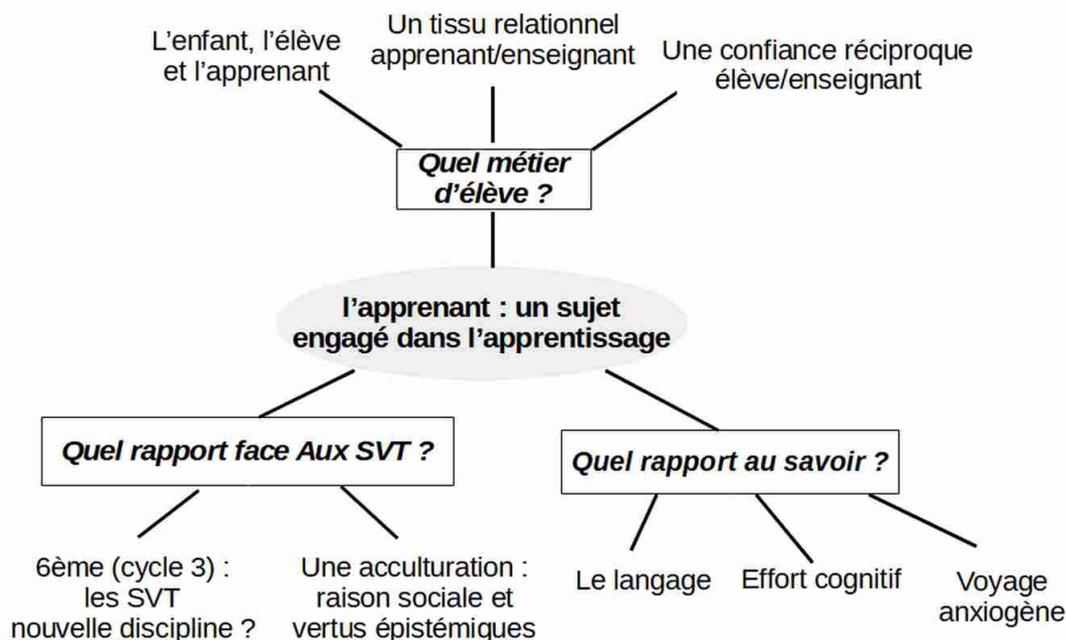


Figure 1 : les élèves et le savoir en SVT

Nous poursuivons notre étude par le lieu institutionnel de l'apprentissage qui correspond à notre recherche : l'école.

1.2. L'école : lieu des apprentissages scolaires

Apprendre est un mécanisme actif quotidien de la vie qui devient un acte scolaire lorsque l'apprentissage entre dans un projet didactique. Les mécanismes de l'apprendre sont-ils si différents selon le lieu ou le dessein ?

1.2.1. Apprendre dans la vie et apprendre à l'école

D'un point de vue biologique, de la bactérie aux pluricellulaires les plus complexes, l'apprentissage est un mécanisme physiologique indispensable pour affronter le monde qui nous entoure. Chez l'Homme, selon une logique naturelle, dont les « *modes de formation et de fonctionnement demeurent non-conscients* » (Brossard, 2008, p.74), les solutions aux problèmes

pragmatiques s'engramment¹¹ telles des routines. Ces transferts spontanés correspondent à la fois à la survie face aux dangers et aux découvertes hasardeuses conservées dans notre culture. Ainsi, les conquêtes du Néolithique sont-elles à l'origine d'une subsistance de groupes humains devenus sédentaires qui conservent et transmettent l'art, les techniques, l'agriculture et l'élevage.

Pour compléter les apprentissages spontanés de la vie quotidienne et s'engager vers des savoirs construits, une rupture épistémologique est nécessaire. Faire un « *deuil de la facilité* » pour Bachelard (1938/2011) ou, autrement dit, s'inscrire dans un coût cognitif est indispensable pour accéder aux savoirs scolaires. Il s'agit de « *renverser la vapeur de l'efficacité quotidienne* » (Astolfi, 2008/2014, p.185). L'individu doit écrire son histoire et entrer dans une histoire selon Charlot (1997). En effet, si l'apprentissage s'inscrit dans une logique narrative, l'histoire de l'homme est une culture à redécouvrir personnellement. Il est question de mettre en pratique des mots, des concepts, des œuvres mais aussi des outils et des relations sociales. Or, les certitudes s'élèvent comme des difficultés face aux savoirs. Un enjeu qui doit inspirer l'école.

1.2.2. Des savoirs scientifiques façonnés par l'école

La science est toujours inscrite dans un espace et un temps dans lequel elle a du sens puisque « *l'accord entre les savants dépend du contexte précis de son acceptation, les critères de preuves varient historiquement et les énoncés [...] semblent universels parce qu'ils circulent* », (Chevalley, 1998, p.70). A l'école, le savoir sélectionné pour être enseigné a subi « *des transformations et des reformulations en vue de le rendre apte à devenir un objet d'enseignement* » (Jaubert, 2007, p.78). Éloigné des apprentissages spontanés, l'univers scolaire se présente à l'élève comme un lieu orienté vers une « *connaissance spéculative, gratuite et réflexive* » (Astolfi, 2008/2014, p.179). Cela qui renvoie à la nécessité d'une conversion intellectuelle de l'apprenant. La mobilisation cognitive ne se fait plus dans un cadre de repérage de régularités dans la nature mais dans celui de règles formelles explicites sources d'obstacles selon Astolfi (ibid). Dans notre recherche, nous embrassons des sciences « empirico-formelles » pour reprendre la classification de Develay (1995), c'est-à-dire que la discipline des Sciences de la vie et de la Terre s'intéresse à des objets sensibles et réels mais qui sont sélectionnés, réifiés voire exemplarisés. L'objectif n'est pas de considérer le savoir en général mais des savoirs particuliers qui sont bien délimités (par exemple la nutrition des plantes et plus précisément encore la photosynthèse). Les apprentissages scolaires sont issus des savoirs scientifiques élaborés dans un contexte d'objectivation. Pour l'élève, ils ont

11 L'engramme est considérée comme la trace biologique de la mémoire dans le cerveau

une visé utilitaire soit purement scolaire (réussir l'évaluation) ou pratique, si l'objet a du sens (les plantes et l'environnement, les plantes et l'alimentation...). C'est alors que « *la connaissance scientifique aura une puissance de désignation bien plus grande que tout raffinement sensible* » (Bachelard, 1949/1966, p.35). L'école offre un voyage où l'élève peut rapporter des connaissances objectives, et, transformé par l'expérience, tel l'Ulysse d'Homère, s'émancipe peu à peu. Mais comment comprendre alors Kerlan (1999a, p.64) qui affirme que « *la science qui s'enseigne n'éduque pas, n'éduque guère !* » ?

1.2.3. Le propositionnalisme scolaire

Delbos (1986) pose le problème de la transmission des savoirs à partir de l'exemple du milieu paysan. Dans ses recherches menées avec Jorion, « les pêcheurs d'Houat¹² » (1983), elle montre que la connaissance est attachée au travail, à la famille mais aussi à des stratégies démographiques de transmission générationnelle des métiers. Comment pourrait alors s'opérer la transmission des savoirs à l'école ? Astolfi (1992) associe ce savoir scolaire à une suite de propositions considérées comme vraies mais déconnectées de leur origine même : le problème de leur origine. L'auteur en déduit que l'école refuse d'enseigner le savoir théorique construit, alors que lui seul donne une signification. Aussi, le propositionnalisme peut se définir comme un principe, celui de répondre à un problème tout en éludant la problématique. Pour Meyer (2017), l'essence même du propositionnalisme est de fonctionner de façon circulaire puisque l'enseignement est alors centré sur les réponses. Or, le questionnement est inhérent à la conquête du savoir. Le propositionnalisme scolaire serait, en quelque sorte, un ensemble de questions et de réponses dans une relative indifférenciation sans chercher à retrouver le sens du problème (Fabre, 2009 ; Meyer, 2017). Pour quelles raisons ?

Lhoste (2017) propose deux raisons essentielles à cet écueil de l'école. D'abord, citant les travaux de Kerlan (1999a, 1999b), il fait la thèse que les sciences ont une valeur hautement éducative mais que du fait d'une empreinte empirique forte « *l'enseignement réel des sciences est bien en-deçà de la promesse éducative et de sa teneur* » (Kerlan, 1999b, p.65). C'est probablement parce que la science est peu intégrée dans la culture générale et qu'elle semble difficile, une économie qui fait dire à Bachelard (1938/2011) que plus l'œuvre est difficile, plus elle est éducatrice. Une deuxième raison serait à rechercher « *dans la nature même des savoirs scientifiques*

12 Dans une approche anthropologique, Jorion étudie la population du milieu insulaire d'Houat. Il montre une répartition singulière des activités, les hommes sur le milieu marin, les femmes dans les maisons et au jardin. Les cartes marines du littoral seraient transmises, de père en fils, et oralement.

scolaires tels qu'ils sont présentés aux élèves» (Lhoste, 2017, p.47). Dans une logique cumulative, les connaissances seraient associées à une suite d'assertions dissociées du problème initial. C'est pourquoi Astolfi (1992) questionne l'épistémologie des savoirs scolaires dans le champ de la didactique des sciences. Nous considérons non seulement que le savoir scientifique subit une distorsion à l'école mais, qu'en plus, sa substance même est annihilée. En effet, dans une cohérence d'accumulation de connaissances, la lente élaboration du savoir scientifique, c'est-à-dire son histoire, est une caractéristique fondamentale qui disparaît à l'école : *«leur genèse historique est occultée»* (Fabre, 2007, p.69). Par ailleurs, si nous avons déjà précisé que seuls *« certains îlots de savoir savant sont sélectionnés par l'école »* (Jaubert, 2007, p.78), Jaubert pointe que ce savoir est présenté de façon anonyme dans les programmes, les séquences enseignées et les manuels. Faut-il considérer que ce savoir scolaire est un plagiat en creux du savoir scientifique ? Dans cette perspective, l'école doit repenser l'apprentissage *« mutatis mutandis¹³, sur le modèle de la recherche, c'est-à-dire comme problématisation. »* (Fabre, 2007, p.78).

1.2.4. L'école lieu d'apprentissages scolaires

L'école est le lieu des savoirs scolaires, mais de quels savoirs s'agit-il ? Quelles sont les propositions à l'heure où les élèves sont en attente de sens donné aux apprentissages ? Le schéma suivant (figure 2) résume notre cheminement.

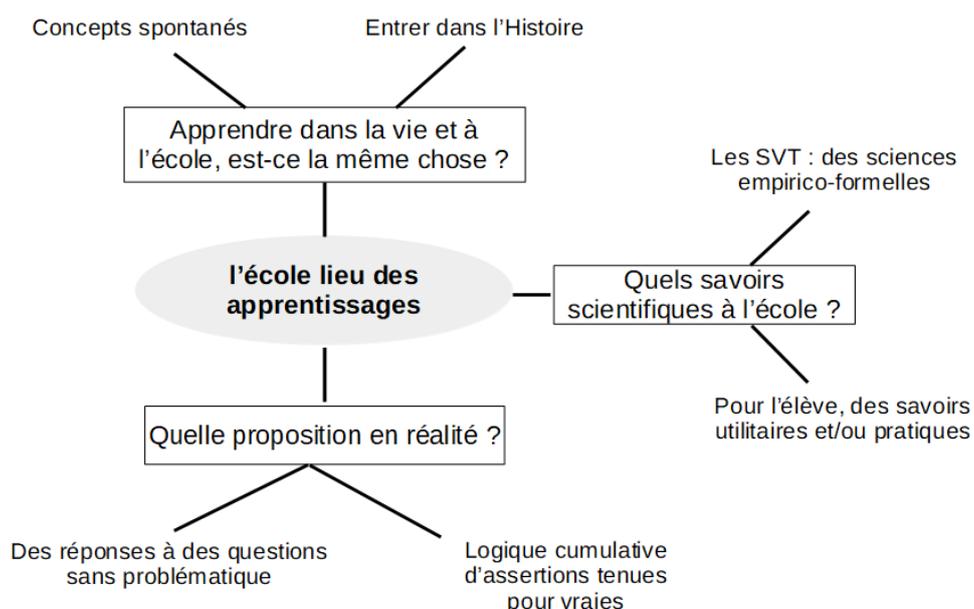


Figure 2 : l'école lieu d'apprentissages scolaires

13 *Mutatis mutandis* : locution latine signifiant que ce qui doit être changé a été changé

1.3. Bilan : la question des savoirs en milieu scolaire

Au terme du développement de la question du savoir scolaire et des difficultés d'apprentissage, nous tenons à faire une distinction qui peut-être une confusion chez l'apprenant comme chez l'enseignant : mémoriser ou apprendre. Mémoriser demande, de la part de l'élève, un effort cognitif plus ou moins conséquent. Il s'agit alors de stocker des informations reçues en vue de les restituer ultérieurement. Selon Geninet (2015, p.22) : « *mémoriser, c'est être capable de redire les notions, de donner du sens à ce qui a été appris* », nous considérons alors que cette définition ne permet pas de distinguer mémoriser et apprendre car il peut y avoir restitution sans compréhension comme une liste à la Prévert. Alors, faut-il mémoriser pour apprendre ? Ou bien, apprendre pour mémoriser ? Ou encore apprendre à mémoriser ? Nous accordons à Astolfi (2008/2014, p.57) une distinction plus aboutie : « *Apprendre est synonyme d'appréhender il désigne ce dont on doit s'emparer pour se l'approprier pour l'apprivoiser, assimiler ce qui est socialement acquis mais à conquérir* ». Ainsi, le stockage des connaissances est mémorisé, à plus ou moins long terme, selon l'enjeu scolaire : il est celui que nous questionnons à propos de la nutrition des plantes. Quelles connaissances retiennent les élèves en fin de curriculum scolaire ? Quel modèle de fonctionnement de la nutrition des plantes sont-ils capables de proposer ? Mémoriser est dans l'acte d'apprendre mais apprendre s'inscrit dans un projet différent d'une récitation des informations stockées. Cela qui signifie qu'apprendre à une autre dimension cognitive, il s'agit de se projeter dans la résolution d'une enquête selon la proposition de Dewey. Celle que nous proposons à travers une tentative de savoirs problématisés dans la séquence forcée¹⁴ du chapitre 5. Autrement dit, apprendre est, selon nous, au carrefour du pragmatisme de Dewey et du rationalisme de Bachelard, une correspondance nécessaire pour rejoindre « *le paradigme de la problématisation (qui) inaugure une nouvelle image de la pensée* » (Fabre, 2017, p.17).

Après ce dessin du concept d'apprentissage, nous engageons celui de conceptions car nous faisons la thèse qu'élaborer ou concevoir quelque chose dans sa pensée est un processus cognitif que l'enseignant ne peut ignorer au risque de confondre transmettre et enseigner. Comprendre les représentations mentales des élèves est, par conséquent, une nécessité du métier d'enseignant pour

14 Orange (2010, p.77) propose une définition de séquence forcée de la manière suivante : « *Les situations forcées sont des situations d'enseignement qui ne sont généralement pas isolées, mais organisées en une séquence d'enseignement (d'où la notion de séquences forcées) ; elles sont construites au sein d'un groupe de recherche comportant des chercheurs en didactique et des enseignants experts. L'ensemble du groupe connaît le cadre théorique et la problématique de la recherche .* ». Nous reviendrons sur cette définition dans le chapitre 5.

faire construire des connaissances. C'est également une possibilité offerte pour comprendre certaines difficultés des élèves.

2. DEUXIÈME CONCEPT : LES CONCEPTIONS

Après avoir présenté la distinction entre représentation et conception, nous aborderons les conceptions comme un tremplin pour l'apprentissage de l'élève et par conséquent un outil didactique pour l'enseignant. Ensuite, nous ouvrirons le champ des possibles quand à l'origine des conceptions générales des apprenants ; celles que nous avons pu relever vis-à-vis des plantes pour des élèves de Terminale scientifique seront exposés dans le chapitre 3.

2.1. Une définition possible de conception

Dès les années 1970-1980, la didactique des sciences s'intéresse aux conceptions ou représentations, des notions qui ne sont alors pas distinguées. Lors de l'apprentissage d'une nouvelle notion, les enseignants constatent à la fois des difficultés chez les élèves et des erreurs commises lors de l'explication de phénomènes scientifiques. Certaines ont la singularité d'être récurrentes. Dans les années 1970, la recherche en didactique des sciences émerge et pointe les erreurs des élèves. Il faut attendre les années 1980 pour les premiers débats autour du concept de représentation. Ainsi, Chevallard (1985) indique que le concept de « *l'hypothèse représentationnelle* » a deux dimensions : une à l'échelle de l'humanité, la vision philosophique, et une individuelle, la vision freudienne. Cette hypothèse est intégrée à notre culture selon cet auteur et elle nous informe de la manière dont nous représentons le monde et notre rapport à celui-ci. Dans sa version didactique, Vergnaud (1985, p.245) précise que « *le concept de représentation est essentiel pour analyser la formation des connaissances opératoires et pour analyser les processus de transmission des connaissances* ». Chevallard (ibid), s'attachant davantage à la didactique des mathématiques, prend l'exemple d'un élève face une situation problème : il a inévitablement sa représentation du problème mais « *sur quoi portent ses cognitions ?* ». Par ailleurs, quelle représentation a-t-il de la situation didactique dans sa globalité ? Et quelle relation didactique avec l'enseignant ? La crainte de Chevallard (1987) était que les professeurs enseignent les « bonnes » représentations considérées comme « adéquates » et qu'ils tournent les apprentissages vers les représentations justes pour détruire celles qui seraient fausses. Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint (2008/2011) considèrent, quant-à eux, que lorsque les représentations des élèves sont

éloignées du curriculum enseigné c'est qu'elles manifestent une résistance. Alors, d'un point de vue didactique tout l'intérêt « *est d'abord une meilleure prise en compte de l'apprenant et de ses structures cognitives : l'élève n'est plus considéré comme un récepteur passif d'un savoir transmis ou greffé* » (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 2008/2011, p.149). Celles-ci ne sont donc pas des artefacts à négliger mais plutôt des aspérités à prendre en compte. Les idées, les croyances ou les connaissances qu'un élève mobilise spontanément lors d'une activité, qu'il y ait eu apprentissage préalable ou non, correspondent à des représentations. Ainsi, chercher à comprendre leurs significations, c'est admettre que les représentations des élèves font partie de l'enseignement. Astolfi et al. (1985b, p.94) précisent d'ailleurs que : « *L'élève n'est pas une page blanche qu'il s'agit de « bourrer » ! Il a déjà des représentations sur le monde qui l'entoure* ». Aussi, à l'école, tout apprentissage va venir se confronter à un déjà-là.

Dès sa naissance¹⁵, tout individu se construit un ensemble de représentations de l'environnement proche. Chacun élabore alors son propre système de références (vision freudienne évoquée par Chevallard et la psychologie pour Ridao), d'une part pour répondre aux besoins physiologiques immédiats et, d'autre part, pour explorer le monde et enrichir sa connaissance (psychologie sociale pour Ridao, 1993). On comprend alors que, dans des situations d'apprentissages variés, les représentations des élèves interfèrent avec le savoir en jeu. En effet, lorsque les savoirs expérientiels accumulés sont mobilisés dans un contexte donné, comme pour l'étude de la nutrition des végétaux chlorophylliens par exemple, ces savoirs viennent se confronter à la nouvelle situation envisagée. Nous comprenons alors que la prise en compte des représentations des élèves permet de comprendre les processus d'apprentissage. Ainsi, dans le contexte des SVT qui est le notre, nous subsumons l'importance cognitive qu'elles représentent dans la partie explicative des phénomènes observés par les élèves. C'est dans cette même veine que Orange et Orange Ravachol affirment qu'« *il s'agit donc bien de constructions intellectuelles des enfants qui auraient, pour les auteurs, une fonction de modèle (au sens scientifique du terme)* » (Orange et Orange Ravachol, 2013, p.47). Mais alors, qu'est ce qui distingue une représentation d'une conception ?

En SVT, s'intéresser aux représentations a pour objectif didactique « *l'étude d'un fonctionnement dont l'apprenant maîtrise la signification, socialement acceptée* » (Ridao, 1993, p.129, cité par Orange et Orange-Ravachol, 2013, p.53). Ainsi, les élèves ont-ils « *déjà une*

¹⁵ En réalité, dès le stade fœtal, l'individu détecte des stimuli sonores, olfactifs qui le renseignent du monde environnant

expérience et sont donc capables de développer des représentations qui interfèrent avec les apprentissages » (Orange et Orange Ravachol, 2013, p.58). Lorsque l'enquête cherche à comprendre les difficultés d'apprentissage, les représentations des apprenants sont questionnées. Qu'en est-il des conceptions ? La conception est une inférence du chercheur qui analyse les « *idées relativement stables qu'utilisent les élèves pour raisonner parce qu'elles sont explicatives pour eux et qu'elles présentent une cohérence interne importante même si elles diffèrent assez fortement des conceptions scientifiques, ou de l'adulte en général* » (Astolfi et al., 1985b, p.9). Pour les élèves, elles servent donc de modèles (Orange et Orange Ravachol, 2013). Aussi, dans le cadre de la problématisation (chapitre 3) qui guide nos travaux, les conceptions sont des éléments de compréhension pour l'analyse des données. Un des objectifs est de les révéler et de les catégoriser.

Finalement, la différence entre les termes « représentation » et « conception » est un problème de registres qui s'opère au niveau des modes de connaissances (Migne, 1970). L'auteur précise que la représentation est plutôt sur le registre du figuratif alors que la conception nécessite un effort cognitif pour accéder à la part d'abstraction.

2.2. Les conceptions de l'apprenant comme tremplin pour l'apprentissage

2.2.1. La nécessité d'une rupture épistémologique pour apprendre

La prise en charge des conceptions des apprenants pour un enseignement pertinent remonte, nous l'avons dit, aux années 1970. La recherche en didactique des sciences s'est alors penchée sur les réponses surprenantes, curieuses, inattendues, parfois compilées pour des « bêtisiers », des élèves questionnés pour des explications de phénomènes scientifiques. En effet, face à la répétition de certaines erreurs des apprenants, il était nécessaire de comprendre leurs significations. Selon Astolfi et al. (1978) l'intérêt essentiel de cette recherche sur les conceptions des élèves a été de mettre en question les enseignements scientifiques. Quel est alors le rôle de l'enseignant ?

Selon nous, deux entrées distinctes se dessinent. La première est une vision qui se détourne des représentations car, issues de l'empirisme, elles ont un statut d'opinion et s'éloignent de l'esprit scientifique. La deuxième, épouse une vision qui se désigne comme une continuité entre opinion et savoir, mais elle néglige alors les obstacles rencontrés dans l'enseignement des notions scientifiques. Fabre (2013, p.62) nous indique qu'il est nécessaire de réconcilier ces deux versions

par une rupture épistémologique, il propose alors que « *le rôle du professeur de sciences est de faire muter l'intérêt (des élèves) tout en maintenant sa continuité à travers ses formes successives* » pour construire les connaissances. Nous verrons dans la partie « 3. Troisième concept : les obstacles » que si les conceptions ont l'avantage d'assurer un bagage intellectuel rassurant à l'élève, même si elles sont erronées scientifiquement, elles sont souvent des obstacles à l'apprentissage de nouvelles connaissances scolaires.

2.2.2. Les conceptions des apprenants comme outil de la connaissance scolaire

Force est de rappeler qu'avant d'aborder un nouvel apprentissage, les élèves ont le plus souvent des idées sur les savoirs en jeu. Or, les représentations qu'ils se font sont des clés pour comprendre les propos de l'enseignant qui aborde une notion, ce que confirme les travaux en psychologie cognitive et sociale (Doise et Mugny, 1981 ; Doise et Palmonary, 1986) : leurs idées servent à la construction des connaissances scolaires. Aussi, elles sont à prendre en compte à l'école « *faute de quoi, rien ou pas grand-chose ne passera. L'enseignant se fera plaisir en troussant un bel exposé, mais le résultat en terme d'apprentissage, sera nul, à tout le moins superficiel* » (Giordan, 1998/2016, p.44). Les conceptions ont, en effet, une « *certaine stabilité* » (ibid) parce que certaines proviennent parfois de notre enfance. Elle relève donc parfois d'un système explicatif efficace pour l'individu et durable. Le risque est de vouloir changer une conception pour une autre dans un processus dogmatique. Fabre (2013) le dénonce en affirmant que changer de conception ne serait alors que changer d'opinion. Et de préciser que « *l'important est de problématiser les représentations ou les habitudes intellectuelles pour accéder à un savoir raisonné, un savoir qui incorpore ses raisons et qui donc, par la même, peut critiquer les mauvaises raisons de sa culture première* » (Fabre, 2013, p.71). Une finalité qui n'échappe pas à l'école puisque construire des connaissances scolaires dans un cadre problématisant dépend des conceptions des élèves.

2.2.3. L'utilisation des conceptions en didactique

De nombreuses recherches en didactique s'attachent particulièrement à l'étude des conceptions puisqu'elles sont le fondement de la construction des connaissances scolaires (Migne, 1970 ; Giordan, Raichvarg, Drouin, Gagliardi et Canay., 1987/1989 ; Jonnaert, 1988 ; Astolfi, 1992). Aussi, faut-il s'appuyer sur les productions diverses des élèves : dessin, texte, questionnaire, entretien, discussion en classe, etc. et dans des contextes variés : en classe, en dehors de la classe, avec des chercheurs... Mais la vigilance est de rigueur car les conceptions mobilisées par les élèves sont des « *stratégies circonstancielles* » (Astolfi et Peterfalvi, 1997). Nous reprenons à notre

compte la façon d'inférer et d'analyser les conceptions des élèves telle qu'Astolfi et al. (1985b) le propose (figure 3) :

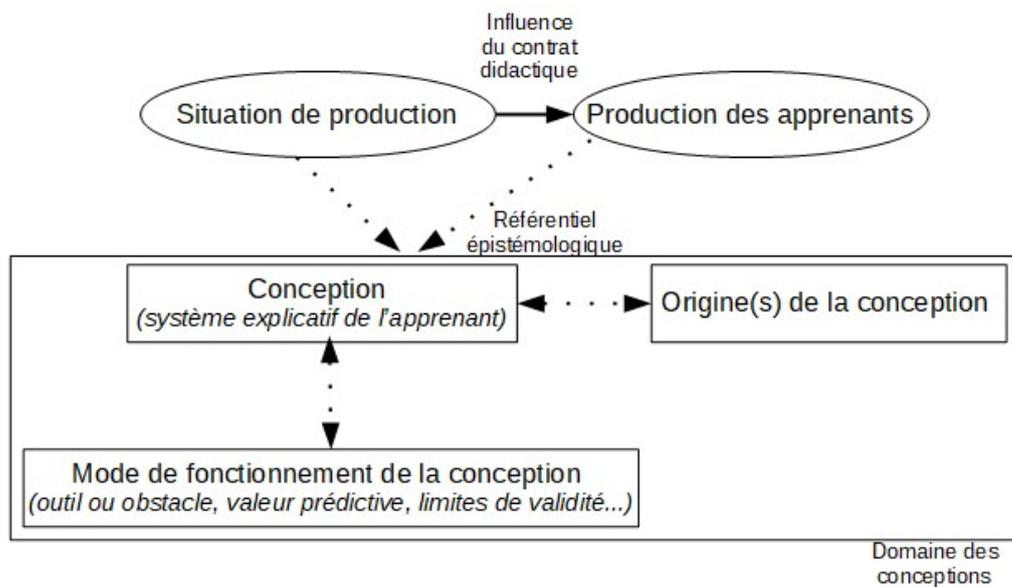


Figure 3 : La façon d'inférer et d'interpréter les conceptions (d'après Astolfi et al., 1985, p. 12). En pointillés : inférences réalisées par l'observateur. La situation de production est scolaire ou non (réponse à une question; anticipation d'action; situation de débat, etc.).

Cette modélisation des auteurs conduit à trois points de vigilance soulignés par Bosdeveix (2016, p.77-79) :

- 1) « Importance du contexte problématique, de la situation de production et du contrat didactique.[...] »
- 2) Importance du référentiel épistémologique du chercheur dans le travail d'inférence. [...]
- 3) *Importance de la caractérisation du mode de fonctionnement des conceptions et de leurs origines possibles ».*

Si les conceptions émergent d'une situation de leurs productions, quelles sont leurs origines possibles ?

2.3. Les origines possibles des conceptions

Dans notre cadre théorique, tout apprentissage réussi est compris comme une évolution des conceptions. Evolution au sens où les connaissances se rapprochent de plus en plus des savoirs scientifiques. Il ne s'agit donc pas d'un changement pour un changement d'opinion sans assise

scientifique (Fabre, 2013). C'est pourquoi, à la fois pour l'enseignant et le chercheur, se poser la question de leurs origines est fondamental.

2.3.1. Des origines multiples

Quelque soit l'origine des conceptions de l'enfant/l'élève elles se construisent dans l'activité. Par ailleurs, elles ont un caractère composite selon le contexte et l'individu considéré (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 2008/2011). Certaines recouvrent des influences extra-scolaires diverses : psychogénétique, épistémologique, sociologique et psychanalytique (Duplessis, 2008). D'autres s'ajoutent à la didactique des disciplines. L'ensemble de ces influences intéressent la recherche en didactique puisqu'elles éclairent les origines possibles des conceptions. La figure 4 ci-après illustre ces catégories :

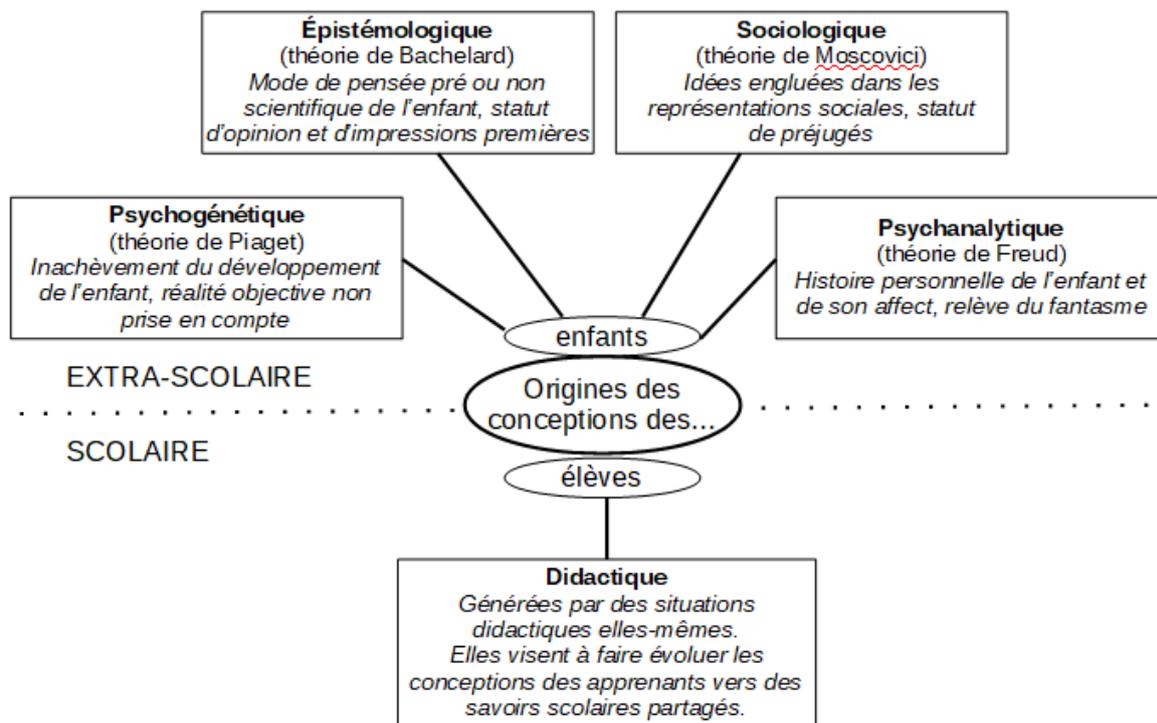


Figure 4 : les origines possibles des conceptions des apprenants

2.3.2. Les conceptions dans les programmes de sciences

Selon Orange et Orange-Ravachol (2013, p.46) « la prise en compte des représentations (conceptions) est bien, en France, la première trace explicite des recherches didactiques dans les programmes de sciences ». Cette trace se dessine particulièrement dans les années 1990 et nous

devons à Migne (1969/1994, 1970) une description du concept de représentation qu'il aborde selon deux aspects : psychologique et épistémologique. L'ancrage épistémologique est rapporté aux travaux de Bachelard (1938/2011, 1949/1966), d'où l'association du concept avec celui d'obstacle. Un peu plus tard, dans les années 1980, le terme de conception se généralise et le concept est relié à celui d'objectif-obstacle (Martinand, 1986b). Dans les années 1990 et 2000, le concept est toujours à l'honneur dans les recherches (Astolfi, 1997/1999 ; Peterfalvi, 1997) mais ce sont les conditions didactiques du travail d'objectifs-obstacles qui sont pointées.

Orange et Orange-Ravachol (2013) indiquent que, dans le même temps et de façon analogue, les pays anglo-saxons construisent le concept mais avec des références différentes Toulmin, Lakatos et Kuhn notamment. En France, la didactique des sciences articule trois caractères invariants avec le concept de conception :

- les élèves possèdent déjà des représentations qui font sens pour eux, pour l'enseignant, l'apprentissage consiste alors à apporter des connaissances et faire évoluer ses représentations ;
- les conceptions des élèves résistent dans un raisonnement de sens commun de nature inductive, ainsi pour Popper (1979/1998, p.164) « *l'habitude qui est rationnellement indéfendable, est la force principale qui guide nos pensées et nos actions* », ce que nous associons à certains obstacles épistémologiques ;
- il y a nécessité d'opérer une rupture épistémologique pour faire évoluer en profondeur les conceptions des élèves.

Les deux auteurs (Orange et Orange-Ravachol, 2013) soulignent néanmoins que les conceptions sont parfois réifiées et qu'elles sont vues comme des « choses » à étudier. En effet, puisque les conceptions des élèves sont le plus souvent recueillies sous forme de productions écrites (textes et/ou schémas, dessins), elles laissent place à l'interprétation du chercheur « *comme si elles étaient des traductions transparentes de constructions mentales préalables* » (ibid, p.51). De plus, ces conceptions sont attachées au problème scientifique posé mais, en définitive, le problème est souvent confondu avec une question opératoire (par exemple : quels sont les organes qui permettent la nutrition des plantes?). Le problème scientifique devrait engager une enquête de nature explicative ou de fonctionnement (Orange, 2002) (par exemple : comment une plante assure t-elle

sa nutrition?). Enfin, dans toute production, il y a des difficultés pour les élèves à traduire leurs pensées et à répondre au contrat didactique de l'enseignant.

Fort de ces arguments, et pour éviter une réification du concept, nous considérons que l'étude des conceptions doit se faire dans le champ de la didactique des sciences et qu'elles sont à être rattachées à un problème de nature scientifique (Ridao, 1993).

2.4. Bilan : le concept de conceptions

La figure 5 suivante résume nos propos, elle est donc une tentative de schématisation du concept de conceptions.

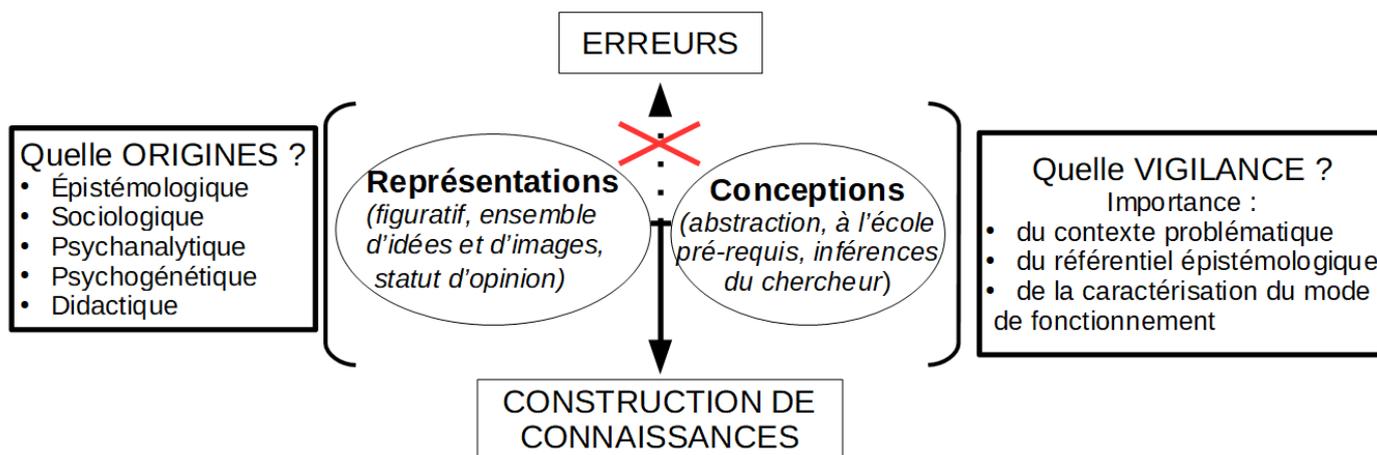


Figure 5 : le concept de conceptions pour éclairer l'analyse de nos données dans les chapitres 4 et 5 (la croix rouge signifie : n'est pas à identifier comme une erreur au sens scolaire)

Les conceptions des élèves sont à retrouver dans l'analyse des productions orales et/ou écrites. Elles éclairent le chercheur dans sa compréhension de l'élaboration ou de l'évolution des connaissances lors des apprentissages. Aussi est-il question d'appréhender la diversité des influences des représentations des élèves. Par ailleurs, plusieurs points de vigilance sont nécessaires pour circonscrire l'analyse du chercheur. Le principal intérêt est de considérer l'apprenant dans ses processus d'apprentissage et de considérer l'erreur comme partie intégrante du fonctionnement de sa pensée.

Le concept de conceptions va rejoindre celui d'obstacle dans la mesure où tout apprentissage correspond à une évolution des conceptions et que celle-ci se heurte parfois à un ou des obstacle(s).

3. TROISIÈME CONCEPT : LES OBSTACLES

Le concept d'obstacle, défini initialement par Bachelard (1938/2011), nous semble toujours d'actualité et particulièrement mobilisé dans les apprentissages des SVT. Ainsi, le Didactif¹⁶ organise son colloque annuel en juillet 2020 « Identifier, modéliser et surmonter les obstacles liés à l'apprentissage ». Pourtant, l'approche épistémologique du concept est «souvent ignoré(e) ou rejeté(e), ou restreint(e) au minimum» (Rumelhard, 2016, p.1) alors qu'elle interroge de nombreuses situations didactiques. Serait-ce que le concept est «difficile à cerner et que des résistances se manifestent à son égard, notamment dans les milieux enseignants» (Peterfalvi, 1997, p.4) ? Ainsi, lorsqu'ils sont pris en compte, c'est plus pour la résolution de problèmes qu'au service de leurs construction (Fabre et Orange, 1997).

Nos propos commenceront par la définition bachelardienne de l'obstacle avant d'entrevoir les catégorisations possibles qu'ils sous-tendent. Ensuite, le concept d'objectif-obstacle puis sa relation avec les situations didactiques seront exposés pour comprendre quels enjeux possibles existent lors des apprentissages scolaires. Le franchissement possible d'un obstacle sera ensuite envisagé dans une perspective de problématisation, concept qui sera par ailleurs développé dans un prochain chapitre.

3.1. Le concept d'obstacle : un concept bachelardien

3.1.1. La transition entre l'esprit préscientifique et l'esprit scientifique

Dans son ouvrage « *La formation de l'esprit scientifique* » sous-titré « *Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* » Bachelard (1938/2011) analyse une transition entre

16 Le Didactif^{en} (Didactique pour l'enseignement) est organisé par l'Université de Liège en Belgique. Cette deuxième édition considère que les obstacles à l'apprentissage sont le quotidien des enseignants mais aussi des conseillers pédagogiques, des formateurs et des chercheurs en didactique. Pour plus d'informations sur le site : <https://didactif2020.sciencesconf.org/>

l'état préscientifique et *l'état scientifique* au tournant du XVIII^{ème} siècle. Il considère en réalité trois périodes :

- la première correspond à l'état préscientifique qu'il situe de l'Antiquité à la Renaissance et jusqu'au début du XVIII^{ème} siècle ;
- la seconde correspond à l'état scientifique en gestation pendant le siècle des Lumières, le XVIII^{ème} siècle ;
- la troisième correspond au nouvel esprit scientifique qu'il fixe avec précision en 1905 lorsque la théorie d'Einstein, sur la relativité restreinte, modifient notre perception de l'espace, du temps, de la masse et de l'énergie, et définissent la physique moderne¹⁷.

Au demeurant, malgré la prise en compte des périodes dessinées par Bachelard, il est plus difficile en biologie de baliser des ruptures dans l'histoire des sciences. Canguilhem doute même que le darwinisme puisse en être une illustration : « *il conviendrait de se demander à partir de quelles dates on peut repérer dans les sciences des êtres vivants quelque fracture conceptuelle de même effet révolutionnaire que la physique relativiste ou la mécanique quantique* » (Canguilhem, 1977/2009, p.24). Pour autant, des obstacles à la compréhension du monde sont présents en biologie, nous en présentons des exemples dans le chapitre 4 consacré à l'épistémologie de la théorie de la nutrition des plantes. Dans cette même veine, Rumelhard (2016, p.2) écrit qu'une culture scientifique ne peut se résumer à une « *accumulation d'informations, d'explications et de mécanismes que l'on peut toujours compléter, rectifier et appliquer à des situations de la vie courante* ». Il faut alors comprendre qu'il y a nécessité permanente de reconstruire le savoir car « *même chez l'homme nouveau, il reste des vestiges du vieil homme. En nous, le XVIII^{ème} siècle continue sa vie sourde* » (Bachelard, 1938/2011, p.10). Comment alors accéder à cet esprit scientifique indispensable pour construire un savoir différent ? Et comment l'individu en quête de connaissances doit se présenter pour ne pas tomber dans un simple exercice mnémotechnique ? Le chemin à emprunter comprend trois étapes ou « *loi des trois états* » que nous livre Bachelard (ibid, p.11) : l'état concret, l'état concret-abstrait, l'état abstrait. L'esprit doit ainsi passer d'images premières propres à la pensée commune, à celles d'un construit qui a encore pied dans le monde sensible, pour enfin basculer dans un domaine qui se détache de l'expérience première et qui permet une véritable catharsis intellectuelle. Lors de ce chemin des obstacles épistémologiques vont surgir. Il s'agit de les dépasser pour avancer et réformer son esprit.

17 Si Bachelard s'appuie sur la physique pour établir des transitions scientifiques c'est que cette discipline est plus disposée aux ruptures que la biologie affirme Canguilhem (1977/2009).

3.1.2. La notion d'obstacles épistémologiques

La conception d'une éducation scolaire transmissive laisse supposer que si un enseignant prépare sa séquence scrupuleusement avec des exemples pertinents alors les apprentissages devraient s'opérer sans difficulté majeure (Astolfi, 1992). Or, en classe, à mesure que l'enseignement avance dans sa progression, les élèves rencontrent des obstacles à l'apprentissage : ils limitent l'évolution de leurs représentations. Selon Bachelard, et d'un point de vue des conditions psychologiques, ce sont ces obstacles rencontrés par les élèves qui justifient le problème de la connaissance scientifique. En effet, lors d'un enseignement scolaire, les obstacles se manifestent par des difficultés d'apprentissage qui sont autant de freins à l'accès aux connaissances scientifiques, ce que le philosophe des sciences nomme en terme de concept : les obstacles épistémologiques. En effet, pour l'observateur, « *le réel n'est jamais "ce qu'on pourrait croire" mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser* » (Bachelard, 1938/2011, p.13). Ainsi, il en va de l'empirisme qui est gage d'une certaine soumission, de passivité face au réel puisqu'il accorde aux faits une valeur explicative. Depuis l'Antiquité, il réifie l'observation et l'expérience sensible comme point d'ancrage de nos connaissances et non de nos croyances. L'empirisme s'oppose donc au rationalisme.

Selon une vision constructiviste, l'apprenant emporte toujours avec lui un bagage de connaissances lorsqu'il est confronté à un nouveau savoir. Accéder à une nouvelle culture scientifique consiste alors à remettre en question son passé. C'est pourquoi, l'opinion, au sens de l'opinion commune, est à contre-courant des apprentissages et fait obstacle car elle réduit la connaissance à des besoins et non à des problèmes explicatifs. Nous comprenons alors que « *pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit* » (Bachelard, 1938/2011, p.14). Il s'agit alors d'expliquer les concepts scientifiques en retraçant leur histoire, en particulier en suivant les changements d'idées, voire de paradigmes, inhérents aux concepts étudiés. Pour apprendre dans un esprit scientifique, il convient nécessairement de surmonter ou renverser un obstacle.

3.1.3. L'expérience première

L'observation première est toujours un premier obstacle car la Nature est directement accessible et induit une explicitation simpliste, de type assertorique. Notre recherche est consacrée

au concept de plante, leur succès au détour de jardins prestigieux, de manifestations culturelles, d'émissions consacrées aux produits de la terre ou de plantes médicinales, ou tout simplement leur rencontre au quotidien, nous ferait presque oublier que nous les connaissons peu. Or, la construction de toute connaissance nécessite une rupture avec cette approche superficielle. L'esprit scientifique ne peut se développer face au monde qui l'entoure sans « *se réformer* » (Bachelard, 1938/2011, p.23). Face à une Nature omniprésente, l'expérience première nous enferme donc dans un tissu explicatif naïf qui suffit à notre raison. C'est pourquoi une éducation voire une rééducation semble nécessaire pour s'opposer à une « *amnésie environnementale*¹⁸ » qui explique probablement les obstacles à la compréhension du monde des plantes (chapitre 4). Dans le quotidien, l'expérience n'engage que rarement au questionnement alors que « *le sens du problème est la caractéristique de l'esprit scientifique* » (ibid, 1938/2011, p.44). Nous comprenons alors que cette expérience première soit le premier obstacle qui nous habite et qui fait barrage à une connaissance objective d'un monde extraordinaire mais tout aussi ordinaire que celui des plantes. Quels sont les autres obstacles rencontrés ?

3.2. Des catégorisations d'obstacles

Il ne s'agit pas ici de réaliser un catalogue proposant un *modus operandi* pour travailler les obstacles, nous choisissons de développer ceux qui seront des points d'appuis à la compréhension des productions d'élèves afin d'en faciliter l'analyse.

3.2.1. D'autres obstacles possibles

Pour Bachelard (ibid), si l'expérience première est le premier des obstacles, d'autres peuvent faire surface dans un contexte d'apprentissage.

- La connaissance générale

L'empirisme est à la fois mobilisateur mais aussi paralysant puisqu'il est une source de connaissance qui conduit souvent à une pensée de sens commun. Autrement dit, il correspond à une croyance dans la régularité observée (Popper, 1979/1998), ce qui pour Bachelard est contraire à l'ouverture de l'esprit scientifique. Ainsi, les généralisations sont fréquentes, elles n'appellent pas la

¹⁸ Le concept « d'amnésie environnemental générationnel » provient du psychologue environnemental Peter Kahn (2002) qui considère que l'environnement naturel de notre enfance est celui de notre référence à l'âge adulte. Comme des dégradations environnementales sont constatées de génération en génération, à chaque niveau, il est considéré comme « normal ».

justification de l'argumentation. Elles peuvent être identifiables lors d'un débat de classe, ce que nous montrerons dans le chapitre 5, et elles se caractérisent par un consensus mou qui n'est plus à discuter. Par exemple, en reprenant Bachelard (1938/2011, p.56) : « *A la base de la biologie : tous les êtres vivants sont mortels* ». Ce dogme fait office de loi puisque tout être vivant naît et meurt, alors que, dans une démarche problématisante, il y aurait nécessité de définir le concept de vie. La question est de savoir si la connaissance commune ne bloque pas la pensée. N'est-elle pas responsable d'une inertie scientifique de l'apprenant ? Finalement, une connaissance générale peut-elle être une connaissance scientifique précise ? Ainsi, lorsque l'originalité de la vie est reconnue, dit Canguilhem, nous devons « *comprendre la matière dans la vie et la science de la matière, qui est la science tout court, dans l'activité du vivant* » (1952/2009, p.125)¹⁹. L'objet de la science moderne est de chercher à préciser les phénomènes, à explorer l'infiniment petit mais aussi l'Univers dans toute sa complexité pour proposer des explications et s'attacher à la vérité²⁰ ou à « *des explications satisfaisantes* » (Popper, 1979/1998, p.297).

- L'obstacle verbal

Certains mots sont porteurs d'erreurs intrinsèquement puisqu'ils possèdent de multiples facettes ou induisent un raisonnement précipité jusqu'à une fausse explication. Bachelard utilise le mot « éponge » pour illustrer cet obstacle : « *la fonction de l'éponge est d'une évidence claire et distincte, à tel point qu'on ne sent pas le besoin de l'expliquer. En expliquant des phénomènes par le mot éponge, on n'aura donc pas l'impression de verser dans le substantialisme obscur ; on n'aura pas davantage l'impression qu'on fait des théories puisque cette fonction est toute expérimentale*» (Bachelard, 1938/2011, p.73). La métaphore de l'éponge exprime comment une matière peut s'emplir d'une substance (gaz, liquide), en définissant un caractère spongieux, ce qui justifie à lui seul ses propriétés. Les discussions sont riches de métaphores et autres figures de style qui nous font raisonner par analogie, elles laissent donc une « image » sans explications. Elles dessinent des schémas généraux qui entravent la connaissance objective. Ici aussi, il est question de les combattre et de mettre au travail les concepts pour développer l'esprit scientifique.

- La connaissance unitaire et pragmatique

19 Le numéro des pages concerne le pdf qui reprend l'ouvrage, nous l'avons repéré à : https://philosophie.univ-tlse2.fr/servlet/com.univ.collaboratif.utils.LectureFichiergw?ID_FICHIER=1317125455968

20 A propos de la vérité en science, nous renvoyons cette affirmation à Popper (1979/1998, p.18) qui affirme que « *le but de la science est la vérité mais, puisqu'on ne peut jamais déclarer d'aucune théorie qu'elle est vraie, mieux vaut considérer que le but de la science est l'approximation de la vérité : la vérisimilitude* ».

Cette approche désigne un obstacle plus vaste que l'obstacle verbal. Il s'agit de pensées qui englobent une vision générale du monde qui nous entoure. Par exemple, pour la Nature, c'est prêter « *d'un coefficient de réalité que l'esprit scientifique attribue à tout ce qui est naturel* » (ibid, p.90). L'utilité est valorisée comme principe d'explication, voire comme une forme d'intelligence. Ainsi, les plantes sont-elles perçues par les élèves comme relevant d'un fonctionnement unique. Le plus troublant est que cette conséquence pourrait être renforcée par les programmes de SVT. Cette économie de pensée est un obstacle récurrent en biologie lors des apprentissages associés aux fonctions des organes, à la classification des espèces ou encore pour expliquer l'évolution mais aussi au concept de plante comme nous le montrerons dans le chapitre 6.

- Le substantialisme

Il correspond à une explication prêtant toutes les propriétés utiles aux substances. Par exemple, l'eau et les minéraux du sol, par leur seule présence justifie le développement de la plante. Ainsi, une substance posséderait une qualité profonde, intrinsèque, ce qui d'un point de vue de la psychanalyse est à rapprocher de l'onirisme. L'explication est alors dépourvue de sens critique, les arguments ne sont pas hiérarchisés, les interactions substance-objet/être vivant sont négligées. C'est l'immédiateté qui est prise en compte et qui occulte les explications. L'auteur prend l'exemple de « *la force insinuante des odeurs, le fait qu'elles s'imposent, qu'on le veuille ou non, les marquent comme des réalités actives* » (ibid, p.119). Notre étude qualitative du chapitre 4 confirme cette valorisation excessive des minéraux par les élèves de Terminale Scientifique, puisqu'ils ont été mis en première place dans les substances nutritives des plantes. Ce qui confirme que cet obstacle soit un des plus difficiles à dépasser selon Bachelard.

- La connaissance quantitative

Pour Bachelard, dès lors que la connaissance est immédiate donc qualitative, elle est fautive. La connaissance quantitative échappe-t-elle à ce principe ? « *L'excès de précision, dans le règne de la quantité, correspond très exactement à l'excès du pittoresque, dans le règne de la qualité* » (ibid, p.212). Bachelard renforce cette idée en affirmant que « *La science du solitaire est qualitative. La science socialisée est quantitative* » (ibid, 1938/2011, p.242). Dans notre étude de la nutrition des plantes (chapitre 4) Van Helmont, au début du XVII^{ème} siècle, décrit une expérience²¹ paradigmatique des programmes de SVT : il « *prit un grand vase de terre, auquel il mit 200 livres*

21 L'expérience concerne l'eau et la croissance des plantes. Dans son ouvrage « *Les Oeuvres De Jean Baptiste Van Helmont traitant des principes de médecine et physique, pour la guérison affurée des Maladies* » de 1670 (traduit par Jean Le Conte, docteur en médecine), l'auteur fait l'hypothèse que la terre n'est pas un élément mais une transformation de l'eau. Il faut dire que le scientifique est aussi un alchimiste convaincu.

de terre desséchée au four qu'il humecta avec de l'eau de pluie. Puis il y planta un tronc de saule qui pesait cinq livres. Cinq années après le saule, qui avait cru en ladite terre, fut arraché et se trouva pesant de 169 livres et environ 3 onces de plus. » (ibid, p.101). L'auteur en déduit que la terre n'ayant subi aucune variation sensible de poids (57 g en 5 ans) alors que l'arbre a pris 76 kg, l'eau s'est transformée en bois et racines. Cet exemple, illustre l'aspect binaire des obstacles épistémologiques : « dans le même règne de la quantité on va voir s'opposer à l'attrait d'un mathématisme trop vague, l'attrait d'un mathématisme trop précis » (ibid, 1938/2011, p.253). Ainsi, il faut attendre la fin du XVIII^{ème} siècle avec les travaux de Lavoisier (chapitre 4), pour comprendre que le principal apport de Van Helmont est de montrer que ce n'est pas de la terre que les plantes tirent leur matière. Dans un article d'Aster de 1992, Campestrini indique que nous devons « sortir de la logique de Van Helmont » car « dans cette dialectique (quantité/qualité) la matérialité écrase de tout son poids primordial de la quantité » (p.85). Nous verrons que cet obstacle est aussi présent dans les réponses des élèves de Terminale Scientifique (chapitre 4).

3.2.2. Les obstacles selon Brousseau

Dès 1976 Brousseau s'attache à faire de l'obstacle une composante majeure de la didactique des mathématiques. Il précise que « *les problèmes les plus intéressants (en mathématiques) seront ceux qui permettront de franchir un véritable obstacle* » (1976, p.105). S'appuyant sur les mécanismes de la construction des connaissances, pour définir et expliquer les obstacles, il se réfère à Bachelard mais aussi à Althusser Raymond, Badiou, Ovaert, Houzel (ibid). Selon le didacticien, les obstacles se manifestent par des erreurs qui ne sont pas dues au hasard. Ces dernières résistent et nécessitent de nombreuses situations pour les franchir. Brousseau distingue une triple origine aux obstacles, ils sont : « *d'origine ontogénétique, d'origine didactique, d'origine épistémologique* » (ibid, p.107). De son côté, Clément (2014, p.140) reprend les travaux de Brousseau en explicitant la classification :

« Les obstacles ontogénétiques « surviennent du fait des limitations (neurophysiologiques entre autres) du sujet à un moment de son développement » (Brousseau, 1978). Ils ont été étudiés par Piaget, mais doivent être précisés pour chaque niveau de complexité d'une discipline scientifique ; Les obstacles épistémologiques correspondent aux obstacles analysés par Astolfi à partir de la définition proposée par Bachelard (1938) : quand les faits de la vie quotidienne s'opposent à l'acquisition de connaissances scientifiques, que ce soit au cours de l'histoire des sciences ou lors de la construction par l'apprenant de nouvelles connaissances ; Les obstacles didactiques sont,

quant à eux, introduits par le système éducatif, par exemple par l'enseignant ou par le programme ou les manuels scolaires. ».

3.2.3 Les nœuds d'obstacles selon Astolfi

A titre illustratif, Astolfi et Drouin (1987) analysent le milieu d'un point de vue didactique dans de nombreux textes scientifiques et présentent certains obstacles auxquels sa construction se heurte. Ils considèrent que ces obstacles font un nœud lors des apprentissages. Aussi, les auteurs expriment-ils la complexité des obstacles dans leur origine possible mais aussi dans leurs interrelations : ils font « système ». Nous reprenons deux obstacles mis en avant par Astolfi et Peterfalvi (1993), ceux qui pourraient nous aider lors de l'analyse des productions d'élèves des chapitres 4 et 5. D'abord, l'obstacle lexical lié à la polysémie du mot « milieu ». Cet obstacle nous interpelle particulièrement car nous l'avons mis en évidence pour le mot « nutriment » dans notre étude qualitative (voir chapitre 6). Ensuite, l'anthropomorphisme, un obstacle majeur, selon nous, pour notre étude des plantes. Dans l'exemple, les auteurs attribuent au milieu l'idée d'un « garde manger » des espèces.

Ainsi, les obstacles sont proposés comme un ensemble qui fait résistance aux apprentissages. Y a-t-il des spécificités au domaine du vivant ?

3.2.4. Les obstacles spécifiques au concept de vie

Selon Piaget (1946/1976), le jeune enfant est animiste et il attribue aux objets ou aux éléments naturels la même force vitale que celle attribuée aux êtres vivants. Ainsi, dès qu'il y a du mouvement, un objet peut être considéré comme vivant : les nuages, les vagues, un robot... Cette pensée a le statut de pensée primitive chez l'enfant puisqu'elle n'est pas vérifiable dans l'instant mais permet d'expliquer, à sa façon, le monde qui l'entoure. Il y a aussi nécessité de prendre en compte le manque de connaissances des objets (Ochiaï, 1989) et les connaissances biologiques qui sont modestes. Lorsque le développement de la pensée formelle permet d'accéder à la conceptualisation et donc à l'abstraction, l'obstacle anthropomorphique peut également émerger. C'est pourquoi, l'attribution du qualificatif « vivantes » aux plantes est tardif et, malgré tout, souvent attribuée à l'acquisition de connaissances. Et « *même quand ils ont acquis certaines connaissances (les plantes poussent, se nourrissent) le lien nécessaire avec la vie n'est pas toujours compris.* » (Van der Keilen et Roy, 1995, p.442).

Canguilhem propose un changement de paradigme pour aborder la vie et sa connaissance, car selon lui, la vie ne se résume pas à sa connaissance mais à « *une recherche du sens des rapports entre la vie et la science en général, la vie et la science de la vie plus spécialement* » (1952/2009, p.2). Ce point de vue épistémologique est discuté dans une approche philosophique et indique que « *L'intelligence ne peut s'appliquer à la vie qu'en reconnaissant l'originalité de la vie. La pensée du vivant doit tenir du vivant l'idée du vivant.*» (Canguilhem, 1968, p.13). Ainsi, il reconsidère le discrédit apporté au vitalisme, courant de pensée que nous préciserons dans le chapitre 2, en le présentant comme une confiance du vivant dans la vie. En revanche, il n'épargne pas la pensée mécaniste du vivant pour laquelle il écrit que « *l'usage d'un modèle mécanique du vivant impose l'idée selon laquelle les parties d'un organisme le composent selon un ordre nécessaire et invariable.* » (Canguilhem, 1968, p.324). Il s'oppose donc au déterminisme de Claude Bernard et au positivisme en vogue depuis le début du XIX^{ème} siècle (Barbara, 2008) pour souligner l'interdépendance entre la vie et la connaissance de la vie. Si Bachelard (1938/2011) montre ce que doit être un esprit scientifique du point de vue de la physique ou des mathématiques, Canguilhem présente donc ce que doit être l'homme de science du point de vue de la biologie. En effet, la science du vivant est problématique puisqu'elle expose un conflit entre l'homme et son essence. Nous comprenons alors qu'il ne saurait être de connaissances intrinsèques désintéressées du vivant car, Canguilhem (ibid, p.3), citant les théories de Von Monakow²², réaffirme que « *l'homme est un enfant de la nature qui n'abandonne jamais le sein de sa mère* ».

Force est de constater que le concept questionne le curriculum scolaire puisque le nom de la discipline SVT n'apparaît que dans les années 1990 au moment même où le concept de biodiversité est porté par le sommet de la Terre à Rio. Ainsi, Rumelhard (2016) indique qu'un changement profond apparaît puisque, dans le champ scolaire, les **Sciences naturelles** deviennent **Sciences et Techniques biologiques et géologies** en 1987 puis **Sciences de la Vie et de la Terre** en 1992.

3.3. Une vision dynamique de l'obstacle : l'objectif obstacle

3.3.1. Une tension entre objectif et obstacle selon Martinand

En 1982, Martinand (1983) propose le nouveau concept d'objectif obstacle. Alors que la didactique des mathématiques s'inscrit dans une « théorie des situations » cherchant à construire des apprentissages dans une résolution de problèmes qui passe par des phases ordonnées, son

²² Référence donnée par Canguilhem : *L'Idée de l'Homme dans la Neurobiologie contemporaine*, Alcan 1938, p. 8.

enseignement manque d'outils. Cette réflexion conduit l'auteur à caractériser les objectifs, concept mis au travail dès les années 1970, comme des obstacles : « *le nombre d'objectifs diminue très fortement, car il n'y a en sciences et en technologie pas tant d'obstacles franchissables à un moment donné du parcours éducatif* » (Martinand, 1986b, p.16). Il existe une tension entre les deux concepts d'objectif et d'obstacle qui offre une dialectique et, par conséquent, une vision dynamique à l'obstacle. Les objectifs de la didactique des sciences et de l'enseignement scientifique sont tournés vers le franchissement des obstacles. Ce qu'Astolfi (2008/2011) reprend en utilisant la métaphore du sauteur en hauteur qui reste bloqué s'il considère l'obstacle de la barre comme une atteinte à l'objectif visé. Nous reprenons ci-dessous le schéma qui met en relation dialectique des objectifs et des obstacles (figure 6).

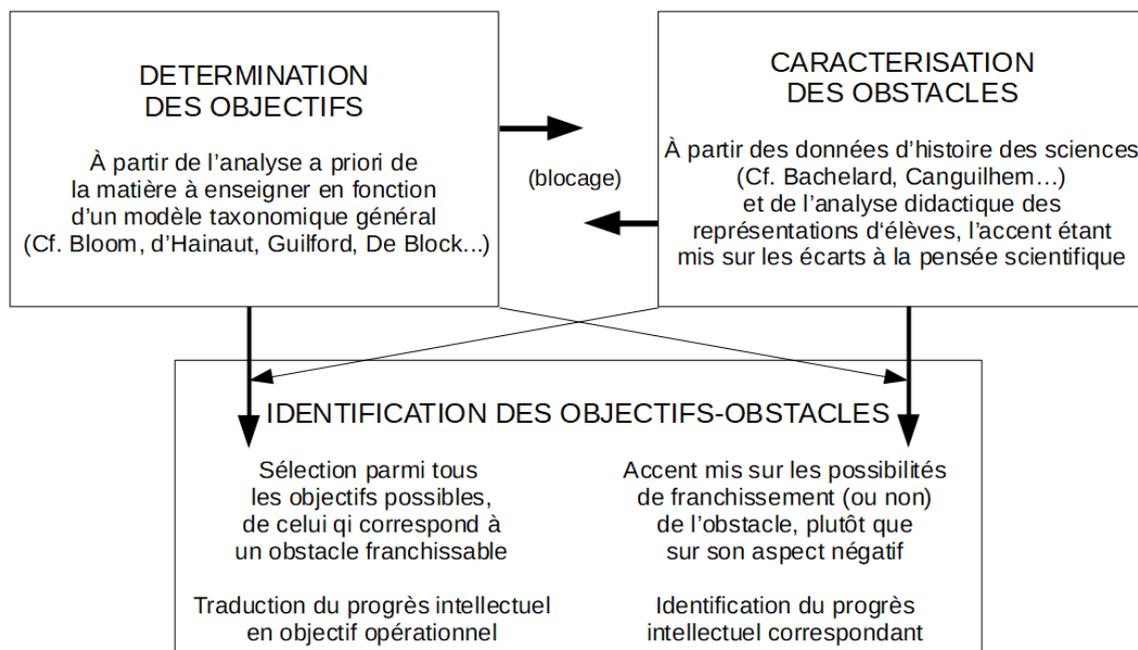


Figure 6 : le concept d'objectif-obstacle d'après Astolfi (2008/2011,p.126)

3.3.2. Permanence, latence et résistance de l'obstacle

D'un point de vue épistémologique, certains obstacles sont étiquetés comme résistants voire obsessionnels car ils entraînent des erreurs « *reproductibles et persistantes* » (Brousseau, 1976, p.105). S'ils sont identifiés dans l'histoire des sciences, force est de constater qu'ils peuvent à nouveau émerger dans les productions orales ou écrites des élèves. Pour certains comme Rumelhard (2016), ils sont surdéterminés et offrent non seulement une résistance mais aussi une permanence et

une latence. Cette double approche psychanalytique et socio-historique explique trois caractéristiques de l'obstacle :

« – **Permanence** : l'inconscient ignore le temps, ou bien il engage à la répétition obsessionnelle. Le discours idéologique affirme « qu'il en a toujours été ainsi ».

– **Le latent**, relève de l'inconscient, donc de l'inaperçu ou idéologiquement du volontairement masqué.

– **La résistance**, évoque le conflit défensif, ou la lutte collective dans un rapport de forces sociales et politiques. » (ibid, p. 16).

Pour envisager le franchissement d'un obstacle dans une perspective dynamique, il convient désormais de s'attacher à la mise en place de situations didactiques opérantes.

3.4. Des objectifs obstacles aux situations didactiques

3.4.1. Les caractéristiques des obstacles pour les situations didactiques

Afin d'envisager les situations didactiques, un autre éclairage aux obstacles épistémologiques est possible. Se référant à Gaston Bachelard, Fabre (1995) leur désigne six caractéristiques. D'abord l'*intérieurité de l'obstacle*. Le mot obstacle a pour origine latine *obstare* qui signifie « se tenir devant ». Ils empêchent le chemin du marcheur qui doit le contourner pour suivre sa route. Dans le contexte qui nous anime, l'obstacle qu'il convient d'explicitier a une connotation psychologique qui fait référence au sujet lui-même, à sa pensée, à son expérience. Nous comprenons alors que l'obstacle, qui est constitutif de l'acte de l'apprendre, correspond à une dialectique de l'élève et l'objet de connaissance (Brousseau, 1976). La seconde, *la facilité de l'obstacle* souligne qu'en plus de sa subjectivité, l'obstacle est renforcé par sa construction lorsque l'individu souhaite accéder à une nouvelle connaissance. Celle-ci entraîne d'abord les analogies et les métaphores par facilité de la pensée, ce que Fabre (ibid) résume dans l'expression « *se méfier de ses philies* », de ses appétences fortes. De son côté, Bachelard (1938/2011) prétend qu'il faut opérer une véritable « *catharsis intellectuelle* ». La troisième, *la positivité de l'obstacle*, conduit à dire qu'il est une forme de connaissance. En revanche, comme celle-ci est un « déjà là » assimilé à un sens commun, le sujet à une réponse *a priori* qu'il adapte à la situation lors d'une discussion. Mais lors des apprentissages scolaires, elle se manifeste comme une résistance à la connaissance engagée par l'enseignant. La quatrième, *l'ambiguïté de l'obstacle*, signifie que tout mode de pensée est source d'erreurs. Le problème revient dans les modalités de son usage. Selon Wallon (Jalley, 2017),

la pensée du sujet n'est en soi ni juste, ni fausse et elle revêt avant tout d'un syncrétisme²³. Ainsi, l'ambiguïté de l'obstacle renvoie à la facilité et à une économie de pensée. La cinquième, *la polymorphie de l'obstacle* est plus difficile à délimiter. Les représentations des élèves se retrouvent dans les différentes matières enseignées, ce qui peut surprendre les enseignants qui constatent que les élèves ont des difficultés de transferts de connaissances. En effet, les obstacles possèdent une charge forte en symbolisme et pour les franchir il est indispensable de réformer son esprit car « *il a l'âge de ses préjugés* » (Bachelard, 1938/2011, p.16). La dernière, *la récursivité de l'obstacle*, indique que lorsque l'obstacle est franchi, alors les erreurs sont identifiables. La connaissance acquise ou reconstruite est reconnue comme telle lorsque l'erreur s'efface dans les productions du sujet. Cela témoigne des efforts cognitifs fournis lors de l'apprentissage, et, par conséquent, d'une évolution des représentations initiales. L'école est donc un lieu où le fonctionnement cérébral est mis à l'épreuve, cela explique une partie des résistances des élèves : l'effort est nécessaire. Nous soulignons également le milieu et le climat de la classe qui favorisent les conditions des apprentissages ; ils garantissent l'adhésion du plus grand nombre d'où une proposition sociale à l'acceptation du dépassement de son sens commun.

3.4.2. Apprendre oui, mais comment ?

Notre titre reprend celui d'un ouvrage de Meirieu (1987/2017) qui pose la question principale qui habite les enseignants des premiers et seconds degrés, ou des étudiants lors de leur formation dans les INSPE. Elle nous concerne professionnellement et motive l'essence même de notre thèse. Pour faire corps avec nos propos, nous souhaitons la reformuler de la façon suivante : comment faire apprendre ? La proposition revient à considérer que si lors d'un apprentissage des obstacles surgissent, la priorité irait avant tout à les identifier. Ce préalable invite donc les enseignants à identifier les conceptions des apprenants à travers leurs productions pour ensuite adapter les objectifs de la séquence. Astolfi (2008/2014, p.151). rappelle que l'oxymore objectif-obstacle correspond « *à un tremplin pour l'obtention d'objectifs définis d'une façon nouvelle, comme des transformations intellectuelles* ». Aussi, citant les travaux d'Astolfi, Meirieu (ibid) annonce un changement de paradigme puisqu'il faudrait non pas voir l'objectif dans l'obstacle mais plutôt l'obstacle comme objectif²⁴. Autrement dit, il s'agit de se positionner au niveau de la séquence d'enseignement : il faudrait voir les obstacles comme des organisateurs de progression.

23 Pour l'auteur, lors du stade catégoriel qu'il estime à la période de 6 à 11 ans, la formation des catégories mentales conduisent aux capacités d'abstraction.

24 Les deux concepts objectif et obstacle sont souvent opposés, l'idée est plutôt de relever les obstacles pour définir des objectifs cognitifs.

3.4.3. Bilan intermédiaire

La figure 7 augure le projet didactique à viser par les enseignants pour construire un savoir focalisé sur un ou des obstacle(s) mis au travail. Mais comment initier ce travail des obstacles) ?

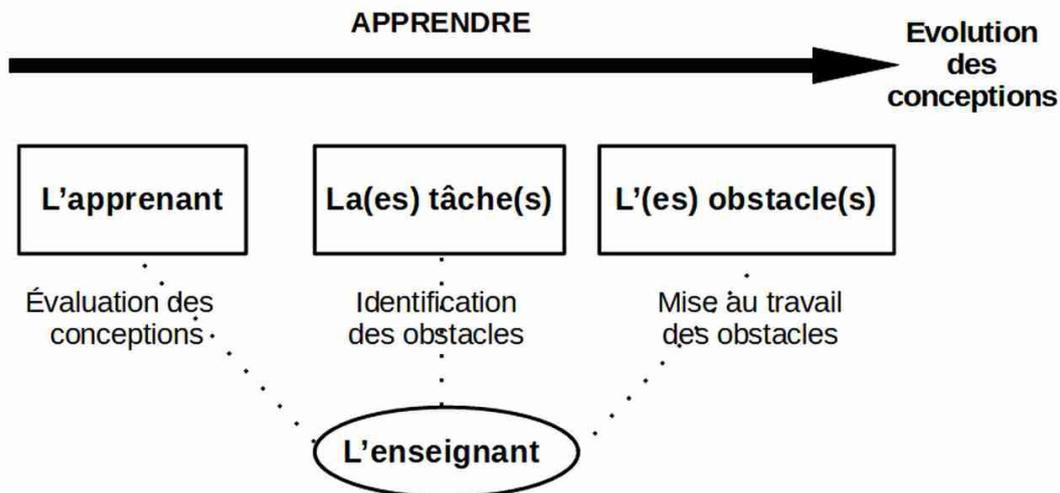


Figure 7 : faire apprendre en prenant en compte les obstacles

3.5. La construction de problèmes et le franchissement des obstacles

Lorsque les obstacles sont identifiés, leurs mises au travail dans une séquence d'enseignement repose sur l'élaboration d'une situation qui pose un problème scientifique. C'est dans la construction du problème, à l'origine d'un processus de problématisation, que les obstacles seront mis au travail.

3.5.1. La nécessaire fissuration des obstacles

L'obstacle repéré par l'enseignant doit être appréhendé par l'apprenant, non pas comme une difficulté insurmontable, mais, en référence aux travaux d'Astolfi, soit comme une difficulté (obstacle-difficulté) soit comme une facilité (obstacle-facilité). Par exemple, pour l'enseignant, l'obstacle du substantialisme est un obstacle-difficulté prévisible dans la compréhension des mécanismes qui régissent le fonctionnement de la plante. Dans le même temps, il correspond à une manière intuitive, voire naïve, de considérer les éléments qui nourrissent la plante : c'est donc un obstacle-facilité pour l'élève. Ainsi, suite à une activité, lorsque l'obstacle devient accessible au professeur, celui-ci le prend en compte pour l'intégrer dans un nouveau travail didactique. Dans la

mesure où nous avons précisé plus avant (3.4.2.) que l'apprentissage peut être pris comme un travail de franchissement de l'obstacle, il faut alors comprendre que l'enseignant va chercher à fissurer les représentations des élèves pour les faire évoluer. Autrement dit, l'intention éducative est de renverser les obstacles déjà accumulés dans la vie quotidienne (Bachelard, 1938/2011). Le processus de fissuration des obstacles débute dans un élan collectif qui facilite les interactions entre élèves, des conceptions alternatives pourront alors émerger (Astolfi et Peterfalvi, 1993).

3.5.2. La construction de problèmes ordinaires

La mobilisation des conceptions des élèves ne va pas de soi. C'est d'ailleurs un invariant des apprentissages scolaires. Aussi « *le traitement des obstacles s'effectue le plus souvent dans des situations de problèmes* » (Fabre et Orange, 1997, p.37). Mais alors qu'est ce qu'un problème ? Fabre (2016, p.16) rappelle « *que toute question ne constitue pas un problème* ». Lorsque la question est individuelle, le problème est, quant à lui, collectif. C'est-à-dire que le problème existe dans un cadre qui est délimité par la situation didactique elle-même et dans une discipline donnée. La force du problème est que la solution nécessite une réelle investigation car « *n'y a pas [...] de solutions en soi* » (ibid, p.18). Pour mobiliser les connaissances des apprenants, le questionnement doit se situer dans une classe de problèmes ordinaires car ils constituent une forme scolaire habituelle, académique, et accessible aux élèves. C'est pourquoi, selon nous, seul l'enseignant peut formuler le problème au départ car lui seul connaît la réponse, les élèves eux sont amenés à le construire dans un processus de problématisation. Ces problèmes peuvent être classés en trois catégories (ibid, p.18) : « *l'énigme, la controverse et l'échec* ». Selon Fabre, l'énigme relève d'un étonnement face à une nouvelle notion abordée mais aussi d'une difficulté annoncée : elle est stimulante car oblige à l'enquête. La controverse est plus difficile d'accès aux élèves cognitivement parce qu'elle oppose deux visions différentes face à une notion : elle est pertinente, voire même recherchée, dans les Questions Socialement Vives. La troisième catégorie est l'échec qui interroge sur l'investigation menée : elle est utilisée lors des séances de travaux pratiques où l'élève est en situation d'autonomie et mis en posture réflexive²⁵.

3.5.3. Le processus de problématisation

Face à une question engagée dans une situation d'apprentissage, l'élève va devoir se l'approprier. Finalement, l'élève va construire ou reconstruire le problème posé dans un processus

²⁵ C'est une posture recherchée lors des ECE (Évaluation des Compétences Expérimentales) du Baccalauréat scientifique : une des capacités est d'interpréter des résultats.

de problématisation (Fabre et Orange, 1997). Le chapitre 3 « Activité langagière et problématisation » sera l'occasion de développer ce processus, mais néanmoins, nous présentons les cinq critères retenus par Fabre (2016) pour le caractériser :

- l'examen d'une question ;
- l'articulation du doute et de la certitude ;
- l'articulation des données et des conditions dans un cadre ;
- la réflexivité ;
- la perspective heuristique.

Étant donné que nous mettons le processus de problématisation au cœur de nos analyses dans le chapitre 5, nous nous appuyons sur les traces langagières orales et écrites qui composent nos données. En effet, l'analyse des productions langagières des élèves permet de caractériser les savoirs construits lors de la séquence forcée. Elle donne donc l'occasion de voir si la problématisation se fait, à partir des productions des élèves, et de suivre ses traces dans la séquence.

3.6. Bilan : le concept d'obstacles

Le concept d'obstacle s'inscrit dans l'épistémologie bachelardienne. Pour notre recherche, il correspond à une centration sur l'activité cognitive de l'élève. Cela nous conduit à avoir un regard singulier dans l'analyse des productions d'élèves et un passage possible de la « *centration épistémique, avec le concept de rupture qui permet de caractériser la différence de nature entre la connaissance commune et le savoir scientifique, à une centration cognitivo-épistémique* » (Lhoste, 2017, p.96). En effet, nous l'avons dit, l'obstacle apparaît plus comme une nécessité fonctionnelle du cheminement cognitif des élèves pour qu'ils puissent appréhender les savoirs en jeu. Dans une vision dynamique de l'apprentissage, nous considérons alors l'obstacle comme pièce angulaire et il devient donc un véritable outil pour l'enseignant. Lors de sa mise au travail, l'analyse des productions langagières des élèves permet de lire le processus de problématisation si celui-ci a été engagé. La figure 8 illustre ce propos :

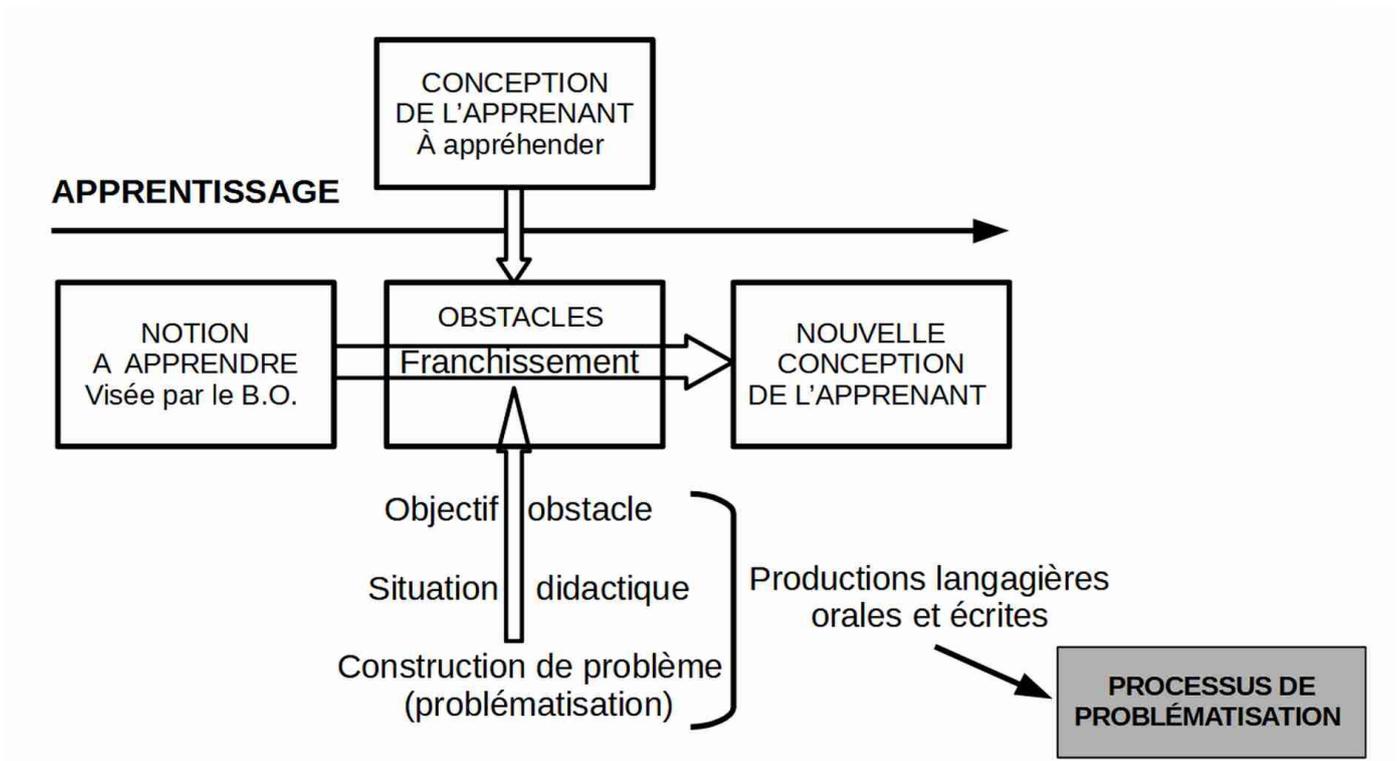


Figure 8 : le concept d'obstacle

4. BILAN DU CHAPITRE 1

Au terme de ce premier chapitre, nous proposons notre vision de la connaissance scolaire vue par le prisme de trois concepts clés : apprentissage, conceptions et obstacles. Elle sera un point d'appui dans l'analyse des situations d'apprentissage des chapitres 4, 5 et 6. La triangulation proposée (figure 9) signifie que nous considérons les polarités au même niveau et qu'elles sont en interrelations dans un processus dynamique.

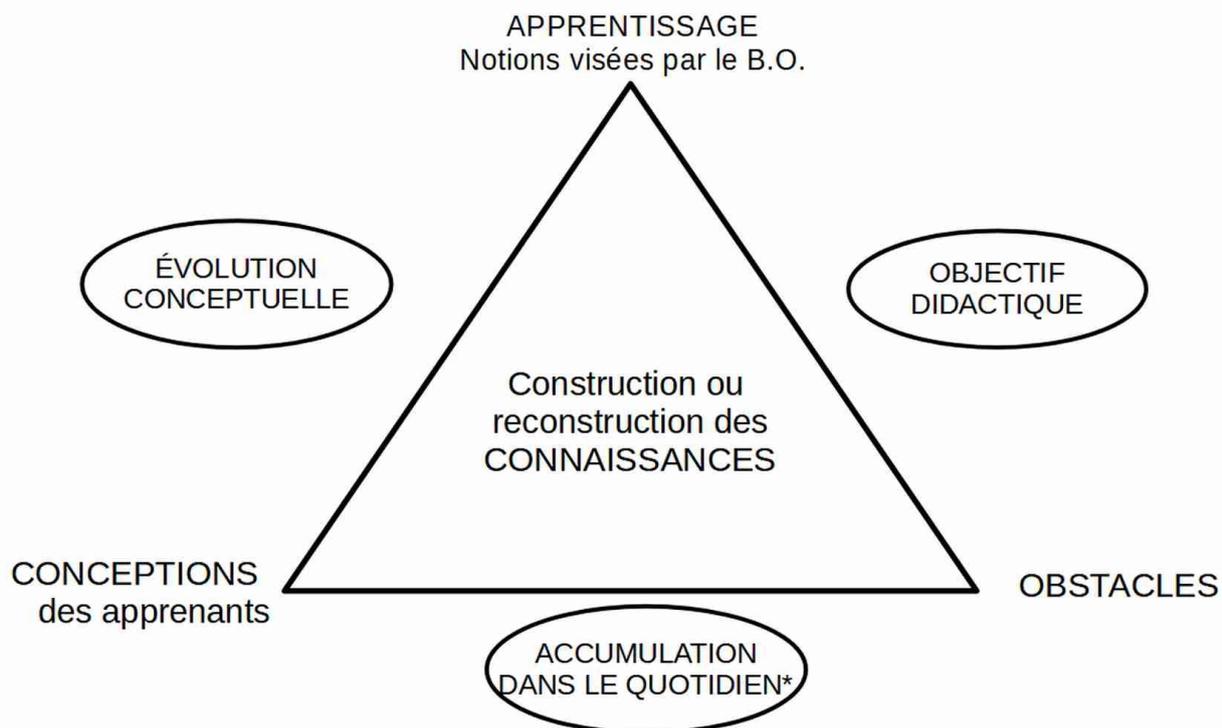


Figure 9 : la connaissance scolaire au prisme des concepts de : apprentissage, conceptions et obstacles (* en référence à Bachelard)

Notre recherche se place dans le cadre théorique de la problématisation qui est développé dans le chapitre 3 et nous avons précisé que l'activité langagière écrite et orale des élèves sera analysée lors de la séquence forcée du chapitre 5. Puisque nous questionnons également les divergences de connaissances entre les attendus institutionnelles et les connaissances des élèves relatives à la nutrition des plantes, le chapitre suivant étaye notre cadre théorique à ce sujet. L'étude épistémologique et didactique du concept de plante et de leur nutrition est l'occasion de faire une mise au point scientifique et historique pour comprendre la longue construction de l'histoire du concept. Ces éléments nous seront utiles lors de l'analyse des recueils de données du chapitre 4 où nous menons une enquête quantitative auprès d'un large panel d'élèves de terminale scientifique. Ils permettront également d'éclairer notre analyse qualitative dans les chapitres 5 et 6 notamment pour l'analyse des obstacles rencontrés par les élèves. Il faut donc comprendre que ce chapitre 2 est en continuité avec nos questions de recherche présentées dans l'introduction. Désormais, nous questionnons les savoirs relatifs aux plantes : quels mécanismes régissent leur nutrition ? Comment ce concept s'est-il construit d'un point de vue historique ?

Chapitre 2 : étude épistémologique et didactique du concept de plante et de leur nutrition

Introduction

1. LA NUTRITION DES PLANTES

1.1 La fonction de nutrition chez les plantes : la possibilité d'une île ?

1.2 Le caractère amphibie de leur nutrition

1.2.1 Les feuilles

1.2.2 Les racines

1.3 La nécessité d'une circulation de matières dans la plante

1.3.1 Les vaisseaux du xylème

1.3.2 Les vaisseaux du phloème

1.3.3 La nécessité d'un flux de matières

1.4 Entre autotrophie et hétérotrophie

1.4.1 Les mycorhizes

1.4.2 La symbiose légumineuses-Rhizobiums

1.4.3 Le parasitisme

1.5 Bilan intermédiaire

2. LES PLANTES ET LEUR NUTRITION : UNE HISTOIRE épistémologique pour comprendre certaines difficultés des élèves

2.1 Les fondements de la botanique

2.1.1 De l'Antiquité à la renaissance

2.1.2 Un tournant du XVII^{ème} jusqu'au début du XVIII^{ème} siècle

2.1.3 Le milieu du XVIII^{ème} et le XIX^{ème} siècle

2.2 L'évolution de la théorie de la nutrition des plantes à travers l'histoire de la botanique

2.2.1 Aux origines de la théorie

2.2.2 Une conception de la nutrition à la fin de la Renaissance

2.2.3 L'évolution rapide de la théorie de la deuxième moitié du XVII^{ème} au début du XVIII^{ème} siècles

2.2.4 Une stagnation des connaissances au XVIII^{ème} siècle

2.2.5 Une nouvelle théorie au début du XIX^{ème} siècle

2.2.6 Des avancées difficiles dans la première moitié du XIX^{ème} siècle

2.2.7 La question des matières nutritives des plantes est tranchée à la fin du XIX^{ème} siècle

2.2.8 Les nouveaux apports à la théorie depuis Sachs de la fin du XIX^{ème} au XX^{ème} siècle

2.2.9 Une proposition de résumé de l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes

2.3 Bilan intermédiaire

3. BILAN DU CHAPITRE 4

Chapitre 2 : étude épistémologique et didactique du concept de plante et de leur nutrition

« Tout le monde le sait, descendre au jardin ne résout pas les problèmes de la vie quotidienne, mais les relativise et les rend plus supportables. Sigmund Freud a eu ce regret tardif : « J'ai perdu mon temps ; la seule chose importante dans la vie, c'est le jardinage. ».

(Hallé, 2008, p.15)

Introduction

« This is a blue planet, but it's a green world » nous rappelle Niklas²⁶. En effet, les plantes, ou *Plantae sensu lato*, sont presque partout sur notre planète même dans les endroits les plus austères, des déserts à l'Arctique, et les plus inattendus lorsqu'elles poussent naturellement comme dans des montagnes rocheuses, dans les fissures du bitume ou incrustées dans les interstices des bâtiments. Au quotidien, elles sont donc dans le paysage qui nous entoure et stockent près de 80 % du carbone contenu dans les êtres vivants (Bar-On, Phillips et Milo, 2018). Elles constituent donc la biomasse principale de la Terre. Comme nous souhaitons focaliser notre recherche sur leur nutrition, deux aspects sont développés dans ce chapitre. D'abord, l'étude scientifique de cette fonction permet de soulever de possibles difficultés d'apprentissage en milieu scolaire. Ensuite, une investigation historique de la construction de la théorie de la nutrition des plantes aspire à éclairer notre enquête didactique (chapitre 5) par la mise en lumière des problèmes scientifiques rencontrés voire des ruptures épistémologiques qui ont été nécessaires. Notre cheminement est conduit dans une logique de problématisation avec un focus sur les nécessités d'absorption, de transformation et de circulation de la matière. Ces 3 nécessités sont, en effet, des points d'ancrage qui guident nos enquêtes dans le chapitre 5.

Nous rejoignons de nombreuses recherches en didactique (Canal de Leon, 1992 ; Orange, 2009b; Rumelhard, 1985 et 1992 ; Lhoste, Peterfalvi et Orange, 2007) pour faire l'hypothèse que certaines difficultés d'apprentissage des élèves dans l'étude de la nutrition des plantes sont identifiables *a priori*. C'est pourquoi nous faisons le choix de débiter la première sous-partie du

26 Niklas Karl Joseph est professeur émérite à la Cornell University, université américaine de l'état de New York, spécialiste de biologie végétale et de leur évolution ainsi que de la phytologie intégrative.

chapitre 2 en soulignant des aspects scientifiques qui caractérisent les adaptations possibles à une vie fixée et nous focalisons nos propos sur la fonction de nutrition. Il faut comprendre que cette sous partie correspond aux savoirs scientifiques sur lesquels nous basons nos analyses dans les chapitres 4, 5 et 6. La deuxième sous-partie est une approche épistémologique où nous cherchons à retrouver les racines de la botanique avant de cibler la lente construction de la théorie de la nutrition des plantes. Il faut dire que, jusqu'au milieu du XX^e siècle, si les plantes forment un groupe distinct des animaux et des champignons, leur place est secondaire, au mieux elles sont belles et utiles. Ainsi, Coccia (2016/2018) qui les présente comme le lien élémentaire que la vie engendre avec le monde, pointe que dans l'histoire du vivant « *la suprématie de la zoologie saute aux yeux* » (Coccia, 2018, p.10). Cette sous partie est un appui essentiel pour comprendre certains obstacles aux apprentissages des élèves.

1. LA NUTRITION DES PLANTES

La fonction de nutrition répond aux besoins d'échanges de matière et d'énergie de l'organisme avec son milieu de vie. Cinq sous fonctions participent à sa définition : l'alimentation pour les apports avec la notion de photosynthèse sous-jacente, la respiration²⁷ comme processus énergétique, la circulation des matériaux, leur assimilation à l'échelle cellulaire et l'élimination des déchets ou l'excrétion de substances. Ainsi, si nous abordons la nutrition dans la suite de notre thèse, c'est plutôt la sous fonction alimentation qui conduit notre enquête. Celle-ci commence par un questionnement pour lequel nous retenons 4 items qui nous paraissent éclaircir une approche scientifique de la nutrition des plantes, nous les reprenons comme sous-parties de notre plan :

- Les plantes vertes : comment se nourrir sans se déplacer ?
- Le caractère amphibie de leur nutrition : comment se nourrir simultanément dans deux milieux différents ?
- La circulation de matières dans les plantes : comment répartir la matière dans toutes les parties ?
- Entre autotrophie et hétérotrophie : quelle place pouvons-nous accorder à l'autotrophie des plantes ?

27 Nous ne retenons que la respiration comme processus énergétique pour la régénération de l'ATP (Adénosine Tri-Phosphate) et des composés réduits, processus le plus répandu chez les pluricellulaires car avantageux au niveau du rendement et par conséquent, d'un point de vue évolutif, sélectionné naturellement.

1.1. La fonction de nutrition chez les plantes : la possibilité d'une île ?

Houellebecq²⁸ imagine dans son roman, « la possibilité d'une île », des néo-humains autotrophes, libérés des contraintes alimentaires ordinaires, qui profitent de l'énergie solaire grâce à leurs pigments photosynthétiques. A l'instar des plantes, cette production d'énergie est suffisante pour le métabolisme mais ne permet pas le déplacement. Se déplacer ou assurer des mouvements fréquents nécessite une grande quantité d'énergie. Cette précision est probablement une clé de compréhension pour distinguer la nutrition végétale de la nutrition animale : « *l'opposition végétal, autotrophe, immobile, et animal, hétérotrophe mobile, est observable quotidiennement* » (Selosse, 2018, p.47). Les plantes seraient, d'un point de vue évolutif, l'origine même de cet immobilisme. En effet, les plastes²⁹, dont les chloroplastes, convoquent une compartimentation singulière à la cellule végétale. La paroi squelettique donne la structure mais limite les échanges de grosses molécules malgré les plasmodesmes et l'évacuation des déchets issus du métabolisme cellulaire est alors impossible : la vacuole est l'organite qui va les accepter. Elle peut occuper la place principale dans la cellule chlorophyllienne. Ces déchets peuvent être toxiques : « *tannins, alcaloïdes, composés générant du cyanure, composés bromés indigestes...[...] Ainsi, la famille de la moutarde, les Brassicacées, contient des composés soufrés irritants, les glucosinolates.* » (Selosse, 2018, p.46).

Cet immobilisme, ou vie fixée perçue dans notre environnement, entraîne un double obstacle épistémologique d'origine anthropomorphique : « *croissance et mouvement nous semblent des processus séparés, de vitesses différentes, mais chez les plantes, ils se confondent : la croissance est le moteur de la motricité. En outre, la sensorimotricité animale est fondée sur des organes dédiés [...] tandis que chez les plantes, elle est plus répartie.* » (ibid, p.20). Pour se nourrir, les plantes ont donc nécessité d'explorer le milieu. Outre la dissémination des graines chez les Angiospermes qui facilite l'exploration du milieu, des adaptations au milieu aérien et souterrain sont à l'origine de leur conquête terrestre.

28 Houellebecq, M. (2005). *La possibilité d'une île*. Fayard.

29 Chez les plantes vertes, le plaste est à l'origine d'une cellule photosynthétique qui est incorporée dans une autre cellule par un mécanisme d'endosymbiose dit primaire ; il devient organite et peut se spécialiser pour accomplir différentes fonctions : chloroplaste photosynthétique, amyloplaste pour les réserves de matière, chromoplaste pour la couleur des fruits.

1.2. Le caractère amphibie de leur nutrition

Dumas et Boussingault affirmaient (1842, p.5-6 cités par Coccia, 2016/2018, p.80) que « *si le règne animal constitue un immense appareil de combustion, le règne végétal, à son tour, constitue donc un immense appareil de réduction* ». Si tous les scientifiques ne s'accordent pas à cette proposition, il reste vrai que la fabrication de matière organique par les plantes vertes et certaines bactéries nécessite la réduction du CO₂. Or, celle-ci n'est possible que par l'utilisation de l'énergie lumineuse³⁰. Les substances carbonées synthétisées exigent en effet un apport en énergie. Nous comprenons donc que, lorsqu'elle est comparée aux animaux, une conception fonctionnelle de la nutrition des plantes est un obstacle majeur pour les élèves (Bosdeveix, 2016). Par ailleurs, un autre obstacle concerne la double nutrition des plantes comprises dans une forme de complémentarité : la nutrition aérienne par les feuilles et la nutrition souterraine par les racines. Cela souligne donc un caractère amphibie (Coccia³¹, 2016/2018) qui, selon nous, est une difficulté d'apprentissage pour les élèves d'un point de vue conceptuel.

1.2.1. Les feuilles

La feuille peut être considérée comme une solution évolutive à l'espace aérien, elle est : « *la première grande réaction à la conquête de la terre ferme, le résultat principal de la terrestriation des plantes* » (Coccia, 2016/2018, p.39). Ces dernières peuvent fabriquer leur propre matière organique à partir de lumière, de CO₂, d'eau (H₂O) et de minéraux : « *la photosynthèse, prouesse du monde végétal, est un processus vieux comme le monde ou presque, apparu chez des microbes il y a plus de trois milliards d'années* » (Lenne, 2014, p.52). Nous résumons les processus de la photosynthèse par l'équation suivante (figure 10) afin de guider la suite de nos propos :

30 La lumière est un rayonnement électromagnétique dont le spectre qui nous intéresse se décompose en rayons gamma, rayons X, ultraviolet, infrarouge, ondes radios (ondes courtes). La lumière visible (entre l'ultraviolet et l'infrarouge) se situe entre 400 et 700 nm.

31 Emanuele Coccia, philosophe, est Maître de Conférence à l'École des Hautes Études en sciences sociales. En 2017, l'ouvrage *La vie des plantes* reçoit le *Prix des Rencontres philosophiques de Monaco*. En 2018, il signe l'avant propos de la revue *Pour la Science* (n°101, novembre-décembre 2018) consacrée à *La révolution végétale*. En 2019, il est conseiller scientifique de l'exposition "*Nous les arbres*" à la *Fondation Cartier pour l'art contemporain*.

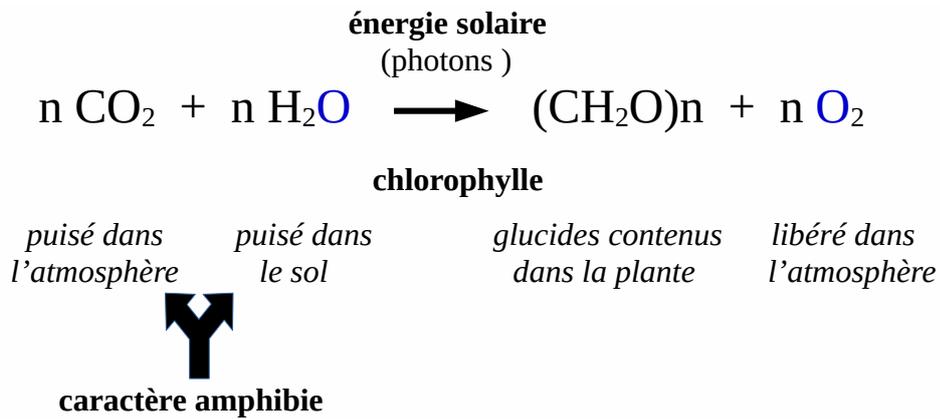


Figure 10 : équation représentant l'ensemble de la photosynthèse pour les Embryophytes³² (en bleu : l'origine du dioxygène selon Hill – l'équation n'est pas équilibrée³³)

Nous reprenons les deux intrants aériens de la plante verte :

- **l'énergie solaire** : le rayonnement solaire est formé de photons qui sont des radiations électromagnétiques dont les longueurs d'ondes³⁴ dites actives pour la photosynthèse sont comprises entre 500 et 700 nm. Chaque photon est une quantité d'énergie ou quantum. Les pigments chlorophylliens sont compris dans la membrane des thylacoïdes. Il s'agit essentiellement de la chlorophylle a, mais il existe d'autres pigments représentés en moindre quantité : la chlorophylle b, les caroténoïdes, des xanthophylles. La feuille est une vaste surface d'absorption de la lumière : « *des expériences [...] montrent que les photons bleus et rouges sont surtout absorbés au niveau du parenchyme palissadique³⁵ où le nombre de chloroplastes par cellule est le plus grand et où la photosynthèse est la plus rapide* » (Meyer, Reeb et Bosdeveix, 2019, p.130). Il s'opère une réaction de conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique sous forme d'ATP³⁶ et de NADPH (pouvoir réducteur).
- **le CO₂** : ce gaz est en très faible proportion dans l'air : environ 0,04 % soit 400 ppm selon l'Organisation Météorologique Mondiale³⁷. Il est absorbé, grâce aux stomates, de façon passive suivant un gradient de concentration décroissant. L'incorporation du CO₂ se fait

32 Les Embryophytes, appelées autrefois les Cormophytes (plantes à tige), représentent un groupe qui réunit l'ensemble des plantes terrestres, des Bryophytes aux Angiospermes.0,0

33 Ruben et Kamen (1938) montre l'origine du dioxygène produit lors de la photosynthèse à partir d'un isotope lourd de l'oxygène ¹⁸O. Lorsque l'eau H¹⁸O₂ est marquée alors le dioxygène issu de la photosynthèse est marqué.

34 Les longueurs d'ondes visibles dans l'air pour l'Homme s'étendent de 400 à 740 nm.

35 Le parenchyme palissadique est la partie supérieure du mésophylle lui-même partie intérieure de la feuille. Il est constitué de cellules allongées, jointives et riches en chloroplastes.

36 L'ATP pour Adénosine Tri-Phosphate est la molécule énergétique universelle. Elle renferme de l'énergie qui peut être libérée lors de l'hydrolyse de la molécule qui affecte une liaison phospho-diester.

37 Site de l'OMM repéré le 17/03/2020 à : <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/mont%C3%A9-en-fl%C3%A8che-des-concentrations-de-gaz-%C3%A0-effet-de-serre-nouveau>

dans le stroma des chloroplastes selon le cycle de Calvin (1950) où la Rubisco³⁸ permet son intégration en une molécule à trois atomes de carbone : le triose phosphate. Celui-ci peut se transformer en une molécule de glucose phosphate qui lui-même peut devenir du saccharose. Cette molécule peut être transportée par le phloème pour être stockée dans des vacuoles sous forme d'amidon ou utilisée à la faveur du métabolisme cellulaire. Nous devons à Hill en 1937 le rôle de l'eau dans la photosynthèse : « *Hill constate que des chloroplastes isolés, en suspension, pouvaient à la lumière provoquer un dégagement d'oxygène en présence d'un oxydant [...] et cela sans qu'il y ait présence de CO₂* » (ibid, p.183-184). Ainsi, la photosynthèse doit être comprise comme une réduction du CO₂, plus précisément comme une « *oxydo-réduction entre le gaz carbonique (qui se réduit) et l'eau qui s'oxyde* » (ibid). L'origine du dioxygène rejeté dans l'atmosphère provient donc de l'eau. Par conséquent, dans sa forme thermodynamique schématique, la photosynthèse est une oxydoréduction de l'eau soumise à l'énergie solaire : la photolyse de l'eau. Heller (ibid) résume ce principe sous la forme d'une équation (figure 11) :



Figure 11 : équation représentant la photolyse de l'eau
(potentiel normal d'oxydoréduction est + 0,81 V)

Finalement, la feuille peut être considérée comme un système ouvert qui laisse entrer de la matière (CO₂ et H₂O) et de l'énergie, fabrique de la matière organique (glucides C, H, O) et en libère (O₂). Ainsi, Coccia (2016/2018, p.42) affirme que « *la feuille est la forme paradigmatique de l'ouverture : la vie est capable d'être traversée par le monde sans être détruite par lui. Mais elle est aussi le laboratoire climatique par excellence, la cornue qui fabrique et libère dans l'espace l'oxygène, l'élément qui rend possible la vie* ».

1.2.2. Les racines

« *Pourquoi tant de cendres après un feu de bois ?* » interroge Delaveau (2003, p.62), ce à quoi il répond c'est « *parce qu'au cours de leur édification, les tissus lignifiés se sont chargés d'importantes quantités de sels minéraux* ». Le sol est, pour la plante, la source presque exclusive de l'eau et des minéraux essentiels à son fonctionnement. Nous le présentons en cinq éléments avant d'aborder les racines puisqu'il s'agit de leur milieu de vie :

38 La Rubisco, pour ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygénase, est l'enzyme clé de la photosynthèse. Elle correspond à 40 % des protéines solubles de la feuille.

- la phase solide : constituée de l'altération de la roche mère ;
- la phase liquide : appelée aussi solution du sol, elle permet la nutrition hydrique et minérale ;
- la phase gazeuse : le sol renferme des gaz dont le dioxygène indispensable à la respiration racinaire ;
- les êtres vivants : outre la racine elle-même, des bactéries, des champignons sous forme de mycélium, des vers, des arthropodes...
- des exsudats racinaires : qui comprennent « *des glucides, acides aminés, acides organiques, etc.) faisant du sol un compartiment d'excrétion* » pour la plante (Meyer, Reeb et Bosdeveix, 2019, p.152).

« *Le système racinaire de la plupart des plantes est très étendu et représente plus de 50 % de la masse totale de la plante* » indique Opkins (2003, p.21), ce qui permet d'avoir un autre regard sur l'ensemble de cet être vivant. La racine est, en effet, une vaste forme énigmatique, puisque souterraine, et elle caractérise les plantes comme « *des êtres ontologiquement amphibies*³⁹ » (Coccia, 2016/2018, p.104). Mais d'un point de vue évolutif, les racines n'ont pas l'importance originelle de la fonction photosynthétique des plantes. Pour autant, leur volume racinaire est 2 à 3 fois supérieur à celui des parties aériennes rappelle Lenne (2014). Ainsi, Dittmer (1937) précise qu'un plant de seigle (*Secale cereale L.*) peut atteindre jusqu'à 400 cents mètres carrés de surface dans le sol soit 130 fois plus que son appareil aérien. Celle-ci permet donc à la plante de rentrer en contact avec les éléments du sol mais aussi des autres racines de la même espèce ou d'espèces différentes. Certains imaginent donc un véritable espace de communication souterraine où circule la matière. Cela est rendu possible par l'extrémité des racines, le pilorhize ou coiffe, qui est pourvue d'une structure renforcée qui permet d'investir le milieu. Par ailleurs, la gravité les oriente vers le bas : c'est le géotropisme. De nombreuses expériences ont en effet montré un *preferendum* de la croissance racinaire vers les profondeurs (Nultsch, 1998). Cela permet à la plante de récupérer l'eau et les minéraux pour assurer le métabolisme général de la plante.

39 Selon Coccia (2016, p.181) c'est Dov Koller (2011, p.1) qui a explicité cette nature amphibie de la plante : « *In this respect, all but very few plants are obligate amphibians, with part of their body permanently in the aerial environment and the remaining part within the soil. This structural differentiation in plants is based on function* »

L'eau, quant à elle, pénètre par osmose⁴⁰ dans la racine. En effet, cette dernière possède une couche externe qui forme un ensemble de cellules continues, le rhizoderme, très perméable (Maurel, Moreau, Prat, Sentenac et Morot-Gaudry, 2017). L'eau peut pénétrer aisément dans la plante pour deux raisons. D'abord : « *l'hypertonie des cellules absorbantes, c'est à dire l'excès de leur pression osmotique sur celle du milieu* » (Heller, 1977/1989, p.39) permet de maintenir la forte concentration de cellules racinaires qui sont alors plus concentrées que la solution du sol. Ensuite, parce que « *la succion exercée par les parties aériennes, notamment du fait de leur transpiration* » (ibid) agit comme une pompe aspirante. Par ailleurs, l'eau est indispensable et impose aux cellules leur forme qui, dans les extrêmes, s'étend de leur turgescence (cellules gorgées d'eau) à leur plasmolyse (rétraction du contenu cellulaire). L'entrée de l'eau est « *un phénomène passif au sens thermodynamique du terme, dû à la différence négative entre le potentiel hydrique du poil absorbant et celui du sol* » (Heller, Esnault et Lance, 1998/2004, p.43). Elle se définit donc par son potentiel hydrique⁴¹, et l'eau peut circuler via la paroi pectocellulosique des cellules, le cytoplasme et le symplasme où des plasmodesmes permettent le passage de cellule à cellule. Des protéines appelées aquaporines⁴² facilitent l'entrée de l'eau à travers les membranes cellulaires : il s'agit donc d'un transport passif.

Les minéraux pénètrent la plante sous forme d'ions⁴³ grâce à un transport passif ou actif⁴⁴. Il faut savoir que les cellules absorbent les ions de façon sélective, ainsi cette « *sélectivité s'exerce l'encontre de certains ions, comme le sodium, qui pénètrent très mal dans les cellules. A l'inverse elles accumulent certains autres comme le potassium, qui s'y trouvent alors à des concentrations plus élevées que dans le milieu* » (Heller, 1977/1989, p.84). Les plantes ont un besoin absolu d'éléments minéraux mais, à l'exception⁴⁵ du Carbone, de l'Hydrogène, et de l'Oxygène, en faible quantité. Citons l'azote N, 1 à 3 % de la matière sèche selon Heller (ibid), un élément qui rentre dans la composition de nombreuses molécules comme les acides aminés, les protéines, l'ADN... Le

40 L'osmose est un processus qui règle les déplacements de l'eau entre deux compartiments : du milieu le moins concentré vers le plus concentré.

41 Le potentiel hydrique est « *considéré comme une grandeur traduisant la somme des forces s'exerçant sur l'eau dans un compartiment donné. Tous les mouvements d'eau se font selon les gradients de moindre potentiel, c'est-à-dire du système le plus hydraté au système le moins hydraté* » (Maurel, Moreau, Prat, Sentenac et Morot-Gaudry (Dir.), 2017, p.27).

42 A propos des aquaporines, protéines « *analogues aux canaux ioniques, ces protéines participeraient à la régulation des échanges hydriques. Entre les cellules, elles faciliteraient les transports d'eau de vacuole à vacuole* » selon Heller, Esnault et Lance, 1998/2004.

43 « *Sauf peut-être pour ceux qui donnent des bases faibles et lorsque le pH du milieu est élevé : Fe²⁺, NH₄⁺, etc, qui entrent, semble-t-il, sous forme d'hydrates* » (Heller, 1977/1989, p;84).

44 Le transport actif est assuré soit par des pompes ioniques ou un système de co-transport (symport ou antiport), ce qui nécessite de l'ATP (Maurel, Moreau, Prat, Sentenac et Morot-Gaudry, 2017).

45 Selon les auteurs, les trois éléments C, H, O représentent en masse plus de 90 % du résidu sec (C : 40 % à 50 %, O de 42 à 45 %, H de 6 à 7%).

magnésium Mg, 0,1 à 0,7 % (ibid), élément indispensable pour la constitution de la chlorophylle, pigment photosynthétique par excellence. Leur importance vient du fait que, même en petite quantité, si un ou plusieurs des 13 éléments minéraux vien(nen)t à manquer, il(s) provoqu(e)nt des résultats spectaculaires. Nous reprenons les exemples de l'azote, du phosphore et du potassium que nous résumons dans le tableau 1.

Tableau 1 : 3 éléments essentiels puisés dans le sol et symptômes associés sur une Angiosperme en cas de carence d'après Meyer, Reeb et Bosdeveix (2019, p.154-155)

Éléments	Rôles principaux des assimilats	Symptômes d'une carence chez les Angiospermes
Azote N	- <i>constituant essentiel pour la structure et le fonctionnement cellulaire</i>	- <i>nanisme de l'appareil aérien au profit des racines</i> - <i>jaunissement prématuré des feuilles</i>
Phosphore P	- <i>métabolisme (phosphorylation)</i> - <i>contrôle de la synthèse de saccharose et d'amidon</i>	- <i>retard de la floraison</i> - <i>tiges et feuilles couleur pourpre</i>
Potassium K	- <i>régulation de l'hydratation et de l'équilibre ionique</i> - <i>implication dans l'ouverture et la fermeture des stomates</i> - <i>activation des enzymes</i>	- <i>dessèchement des bords et du bout de la feuille qui s'enroulent</i>

1.3. La nécessité d'une circulation de matières dans la plante

Nous avons expliqué précédemment que l'eau circulait de cellules à cellules par l'apoplasme⁴⁶ et le symplasme⁴⁷. Considérant les Cormophytes, c'est-à-dire les plantes qui possèdent tige(s), racines, feuille(s) et fleur(s), et sachant qu'ils exploitent l'air et le sol, nous envisageons maintenant le transport des matières dans l'ensemble de la plante. Cela nécessite une circulation des matières assuré par un double système de conduction qui assure ce transport : les vaisseaux du xylème et ceux du phloème.

1.3.1. Les vaisseaux du xylème

La solution du sol prélevée par les racines constitue la sève brute. Celle-ci rejoint un ensemble de tissus spécialisés appelés « vaisseaux du xylème », ou « trachéides » pour les plus

46 Les parois cellulosesiques forment un continuum entre les différentes cellules : cela correspond à l'apoplasme.

47 Le réseau cytoplasmique intercellulaire, via les plasmodesmes, correspond au symplasme.

petits. Ils correspondent à des cellules mortes aux parois lignifiées⁴⁸ et rigides, elles comprennent des ponctuations qui assurent le passage de la sève dans les vaisseaux. Cette sève est une solution très diluée comprenant « 99 % d'eau et 1 % de substances dissoutes (dont des minéraux), [...] des gaz dissous (CO₂, O₂, N₂). Son pH est légèrement acide (entre 5,4 et 6,5) » (Meyer, Reeb et Bosdeveix, 2019, p.174). Elle se déplace « jusqu'à 60 mètres par heure » (Lenne, 2014, p.60). Son ascension, des racines au sommet de la plante, est rendue possible par un phénomène qualifié de « pompe aspirante⁴⁹ ». En effet, à la lumière, les stomates des feuilles sont ouverts : ils laissent diffuser les gaz : CO₂, O₂ et H₂O sous forme vapeur. Or, un film liquide recouvre les parois cellulaires et « l'air présent dans les espaces vides qui emplissent la feuille (les lacunes) assèche le film liquide » (ibid, p.61) : c'est le principe de l'évaporation. Nous savons également que les molécules d'eau ont une cohésion⁵⁰ forte. Aussi, l'eau vapeur qui diffuse selon un gradient décroissant d'humidité, est alors diffusée vers l'extérieur via les stomates : c'est le mécanisme de la transpiration. L'ensemble évaporation et transpiration est appelé « évapotranspiration ». Il est responsable de l'appel d'eau qui doit compenser l'assèchement des parois cellulaires, ce qui entraîne un phénomène de succion dans les vaisseaux du xylème. Le moteur de l'ascension de la sève brute s'exprime par la trilogie « tension-cohésion-adhésion » (ibid). Comment peut alors s'effectuer le transport la nuit ? Un autre mécanisme entre en jeu : la guttation⁵¹. Il a été démontré par Halles en 1727 sur « les pleurs de vigne ». Étant donné que les racines sont actives la nuit, elles effectuent une poussée sur l'eau qui est alors secrétée par des pores. Cela assure le maintien d'un flux minimum dans la plante.

1.3.2. Les vaisseaux du phloème

La deuxième sève est dite « élaborée » puisqu'elle est fabriquée par les parties vertes de la plante, surtout les feuilles. Par conséquent, elle est plus concentrée, notamment en sucres issus de la

48 La lignine est l'essence même du bois, un polymère polyphénolique complexe qui possède « une grande hydrophobie [...] élément majeur de la bonne circulation de la sève ». Repéré le 19/03/2020 à http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/bois/bois_chimie.htm

49 Toutefois, le modèle de « pompe aspirante » ne doit pas occulter l'explication scientifique du modèle de tension-cohésion-adhésion pour la circulation de l'eau dans la plante. C'est pour cela que Lenne (2014, p.61) affirme que ce dernier modèle permet de comprendre que pour des grands arbres, comme le Séquoia géant, « des colonnes d'eau peuvent monter jusqu'à cent mètres au dessus du sol » quand une pompe à eau est en réalité limitée à quelques mètres.

50 Chaque molécule d'eau comprend 2 liaisons hydrogène mais peut aussi avoir 4 autres liaisons hydrogène avec ses molécules voisines. « Les liaisons hydrogène dans l'eau n'ont qu'une durée de vie de 10⁻¹² secondes. Mais en revanche, elles ne cessent de se former constamment et donc les liaisons hydrogène représentent une force qui maintient ensemble les molécules d'eau et qui lui confère une particularité que n'ont que peu d'autres solvants : la cohésion ».

Repéré le 19/03/2020 à : <http://biochimej.univ-angers.fr/Page2/COURS/3CoursdeBiochSTRUCT/1EAU/1H2O.htm>

51 « Au lever du jour, les feuilles de Poacées portent une goutte d'eau bien visible à leur extrémité » rappellent Reeb, Meyer et Bosdeveix (2019, p.177).

photosynthèse et des acides aminés qui proviennent de ces mêmes sucres et qui intègrent l'élément azote. Les vaisseaux du phloème sont constitués, quant à eux, de cellules vivantes dites « criblées ». Cela veut dire que « *chaque tube criblé est une série d'éléments criblés vivants, dont le cytoplasme est mis en continuité par les pores des cribles* » (Reeb, Meyer et Bosdeveix, 2019, p.179). La circulation de cette sève est multidirectionnelle, comme l'ont montré « *des études fondées sur l'expérience d'écorçage de Malpighi (XVIIème siècle)* » (ibid), descendante en direction des racines mais aussi ascendante en direction des fruits ou des bourgeons. Lenne (2014) indique qu'elle est beaucoup plus lente, de l'ordre du mètre par heure : « *la sève élaborée circule passivement dans le symplaste du phloème selon un gradient de pression établi par des phénomènes osmotiques* » (Reeb, Meyer et Bosdeveix, 2019, p.181). Ainsi, le moteur de la circulation correspond au chargement et déchargement des matières élaborées. En revanche, cette distribution n'est pas homogène au sein de la plante, elle dépend « *du devenir métabolique des assimilats* » (ibid). Les bourgeons où l'activité métabolique est intense, par exemple, sont de grands consommateurs.

1.3.3. La nécessité d'un flux de matières

L'autotrophie de la plante n'est possible que par un apport constant de matière et d'énergie dont l'origine est atmosphérique et pédologique. Si le transport est une condition indispensable pour répartir les ressources, il revient à considérer que de vastes surfaces d'échanges existent. Elles sont représentées par les feuilles et les racines. La plante, comme tout être vivant, peut alors être considérée comme « *une usine à entropie : (elle) rejette continuellement de l'entropie grâce au flux d'eau qui la traverse* » (ibid, p.186). Celle-ci permet d'évacuer la chaleur par « *transpiration et par échanges thermiques avec l'air (convection et infrarouge)* » (ibid). La figure 12 résume l'autotrophie et le flux d'énergie et de matière d'une plante supérieure :

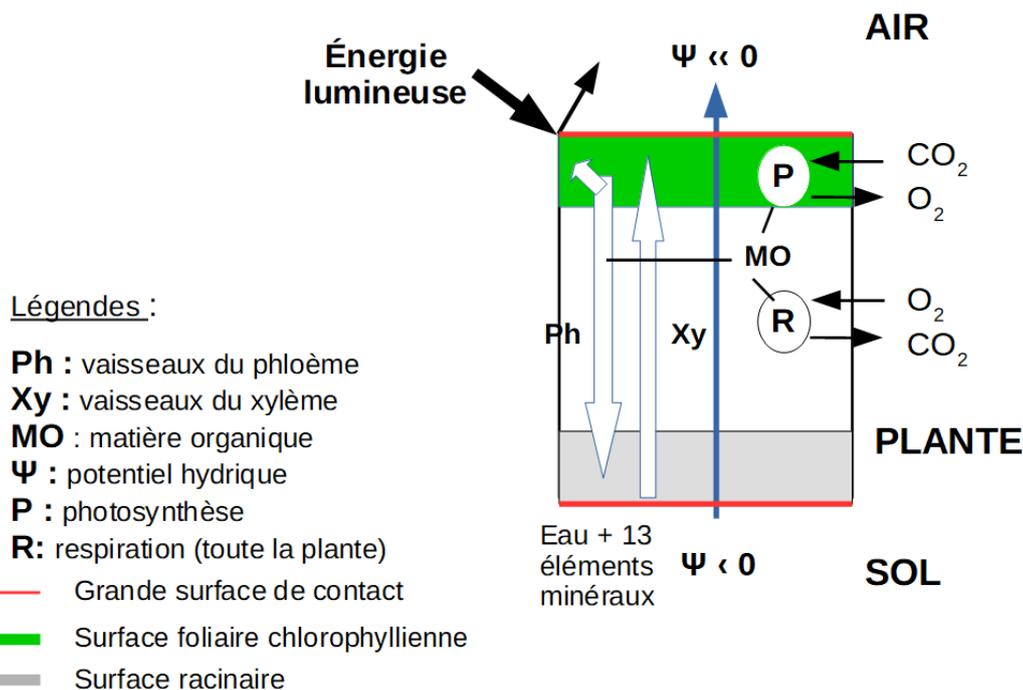


Figure 12 : l'autotrophie de la plante : un flux de matière et d'énergie. Figure modifiée selon nos besoins d'après la proposition de Meyer, Reeb et Bosdeveix (2019, p.185)

Finalement, la réduction du CO₂ (photosynthèse) et l'oxydation de la matière organique assurent les échanges énergétiques. Cette chimiosynthèse permet à la fois de nourrir la plante par autotrophie (synthèse et renouvellement) mais aussi de synthétiser de l'énergie sous forme de composés réducteurs et d'ATP. C'est pourquoi Heller (1977/1989, p.264) précise que « *les phototrophes sont aptes à élever le potentiel thermodynamique de la biosphère en captant l'énergie extérieure du globe, la mettant sous une forme biochimiquement utilisable* ».

1.4. Entre autotrophie et hétérotrophie

Si nous soulignons cette extraordinaire potentialité qu'ont les plantes à fabriquer leur propre nourriture, il convient de rappeler que cette autotrophie n'est pas généralisable à l'ensemble du groupe. Pourtant, ni les programmes de SVT (cycle 4 et lycée), ni les manuels scolaires ne relèvent cet aspect, ce qui pourrait être à l'origine de difficultés et/ou de malentendus chez les élèves. D'ailleurs, la plante elle-même possède la fois des parties autotrophes (les feuilles généralement) et des parties hétérotrophes (les racines par exemple). Par ailleurs, elles « *ne poussent pas de façon axénique [...] elles hébergent de nombreux microorganismes, bactéries ou champignons, bénéfiques ou néfastes à leur surface, dans leurs tissus et au voisinage de leurs système*

racinaire » » indique Uroz, Deveau et Cébron (2018, p.25). Le microbiote est associé à leur développement et la santé mais également pour leur nutrition, il est même essentiel dans l'accès à des réserves de certains nutriments. C'est pourquoi cette partie est consacrée à trois modalités originales de nutrition : les mycorhizes, la symbiose Légumineuse-Rhizobiums et le parasitisme.

1.4.1. Les mycorhizes

A l'exception des Brassicacées⁵², chez la grande majorité des plantes, 95 % selon certains auteurs (Maurel, Moreau, Prat, Sentenac et Morot-Gaudry, 2017), il n'y a pas de poils absorbants pour prélever la solution du sol mais des mycorhizes. Une mycorhize peut être « *considérée comme un nouvel organe associant, physiquement et dans une relation symbiotique, les tissus périphériques d'une racine au mycélium d'un champignon* » (ibid, p.61). Cette relation va décupler l'absorption de la solution du sol puisqu'à 1 mètre de longueur de racine correspond environ 1 kilomètre de filaments fongiques (Lenne, 2014). Le champignon est en effet un puissant récupérateur d'eau et d'ions, notamment pour le phosphore et l'azote, mais il peut également fournir des acides aminées et des molécules phosphatées aux racines. En échange, ces dernières peuvent livrer des produits de la photosynthèse sous forme d'exsudats : des sucres, des acides organiques, des chélats... Sur la base de critères anatomiques, morphologiques et physiologiques, deux types de relation sont décrites : les ectomycorhizes et les endomycorhizes.

Les ectomycorhizes sont associées à la majorité des arbres (Conifères, hêtre, chêne etc.) indique Heller (1977/1989), environ 10 % des plantes vasculaires. Dans ce type de relation, les filaments emballent les extrémités des racines et vont jusqu'à pénétrer entre les cellules corticales de la plante en un réseau appelé « réseau de Hartig » (figure 13).

Les endomycorhizes réalisent une association encore plus intime puisque les filaments du champignon pénètrent l'intérieur des cellules à la manière d'un arbuscule (figure 36). Pour autant, si « *les hyphes franchissent les parois et repoussent la membrane plasmique des cellules hôtes* » elles ne pénètrent pas (Maurel, Moreau, Prat, Sentenac et Morot-Gaudry, 2017, p.61). Cette relation est privilégiée chez les plantes herbacées et pour 80 % des plantes vasculaires.

52 Dans la nouvelle classification, les Crucifères correspondent à la famille des Brassicacées comme le chou, le cresson, le navet, le radis, la roquette...

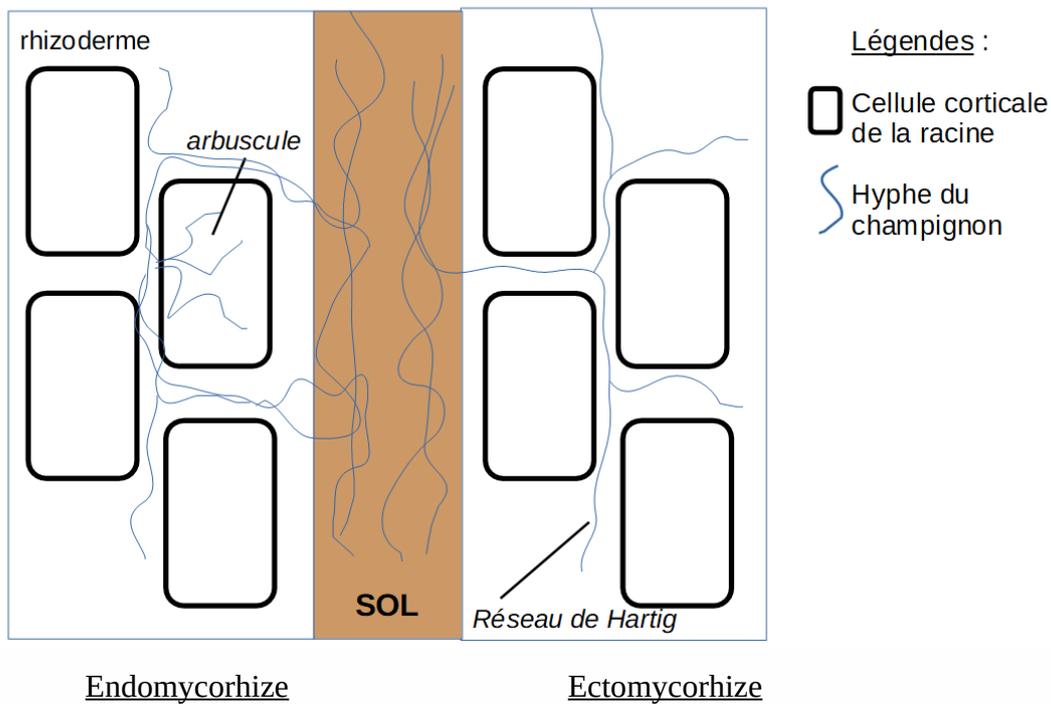


Figure 13 : les deux types de mycorhization

1.4.2. La symbiose légumineuses-Rhizobiums

Heller (1977/1989, p.135) rappelle qu'en « 1838, l'agronome français J.B. Boussingault montra que les Légumineuses⁵³ peuvent assimiler l'azote de l'air ». Leurs racines présentent des nodosités ou nodules qui renferment des bactéries des genres Rhizobiums. Celles-ci envahissent les cellules du rhizoderme qui s'hypertrophient et entrent en mitose : les bactéries se multiplient et le nodule grossit. Heller (ibid) précise que les bactéries se réunissent en formes plus ou moins globuleuses et deviennent des bactéroïdes au sein même de la cellule racinaire. Ces bactéroïdes synthétisent de la nitrogénase, enzyme qui assure la fixation du diazote N_2 qui est alors converti en ammoniacque NH_3 . En retour, la plante fournit des assimilats carbonés aux bactéries. Il s'agit bien d'une symbiose qui assure à la plante une autotrophie vis-à-vis de l'azote N.

1.4.3. Le parasitisme

Le parasitisme est une autre relation interspécifique dont un protagoniste profite au dépend de l'autre qui, par conséquent, est considéré comme son hôte. Dans le groupe des plantes, seules les

⁵³ Les Légumineuses correspondent, dans la nouvelle classification, à la famille des Fabacées : haricots, lentilles, petits pois, soja...en sont des exemples. Cette famille comprend de très nombreux genres qui sont cultivés pour leur source en protéines végétales.

Angiospermes sont parasites et représentent environ 2 % du phylum. Cette association est soit obligatoire comme *Orobanche hederæ* (parasite du lierre), soit facultative, mais dans ce dernier cas, la plante parasite est alors moins développée : c'est le cas de *Rhamphicarpa fistulosa* (parasite du riz). Le plus souvent, la relation affecte les racines (parasite épirhize), dans une moindre mesure les tiges (parasite épiphyte). Nous distinguerons, selon la proposition reprise par Meyer, Reeb et Bosdeveix (2019) : les Angiospermes hémiparasites (88%) des holoparasites (12%).

- Les hémiparasites sont toujours chlorophylliens, c'est-à-dire qu'ils réalisent la photosynthèse pour produire leur matière carbonée. En revanche, ils prélèvent de l'eau et des ions indispensables par l'intermédiaire de leur hôte. Le gui, *Viscum album*, est un exemple caractéristique. Fixé à une branche, il pénètre dans le cambium de la branche de nombreux arbres comme l'aubépine, le robinier, le pommier, le tilleul et surtout le peuplier. Il détourne une partie de la sève brute à l'aide d'un suçoir.
- Les holoparasites ont, d'un point de vue évolutif, perdu secondairement leur chlorophylle et deviennent parasites obligatoires vis-à-vis de la nutrition carbonée. L'exemple de la Néottie nid d'oiseau, *Neottia nidus-avis*, une orchidée qui pousse sur les racines du hêtre. La particularité est que le hêtre est en symbiose avec une ectomycorhize, celle-ci réalise donc un pont mycorhizien avec le parasite. Lenne (2014) décrit certaines Orchidées terrestres comme des phagocytes puisqu'elles vont jusqu'à pénétrer le manchon mycorhizien au niveau des cellules corticales racinaires. A cet endroit, l'orchidée nécrose le peloton mycélien et « la symbiose dégénère en parasitisme [...] elle le phagocyte, au cours d'un repas barbare nommé tolypophagie » (ibid, p.76). Un exemple singulier est celui de *Thismia neptunis*⁵⁴, plante des forêts de la Malaisie, qui est un parasite obligatoire d'un champignon (Sochor, Egertova, Hrones et Dancak, 2018). Cette relation est qualifiée de mycohétérotrophie.

1.5. Bilan intermédiaire

La nutrition des plantes est caractérisée par l'autotrophie, une divergence profonde qui les sépare du mode d'alimentation des animaux : « l'essentiel de leur alimentation est constitué de substances ubiquistes : CO₂, eau et sels minéraux ; ces derniers varient avec les sols, mais ne peuvent guère faire l'objet d'un choix » (Hallé, 1999, p.303). Toutefois, cette autotrophie n'est pas

⁵⁴ *Thismia neptunis* a été décrite pour la première fois par le botaniste Beccari en 1866. Nous devons à une équipe scientifique tchèque sa redécouverte 150 ans plus tard.

la panacée de l'ensemble du phylum. Par leurs échanges lors de la photosynthèse, les plantes produisent du dioxygène et fixent le CO₂ qu'elles incorporent sous forme d'énergie chimique. C'est pourquoi elles « *constituent une ressource qui est l'amorce des chaînes alimentaires [...] (et) une ressource alimentaire indispensable pour les êtres humains* » (Meyer, Reeb et Bosdeveix, 2019, p.191). Cette nutrition n'est pas si simple puisqu'elle nécessite un flux de matières au sein même de la plante. Nous pensons que cette complexité pourrait être à l'origine de difficultés possibles d'apprentissage chez les élèves. La figure (14) suivante résume nos propos :

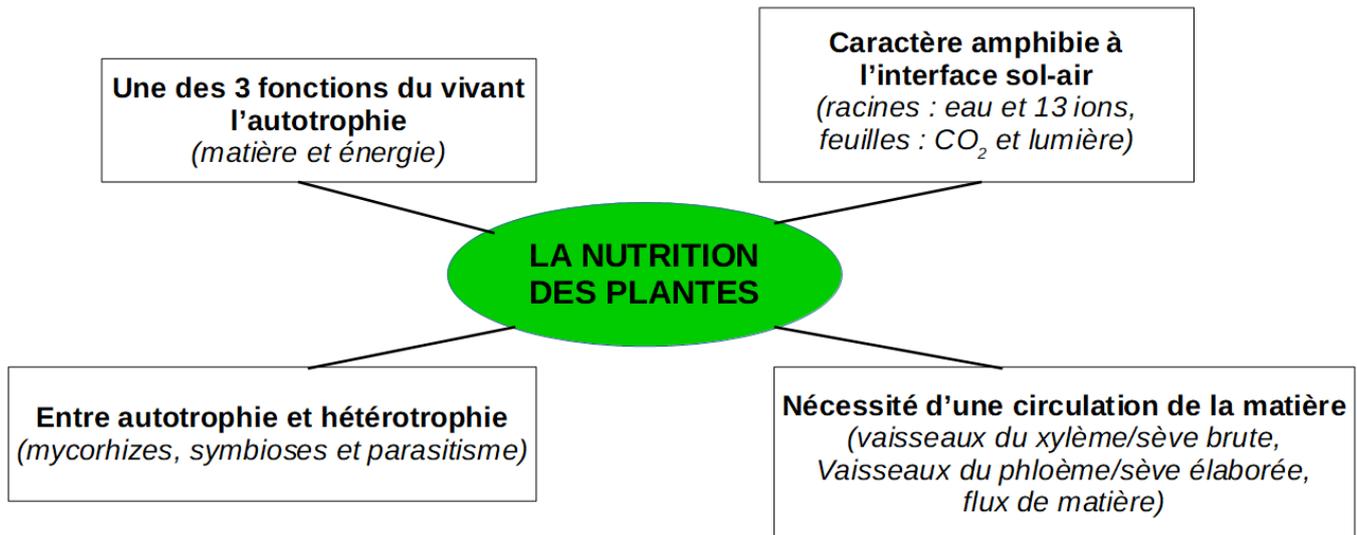


Figure 14 : des particularités de la nutrition des plantes

Nous fixons maintenant notre cap du côté de l'histoire des sciences pour nous éclairer, dans une théorie de la connaissance (Piaget, 1950), à déterminer l'origine possible des savoirs relatifs à la nutrition des plantes. Cette voie permet d'identifier des problèmes qui sont autant de difficultés d'apprentissage pour les élèves. Il s'agit également de repérer des obstacles à la construction d'une théorie de la nutrition des plantes élaborée sur un temps long.

2. LES PLANTES ET LEUR NUTRITION : UNE HISTOIRE ÉPISTÉMOLOGIQUE POUR COMPRENDRE CERTAINES DIFFICULTÉS DES ÉLÈVES

Pour Rousseau (1782/1972, p.475), « *Les plantes semblent avoir été femées avec profufion fur la Terre, comme les Etoiles dans le Ciel, pour inviter l'Homme, par l'attrait du plaifir et de la*

curiosité, à l'étude de la Nature». Alors, à quoi servent les plantes ?⁵⁵ Une question ironique que soulevait Jean-Marie Pelt dans un documentaire audio en 1985. Notre objectif n'est ni contemplatif ni polémique. Ce deuxième point du chapitre 2 n'est pas non plus à entrevoir comme un simple récit de la construction de la théorie de la nutrition des plantes mais comme une histoire épistémologique. Celle qui pourrait faire émerger les problèmes et les ruptures justifiant la lente élaboration de la théorie. Cette perspective est, selon nous, utile pour analyser les productions orales et écrites des élèves que nous présentons dans le chapitre 5. C'est pourquoi, il nous semble important de débiter par exposer les fondements de la botanique depuis l'Antiquité pour contextualiser l'origine de la théorie : comment les plantes sont-elles perçues au sein du vivant et quelles ruptures marquent des changements de paradigme ? Ne souhaitant pas reprendre l'itinérance de l'histoire de la classification, nous engagerons ensuite notre travail en focalisant sur l'évolution des conceptions associées à deux aspects fondamentaux de la nutrition des plantes : les racines et la terre puis les feuilles et la photosynthèse. Ce cheminement questionne les problèmes scientifiques rencontrés, points de repères épistémologiques, qui accompagnent notre étude didactique.

2.1. Les fondements de la botanique

L'objectif de cette partie est de dessiner quelques repères dans l'histoire de la botanique avant de développer l'histoire de la théorie de la nutrition qui signe plus spécifiquement nos recherches. Trois grandes périodes de la pensée scientifique se dessinent. Ce découpage est porté par les travaux de Lamy (2012a ; 2012b) qui nous serviront de points d'ancrage.

- La première période, comme un état préscientifique, qui comprendrait à la fois l'Antiquité et que nous faisons courir jusqu'aux siècles de la Renaissance;
- la deuxième période, comme l'essor d'un état scientifique, au XVII^{ème} et début du XVIII^{ème} siècle ;
- la troisième période que nous qualifions de nouvel élan scientifique. Elle concerne le milieu du XVIII^{ème} siècle jusqu'au XIX^{ème} siècle, car notre étude relève de la biologie, et en particulier de la botanique. Celle-ci signe un regard nouveau sur les plantes en prenant en compte surtout des connaissances issues de la chimie, mais aussi des connaissances scientifiques issues de données des explorations dans des contrées lointaines, l'importance du biotope, de nouveaux aspects de la reproduction sexuée.

55 <https://www.ina.fr/ina-eclair-actu/audio/phd99243045/a-quoi-servent-les-plantes>

Tout l'intérêt de cette approche est de comprendre comment s'est construite la théorie de la nutrition des plantes en reprenant les problèmes abordés.

2.1.1. De l'Antiquité à la renaissance

L'histoire n'est pas linéaire et nous n'avons pas accès à toutes les données, aussi devons-nous, dès à présent, préciser que les connaissances ne sont pas circonscrites au seul continent européen. Si l'élaboration d'une théorie de la nutrition des plantes est tardive c'est probablement parce qu'elles ont eu peu de considération d'un point de vue fonctionnel.

Nous débutons notre cheminement par Aristote (384 av. J.-C. / 322 av. J.-C.) qui questionne l'organisation possible du vivant et la place des plantes : c'est le problème majeur, semble-t-il, qui va préoccuper une majorité de personnes qui s'intéressent aux plantes. Ce philosophe grec de l'Antiquité considère 3 ensembles d'êtres vivants : les plantes qui ont une âme animée d'une fonction végétative, les animaux qui possèdent une fonction végétative et une sensitive, les hommes qui possèdent en plus une fonction intellectuelle donc supérieure. Il écrit que l'homme est « *plante du ciel et non de la terre* » (cité par Coccia 2016/2018, p.101). Il faut comprendre que la plante est abordée comme un être vivant mais son organisation est comprise d'un point de vue anthropomorphique. C'est dans son *Traité sur l'âme* qu'il dissocie le plus les parties de la plante en une comparaison à la recherche de points communs où « *le haut et le bas ne sont pas identiques pour tous les êtres et pour l'univers : ce qu'est la tête dans les animaux, les racines le sont dans les plantes, si c'est par les fonctions qu'il faut distinguer ou identifier les organes* » (ibid). Théophraste (371 av. J.-C. - 288 av. J.-C.), élève d'Aristote, est considéré comme botaniste et naturaliste par les historiens des sciences (Lamy, 2012a). Il propose une classification des plantes en distinguant les arbres et les herbes. Notons que cette dichotomie va être copiée pendant de nombreux siècles car, d'un point de vue empiriste, cette vision correspond à ce qui est observable dans la nature. Seuls les éléments descriptifs sont relatés et nous n'avons pas à notre connaissance de précision concernant une théorie de la nutrition des plantes. Nous faisons l'hypothèse qu'une théorie empiriste, naïve, permettait d'expliquer la fonction qui n'est pas problématisée de façon explicite.

La Renaissance (1300 – 1600) porte un intérêt renouvelé aux textes de l'Antiquité. L'invention de l'imprimerie et de sa démocratisation au XV^{ème} siècle est sans doute une première

révolution dans la diffusion de la connaissance. Toutefois, les plantes sont toujours étudiées d'un point de vue anatomique et l'ouvrage *Rariorum aliquot stirpium historia* de Charles de l'Ecluse (1526 - 1609) en 1601 fait référence pour établir les jardins du roi et des grands de l'époque. Lamy (2012a) précise que le télescope ou le microscope, considéré alors comme un télescope inversé, est mobilisé pour décrire plus finement les plantes. Ainsi, le savoir scientifique s'élabore en s'enrichissant de détails dans une lecture compréhensive mais toujours sans problématisation fonctionnelle.

Jusqu'au début du XVII^{ème} siècle, la botanique n'a d'intérêt que pour les jardins qui abritent les plantes médicinales et les herbiers qui tentent de réunir le plus de plantes possibles. Lamy (2012a) estime que 3000 à 4000 plantes sont identifiables à cette période, même si, dans le contexte, la notion d'espèce n'est pas acquise. Le nœud du problème concerne donc plus les caractères d'identification des plantes que leur fonctionnement.

2.1.2. Un tournant du XVII^{ème} jusqu'au début du XVIII^{ème} siècle

Les XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles sont considérés comme un tournant pour la botanique qui se libère de la médecine. Les plantes deviennent un objet d'étude scientifique tourné désormais vers des problèmes fonctionnels, il y a bien une rupture épistémologique. Outre-Manche, John Ray (1627 – 1705), surnommé le « père de l'histoire naturelle britannique », est un perfectionniste qui expérimente beaucoup. Son *Historia plantarum* comprend des critères scientifiques évolués, il questionne notamment le problème des réserves des graines notamment la présence d'un ou deux cotylédon(s) et la relation entre ces cotylédons et le phénotype. Toutefois, selon nous, le point de vue fonctionnel des plantes est toujours au second plan, en particulier les mécanismes de mises en réserve associés à la nutrition. En témoigne les travaux de Pierre Magnol (1638 – 1715), le premier à introduire la notion de famille dans la classification des plantes (dans son ouvrage *Podromus Historiae Generalis Plantarum*) et Joseph Tournefort (1656 – 1708) qui dans son *Elemens de Botanique* en 1694 est le premier à généraliser l'usage du genre associé à une description. Les problèmes fonctionnels sont donc sous-jacents, ce que nous comprenons dans cette proposition : « nous appelons genre de plante, l'amas de toutes celles, qui auront en ce caractère commun (même structure des parties) qui les distingue essentiellement de toute autre plante » (Tournefort cité par Lamy, 2012a). Le défaut de son herbier est qu'il ne propose pas de localisation. Or, nous savons que l'habitat est une caractéristique fondamentale des plantes par rapport au problème d'une

vie fixée, si elles ont une grande capacité d'adaptation phénotypique, elles dépendent de leur milieu pour la nutrition.

S'il est un incontournable dans cette histoire de la botanique, c'est le suédois Carl von Linné (1707 – 1778). Il interroge toujours les plantes dans un principe d'ordonnement de la Nature et présente un nouveau système de classification des plantes et des règles pour nommer et les décrire. En témoigne son *Systema naturae* de 1735 qui n'est rien d'autre qu'un grand tableau avec 3 règnes de la nature et 24 classes représentées de la lettre A à Z. Il considère hautement la fleur, et particulièrement les étamines et le pistil. A la recherche d'une loi universelle, il écrit que « *Dieu a créé, Linné a ordonné* ». Selon Lamy (ibid), il confond deux objectifs : classer et identifier. Par ailleurs, nous avons montré que, s'il établit le système binomial pour lequel il doit encore sa célébrité actuellement, il a été fortement influencé par ses prédécesseurs.

À l'âge classique (XVII^{ème} siècle) et au siècle des Lumières (XVIII^{ème} siècle), la botanique s'organise donc autour de l'histoire des plantes et la physiologie végétale. Les grands voyages et les débuts de la science expérimentale permettent de construire un savoir scientifique comme nous l'entendons actuellement. De surcroît, la découverte de la sexualité des plantes et les débats sur les classifications sont les facteurs principaux de cette dynamique intellectuelle.

2.1.3. Le milieu du XVIII^{ème} et le XIX^{ème} siècle

Cette troisième grande période devient beaucoup plus complexe indique Lamy (2012b). En effet, la botanique ne peut s'affranchir des connaissances construites en horticulture, en agronomie mais aussi en chimie. Dans ce siècle des Lumières, à quoi peut bien servir la botanique ? Nous traiterons dans une partie du rapport de la philosophie aux plantes, mais nous pouvons dire, à l'instar d'Auguste de Saint Hilaire (1779 – 1853), botaniste et explorateur, que la méthode scientifique se dessine de plus en plus. La nécessité de comparer devient une règle. Auguste de Saint Hilaire interroge la fleur et le fruit dans cette optique. Jean-Jacques Rousseau (1712 – 1778) quant à lui, possède de nombreux centres d'intérêts dont celui de la botanique. Il va la rendre plus accessible au grand public. Les rêveries du promeneur solitaire (1776-1778/1972, p.119), et plus particulièrement la septième promenade, célèbre la nature : « *Me voilà donc à mon foin pour toute nourriture, et à la botanique pour toute occupation. Déjà vieux, j'en avais pris la première teinture en Suisse auprès du docteur d'Ivernois, et j'avais herborisé assez heureusement durant mes*

voyages pour prendre une connaissance passable du règne végétal ». D'un autre côté, la physiologie végétale est davantage considérée, elle consacre probablement l'idée d'une volonté d'unité du monde vivant dans une perspective du problème de sa compréhension. Le concept de fleur, déjà défini par Rudolph Jacob Camerarius (1665 – 1721), est repris dans le même esprit pour comprendre la reproduction sexuée et fédérer l'unité fondamentale du vivant. Trois points font désormais référence pour les botaniques : deux groupes homogènes selon la structure de la graine (Ray) ; une corrélation entre l'organisme séminal et la structure externe de la plante ; la reproduction investie dans la graine (Camerarius). Une rupture épistémologique est donc engagée et permet d'investir un aspect plus fonctionnel des plantes.

Centrons-nous maintenant plus spécifiquement sur la nutrition des plantes. Quelle évolution de la théorie ?

2.2. L'évolution de la théorie de la nutrition des plantes à travers l'histoire de la botanique

Selon Lavergne⁵⁶ (1960) et Lamy⁵⁷ (2020), l'ouvrage fondamental pour suivre l'évolution de la théorie de la nutrition des plantes est *L'Histoire de la botanique du XVI^{ème} siècle à 1860*⁵⁸ de Sachs (figure 15), traduit de l'allemand en anglais et en français, il a été largement diffusé dans le champ scientifique. Voici une représentation de la couverture originale du livre traduit en français que nous avons pu obtenir grâce au site de la Bibliothèque Nationale de France. Elle illustre, selon nous, l'approche historique qui marque maintenant notre enquête à la recherche d'explications aux difficultés d'apprentissage des élèves.

56 Didier Lavergne (1924 – 2016) était docteur en médecine. S'il est connu par son ouvrage *Quelques aspects de la vie bactérienne dans la nature* (1960), il signe également des articles pour L'encyclopédie Universalis.

57 Denis Lamy a été responsable de la Bibliothèque de Botanique du Muséum. En réorganisant le fonds et notamment les manuscrits, il a eu à cœur de défendre le lien collections-recherche-documentation. Ainsi il a pu développer une recherche en histoire de la botanique, et concernant surtout les classifications, les concepts et les réseaux au cours d'une large période fin XVII^{ème} début XX^{ème} siècle. (Repéré à <https://www.jardindesplantesdeparis.fr/fr/denis-lamy-2471>). Nous devons largement cette découverte à un échange de mails réalisés en mars 2020.

58 L'ouvrage est disponible sur le site de la Bibliothèque Nationale de France. Repéré à : <https://www.bnf.fr/fr>

HISTOIRE
DE
LA BOTANIQUE

DU XVI^e SIÈCLE A 1860

PAR

LE D^r JULIUS VON SACHS

Professeur de botanique à l'université de Würzburg,
Grandeur à la cour royale de Berlin,
Membre des académies des sciences de Munich, Turin et Amsterdam,
Membre de la Société royale de Londres et de l'Académie royale de Danzig, etc.

TRADUCTION FRANÇAISE

PAR

HENRY DE VARIGNY

DOCTEUR EN MÉDECINE

PARIS

C. REINWALD & C^{ie}, LIBRAIRES-ÉDITEURS

15, P^{te} DES SAINTS-PÈRES, 15

1892

Tous droits réservés.

Figure 15 : couverture de l'ouvrage de référence pour connaître l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes (d'après <https://www.bnf.fr/fr>)

Son auteur est le docteur Julius von Sachs (1832 – 1897), professeur de botanique, dès 1868, à l'université de Würzburg (Bavière, Allemagne). Ses travaux concernent non seulement la croissance des plantes mais aussi la photosynthèse, et son ouvrage majeur de 1892 atteste d'une approche en tant qu'historien des sciences. Nous suivrons le fil de la pensée de Sachs pour comprendre la construction de l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes tout en problématisant ses propos. Nous compléterons, le plus souvent possible, d'autres références pour étayer notre texte. Aussi, nous déclinons cette histoire en huit points suivi d'un résumé :

- 2.2.1. Aux origines de la théorie
- 2.2.2. Une conception de la nutrition à la fin de la Renaissance
- 2.2.3. Une rapide évolution de la théorie dans la deuxième moitié du XVII^{ème} et au début du XVIII^{ème} siècle
- 2.2.4. Une stagnation des connaissances au XVIII^{ème} siècle
- 2.2.5 Une nouvelle théorie au début du XIX^{ème} siècle
- 2.2.6 Des avancées difficiles dans la première moitié du XIX^{ème} siècle

- 2.2.7. La question des matières nutritives des plantes définitivement tranchée à la fin du XIX^{ème} siècle
- 2.2.8. Les nouveaux apports depuis Sachs de la fin du XIX^{ème} au XX^{ème} siècle
- 2.2.9. Une proposition de résumé de l’histoire de la théorie de la nutrition des plantes

2.2.1. Aux origines de la théorie

L’élaboration d’une théorie de la nutrition des plantes avance à mesure que le savoir scientifique se construit. Or, « *c’est en terme d’obstacles qu’il faut poser le problème de la connaissance scientifique* » (Bachelard, 1938/2011, p.13). Si nous prêtons de l’importance à cette maxime bachelardienne, c’est parce que nous souhaitons aborder l’obstacle d’un point de vue épistémologique . Ainsi, nous montrerons que l’élaboration de la théorie qui occupe notre recherche a rencontré des difficultés techniques et conceptuelles, elle s’est également fourvoyée dans des impasses ou a stagné. Elle a également souffert d’une forme d’unicité des points de vue qui empêche de changer de paradigme. C’est pourquoi Bachelard (ibid, p.286) invite « *à accepter une rupture entre la connaissance sensible et la connaissance scientifique [...] les tendances de la connaissance sensible, tout animées qu’elles sont de pragmatisme et de réalisme immédiats, ne déterminaient qu’un faux départ, qu’une fausse direction* ».

L’expérience première conduit depuis longtemps à savoir que le problème des plantes fixées est de prélever des « *principes nutritifs* » *in situ* selon l’expression de Sachs (1892). Elles les absorbent pour assurer leur développement. Un premier questionnement a été de se demander si ces principes nutritifs étaient transformés dans la plante pour assurer son développement.

Dans l’Antiquité, Aristote (384 av. J-C. - 322 av. J-C.) est persuadé d’une analogie entre les plantes et les animaux, aussi considère-t-il que la tête des animaux correspond aux racines des plantes. Quant à la nutrition de ces dernières, il affirme dans son *Traité des plantes* qu’elles prélèvent essentiellement l’humus de la terre. Théophraste (371 av. J-C. - 288 av. J-C.), élève d’Aristote, et grand observateur de la nature, rédige un ouvrage de référence *Caractères*, dans lequel il décrit scrupuleusement 500 plantes. De plus, s’appuyant sur les travaux de son maître, il affirme que les plantes et les animaux sont soumis aux mêmes lois de la nature pour leur organisation, leur développement, leur reproduction et leur nutrition. Toutefois, il attribue ces processus à une force vitale qui maintiendrait un équilibre entre chaleur et humidité dans la plante,

ce qu'il nomme « *l'humide radical* ». Notons la spécificité de cette théorie du vitalisme qui a eu une « vitalité » pendant de nombreux siècles en atteste « *la série de noms qui va d'Hippocrate et d'Aristote à Driesch, à von Monakow, à Goldstein, en passant par van Helmont, Barthez, Blumenbach, Bichat, Lamarck et J. Müller, von Baer, sans éviter Claude Bernard* » (Canguilhem, 1952/2009, p.107). Le vitalisme du XVIII^{ème} siècle repose sur une tradition hippocratique plus qu'une filiation aristotélicienne indique Canguilhem (ibid). L'auteur prend exemple sur Barthez⁵⁹ qui écrit dans les Nouveaux éléments de la science de l'homme (1778 cité par Canguilhem, ibid, p.109) : « *J'appelle principe vital de l'homme la cause qui produit tous les phénomènes de la vie dans le corps humain. Le nom de cette cause est assez différent et peut être pris à volonté. Si je préfère celui de principe vital, c'est qu'il présente une idée moins limitée que le nom d'impetum faciens que lui donnait Hippocrate [...] (pour) désigner la cause des fonctions de la vie* ». De plus, Théophraste compare la racine à l'estomac des animaux, celle-ci puisant des sucres élémentaires, les transformeraient pour les rendre efficaces pour le développement de la plante. Plus tard, Plin l'ancien (23 – 79) puis Gallien (129 – 201) vont reprendre cette idée d'unité de structure du monde vivant des animaux et des plantes. La théorie semble ensuite sommeiller jusqu'à la Renaissance.

2.2.2. Une conception de la nutrition à la fin de la Renaissance

Une figure incontournable de la fin du XVI^{ème} siècle est Andréa Césalpino (1519 – 1603). Son ouvrage phare consacré aux plantes s'intitule *De Plantis, libris XVI* (1583) où il se consacre notamment à la description de 1500 plantes mais uniquement sous forme littéraire. Par ailleurs, ses connaissances de l'anatomie animale le conduisent à réaliser une comparaison fortuite entre le mouvement du sang⁶⁰ des animaux et la sève. En effet, un problème concerne l'explication du mouvement de la sève. Ainsi, il prend en considération l'exemple des Euphorbes qui, lorsqu'une tige est cassée, émettent une sève blanche laiteuse (souvent toxique) qui goutte de la cicatrice. Il s'agit donc des phénomènes mécaniques, et historiquement non chimiques⁶¹, de la nutrition des plantes qui motivent ses investigations. Sachs (ibid, p.466) dit que pour Césalpino « *nous ne voyons chez les plantes ni veines, ni canaux d'aucune sorte; nous ne parvenons pas à leur découvrir de chaleur naturelle, et nous ne pouvons comprendre en vertu de quelles lois les arbres atteignent des dimensions si prodigieuses, tout en possédant, en apparence, infiniment moins de chaleur que les animaux* ». Comment le scientifique explique-t-il cela ? Pour lui, les plantes ne bougent pas et il y a

59 Paul Joseph Barthez (1734 – 1806) est médecin de l'école de Montpellier, il renonce aux domaines de la physique ou chimique expliquer les phénomènes biologiques, préférant un principe vital.

60 La circulation sanguine est conceptualisée par Harvey en 1628 qui montre que le volume de sang est constant et que le cœur est une pompe qui le fait circuler.

61 La chimie devient une science à partir du milieu du XVIII^{ème} siècle.

peu de nécessité de chaleur interne. Par contre, du fait de leur vie fixée, elles doivent puiser les substances fluides du sol par un phénomène physique. Il sait que certaines matières sèches absorbent naturellement l'eau aussi fait-il l'hypothèse d'une succion naturelle. Toutefois, le rôle des feuilles est secondaire pour Césalpino. Il leur accorde des vertus protectrices contre l'air et le soleil, d'ailleurs, ne constate-t-il pas que les feuilles de la vigne au soleil protègent aussi les fruits et les jeunes pousses ?

2.2.3. L'évolution rapide de la théorie de la deuxième moitié du XVII^{ème} au début du XVIII^{ème} siècles

La période que nous décrivons maintenant se situe du milieu du XVII^{ème} au début du XVIII^{ème} siècles. Le problème épistémologique majeur repose sur le fait que les théories sont alors surtout basées sur des descriptions d'observables de la vie quotidienne mais aussi sur des comparaisons plantes-animaux à la recherche de lois universelles. Il s'agit probablement d'un obstacle épistémologique de nature empirique qui pourrait expliquer le long processus de la construction de la théorie actuelle de la nutrition des plantes et des progrès scientifiques. Bachelard (1938/2011, p.23) justifie cette thèse en indiquant que : « *l'esprit scientifique doit se former en se réformant. Il ne peut s'instruire devant la Nature qu'en purifiant les substances naturelles et qu'en ordonnant les phénomènes brouillés* ». Il ajoute aussi : « *Ouvrez un livre scientifique du XVIII^{ème} siècle, vous vous rendrez compte qu'il est enraciné dans la vie quotidienne* » (ibid, p.29). Aussi, nous montrerons comment Jung, Van Helmont, Malpighi, Mariotte, Ray, Wolff et Hales vont lutter contre les préjugés pour construire une théorie de la nutrition des plantes.

La pensée aristotélicienne est admise par la majorité des scientifiques en ce XVII^{ème} siècle. Joachim Jung (1587 – 1657) est l'un des premiers à s'y opposer. Dans son ouvrage principal relatif aux plantes, *De Plantis Doxosopiae Physicae*, il explique que les plantes ont des sécrétions et présentent, par conséquent, une fonction chimique. Si elles tirent du sol des principes nutritifs pour leur développement, il suppose que leur entrée par les racines est sélective et se fait par des orifices. Les racines sont donc des organes de la nutrition et n'ont pas « besoin » d'intelligence contrairement à ce que pensent les convaincus du modèle d'Aristote.

Van Helmont (1579 – 1644) est réputé par ses qualités de chimiste et d'alchimiste, il s'oppose encore plus à Aristote en rejetant la théorie des 4 éléments⁶². Pour lui, l'eau est l'élément fondamental de toutes les substances et elle peut former d'autres substances lorsqu'elle est au sein même de la plante. Pour prouver ses idées, il expérimente⁶³ et pour Sachs (ibid, p.471) « *pour la première fois, un botaniste va se livrer à des expériences dans le but de trouver la solution d'un problème scientifique* » et ces travaux seront repris par un grand nombre de savants. Ainsi, Jung et Van Helmont impulsent l'expérimentation jusqu'au XVIII^{ème} siècle. En particulier celle qui conduit à l'idée d'une sève nourricière dont l'origine est la racine et qui monte dans les feuilles jusqu'aux fruits pour redescendre par l'écorce. De nombreuses discussions de botanistes s'attachent à de nouveaux problèmes, à savoir si :

- il y a une analogie à faire entre le mouvement de la sève des plantes et celui du sang des animaux ;
- ou que l'écorce des arbres, les laticifères et les conduits à résine renferment un suc nourricier, la sève provenant des racines montant dans le bois de la plante.

La théorie piétine donc jusqu'à ce que Malpighi (1628 - 1694) souligne l'importance des feuilles comme organes de transformation de la matière. Il présente son point de vue dans *Anatomes Plantarum Idea* en relatant que les parties fibreuses du bois sont les organes conducteurs de la sève absorbée par les racines et que les vaisseaux du bois répartissent l'air à l'intérieur de la plante. A ce propos, il nomme les vaisseaux des trachées en comparaison des trachées respiratoires des Insectes. Nous avons rappelé l'importance pour de nombreux scientifiques de proposer une unité du monde vivant à la recherche de lois universelles. Toutefois, Malpighi ne trouve pas les orifices destinés à l'accès de l'air. Ces nombreuses observations, notamment à propos des laticifères⁶⁴, les vaisseaux à gomme et à térébenthine⁶⁵ témoignent de la spécialisation des vaisseaux. Par ailleurs, il s'intéresse aux mouvements de la sève, un problème scientifique qui questionne de nombreux scientifiques à la

62 Selon Aristote, 4 éléments régissent la vie : le feu, l'air, l'eau et la terre. Ce sont des corps simples qui ont 4 qualités intrinsèques. Cette théorie a offert, pendant plusieurs siècles, aux médecins et apothicaires, un large domaine d'application comme les 4 humeurs qui conduisent à la maladie d'après Hippocrate, mais aussi les couples chaud-froid et humide-sec qui, selon Aristote, sont à l'origine de tous les autres.

63 Pour vérifier son hypothèse, il fait pousser un jeune saule dans une caisse en bois contenant une quantité de terre bien déterminée. Pendant 5 ans, il arrose avec de l'eau de pluie filtrée et observe que l'arbre augmente « *de 164 livres de bois, d'écorce et de racines* » quand la terre diminuait « *de 2 onces* » (de 57 g). Il en déduit que l'eau s'est transformée en substances solides. D'après le chapitre 15 des « *Œuvres de Jean-Baptiste Van Helmont traitant des principes de médecine et physique, pour la guérison assurée des maladies (1670)* » cité par Campestrini (Aster n°15, 1992).

64 Les laticifères correspondent aux plantes à latex, ils sont constitués de cellules des vaisseaux du phloème et qui sont sans plasmodesmes. A noter que ce latex provient de la transformation de saccharose.

65 La térébenthine est une résine issue de Conifères.

recherche d'explications. Il plante des pousses et boutures à l'envers dans la terre, et constate qu'elles peuvent reproduire des racines. Pour lui, cela témoigne de la possibilité d'un mouvement inverse de la sève. Par ailleurs, considérant les cotylédons comme des feuilles, il précise que la radicule les alimente en matière fluide. L'humidité pénètre alors dans toute la plante et, spécifiquement au niveau des feuilles, le soleil transforme la matière pour la mélanger à la sève, il s'établit aussi une sorte de transpiration. De plus, il mentionne une circulation de la sève des racines aux feuilles puis des feuilles aux racines. Il en déduit que les feuilles interviennent dans la transformation des matières. Les idées de Malpighi se rapprochent donc des savoirs scientifiques actuels, ce qui est remarquable compte tenu des connaissances en physique et chimie de l'époque. Cependant, certaines affirmations ne sont pas fondées scientifiquement, par exemple quand il annonce l'existence de « vésicules » de stockage de nourriture dans la plante. Dans son ouvrage de 1674 *Phytotémie*, il ajoute l'importance de la respiration des vaisseaux ligneux. Ses principes fondamentaux comme l'importance des feuilles dans la nutrition sont mal compris, ce qui fait dire à Sachs (ibid, p.475-476) que les successeurs « *auraient pu éviter les erreurs et les malentendus qui se glissèrent peu à peu dans la théorie de la nutrition végétale, et en firent un véritable chaos* ». D'un point de vue épistémologique, nous comprenons plutôt que les nouvelles connaissances mettent du temps à être acceptées. Ce que Bachelard (1938/2011, p.21) pointe comme une difficulté quand il s'agit « *bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne* ».

Edme Mariotte (1620 - 1684) est un physicien important de ce XVII^{ème} siècle, son *Essai sur l'air* de 1676 contient la loi de compressibilité des gaz⁶⁶. Il s'intéresse également aux plantes, même si elles sont accessoires à ses yeux, concernant leur nutrition il formule 3 hypothèses :

- la première, il existe un grand nombre de « *principes grossiers et visibles [...] tels sont l'eau, le soufre ou l'huile, le sel ordinaire, le salpêtre, le sel volatile ou ammoniac, différentes espèces de terre...* » (ibid, p.477). Ils sont issus de l'union d'autres produits plus simples inscrits dans une sorte de disposition naturelle à s'attirer et se mélanger aussitôt, ce qui est une démarcation forte de la pensée aristotélicienne.
- La deuxième, est que chaque plante contiendrait un certain nombre de principes grossiers dont l'origine serait dit-il : « *Les atomes de l'air une fois exposés à l'action de l'éclair, exhalent une odeur de soufre; l'eau météorique les fait pénétrer dans le sol; la racine les*

66 La loi dite de Mariotte ou Boyle-Mariotte relie la pression et le volume d'un gaz parfait à température constante selon : $PV = \text{constante}$ ou $P_1 V_1 = P_2 V_2$.

absorbe ensuite, mêlés à des parcelles de terre » (ibid, p.478) et il ajoute que ces substances se retrouvent naturellement dans la plante puisqu'elles les puisent dans le sol.

- La troisième, est que les sels, les huiles, les principes terreux... résultant de la distillation sèche des plantes sont les mêmes et dépendent des principes grossiers qui les ont générés.

Mariotte questionne donc la matière et principalement son transport par la sève mais aussi les transformations opérées au sein de la plante. L'exemple, le plus probant selon lui, provient de la greffe du poirier. Il constate, en effet, que si l'on greffe un poirier avec un poirier sauvage alors chaque greffon produit des fruits différents. Par contre, si la greffe d'un poirier sauvage se fait avec un autre poirier sauvage, tous les fruits sont « mauvais ». Il en déduit donc que la sève acquiert des qualités différentes selon le greffon. Son raisonnement se poursuit à l'aide de semis où il démontre que la matière est nécessairement fabriquée par la plante. Il développe ses idées en faisant une analogie entre l'entrée des principes dans les racines et la montée d'un liquide dans les tuyaux capillaires. Concernant la pression de la sève, il prétend qu'elle est élevée comme le montre l'écoulement des sucs laiteux lors d'une incision de certaines plantes et plante, et tire de ses observations à cet égard la conclusion suivante : « *La plante, doit être organisée de façon à donner accès à l'eau, mais non point de manière à permettre à l'eau de s'échapper* » (ibid, p.480). L'analogie qu'il fait entre la circulation de la sève et le sang qui coule dans les veines lui laisse croire que la pression dans la plante serait à l'origine de sa croissance dans toutes les parties (racines, feuilles et branches). Aussi, pense t-il, que des pores doivent exister pour lutter contre la force de cette pression. Les vertus médicinales des plantes font l'unanimité chez les savants. Mariotte remarque que les plantes vénéneuses peuvent parfois pousser à côté de plantes non toxiques. Ainsi, il en déduit que comme elles tirent les mêmes substances du sol, ce sont bien les plantes elles-mêmes qui réalisent les combinaisons et les séparations des principes nourriciers. Le scientifique est donc en opposition avec les botanistes de son époque qui croient encore à l'âme végétale d'Aristote. En revanche, il dénigre la théorie de l'évolution qui commence à émerger. Plus encore, il croit pouvoir montrer l'exactitude de la théorie de la génération spontanée⁶⁷.

En ce milieu du XVII^{ème} siècle, quand Malpighi s'appuie sur l'anatomie des plantes, Mariotte explore les connaissances en chimie et physique, pour proposer une nouvelle théorie de leur nutrition. Ils sont de farouches combattants aux théories aristotéliennes, le paradoxe provient du fait que s'ils sont connus par leurs successeurs, leurs travaux sont souvent négligés. Cela

67 La théorie de la génération spontanée a été élaborée par Aristote qui lui-même s'était inspiré du monde gréco-romain. Elle stipule que la vie peut provenir de la matière inerte. Cette idée a traversé les siècles puisqu'elle est approuvée à la Renaissance par Descartes et Newton, et au XVII^{ème} siècle par Van Helmont.

provient du problème de l'explication du mouvement de la sève et cet obstacle est mis de côté par les botanistes qui sont mus par une centration de leur travail sur la classification. Il faut rappeler que la chimie est alors balbutiante même si les contributions de Boyle (1627 – 1691) sont reconnus comme à l'origine de la chimie moderne. En Angleterre, le problème est approché, les lettres écrites en 1670, dans *Philosophical Transactions* de la Royal Society of London, montrent des discussions autour de l'écoulement de la sève. Le problème est que les botanistes confondent deux phénomènes : l'écoulement l'hiver et celui du printemps. En effet, nous savons actuellement que le phénomène est lié à la température de l'air l'hiver, la sève est attirée vers les extrémités des arbres où les branches les plus exposées gèlent. Lors du réchauffement des températures, la sève des branches redevient liquide et descend par gravité. En revanche, au printemps, lorsque les températures sont favorables, le phénomène n'est plus dépendant de la température, il est actif et revient à la phase d'exsudation générée par les nouvelles feuilles. L'évapotranspiration génère une dépression dans les parties aériennes ce qui déplace la sève jusqu'aux feuilles. Cette confusion va entraîner une série d'erreurs, et si les discussions des savants sont mobilisées par les raisons de l'explication du mouvement de la sève selon Sachs (ibid), l'obstacle n'est pas levé.

Un peu plus tard, John Ray (1627 - 1705) publie en 1693 *Historica Plantarum*, le premier volume résume toutes les connaissances centrées sur la nutrition des plantes. Dans le même temps, Malpighi propose, quant-à lui, que les plantes utilisent de l'air qui migre dans des trachées pour leur respiration. En ce début de XVIII^{ème} siècle, le problème de l'air dans les plantes est une « *question (qui) excitait les botanistes de l'époque, [...] (mais ils) ne connaissaient au sujet de la physique et de la chimie que des connaissances restreintes* » (Sachs, ibid, p.488). Christian Wolff (1679 – 1754), va quant à lui expérimenter sur des feuilles placées dans l'eau des conditions avec ou sans air. Il constate l'entrée ou la sortie de bulles d'air dans ces feuilles. Son objectif est de faciliter l'accès à la culture générale, son ouvrage de 1723 intitulé *Vernuiftige Gedanken von den wirkungen der Natur* (Réflexions sensibles sur les effets de la Nature) est un ensemble homogène et facilement accessible de la théorie de la nutrition des plantes. Il reprend d'ailleurs Malpighi, Grew et Mariotte pour appuyer son discours. Le chapitre consacré spécifiquement à la nutrition aborde un aspect chimique puisqu'il s'intéresse à l'appauvrissement du sol en éléments. Il écrit : « *La terre s'épuise et perd sa fécondité lorsqu'elle porte un grand nombre de végétaux ceux-ci nécessitent une quantité considérable de principes nutritifs; il devient alors nécessaire de fumer le sol, soit avec du fumier, soit à l'aide de cendre* » (Sachs, ibid, p.489). Wolff a remarqué que pour fertiliser le sol, on ajoute empiriquement, du salpêtre, la corne des sabots des animaux, du fumier ou des cendres. Pour lui, les transformations des matières ont bien lieu dans la plante. En revanche, il ne connaît pas les

mouvements de la sève pour lesquels il pense que les propriétés de dilatation de l'air et le principe de capillarité des vaisseaux suffisent comme explications.

Il faut attendre Hales qui, dans *Statical Essays* de 1727, traite exclusivement de la nutrition des plantes et spécifiquement du mouvement de la sève. Le plus remarquable, dans son esprit scientifique, c'est qu'il réalise un très grand nombre d'expériences, d'observations, de mesures et de calculs pour vérifier ses intuitions. Il veut déterminer des lois pour le développement des plantes. C'est pourquoi ses calculs sont contestables, il aime les chiffres ronds selon Sachs. Toutefois, il arrive à estimer la vitesse de circulation de l'eau dans la plante, mais aussi la force de succion de la racine et la pression interne dans la vigne. Le problème est qu'il néglige les apports de Malpighi, la fonction des feuilles qu'il ne considère que comme des organes de transpiration ou de suçoirs pour faire monter la sève. A ce sujet, il croit que la sève monte le jour et redescend la nuit du fait de la différence de température, une analogie avec le mercure du thermomètre écrit Sachs (ibid). Hales pense que l'air contribue au développement des plantes et entre dans la composition des substances solides de la plante. Pour cela, il s'appuie sur des expériences de fermentation et distillation sèche d'où sont émises de grandes quantités d'air, ce qu'il relie à une forme condensée dans la plante. A ce sujet il écrit dans le chapitre 7 : « *Il entre dans la composition de la plante une certaine quantité d'air ; lorsque cet air est à l'état solide, il attire les particules qui se trouvent à proximité ; lorsqu'il est élastique, il les repousse avec beaucoup de force* » (cité par Sachs, ibid, p.494). Aussi, en déduit-il, que les combinaisons sont infinies et que ces phénomènes constituent en réalité la force vitale. L'air est donc pour lui à la fois celui qui fortifie la sève par sa propriété d'élasticité et celui qui contribue à la production des substances constituées dans la plante. Il ajoute que la lumière du soleil, considéré comme une substance, est absorbée par les feuilles.

Finalement, les botanistes de l'époque ne font pas la synthèse de l'ensemble des rapports qui unissent les plantes au monde extérieur. Or ce problème scientifique s'inscrit dans la nutrition des plantes. Le deuxième problème qui contrarie une théorie synthétique de la nutrition des plantes est la méconnaissance de l'importance attribuée à l'air comme principe nourricier.

2.2.4. Une stagnation des connaissances au XVIII^{ème} siècle

Suite à cet élan de connaissances sur la nutrition des plantes, il suffisait, selon Sachs (ibid) que les botanistes conjuguent les travaux de Malpighi et Hales pour expliquer les mouvements de la

sève. Nous comprenons alors que les obstacles scientifiques de cette période, notamment ceux du rapport des plantes au monde extérieur et des connaissances de la chimie, conduisent les botanistes du milieu du XVIII^{ème} siècle à investir leurs recherches sur des observations de l'extérieur des plantes. Les botanistes de cette époque n'ont en effet que peu de connaissances sur l'étude du mouvement de la sève et de l'anatomie des plantes, mais surtout, il manque la part critique de leurs observations. Nous illustrerons cette période qui est toujours centrée sur le problème de la compréhension du mouvement de la sève par quatre personnalités qui ont marquées les recherches scientifiques : La Baisse, Reichel, Bonnet et Duhamel.

Nicolas de La Baisse (1698 – 1739) travaille sur l'absorption de liquides colorés, ainsi il « *plongea les racines de différentes plantes dans le suc rouge des fruits de *Phytolacca*⁶⁸ ; au bout de 2 ou 3 jours, il constata que l'écorce et surtout les extrémités des fibres de la racine étaient teintes de rouge intérieurement* » (Sachs, *ibid*, p.499). Il en déduit rapidement que toutes les parties de la racine peuvent absorber les matières colorantes. Or, en France, Augustin Pyrame De Candolle (1778 - 1841) confirme ces résultats en établissant la théorie de spongioles⁶⁹. Dans son ouvrage *Théorie élémentaire de la botanique* de 1844 (p.300) il décrit les spongioles comme « *des espèces de corps analogues à des éponges, et très facilement perméables à l'humidité qu'ils absorbent, sans qu'on puisse, aux microscopes même les plus forts, y apercevoir des pores ; elles ont ceci de singulier, que les molécules colorantes y passent sans difficulté, tandis qu'elles ne passent jamais par les pores corticaux* ». De La Baisse poursuit ses expériences en plongeant les extrémités des rameaux dans du liquide coloré et constate que les parties ligneuses et les faisceaux qui rejoignent les feuilles et les fleurs se colorent mais pas l'écorce.

Christian Reichel (1727 – 1771) réalise également des colorations sur les plantes. Dans son ouvrage *De vasis plantarum spirabilis*, on peut découvrir une expérience de décoction de bois de Pernambouc⁷⁰ où il plonge l'extrémité de branches ligneuses et herbacées. Il constate alors que le

68 Le genre *Phytolacca* est décrit par Linné en 1753. *Phytolacca americana* possède des fruits noirs en grappes, appelés raisins d'Amérique, avec lesquels on réalise des teintures rouges. Le colorant était ainsi utilisé pour colorer le vin.

69 La théorie des spongioles indique que certaines parties permettent d'absorber les substances du sol. Candolle précise 3 sortes de spongioles (1841, p.300) : aux extrémités des racines (*spongioles radicales*), à l'extrémité du pistil (*spongioles pistillaires*) et sur la surface externe des graines (*spongioles seminales*). Un siècle plus tard, John Lindley dans son ouvrage, traduit en français par Lemaire sous le nom de *Théorie de l'Horticulture ou essais descriptifs, selon les principes de la physiologie, sur les principales opérations horticoles*, réifie les spongioles (1841, p.15) en précisant qu'elles agissent comme « *absorbants avec plus de puissance qu'aucune autre partie de la racine [...] de leur importance pour les plantes, et du danger de les détruire* ».

70 Le pernambouc, ou bois-Brésil, est un arbre d'une grande densité et qui possède également des propriétés élastiques. Dès le XVIII^{ème} siècle, il a été utilisé pour réaliser les archets des instruments à cordes. La description de l'arbre revient à Lamarck en 1785 (*Caesalpinia echinata*).

rouge se répand dans les faisceaux jusqu'aux fleurs et fruits. Accompagnant ces expériences d'observations au microscope, il voit des amas colorés dans les vaisseaux et en déduit qu'ils doivent donc contenir de la sève et non de l'eau. Le problème est qu'il ne cherche pas à plus expliquer ses observations et il commet l'erreur d'interprétation d'attribuer l'origine du transport de la sève ascendante aux vaisseaux du bois. Par ailleurs, il ne peut expliquer les mouvements de la sève dans les parties ligneuses. Aussi, des discussions vont cristalliser le débat car des doutes accompagnent les conditions expérimentales.

Charles Bonnet (1720 – 1793) combat les idées de Malpighi à propos de la fonction des feuilles. Pour Bonnet, elles ne servent qu'à absorber la rosée et l'eau de pluie. Il publie en 1754 *Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes* et dès le « premier mémoire » (premier chapitre) consacré à *De la nutrition des Plantes par leurs Feuilles*, il écrit (p.1)⁷¹ : « *Les Feuilles fi variées dans leurs formes, dans leurs nuances, & dans leurs diftributions, n'ont pas été données aux Plantes uniquement pour les orner : elles ont des ufages plus importants, & qui répondent mieux aux grandes idées que nous nous formons de la SAGESSE SUPREME* ». Il élabore une théorie qui pourrait surprendre puisque, constatant comme Calandrini, que les faces des feuilles sont différentes, il affirme que la rosée s'élève de la terre et que « *la Surface inférieure des Feuilles, auroit -elle été principalement deftinée à pomper cette vapeur* » (ibid, p.3). Or, la rosée se dépose principalement sur la face supérieure des feuilles. Par ailleurs, il réalise des expériences sur des feuilles isolées rendant impossible une explication sur les mouvements de la sève.

Henry-Louis Duhamel (1700 – 1781), botaniste reconnu pour son expérimentation, expose une théorie qui, selon Sachs (ibid), ne distingue pas les faits secondaires des faits principaux. Son ouvrage *Physique des arbres* de 1758 est un manuel d'anatomie et de physiologie végétal. Certains points reprennent les travaux de Malpighi, Mariotte et Hales mais d'autres montrent qu'il s'attache aux connaissances du passé. Le chapitre II nommé *Des divers mouvements de la sève* est édifiant, nous reprenons le texte (p.230) : « *Comme il y a apparence que la première préparation de la feve s'opere dans la terre, où il fe fait une forte digeftion que l'on peut comparer à celle de l'eftomac des animaux, il s'enfuit que les racines des plantes peuvent être comparées aux veines lactées, dont la fonction eft de pomper & de féparer le chyle de la maff des aliments digérés : ainfi les racines des plantes fucent dans la terre la feve qui doit nourrir [...] voilà le fait, mais comment s'opere-t-il ?* ». Il ajoute que cette question est difficile à résoudre. Si ses expériences s'appuient sur les

71 Comme nous avons pu accéder à l'ouvrage sur le site de la BNF, nous reprenons le texte en vieux français.

données des prédécesseurs, Sachs lui reproche de les mélanger pour proposer une théorie sans réels fondements. Ainsi, il prétend que « *les racines font couvertes d'une écorce fpongieufe [...] que le fuc nourricier, traverse cette écorce fans s'y arrêter, & que femblable à cette rofée qui s'échappe des vifcères des animaux, elle iroit humecter & donner de la foupleffe aux vifcères des végétaux* » (ibid, p.230). Enfin, concernant les mouvements de la sève, et se penchant sur les travaux de La Hire qui distingue des valvules dans les vaisseaux, il concède que « *Mais par malheur, ces valvules fi commodes pour toutes ces explications font une pure fuppofition : je les ai cherché dans quelques plantes arundinacées⁷², j'ai défiré avec ardeur de les y retrouver* » (ibid, p.238) et de conclure qu'il ne les aura jamais trouvées. Finalement, Duhamel expérimente et réalise des observations considérées par les botanistes comme exactes mais ce sont ses conclusions qui sont erronées ou alors elles conduisent à des impasses.

2.2.5. Une nouvelle théorie au début du XIX^{ème} siècle

Les controverses des botanistes au XVIII^{ème} siècle proviennent probablement du fait que ni Malpighi ni Hales n'ont pu fournir des preuves tangibles de leur théorie de la nutrition des plantes. Pourtant, ils fournissent probablement les bases de cette théorie en proposant des solutions au problème de la transformation des matières dans la plante. Malpighi et Hales expriment d'une part que des substances nutritives sont transformées au sein de la feuille et servent au développement de la plante quand l'eau et les matières minérales sont disponibles. D'autre part, ils supposent que l'atmosphère participe à l'élaboration de ces substances mais la connaissance de l'air comme matière est un obstacle scientifique. Pour comprendre l'évolution de la théorie, il est désormais nécessaire de présenter le contexte de la chimie juste avant Lavoisier. Nous résumons dans le tableau 2 suivant les grandes lignes la chimie au XVIII^{ème} siècle sachant que, jusqu'à la fin du XVII^{ème} siècle, l'alchimie⁷³ est dominante :

72 La sous famille des Arundinacées appartient à la famille des Poacées (dont l'ancien nom est Graminées), nous pouvons citer par exemple le petit Roseau *Phragmites australis*.

73 L'alchimie est surtout connu pour la spéculation de la transmutation des métaux, le plomb en or par exemple. Un autre objet est de découvrir un élixir de longue vie. Elle se développe surtout à la Renaissance et entre en déclin en raison des travaux de Lavoisier qui montre que les métaux sont des corps simples.

Tableau 2 : le contexte de la chimie au XVIII^{ème} siècle juste avant Lavoisier

Auteurs	Conception ou apport pour la chimie
Georg-Ernest Stahl (1670-1734)	Théorie du phlogistique
Joseph Black (1728-1799)	Découvre le gaz carbonique (1757)
Carl-Wilhelm Scheele (1742-1786)	Découvre de nombreuses substances dont l'oxygène
Joseph Priestley (1733-1804)	Produit de l'oxygène mais qu'il nomme « air déphlogistiqué »

Antoine Laurent de Lavoisier (1743 – 1794) est un chimiste qui va bouleverser les sciences dans cette deuxième moitié du XVIII^{ème} siècle. D'une part parce qu'il va démontrer le principe de la conservation des masses lors du changement d'état de la matière qui est résumé par la citation apocryphe « *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* ⁷⁴ ». Il prouve également que la combustion nécessite de l'oxygène de l'air et met fin à la théorie du Phlogistique durement implantée dans les esprits. Les sciences modernes ont du mal à se faire une place, ce qu'il dénonce à mots couverts dans le *Discours préliminaire* de son *Traité de chimie* de 1789 : « *C'est un chemin qu'il faut continuellement applanir, dans lequel il ne faut laisser subsister aucun obstacle qui puisse apporter le moindre retard. Les sciences présentent déjà par elle-même assez de difficulté* » (1789, XXVIII). Pour le problème de la connaissance de l'air comme matière nécessaire pour la nutrition des plantes, il faut noter que Lavoisier prouve que la respiration est à la base de la chaleur des animaux et il constate la combustion de l'oxygène de l'air et la production d'acide carbonique mais ces travaux ne sont pas transposés à la botanique. L'extrait suivant témoigne d'une expérimentation : « *(l'air) n'étoit plus propre à la respiration ni à la combustion ; car les animaux qu'on y introduisoit y périssent en peu d'instants, & les lumières s'y éteignent sur le champ, comme si on les eût plongées dans l'eau* » (ibid, p.37). Dans le même temps Cavendish (1731 – 1810) découvre l'hydrogène qu'il nomme « air inflammable » et que sa combustion produit de l'eau. Lavoisier quant à lui prouve ensuite que l'eau est constituée d'hydrogène et d'oxygène. Quel intérêt pour la théorie qui nous occupe ? Non seulement Lavoisier fragilise le phlogistique mais surtout il met en évidence les substances qui ont un rôle fondamental dans la nutrition des plantes.

Joseph Priestley (1700- 1779) réalise de très nombreuses expériences sur l'air qu'il compile dans une série de volumes publiés de 1774 à 1789 sous le nom de *Experiments and*

74 Cette citation apocryphe simplifie le sens de l'extrait original du *Traité élémentaire de chimie* de Lavoisier (1789) : « *Il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications* » .

Observations on Different Kinds of Air. Par ailleurs, il se consacre à des expériences sur les plantes, particulièrement sur les échanges gazeux. Certains le qualifie d'ailleurs de Lavoisier de la botanique. Il écrit en 1779 que « dans le cas où l'air expiré par la plante serait mieux composé que l'air atmosphérique, il suit que le phlogistique de l'air se trouverait retenu à l'intérieur de la plante et y servirait à l'œuvre de la nutrition; en revanche, les parties gazeuses qui s'échappent, étant débarrassées de leur phlogistique, devraient acquérir un degré de pureté plus élevé » (cité par Sachs, p.509). Ainsi, montre-t-il que les plantes peuvent régénérer un air vicié par la respiration d'un animal. Son modèle est cohérent car le sang arrive aux poumons, chargé de phlogistique et en sort déphlogestiqué. Du coup, lors de l'expiration, l'air élimine l'excès de phlogistique (Giordan, Raichvarg, Drouin, Gagliardi et Canay, 1987/1989). La théorie du phlogistique a été formulée en 1702 par Stahl et a connu un franc succès au XVIII^e.

La même année, en 1779, Jan Ingen-Houss (1730 – 1799), médecin et botaniste britannique, publie un ouvrage de référence rapidement traduit en plusieurs langues : *Experiment upon vegetables, discovering their great power purifying the common air in the sunshine and of injuring it in the shade and at night*. Ingen-Houss prolonge les travaux de Priestley sans toutefois pouvoir conclure, la chimie de Lavoisier n'étant pas encore dévoilée. C'est pourquoi, plus tard, en 1796, il peut écrire dans *On the Nutrition of Plants*, qu'à l'obscurité, les plantes ont une action délétère sur l'air. De plus, il montre que toutes les parties libèrent de l'acide carbonique et que seules les parties vertes produisent de l'oxygène lorsqu'elles sont éclairées. Son succès scientifique vient du fait qu'il explique deux phénomènes sans les confondre, ce qui témoigne du franchissement d'un obstacle à la compréhension des échanges gazeux : la respiration et la nutrition carbonée. Aussi peut-il justifier les différences de nutrition entre les plantes en germination des plantes en développement. Sachs (ibid, p.510) en déduit qu'il « considérait l'acide carbonique atmosphérique comme la principale et peut être même l'unique source de production de carbone végétal ». A ses opposants comme Hassenfratz, il argumente qu'un arbre de grande dimension ne peut trouver autant de matière, pendant un temps long, dans la terre nourricière.

Jean Senebier (1742- 1809) contemporain d'Ingen-Houss, travaille beaucoup sur l'influence de la lumière sur les plantes. Son avantage est de connaître les préceptes de la chimie. Dans sa *Physiologie végétale*⁷⁵ rédigée de 1782 à 1788, le quatrième tome il s'intéresse plus particulièrement à la nutrition des plantes. Le chapitre VIII commence d'ailleurs par les

75 Ouvrage repéré à : <http://www.babordnum.fr/files/original/c00c93ddf5e0987ecd770567abbd18ae.pdf>

connaissances suivantes : « *L'analyse moderne les offre dans les terres , le carbone, le calorique , l'oxygène, l'hydrogène & l'azote ; on ignore s'il y a d'autres principes élémentaires des végétaux, mais on peut avec ceux-là établir une théorie végétale.* » (p.165). Il remarque également « *qu'il sortait du gaz oxygène de leur substance verte au soleil, & j'ai conclu que les matières solides & fluides étaient les produits de la décomposition de l'eau & de l'acide carbonique , & de la combinaison du carbone avec les gaz hydrogène, azote , oxygène & la terre que la sève paraissait former; mais j'ai vu aussi que ces matières solides & fluides favorisaient l'accroissement des plantes* » (ibid, p.169). En revanche, il commet certaines erreurs en regard des savoirs scientifiques actuels comme le fait que l'acide carbonique pénètre dans les feuilles quand la sève monte après être passée par les racines. Au demeurant, en qualité de scientifique, il s'entoure de quelques précautions en prenant de très nombreux exemples, et on peut lire aussi à propos de la chimie de la nutrition : « *Mais les ténèbres les plus épaisses couvrent encore ce mystère* » (ibid, p.184).

En 1804, une nouvelle méthode, par voie quantitative, propose la résolution des problèmes de la compréhension de la nutrition des plantes, est publiée dans *Recherches chimiques sur la végétation*. Son auteur, Théodore De Saussure (1767 – 1845), démontre l'importance des minéraux du sol dissous. Si de nombreux doutes habitent les botanistes, il prouve le rapport entre les cendres et le degré de développement des plantes et que celles-ci absorbent différemment les minéraux. Le problème, rappelle Sachs (ibid), c'est que la théorie de la diffusion n'est pas encore établie. Par ailleurs, il corrige les affirmations de Senebier en montrant que c'est le carbone atmosphérique qui est assimilé par la plante. Dans le même temps, il écrit que l'oxygène est dégagé en quantité égale que le CO₂ absorbé et qu'il y a un gain de poids par la plante. Nous relevons aussi qu'il montre que la plante « inspire et expire le jour » alors qu'elle ne fait qu'inspirer la nuit. De plus, il constate que la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes soumises à la lumière représente une fonction essentielle de la plante, sinon elle meurt. Son ouvrage renferme une quantité d'informations, c'est que, nous dit Sachs (p.514), De Saussure cherche à établir des faits pour asseoir sa théorie. Son œuvre fourmille d'exemples et exprime avec force des éléments quantitatifs de la nutrition des plantes. Il montre par exemple qu'à l'obscurité, l'augmentation de l'acide carbonique, jusqu'à 8 %, est préjudiciable à la plante, ce qui lui permet d'affirmer que : « *les différents éléments empruntés à l'eau se trouvent fixés, dans la plante, en même temps que le carbone, et que la nutrition ne peut s'effectuer d'une manière normale lorsque les végétaux n'absorbent pas des éléments azotés et des substances minérales* » (Sachs, ibid). A cette époque, la quantité d'azote est estimée au 4/5 de la composition de l'air et que la plante en contient d'où l'hypothèse d'une relation azote de l'air-plante. De Saussure arrive à montrer le contraire, il fait

alors l'hypothèse que l'azote ne peut provenir que des racines par des vapeurs ammoniacales : le problème est qu'il ne trouve pas d'expérience pour le prouver.

Les progrès de De Saussure sont considérables, son ouvrage de 1804 va faire référence pendant plus d'un demi-siècle. Encore une période féconde qui sera suivie « *d'un certain nombre d'années improductives* » (Sachs, *ibid*, p.518) qui témoignent probablement que des obstacles épistémologiques persistent.

2.2.6. Des avancées difficiles dans la première moitié du XIX^{ème} siècle

Suite aux travaux de De Saussure, succède une période d'une vingtaine d'années de relative stagnation concernant la construction de la théorie de la nutrition des plantes. Plusieurs raisons peuvent être proposées, d'abord le manque de connaissances produites relatives à l'anatomie des plantes, ensuite, les travaux de Malpighi sur la décomposition de l'acide carbonique dans la feuille sont oubliés, mais la principale, qui explique peut-être les précédentes, est probablement l'importance de la croyance au vitalisme. En effet, selon Caguilhem (1952), il s'agit d'une position de principe voire d'un cadre théorique en biologie qui affirme une vitalité de la vie, elle s'oppose à un principe dominant de la physique : le mécanisme. Nous nous concentrons maintenant sur la période 1804 – 1840.

Durant cette période, les travaux autour de l'oxygène sont nombreux. Nous reprenons les principaux selon nous. De Saussure et René Joachim Henri Dutrochet (1776 – 1847), botaniste et physiologiste, avaient montré la relation entre le développement des plantes, voire leur sensibilité, avec l'absorption d'oxygène. La faculté des plantes à absorber l'oxygène par toutes les parties est acceptée et la comparaison respiration animale et végétale est une base partagée par les botanistes. Grischow en 1819 la compare aussi aux champignons. Comme il y a un lien entre respiration et chaleur animale, l'hypothèse est appliquée aux plantes mais cela reste difficile à prouver. Les botanistes se concentrent surtout sur les fleurs, organes à forte activité. Lavoisier avait prouvé en 1777 que l'oxygène absorbé par les animaux amenait à la combustion des substances carbonées qui elle-même libérait de la chaleur. Senebier expérimente sur la fleur d'Arum⁷⁶, il relate son travail méticuleux dans *Physiologie de la plante* de 1800. Il constate notamment une élévation de température lorsqu'il y a une forte absorption d'oxygène. Bory de Saint Vincent fait le même

76 La famille des Aracées comprend 25 espèces. La fleur unique est grande, elle possède un spathe coloré.

constat en 1804. De Saussure, lui, va réussir à montrer le lien entre l'absorption d'oxygène et l'échauffement de la fleur. Plus tard, en 1832, Goeppert, qui avait été plutôt sceptique selon Sachs (ibid), constate une élévation de température dans de nombreuses plantes, dans les jeunes pousses, les bulbes et les oignons. Meyen défend aussi ces résultats. Vrolik en 1836, puis Vriese en 1839 confirment également que la chaleur dans la fleur d'Arum dépend de l'absorption d'oxygène. Dutrochet en 1840 va même jusqu'à utiliser un thermomètre électrique pour prouver le dégagement de chaleur sur de jeunes pousses. Le problème⁷⁷ est que : « *la production de chaleur n'a pas nécessairement pour conséquence d'augmenter la température* » (Sachs, ibid, p.524). Par ailleurs, face à l'explication de l'origine de cette chaleur, ces auteurs se mettent en porte à faux avec l'explication vitaliste.

Revenons à Dutrochet qui de 1826 à 1837 s'accorde à l'importance de l'endosmose pour expliquer le problème de la compréhension des phénomènes physiologiques d'absorption de l'eau. Il constate, par des faits et expérimentalement, que des solutions concentrées font entrer l'eau dans un être vivant. Il découvre également l'état de turgescence de tissus cellulaires de plantes qu'il justifie par les phénomènes d'endosmose et d'exosmose. Travaillant sur les membranes animales et végétales, il constate deux courants inverses et il en déduit trop rapidement que les phénomènes d'endosmose et d'exosmose sont inséparables : c'est sa théorie de l'équivalence. Celle-ci va conduire à des erreurs d'interprétation chez de nombreux botanistes selon Sachs (ibid). D'autres, comme le botaniste Schleiden (1804 - 1881), vont s'opposer à cette théorie, prétextant que si les racines absorbent l'eau par endosmose alors elles devraient faire un exosmose équivalente ce qui apparemment n'est pas le cas et cela pose aussi le problème de savoir : « *comment les principes nutritifs pénètrent et se répandent dans la plante* » (Sachs, ibid, p.526). Par ailleurs, Dutrochet explique les « pleurs » des racines et l'ascension de la sève dans les parties ligneuses de la plante par deux principes : l'impulsion pour le premier, une endosmose des racines, et l'attraction pour le second.

Selon Sachs, de 1820 à 1840, Dutrochet et De Saussure sont considérés par les scientifiques comme les fers de lance de la physiologie végétale. Ils précisent que les cellules chlorophylliennes

⁷⁷ En effet, nous notons très souvent une confusion entre chaleur et température. Les ouvrages de SVT actuels et les confusions chez les élèves scientifiques indiquent qu'il s'agit probablement d'un obstacle lié à un manque de connaissances. D'un point de vue thermodynamique, la chaleur est une quantité d'énergie thermique contenue dans un corps et qui dépend de la densité de la matière. Deux processus la gouvernent : la convection et la conduction. La température, elle, est une agitation de l'atome qui joue sur sa vitesse de vibration ou de déplacement. L'erreur d'appréciation vient du fait que la chaleur est associée à des échanges thermiques et qu'un contact avec une zone froide, par exemple, peut s'opposer à une élévation de température.

dégagent seules l'oxygène et qu'il y a une différence entre la respiration et la décomposition de l'acide carbonique à la lumière. Cependant, pour caractériser ces deux phénomènes, et jusqu'en 1870, les termes utilisés sont la respiration diurne et la respiration nocturne. Une terminologie qui porte à confusion. Dutrochet commet d'autres erreurs comme le fait de considérer l'oxygène comme une condition mécanique du mouvement ascendant de la sève et des courbures héliotropiques⁷⁸. Ses *Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux* de 1837 sont une œuvre importante dans cette première moitié du XIX^{ème} siècle selon Sachs (ibid).

En 1832, un autre botaniste, Augustin Pyrame De Candolle (1806 – 1893), consacre un ouvrage à la nutrition végétale, *Physiologie des plantes*⁷⁹, et il y consigne de nombreux faits et citations. Pour lui, des forces animent les êtres vivants : la force d'attraction (pour les phénomènes psychiques), l'affinité élective (pour les phénomènes chimiques), la force vitale (cause première de tous les phénomènes physiologiques) et la force mentale (source des phénomènes physiques). Si la force vitale domine depuis plusieurs siècles, il s'en écarte sensiblement et avec précaution, parce qu'il peut s'appuyer sur la physique et la chimie. Le premier exemple qui nous semble saillant est l'attribution à la chaleur du mouvement de la sève : « *Si on met en hiver un arbre avec ses racines en terre plongées dans un vase d'eau à une température de quelques degrés seulement au-dessus de zéro, et qu'on introduise une branche dans une serre chauffée à douze ou quinze degrés, cette branche développe ses feuilles et ses fleurs, tandis que le reste de l'arbre, exposé à l'air froid, est encore dans un état complet de torpeur* » (De Candolle, 1832, p.92-93). Il montre aussi que la lumière est un facteur du mouvement de la sève. Pour appuyer ses conclusions, partant de la pensée aristotélicienne et de l'hégémonie du vitalisme, il reprend ensuite de très nombreux savants comme Fabri, Grew, Malpighi, Digby, Perrault, Wolf, De Lahire, Borelli, Hales, Davy, Senebier, Dutrochet, Porret, Poisson, Laméthrie, De Saussure. Même s'il cherche à se défaire du vitalisme, ses propos le trahissent comme le montre cet extrait (ibid, p.104) : « *Je me suis hasardé à croire [...] que les cellules sont douées d'une contractilité vitale, analogies aux mouvemens⁸⁰ de systole et de diastole qu'on observe dans le coeur de vertébrés [...] et que ce mouvement qui élargit et rétrécit alternativement les cellules et les méats intercellulaires, sert aussi à déterminer la marche de la*

78 L'héliotropisme correspond littéralement à l'attraction vers le soleil dont l'exemple paradigmatique est le Tournesol (*Helianthus annuus*). Certaines parties de la plante, les feuilles, les fleurs et les tiges s'orientent sous l'action d'une phytohormone : l'auxine.

79 L'ouvrage *Physiologie des plantes* a pour premier sous-titre *Exposition des forces et des fonctions vitales des végétaux* et deuxième sous-titre *Pour servir de suite à l'organographie végétale, et d'introduction à la botanique géographique et agricole*. Repéré à : <https://www.biodiversitylibrary.org/item/189408#page/22/mode/1up>

80 Pour des raisons d'authenticité, nous reprenons l'orthographe exacte du passage.

sève ». Il ajoute, sur la même page, qu'il est ainsi évident de comprendre : « *comment la lumière et la chaleur, qui sont des excitants de tous les corps vivans, excitent aussi l'action vitale des cellules végétales* ». Nous pourrions voir en cette explication une réponse possible à notre questionnement : pour quelles raisons le vitalisme marque-t-il autant la construction de la théorie de la nutrition des plantes ? Le problème est que le vitalisme pourrait faire correspondre à la fois l'explicans⁸¹ et l'explicandum : s'agit-il d'une solution de facilité conceptuelle ? Un autre problème important déclenché par De Candolle est qu'il a inventé les spongioles⁸² des racines et que cette idée persiste pendant tout le XIX^{ème} siècle, probablement parce que la conception est simple : les racines absorberaient, comme une éponge, les substances nourricières du sol. Il s'agit d'un obstacle repéré comme verbal dans le chapitre 4 de Bachelard (1938/2011, p.73) où il affirme que « *la fonction de l'éponge est d'une évidence claire et distincte, à tel point qu'on ne sent pas le besoin de l'expliquer* » et il ajoute (ibid,p.74) que « *A l'éponge correspond donc un denkmittel de l'empirisme naïf* ».

De Candolle, toujours, expérimente pour comprendre le problème explicatif des mouvements de la sève. Selon lui, d'un côté les substances du sol s'incorpore dans la plante en une gomme et, du côté des feuilles, la matière élaborée descend nécessairement « *tout ou en partie le long de l'écorce* » (De Candolle, 1832, p.147) mais que « *cette matière ne descend pas que par son poids* » (ibid, p.105). En effet, il constate que les branches artificiellement recourbées vers la terre ont la sève qui coule en sens inverse de la pesanteur. Il se penche alors sur l'anatomie des couches cellulaires et formule alors deux hypothèses (ibid, p.157-158) : « *ou il descend du haut de l'arbre des rudimens de fibres qui seront nourries et développées par des sucs venant latéralement des corps ligneux et cortical* » ou « *il se forme des couches développées par les préexistantes, qui seront nourries par les sucs descendans formés dans les feuilles* ». D'autres expériences et faits observés au sujet du mouvement de la sève le conduisent à en déduire que le liquide nutritif est « *comme un véhicule de principes nutritifs* » (Sachs, ibid, p.534). L'existence de la contractilité des cellules évoquée plus haut constituerait alors la véritable énergie vitale des plantes. Malgré certaines erreurs d'interprétation, nous devons retenir de De Candolle qu'il place la feuille comme organe principal de la nutrition des plantes et pour deux raisons. D'abord, il leur assigne le lieu de la

81 Popper (ibid, p.297-298) dit que : « *le but de dire que le but de la science, c'est de découvrir des explications satisfaisantes de tout ce qui nous étonne et paraît nécessiter une explication. Par explication (ou explication causale), on entend un ensemble d'énoncés dont l'un décrit l'état de choses à expliquer (l'explicandum), tandis que les autres, les énoncés explicatifs, constituent l'explication au sens plus étroit du terme (l'explicans de l'explicandum)* ».

82 A propos de la nutrition par les racines De Candolle résume la fonction des racines (ibid, p.62) : « *Ce ne sont pas même les racines entières qui sont douées de faculté d'absorber la nourriture, mais seulement leurs extrémités ou spongioles [...] cette extrémité composée d'un tissu cellulaire fin, serré, spongieux et tout fraîchement développé, possède au plus haut degré la faculté hygroskopique propre au tissu végétal* ».

décomposition de l'acide carbonique à la lumière, ensuite parce qu'il indique que la feuille est le lieu de formation des substances organisées.

Pour terminer ce point, nous engageons deux spécialistes des plantes, Treviranus et Meyen, parce qu'ils représentent une forme hétéroclite des approches des explications de la physiologie des plantes. Le premier, Ludoph Christian Treviranus (1776 – 1833) est professeur de botanique à Bonn et directeur du jardin botanique de Breslau. Dans son ouvrage *Physiologie der Gewächse* de 1835, il ne peut se détacher du vitalisme, ce qui limite les explications qu'il pourrait fournir aux faits qu'il peut relater. Ainsi, il dit que la plante extrait du sol de la matière du sol qui devient vitale, il se rapproche donc de Dutrochet même si, pour les racines, il récusé les spongioles. Le second, Franz Julius Ferdinand Meyen (1804 – 1840), aussi convaincu par la force vitale, publie *Phytotomie* en 1830, où il investit l'histologie végétale. Son autre ouvrage marquant *Neues System der Pflanzenphysiologie* de 1838, renvoie les explications physiologiques à des causes physiques et non chimiques. Cependant, selon lui, l'absorption d'oxygène est la seule fonction importante et intelligible. L'action de la lumière sur l'acide carbonique lui paraît inutile et le carbone des plantes provient d'un extrait du sol, ce qui nous rappelle la théorie de l'humus : « *avant tout, il faut savoir poser des problèmes* » (Bachelard, 1938/2011,p.16).

Cette première moitié du XIX^{ème} siècle est donc à la fois poussée par des découvertes qui sont empêtrées d'idées anciennes difficiles à abandonner, en témoigne le vitalisme, et parfois entourée d'erreurs qui conduisent les recherches à des impasses ou à un champ stérile de connaissances. Pouvons-nous y associer une origine possible de difficultés conceptuelles à élaborer la théorie de la nutrition des plantes ?

2.2.7. La question des matières nutritives des plantes est tranchée à la fin du XIX^{ème} siècle

La nouvelle période que nous abordons est comprise entre 1840 et 1860. Ingen-Houss, Senebier et De Saussure sont reconnus pour leurs travaux et, dans le même temps, de vives discussions témoignent d'une vivacité de la culture scientifique : elles concernent les erreurs ou les faits considérés comme secondaires. Pour comprendre le contexte scientifique, nous dit Sachs (ibid), en 1838 un prix « ami de la science » de l'Académie de Göttingue dont le sujet est « *Les éléments qu'on désigne sous le nom d'éléments inorganiques et dont on peut constater la présence dans les plantes, se trouveraient-ils à l'intérieur des végétaux dans le cas où ceux-ci ne leurs sont*

pas fournis du dehors, et ces éléments peuvent-ils être considérés comme des parties essentielles de l'organisme végétal, comme des substances indispensables au complet développement de cet organisme ? » (Sachs, 1872, p.541). Le début de la question témoigne de la résistance de la théorie de la force vitale qu'il s'agit, encore une fois, de balayer des esprits. Le prix est décerné à Wiegmann et Plstoff en 1842 lorsqu'ils prouvent que les parties salines sont nécessaires à la nutrition végétale.

Un acteur important est le chimiste renommé Justus von Liebig (1803 – 1873). Son ouvrage *Die organische chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und physiologie* propose d'appliquer la chimie et la physiologie végétale à l'agriculture. Le problème majeur alors est que « *la théorie de l'humus* » est erronée et ne considère pas « *les faits mêmes* » accumulés par l'expérience première (Sachs, ibid, p.542). La force de Liebig est donc d'effacer cette théorie séculaire, ce qu'il entreprend en montrant, par de nombreux calculs, que, dans le temps, la végétation augmente continuellement la quantité d'humus dans le sol et que les plantes ne l'absorbent pas. Il prouve aussi que le carbone ne peut venir que de l'acide carbonique atmosphérique. Toutefois, Liebig nie la respiration, ce qui soulève des controverses dans ses résultats.

Liebig confirme également les travaux de De Saussure en montrant que les plantes assimilent les éléments de l'eau en même temps que le carbone. Il reste un problème important à résoudre et qui fait polémique : l'origine de l'azote dans la plante. Il était commun de penser qu'il venait du sol sous la forme de combinaisons organiques issues de l'humus. Cependant, De Saussure indique désigne en 1804 l'ammoniaque⁸³ comme source de cet azote. De ses recherches Liebig conclut que « *l'acide carbonique, l'ammoniaque et l'eau contiennent tous les éléments nécessaires à la formation des substances vivantes, tant animales que végétales* » (Sachs, ibid, p.543). Alors que Liebig est considéré comme méprisant les physiologistes et les botanistes, Schleiden et Hugo von Mohl (1805 – 1872) s'empressent de le critiquer vivement. Ces critiques portent plus sur des détails, mais aussi sur les compétences de Liebig qui ne connaît pas l'anatomie des plantes. Par ailleurs, certaines questions subsistent, notamment le devenir des premiers produits de l'assimilation et leur transformation, mais aussi sur le lien entre minéraux basiques et acide gras végétal et surtout si l'assimilation produit bien des hydrates de carbone⁸⁴.

83 L'ammoniaque est une solution aqueuse basique de l'ammoniac. Il s'écrit NH_3 , H_2O ou NH_4OH . Il contient donc l'élément azote N recherché.

84 Les hydrates de carbone correspondent aux glucides. Cette dénomination provient du fait que l'on dénommait les molécules de formule générale $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$; par exemple, le glucose de formule $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ qu'on peut aussi écrire $\text{C}_6(\text{H}_2\text{O})_6$.

Un deuxième acteur majeur de cette période est sans conteste Jean-Baptiste Boussingault (1801 – 1887), chimiste et botaniste, dont les publications sont remarquables d'un point de vue scientifique (protocoles, calculs, analyses...). Nous en donnerons un exemple un peu plus loin. Il travaille principalement sur la germination et le développement des plantes, mais notre intérêt va porter sur ses recherches concernant l'azote. Le chercheur perfectionne inlassablement ses protocoles de 1851 à 1855 et montre que la plante absorbe l'azote sous forme de nitrates⁸⁵. Il teste des cultures sur un sol dépourvu d'humus mais avec des nitrates et des cendres. En effet, Boussingault (1860, p.9) s'appuie sur des faits indiscutables à l'époque : « *comme il est parfaitement établi que le fumier convient à toutes les cultures, ses cendres renferment naturellement toutes les substances dont la plante a besoin* ». Dans le même temps, il prouve que le carbone ne peut provenir que de l'acide carbonique. Ses démonstrations sont longues et bien étayées, Sachs (ibid) n'hésite pas à dire qu'il est le fondateur de nouvelles méthodes d'expérimentation dans le problème de la nutrition des plantes. Dans son ouvrage *Agronomie, chimie agricole et physiologie* (1860) il passe en revue ses expériences et nous développons, dans le cadre de notre recherche de la nutrition des plantes, le problème de l'origine de l'azote. Sa méthodologie (p.5-15) est très détaillée⁸⁶, il précise toutes les conditions nécessaires jusqu'au détail du matériel utilisé, plus encore, il livre ses précautions et n'hésite pas à critiquer son travail. Nous comprenons alors l'affirmation de Sachs sur ses qualités scientifiques. Ainsi, écrit-il : « *le principe fondamental de la méthode consiste [...] à déterminer la quantité d'azote dans une graine, puis ensuite la quantité d'azote renfermée dans la plante issue d'une graine semblable à celle sur laquelle a été faite la première détermination, la végétation s'étant d'ailleurs accomplie dans de telles conditions, que tout concours de substances organiques azotées ait été sévèrement éloigné* » (Boussingault, 1860, p.9-10). Il conclut un peu plus loin que « *on est plus en état de juger comment se comporte le végétal qui [...] n'a pour se développer que de l'air atmosphérique, du gaz acide carbonique, de l'eau et des substances minérales* » (ibid, p.15).

Finalement, de 1840 à 1860 quatre constats sont établis :

85 Le nitrate est un ion NO_3^- produit au cours du cycle de l'azote. Il est très soluble et se retrouve facilement dans les eaux de lessivage. Par ailleurs, les plantes l'absorbent facilement et il est ensuite directement disponible.

86 Nous illustrons ce propos par la première série d'expérience réalisée en 1851, pendant deux mois, sur des haricots nains (ibid, p.16-17) : « *un haricot nain pesant 0^{gr},780 devant renfermer, d'après les analyses précédentes, 0^{gr},0349 d'azote, a été mis le vingt août, dans la ponce-sol convenablement préparée, et contenant de la cendre de fumier. Le 1^{er} septembre, les feuilles séminales sont développées. Appareil A. Le 4 octobre, indépendamment des feuilles séminales, on compte six feuilles d'un vert assez pâle ...* ». Boussingault poursuit la description pour ensuite noter des calculs qui lui permettent d'affirmer qu'il y a eu : 0^{gr},0009 d'azote perdu dans la culture d'où (ibid) « *Conclusion : Il n'y a pas eu d'azote fixé pendant la végétation* ».

- la plante verte tire du carbone de l'acide carbonique atmosphérique ;
- l'acide carbonique fournit le carbone aux plantes et aux animaux ;
- les végétaux tirent l'azote des sels ammoniacaux et des nitrates ;
- les alcalis et les principes terreux sous forme de sulfates et phosphates sont indispensables.

Il est également question des mouvements de la sève. Wilhem Hofmeister (1824 – 1877) est un botaniste connu pour ses travaux sur les phanérogames et spécialiste de la morphologie végétale comparée. Il montre que les pleurs de la vigne et de nombreux arbres peuvent se produire pour toutes les plantes et à toutes les époques de l'année selon certaines conditions. Si l'ascension de la sève est peu discutée, le problème de la sève descendante n'est pas encore clarifié. La question est aussi de savoir dans quels tissus se fait la migration et quelle est la nature des substances. Il y a nécessité d'études plus précises, ce que va apporter la microchimie en 1857. Théodore Hartig (1805 – 1880) a travaillé pendant dix ans (1840 à 1850) sur l'amidon des arbres et les albuminoïdes⁸⁷ des graines. Il découvre également l'existence de tubes criblés⁸⁸. Selon lui, la sève est une matière informe et gélatineuse, ce qui rappelle la gomme de De Candolle, et il ajoute que « *La sève nourricière brute, subit à l'intérieur des feuilles, les modifications qui la transforment en sève formatrice primitive* » (Hartig, 1858, p.341 / cité par Sachs, ibid, p.549). Il est possible d'en conclure que les botanistes avaient admis l'existence d'une substance plus ou moins gélatineuse qui se forme dans les feuilles.

2.2.8. Les nouveaux apports à la théorie depuis Sachs de la fin du XIX^{ème} au XX^{ème} siècle

Outre l'ouvrage sur lequel nous nous sommes largement appuyés pour définir une histoire de la théorie de la nutrition des plantes, Sachs publie, en 1865, *Handbuch der Experimentalphysiologie des Pflanzen*. Il y règle la question de la photosynthèse. Nous pouvons alors considérer que les grandes lignes de la théorie de la nutrition des plantes sont dessinées. Aussi, depuis le début du XX^{ème} siècle, les scientifiques considèrent que cette connaissance étant admise, il fallait attendre d'autres progrès scientifiques pour approfondir la théorie (Rumelhard, 1985). Toutes les recherches réalisées depuis concernant la physiologie de la plante, et plus particulièrement ceux associés à leur nutrition concernent les facteurs de contrôle et les synthèses.

87 Les albuminoïdes sont des substances azotées dont les propriétés se rapprochent de l'albumine (protéine).

88 Les tubes criblés constituent les vaisseaux du phloème de la sève dite « descendante », ils sont constitués d'une succession de cellules vivantes dont les parois transversales sont perforés : des cribles. Le tube formé par ces cellules peut ainsi laissé transiter la sève.

Or « *la diversité des phénomènes et la complexité de leurs mécanismes [...] (sont) pratiquement absent des programmes secondaires* » constatait Heller (1977/1989, avant-propos), ce que nous confirmons dans le programme de 2011. Aussi, les découvertes concernant la biochimie qui entoure les mécanismes de la photosynthèse, la biologie moléculaire dont *Arabidopsis thaliana* est un emblème, la cytogénétique⁸⁹ classique et moléculaire, les potentialités de plasticité⁹⁰ des plantes, l'importance accordée à la symbiose et au mutualisme (Selosse, 2017), les techniques d'amélioration des rendements agricoles associés à la chimie mais aussi la découverte de nouvelles techniques comme l'utilisation des rayons X, la chromatographie etc... dépassent les limites que nous nous sommes fixés pour notre recherche. En conséquence, pour notre thèse, nous considérons que « *l'ensemble des savoirs impliqués correspondent grosso modo à ce qui était établi ou admis vers 1930 environ* » dans la théorie actuelle de la nutrition des plantes (Rumelhard, 1985, p.37).

Pour cette période, les travaux concernent surtout le rôle des éléments minéraux dont Raulin, Ville, Sachs et Knopp sont les porteurs et les oligoéléments avec Maze en 1915 (Rumelhard, 1985). Dans le même temps, les échanges gazeux sont discutés pour mieux les séparer, nous faisons référence à la respiration et la photosynthèse, et les quantifier. L'objectif est de faire un bilan des gaz, Bernard, Garreau, Bonnier et Mangin, Maquenne et Demoussy vont permettre de faire cette distinction jusqu'à établir un quotient des gaz, égal à 1, et qui ne varie pas.

2.2.9. Une proposition de résumé de l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes

Comme de nombreux scientifiques, nous accordons à Aristote et Théophraste les premiers rudiments de la théorie de la nutrition des plantes. Une théorie réductrice qui considère l'humus comme principe nourricier (théorie de l'humus) et la force vitale comme principe fondamental qui régit l'intérieur de la plante pour son développement. Un paradigme qui semble traverser les siècles (figure 40).

Pour les schémas qui vont illustrer ce résumé, nous utilisons la même légende. Chacun illustre les points clés de la pensée ou des recherches effectuées par chaque scientifique. Il n'était pas possible d'être exhaustif. Néanmoins, notre objectif est de montrer comment se construit l'évolution de la théorie au cours du temps. Nous tenons également à préciser que, pour réaliser les

89 La cytogénétique étudie l'ADN du noyau, en particulier pendant les divisions cellulaires, qui nécessitent matière et énergie, sont inévitablement reliés à la nutrition de la plante.

90 Plasticité au sens de variation du phénotype en fonction des conditions environnementales.

schémas, nous reprenons l'idée du schéma de « l'histoire de la photosynthèse » d'après Souchon et Kassou(1992, p.71)⁹¹, que nous transformons (figure 16) :

Légendes :

-  Plante verte
-  **Sève** : mouvement de la sève
-  **FV** : force vitale (vitalisme)
- S** : substances issues de la transformation de l'acide carbonique
- ?** : incertitude ou doute de l'auteur
- O** : oxygène (équivalent pour nous à dioxygène O₂)
- AC** : acide carbonique (équivalent pour nous à dioxyde de carbone CO₂)
- C** : carbone pour origine du carbone dans la plante
- En bleu : théorie fausse (spongiolo, endosmose etc...)**
- / valvules** : l'auteur s'oppose/démontre que le concept est faux
- Fe**  : prise en compte des feuilles dans la nutrition
- So**  : soleil ou lumière

Figure 16 : les légendes utilisées pour le résumé de l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes

LES ORIGINES : le problème de l'origine de la matière

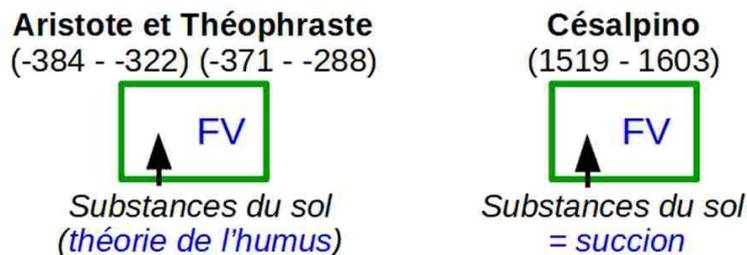


Figure 17: les origines de la théorie de la nutrition des plantes

Jusqu'à la fin de la Renaissance, nous avons montré, dans la partie « 3.2. Fondements de la botanique », que les préoccupations sont tournées vers la réalisation d'herbiers et de l'importance des plantes médicinales. De nouveaux problèmes surgissent au milieu du XVII^{ème} siècle lorsque des botanistes s'intéressent aux phénomènes inhérents aux plantes et les relations avec le milieu

91 Selon Kassou et Souchon (1992, p.71), le schéma qu'ils proposent vient en déduction de leur analyse des propos de Guy Rumelhard (1985) dans un numéro d'Aster n°1 « Quelques représentations à propos de la photosynthèse ».

extérieur. Malpighi ⁹² (1628 - 1694), médecin naturaliste italien, « fut le premier à déterminer la part de chaque organe végétal dans l'œuvre commune de la nutrition; il découvrit, par analogie, que les feuilles vertes sont des organes spéciaux, destinés à faire subir aux principes nutritifs les transformations voulues » (Sachs, 1892, p.461). Ainsi, prétend-t-il, que les matières élaborées peuvent nourrir toute la plante. Mais quelle est la nature de ces matières ?

Il faut attendre les progrès de la chimie sous l'impulsion de Mariotte, physicien et botaniste, qui prouve expérimentalement que les plantes réalisent de nouvelles combinaisons chimiques à partir des « principes » nourriciers du sol et de l'eau, principes qui seraient les mêmes pour toutes les plantes. En ce début de XVII^{ème} siècle, Jean-Baptiste van Helmont, physiologiste, médecin mais aussi alchimiste, réalise des expériences dont certaines, même si leur interprétation sont contestables d'un point de vue des connaissances actuelles, sont toujours des exemples paradigmatiques⁹³ dans des recherches didactiques et dans l'enseignement français (Campestrini, 1992). Le scientifique attribue aux plantes le pouvoir de tirer de l'eau avec des éléments combustibles ou incombustibles. Par ailleurs il est « le premier semble t-il, (a) propose le terme de gaz. Toutefois, lui aussi, ne fait pas le grand saut... son but est, non pas de dissocier l'air, mais de distinguer différentes sortes d'airs; les vents, les vapeurs ou les exhalaisons sont définis suivant leur origine, il appelle par exemple air sylvestre un gaz plus lourd que l'air qui se dégagait des brasseries » (Giordan, Raichvarg, Drouin, Gagliardi et Canay, 1987/1989, p.59).

Le début du XVIII^{ème} siècle est marqué par l'étude les problèmes de l'origine et des mouvements des gaz. L'écclésiastique chimiste, physiologiste et inventeur, Stephen Hales est surtout connu pour son *Vegetable staticks*⁹⁴ de 1727. Il étudie les gaz issus des distillations sèches des plantes et « conclut de ses observations à ce sujet qu'une quantité considérable de substance végétale est prise à l'atmosphère sous forme de gaz » (Sachs, 1892, p.461). Si les vues des auteurs convergent vers les principes fondamentaux d'une théorie de la nutrition végétale, les botanistes de l'époque, précise Sachs (ibid) ne prennent pas en compte les matières premières que sont la terre,

92 Malpighi est le fondateur de la phytotomie, science qui consiste à disséquer les plantes pour en comprendre les structures et leur fonctionnement.

93 L'expérience du saule de van Helmont, extrait du chapitre 15, première partie des « Œuvres de Jean-Baptiste van Helmont traitant des principes de médecine et physique, pour la guérison assurée des maladies » (1670) cité par Campestrini (1992, p.86) : "J'avais pris un pot de terre cuite. J'y avais placé 200 livres de terre, séchée dans un four, arrosée d'eau ensuite, et j'y avais planté une bouture de saule pesant 5 livres. Cinq ans après, l'arbre qu'elle était devenue pesait 169 livres et 3 onces. Mais le pot n'était constamment humidifié que par la pluie ou, quand c'était nécessaire, par de l'eau distillée... Je n'ai pas relevé le poids des feuilles tombées lors des quatre automnes. Finalement, je séchai à nouveau la terre du pot, je trouvai qu'elle pesait 200 livres moins 2 onces : 169 livres de bois, écorce et racines, avaient donc été produites à partir de l'eau seule ».

94 L'ouvrage a été traduit en France en 1753 par Buffon sous le nom de *Statique des végétaux*.

l'air et l'eau, sans compter non plus les transformations réalisées par les feuilles. L'orientation des recherches privilégie désormais les mouvements de la sève (figure 18).

LE XVII^{ème} SIECLE et le problème du mouvement de la sève

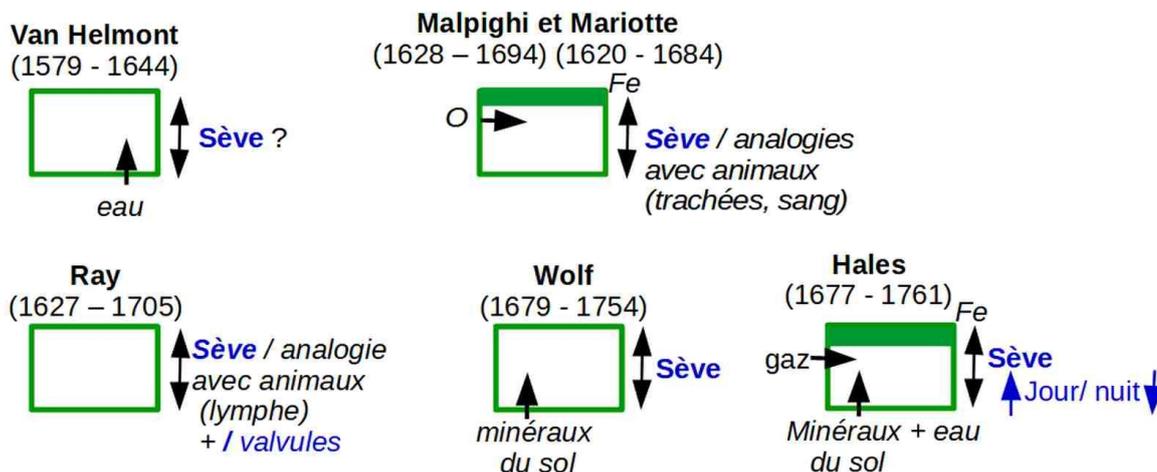


Figure 18 : évolution la théorie au XVII^{ème} siècle

C'est qu'il fallait attendre les travaux de Lavoisier pour changer de paradigme et remplacer la chimie de la phlogistique⁹⁵ par la chimie moderne. Sachs (ibid, p.462) précise que « les découvertes qui se succédèrent de 1770 à 1790 permettent à la fois d'établir les bases de la chimie nouvelle, et de fonder une nouvelle théorie de la nutrition végétale ». Lavoisier inspire Jan Ingen-Houss, il montre, en effet, que toutes les parties de la plante absorbent de l'oxygène⁹⁶ et produisent de l'acide carbonique⁹⁷. Dans le même registre, Jean Senebier (1742 – 1809), considéré comme spécialiste de la physiologie végétale et de la photosynthèse, montre que l'acide carbonique se décompose grâce à la lumière et uniquement dans les parties vertes de la feuille. Par ailleurs, Nicolas Théodore de Saussure (1767 – 1845), chimiste, biochimiste et botaniste suisse, prouve que la plante décompose l'acide carbonique, le carbone C augmente leur poids avec les éléments de l'eau. De surcroît, il montre que l'azote⁹⁸ atmosphérique ne participe pas à la formation des matières

95 La théorie du phlogistique explique la combustion par la présence d'un élément-flamme fluide, comme sont les flammes, selon le chimiste allemand Johann Joachim Becher (1635 – 1682). Cette théorie a été balayée par Lavoisier qui a su montrer le rôle du dioxygène dans la combustion.

96 L'oxygène O correspond à l'élément chimique mais, dans les écrits de l'époque, il est aussi le gaz que nous appelons de manière plus scientifique le dioxygène O₂. Pour conserver l'aspect historique de la partie consacrée à aux fondations de la théorie de la nutrition chez les plantes, nous conservons donc les termes d'oxygène et d'acide carbonique aux échanges gazeux.

97 L'acide carbonique H₂CO₃ est obtenu par dissolution spontanée du gaz carbonique ou dioxyde carbone CO₂. Il s'agit d'un acide faible dont les anions caractéristiques sont HCO₃⁻ et CO₃²⁻.

98 L'azote N est élément, le gaz est le diazote N₂, il s'agit d'un abus de langage fréquent.

de la plante. Ainsi, Ingen-Houss, Senebier et de Saussure sont considérés, selon Sachs (ibid), comme les découvreurs des phénomènes les plus importants dans les échanges gazeux. En revanche, leur interprétation est erronée. Dutrochet et Augustin Pyrame de Candolle (1778 – 1841), botaniste, vont, quant à eux, déterminer l'importance des fonctions des parties vertes de la plante. Ils montrent qu'elles interviennent dans la nutrition et la respiration, c'est-à-dire, dans l'absorption de l'oxygène et du rejet de l'acide carbonique.

Le problème est qu'en ce début de XIX^{ème} siècle, la théorie de la force vitale est actée pour les philosophes, les physiologistes, chimistes et physiciens selon Sachs (ibid). Nous comprenons alors que, selon les scientifiques de cette époque, il est plus rationnel de considérer des substances mystérieuses comme base de la nutrition (l'humus). Cela n'est pas sans rappeler le substantialisme de Bachelard (1938/2011, p.116), un obstacle épistémologique qui « est fait de l'assemblage des intuitions les plus dispersées et même les plus opposées ». Il ajoute d'ailleurs que cet obstacle « unit directement à la substance les qualités diverses, aussi bien qu'une qualité superficielle qu'une qualité profonde, aussi bien une qualité manifeste qu'une qualité occulte » (ibid). Force est de constater que l'humus réunit toutes ses qualités. Au XIX^{ème} siècle, les botanistes rapportent donc la nutrition des plantes aux racines, une réification de la nourriture du sol. Cependant, les cendres obtenues après la combustion d'une plante leurs posent un problème : quelle est leur origine ? Sont-elles les produits de la force vitale ? (Figure 19).

LE XVIII^{ème} SIECLE et le problème de l'origine de la matière minérale et des échanges gazeux

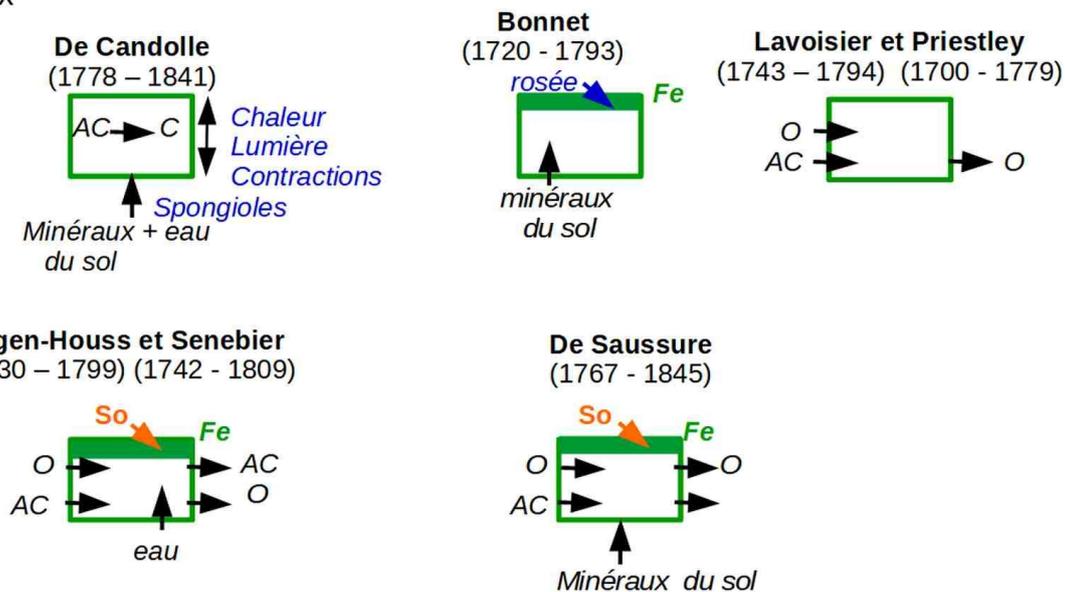


Figure 19 : évolution de la théorie au XVIII^{ème} siècle

Légendes :

-  Plante verte
-  **Sève** : mouvement de la sève
- FV** : force vitale (vitalisme)
- S** : substances issues de la transformation de l'acide carbonique
- ?** : incertitude ou doute de l'auteur
- O** : oxygène (équivalent pour nous à dioxygène O₂)
- AC** : acide carbonique (équivalent pour nous à dioxyde de carbone CO₂)
- C** : carbone pour origine du carbone dans la plante
- En bleu : théorie fausse (spongiolle, endosmose etc...)**
- / valvules** : l'auteur s'oppose/démontre que le concept est faux
- Fe**  : prise en compte des feuilles dans la nutrition
- So**  : soleil ou lumière

Sachs (ibid) indique qu'une période charnière, entre 1820 et 1840, va permettre de lever le voile de la force vitale. Les chimistes réussissent à faire la synthèse de nouvelles combinaisons organiques considérées comme des produits de la force vitale. Dans le même temps, le développement des théories cellulaires initiées par Dutrochet, déjà cité ci-avant, et repris par l'Allemand Theodor Schwann (1810 – 1882) vont ouvrir de nouvelles perspectives. Dutrochet élabore une théorie des échanges cellulaires : l'endosmose⁹⁹ (Bolard, 2012). Aussi, affirme Bolard (ibid, p.7), Dutrochet présente « *une conception mécaniste de la physiologie, opposée à la conception vitaliste en cours à l'époque* ». De son côté, de Saussure, sous l'influence de Charles Bonnet, étudie de nombreux domaines des plantes : « *des questions d'anatomie et de physiologie végétales, ou encore de taxinomie botanique, mais aussi de géographie botanique, de problèmes écologiques, de météorologie agricole et même d'horticulture* » (Bungener, 2001, p.33). Pour notre étude, nous retenons que de Saussure prouve que la chaleur des plantes provient de l'absorption d'oxygène par les plantes. La théorie de la force vitale est fragilisée.

Un autre tournant est impulsé par Liebig. Celui-ci rejette la théorie de l'humus. Il prouve que « *le carbone des plantes est produit exclusivement par l'acide carbonique atmosphérique, que l'azote végétal provient de l'ammoniaque et de ses dérivés; que les éléments des cendres doivent être considérés comme des éléments de nutrition* » (Sachs, ibid, p.46). En revanche, Liebig nie l'absorption d'oxygène par les plantes. Mohl, botaniste prolifique au niveau des publications,

⁹⁹ Il résume sa théorie de la façon suivante : « *Lorsque deux liquides de densité ou de nature chimique différente sont séparés par une cloison mince et perméable, il s'établit au travers de cette cloison deux courants dirigés en sens inverse et inégaux en force. Il en résulte que le liquide s'accumule de plus en plus au côté vers lequel est dirigé le courant le plus fort. Ces deux courants existent dans les organes creux qui composent les tissus organiques, et c'est là que je les ai désignés sous les noms d'endosmose et d'exosmose* » (1827, p.393).

rétablit ce problème. Sachs (ibid) précise que Boussingault améliore les expériences sur les plantes en les cultivant sur des milieux purement minéraux, c'est-à-dire sans humus. Il résout alors l'origine du carbone atmosphérique et celui de l'azote au moyen de plantes nourries artificiellement. Il montre que : « l'azote atmosphérique libre ne contribue en rien à la nutrition des plantes; [...] en revanche, que l'azote des plantes augmente dans des proportions normales, lorsque les racines absorbent, non seulement les éléments des cendres, mais encore des nitrates » (Sachs, ibid). Nous terminons la période par les travaux de Sachs (1892) qui préfigurent la synthèse des recherches en cette fin de XIX^{ème} siècle et qui correspond à un modèle de la nutrition de la plante tel que l'on peut le concevoir pour un niveau scolaire (Figure 20). Pour autant, nous relevons que les entrées et les sorties de matière marquent fortement la représentation de la nutrition de la plante. Et si le mouvement de la sève est présent, le modèle n'apporte pas d'explications au fonctionnement. Nous pensons que cela pourrait entraîner des difficultés de compréhension des élèves sur les mécanismes à l'origine même du fonctionnement de la plante.

LE XIX^{ème} SIECLE et le problème du vitalisme

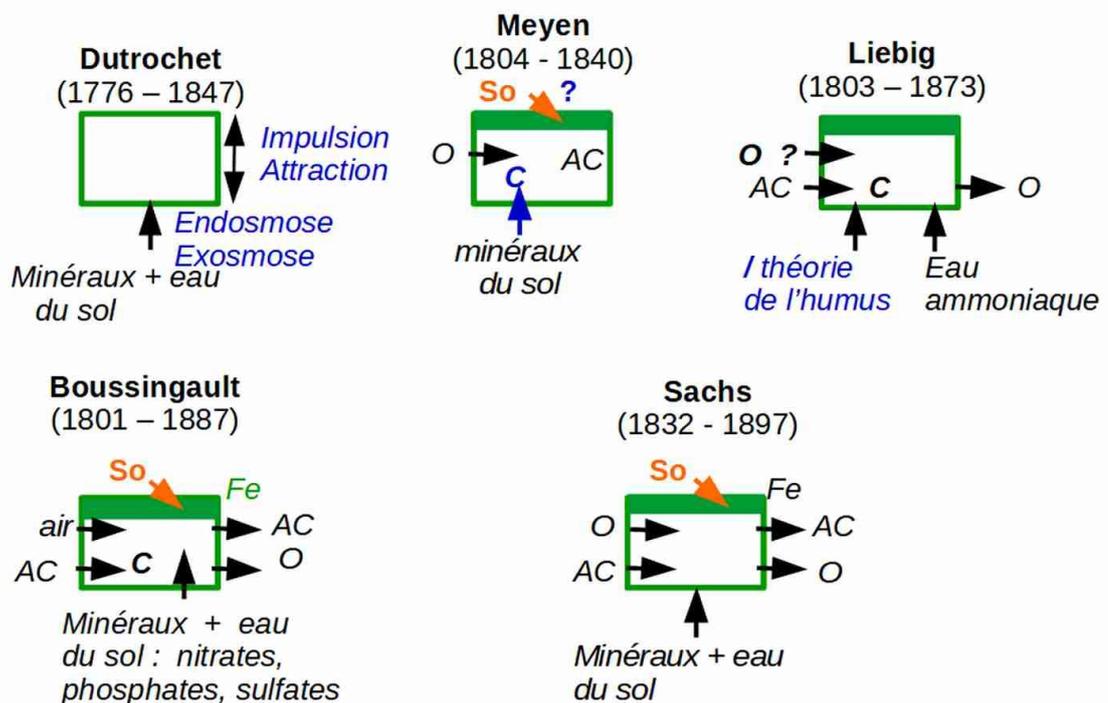


Figure 20 : évolution de la théorie au XIX^{ème} siècle

Si nous avons cherché à reconstruire l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes et des problèmes scientifiques qui lui sont inhérents, c'est avant tout à travers les botanistes et

physiologistes, mais aussi souvent chimistes, physiciens voire médecin, alchimistes. Il n'aurait pas semblé inopportun de croiser cette histoire de la botanique avec la philosophie car elle révèle la pensée d'une époque. Depuis la rupture cartésienne, philosophie et sciences s'hybrident souvent et n'a-t-on pas croisé des chimistes devenus philosophes tel Rousseau et Diderot ?

2.3. Bilan intermédiaire

Les fondements de la botanique et plus spécifiquement l'histoire de l'évolution de la théorie de la nutrition des plantes sont jalonnés par des préférences pour certaines théories qui sont toujours à la recherche de vérité. Or, écrit Popper (1972/1991, p.55), « *le chercheur de vérité et, particulièrement, de théories explicatives vraies* » s'oppose au point de vue pragmatique. Autrement dit, le but de la science est de découvrir des explications satisfaisantes au monde qui nous entoure. Il est question de découvertes, de théories erronées scientifiquement qui persistent dans le temps (vitalisme, théorie de l'humus, spongioles...), de périodes de stagnation ou d'impasses scientifiques : cela ne soulève-t-il pas des difficultés à problématiser la nutrition des plantes ? Il est aussi des périodes plus fructueuses comme si un élan intellectuel émergeait d'un point de vue historique : en réalité, c'est qu'un obstacle épistémologique est franchi. Nous avons malgré tout la conviction que tout scientifique s'appuie sur des travaux du passé pour développer de nouvelles théories ou faire évoluer la même théorie, et que certains ont l'intuition de rassembler les recherches pour en faire une synthèse qui engage alors un nouveau paradigme. La figure 21 suivante résume cette histoire des plantes et leur nutrition, le vitalisme est en toile de fond car il va marquer la théorie jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle. :

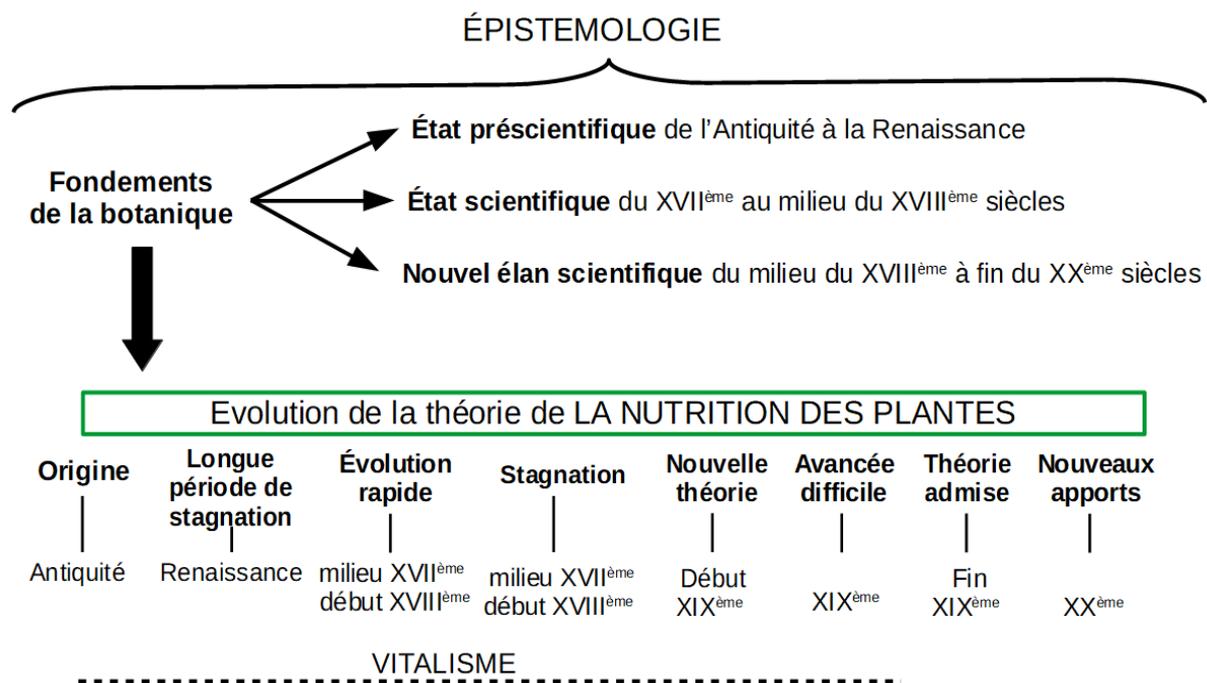


Figure 21 : histoire des plantes et évolution de la théorie de leur nutrition

Pour cette recherche, l'approche didactique du savoir s'intéresse à des savoirs spécifiques ancrés dans ceux des sciences de la vie et de la Terre et l'histoire des sciences. Le rapport aux savoirs de l'apprenant conduit à une double perspective, celle des rapports individuels et celle des rapports à l'institution. Il est également une explication possible aux difficultés d'apprentissage des élèves. C'est pourquoi notre enquête a pris le chemin de la connaissance de la construction de la théorie de la nutrition des plantes à la recherche d'explications possibles pour nous aider à analyser les productions langagières des élèves.

3. BILAN DU CHAPITRE 2

Les recherches les plus récentes font des plantes un élément majeur du paysage terrestre : « L'un des résultats saillants est le fort contraste entre biomes terrestres et marins : en termes de biomasse, les paysages marins sont dominés par les animaux, tandis que les végétaux dominent les paysages terrestres. » (Bar-On, Y., Phillips, R. et Milo, R., 2018, p.1). D'un point de vue évolutif, cette dominance est attribuée à la remarquable adaptation de leurs fonctions (relation, reproduction et nutrition). Celle qui concerne la nutrition est originale et plus complexe qu'il n'y paraît. Cela explique pourquoi, depuis l'Antiquité, les faits ont souvent précédé les explications rationnelles et conduits à des erreurs d'analyse rendant l'élaboration d'une théorie de la nutrition complexe. Les

obstacles rencontrés par les scientifiques relèvent à la fois de conceptions anciennes et du processus lent de la construction d'une théorie qui s'inscrit dans le champ scientifique et technologique. La théorie de la nutrition des plantes a donc traversé de nombreux siècles avant d'obtenir, à la fin du XIX^{ème} siècle, un statut premier partagé par tous. Celui-ci ne peut jamais être définitif, en témoigne les apports au XX^{ème} siècle, car une théorie s'approche toujours de la vérité sans jamais pouvoir l'atteindre réellement (Popper, 1972/1998). La figure 22 ci-dessous est une synthèse des points abordés dans le chapitre 2.

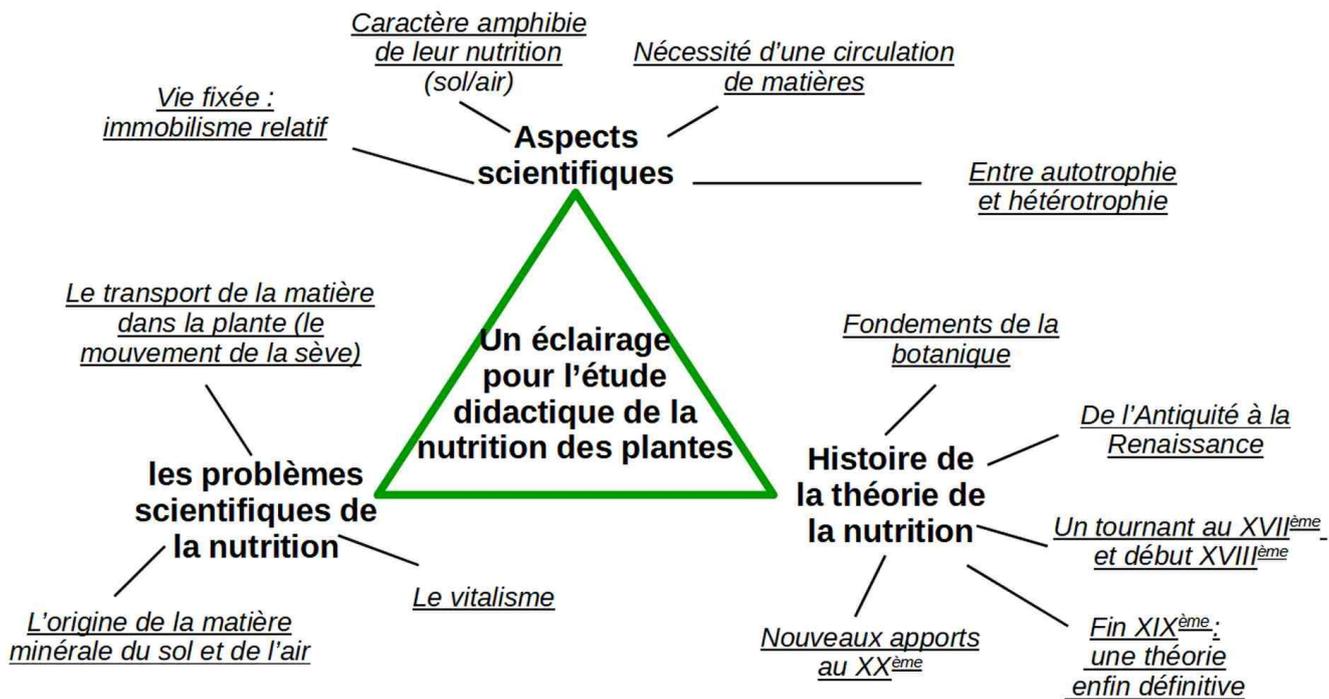


Figure 22 : bilan du chapitre 2 pour un éclairage des difficultés possibles d'apprentissage des élèves avant l'étude didactique de la nutrition des plantes

L'objectif du chapitre 2 était de proposer un éclairage pour comprendre l'origine possible des difficultés des élèves lors de l'apprentissage consacré à la nutrition des plantes. Il nous semble pouvoir proposer 3 pistes. D'abord, les singularités structurelles et fonctionnelles font des plantes vertes un taxon difficile à appréhender, sauf à les réduire à des généralités dans l'abîme d'une « *connaissance unitaire et pragmatique* » pour reprendre les mots de Bachelard (1938/2011, p.83). Ensuite, l'originalité de leur nutrition s'oppose à une explication simplifiée qui plus est lorsqu'elle s'accompagne d'une conception anthropomorphique, sauf à persister dans des croyances plus qu'en des savoirs scientifiques. Enfin, l'étude de l'histoire de la construction de la théorie, à partir de sources originales propres à une enquête historique, permet de montrer la complexité du sujet puisque les problèmes scientifiques rencontrés ont nécessité des siècles d'argumentation et de controverses avant d'être acceptés. Les connaissances et les techniques à disposition des

scientifiques peuvent également limiter la compréhension des phénomènes, ils sont donc source de difficultés conceptuelles. Nous considérons donc que, pour notre thème d'étude, le temps scolaire expose inévitablement à des difficultés d'apprentissage à la fois pour conceptualiser mais surtout si un enjeu de l'école est de faire problématiser les élèves (Fabre, 2016). En effet, à l'opposé d'un enseignement scientifique transmissif, l'apprentissage par problématisation considère les savoirs scientifiques comme des savoirs critiques qui questionnent le possible, l'impossible et le nécessaire (Orange, 2012). Nous nous inscrivons donc dans une éducation transformante. Cela nécessite un temps certain car problématiser est beaucoup plus que trouver une solution à un problème, c'est avant tout construire le problème et le mettre au travail. Comment alors opérer dans le temps de la classe ? Comment repérer à travers les productions langagières orales et écrites, les traces de problématisation ? Le chapitre 3 complète notre cadre théorique en développant l'activité langagière et la problématisation.

Chapitre 3 : ACTIVITÉ LANGAGIÈRE ET problématisation

introduction

1. L'ACTIVITÉ LANGAGIÈRE et l'activité discursive scolaire

1.1 Le langage comme pratique signifiante

1.1.1 Le rapport entre langage et pensée

1.1.2 Le langage pour communiquer

1.1.3 Le rapport entre langage, concepts linguistique et scientifique

1.1.4 Le rapport entre langage, raison et troisième monde

1.1.5 Le langage et la notion de genre de discours

1.2 Langage, savoirs et construction des savoirs scolaires

1.2.1 Langage et activité scientifique

1.2.2 Langage et savoirs scolaires

1.2.3 Le passage de l'oral à l'écrit

1.3 L'argumentation dans les apprentissages

1.3.1 La secondarisation du discours pour construire les savoirs

1.3.2 L'argumentation comme outil didactique

1.4 Le débat scientifique : un dispositif didactique pour construire les savoirs

1.4.1 Le débat dans la communauté discursive

1.4.2 Le débat en classe

1.4.3 Le champ argumentatif de Toulmin pour comprendre la logique du discours

1.4.4 Positions, positionnements et postures de l'énonciateur

1.5 Observer et analyser des pratiques langagières

1.5.1 Observer et analyser des fonctions didactiques du débat

1.5.2 Observer et analyser des fonctions épistémologiques du débat

1.6 Bilan de l'activité langagière

2. LA PROBLÉMATISATION

2.1 La place du problème dans l'enseignement scientifique

2.1.1 Le problème et la connaissance objective

2.1.2 Le sens du problème

2.1.3 Problèmes à résoudre ou problèmes à construire

2.2 La problématisation : définition et critères

2.2.1 Vers une définition de la problématisation

2.2.2 La problématisation : un double dédoublement

2.2.3 Les critères de la problématisation

2.3 Le cadre théorique de l'apprentissage par la problématisation

2.3.1 Les différents registres du cadre théorique de la problématisation

2.3.2 Un espace de contraintes du cadre théorique de la problématisation

2.4 Le bilan de la problématisation

3. BILAN DU CHAPITRE 3

Chapitre 3 : activité langagière et problématisation

Introduction

L'école, lieu des apprentissages scolaires, est centrée sur le langage écrit et oral. Au demeurant, dans la sphère privée, le langage caractérise tout être et « *pour un enfant tout est signifiant langage¹⁰⁰, ce qui se passe autour de lui et qu'il observe* » (Dolto, 1987, p.24). Aussi est-il question, dès la maternelle, de développer des compétences langagières et d'enrichir un lexique dont la finalité est de participer à l'émancipation du citoyen en construction tout au long d'un curriculum scolaire. Mais comment peut-on définir le langage ? Quel est son potentiel au service des disciplines scientifiques ? Ces interrogations guident notre recherche car nous faisons de l'analyse langagière l'objet de l'étude des données présentés dans les chapitres 5 et 6 en mobilisant, notamment, le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation. Autrement dit, nous entrons dans les aspects méthodologiques de nos dispositifs didactiques où l'activité langagière interroge les codes quand la problématisation interroge les savoirs et les concepts.

La première sous-partie du chapitre 3 est consacrée à l'activité langagière, elle même divisée en cinq sous-parties. Premièrement, nous proposons une définition du concept de langage pour en délimiter les contours. Deuxièmement, il sera question d'associer langage et savoirs pour prolonger notre réflexion sur la construction des savoirs scolaires. Troisièmement, nous focalisons nos propos sur l'argumentation, une compétence indispensable pour comprendre l'évolution des conceptions des apprenants et un outil pour le développement de l'esprit critique. Quatrièmement, nous consacrons au débat de classe une place de choix car, selon nous, il est une activité pertinente à mobiliser pour la construction des apprentissages par problématisation. Cinquièmement, nous déclinons des modalités d'observation et d'analyse des activités langagières.

La deuxième sous-partie de ce chapitre concerne le cadre de l'apprentissage par problématisation. Celui-ci vise à développer les échanges argumentatifs entre les élèves pour faire émerger des nécessités qui sont « *des conditions de possibilité des solutions* » (Orange, 2012, p.39). La problématisation se situe donc depuis la question initiale (le problème scientifique) jusqu'à sa solution, l'idée étant en quelque sorte de « creuser » le problème. C'est pourquoi nous débutons nos

¹⁰⁰ Livre écrit d'après une conférence faite à Grenoble le 15 août 1984 « le dire et le faire, tout est langage; l'importance des paroles dites aux enfants et devant eux ».

propos en distinguant le questionnement du problème dans l'enseignement scientifique, ce que nous appliquons aux SVT dans la suite de nos propos. Ensuite, dans l'objectif de singulariser la problématisation, qui dépasse la simple résolution du problème, nous présenterons une définition et les critères qui entourent ce concept. Le dernier point est l'occasion de dessiner le cadre théorique de l'apprentissage par la problématisation mobilisé pour analyser le débat des élèves lors du chapitre 5, ce qui justifie le lien entre les deux sous-parties.

1. L'ACTIVITÉ LANGAGIÈRE ET L'ACTIVITÉ DISCURSIVE

1.1. Le langage comme pratique signifiante

Tous les numéros des *Cahiers pour l'analyse*¹⁰¹ débutent par une citation de Canguilhem que nous reprenons à notre compte : *"Travailler un concept, c'est en faire varier l'extension et la compréhension, le généraliser par l'incorporation des traits d'exception, l'exporter hors de sa région d'origine, le prendre comme un modèle ou inversement lui chercher un modèle, bref lui conférer progressivement, par des transformations réglées, la fonction d'une forme"*. Dans une approche objective, il faut donc considérer d'une part que langage et pensée sont concomitants et, d'autre part que le langage est inhérent à la communication. Par conséquent, il est outil pour apprendre et pour laisser des traces, qui sont scientifiques dans notre étude. Ces dernières, selon Popper, participent au troisième monde des productions humaines qui sont donc « un sous-produit du langage humain(Popper, 1979/1998, p.195).

1.1.1. Le rapport entre langage et pensée

Pour l'Homme, le langage peut se définir comme un système de communication, c'est-à-dire une capacité et le produit de cette capacité, qui autorise à l'abstraction de notre pensée en mobilisant des concepts. Une fonction indispensable pour l'adaptation de l'individu à son environnement : en conséquence le langage comme traducteur de la pensée¹⁰² permet de

101 Les *Cahiers pour l'analyse* correspondent à une revue publiée en 1966 par le Cercle d'épistémologie de l'École Normale Supérieure. Des intellectuels reconnus comme Canguilhem, Dumézil, Lacan, Levi-Strauss, Foucault sont repris dans des articles pour discuter de la science, du discours et de la vérité.

102 Il convient de considérer le langage « *dans l'interaction avec autrui, dans l'interprétation des signes intentionnels présents dans les conduites d'autrui, dans le choix des prises de paroles et des silences, dans la sélection de ce qu'il faut dire et de sa forme, des questions, des doutes et des affirmations, se manifestent des savoirs très importants et décisifs* » (Vinatier, 2009, p.109).

communiquer et/ou de comprendre l'objet de la communication. Aussi, lorsque nous analysons des productions langagières, nous espérons comprendre la pensée des locuteurs. Une représentation simplifiée¹⁰³ de la communication est de considérer qu'il doit y avoir nécessairement un organisme émetteur de signes et un récepteur, et « *cette fonction, par laquelle le langage agit sur un récepteur, Bühler l'a nommée fonction de déclenchement ou de signalisation du langage* » (Popper, 1972/1998, p.357). Nous reconnaissons cette fonction chez de nombreux êtres vivants mais, pour notre recherche, nous limitons notre investigation à la communication humaine. Dans ce cas, il convient de distinguer la forme du langage, son contenu sémantique et son utilisation pragmatique puisqu'elle a pour fonction de traduire la pensée afin de les exposer à autrui. Lors de ses cours de linguistique générale, Ferdinand de Saussure¹⁰⁴ décortique les liens entre langage, langue et parole (Bally et Sechehaye, 1916/1995). Selon ce linguiste, le langage serait un moyen de pouvoir exprimer sa pensée à l'aide de signes à l'oral, à l'écrit mais également par des gestes. Alors que la langue correspondrait à l'ensemble des signes particuliers utilisés, toujours dans l'intention de communiquer, mais au sein d'une communauté, c'est-à-dire un ensemble restreint (Badir, 2001). La parole, quant à elle, serait l'utilisation concrète des signes linguistiques (ibid). Nous comprenons alors pourquoi le langage caractérise tout individu et dans une situation donnée. Dolto (1987, p.8) considère même que tout être humain est avant tout langage car il lui permet d'exprimer « *son désir inextinguible de rencontrer un autre, un semblable ou différent de lui, et d'établir avec cet autre une communication* ». Dans une approche psychanalytique, l'auteure relève l'importance des paroles dites aux enfants, ce que nous transposons à notre regard de la relation enseignant-élève. Elle précise qu'ils n'arrivent pas toujours à exprimer leur pensée, il est nécessaire de lire ce qu'ils disent également dans et par leur corps. Nous avons affirmé dès le chapitre 1 que les élèves ont naturellement soif de connaissances, par conséquent, cette nécessité biologique et culturelle, chemine par le langage. Et pour accéder aux savoirs déposés et externalisés¹⁰⁵ dans la culture (Leontiev, 1976), le langage a toute son importance particulièrement comme un instrument psychologique (Brossard, 1993) qui permet de dévoiler la pensée. Aussi devons nous distinguer l'outil et le signe comme des formes artificielles et intermédiaires de la pensée : « *L'outil est un intermédiaire entre l'homme et la nature ; le signe est un intermédiaire entre l'homme et autrui ou encore entre l'homme et lui-même.* » (ibid, p.192). Dans le cadre de la communication avec autrui,

103 Il s'agit du postulat du dialogisme, toutefois, nous développons plus loin un schéma moins réducteur emprunté à Grize (1996) page 5.

104 Ferdinand de Saussure (1857-1913) est un linguiste Suisse qui a défini de nombreux concepts mobilisés dans la linguistique actuelle et la sémiologie.

105 La théorie de l'excentration des capacités humaines revient à Leontiev (1976) qui explique que le psychisme humain est une production sociale. Vygotski reprend cette théorie en y ajoutant la transmission culturelle dans une histoire sociale.

la finalité est donc de passer d'une pensée intérieure sans locuteur à une pensée énoncée du locuteur à un interlocuteur : « *de la sémantique à la pragmatique* » (Ricoeur, 1971/1991).

1.1.2. Le langage pour communiquer

Orecchioni (1990/1995), reprenant les travaux de Jakobson (1960), expose un schéma de la communication en envisageant six facteurs repris dans la figure 23 ci-dessous :

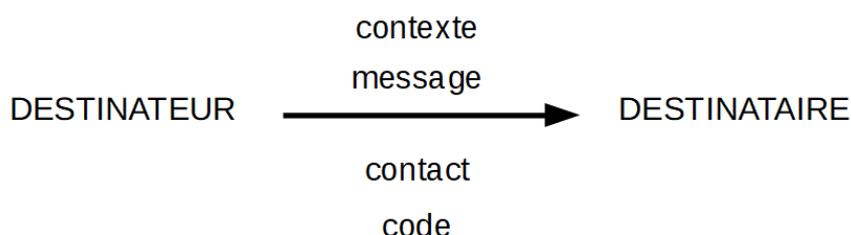


Figure 23 : le schéma de la communication de Jakobson (1960) repris par Orecchioni (1990)

Alors que Jakobson focalise son regard sur l'émetteur (le destinataire) et le récepteur (le destinataire), Vinatier (2009, p.106) indique quant à elle que deux partenaires en interaction ne parlent jamais vraiment la même langue : « *malentendus, quiproquos, contresens qui sont des événements de communication porteurs de significations* ». Aussi, Orecchioni (1997) dit qu'entre le locuteur et l'auditeur il n'y a pas de code mais « deux idiolectes ». En effet, si les signifiants sont les mêmes, « *le message se dédouble au niveau des signifiés ce qui peut induire un positionnement identitaire* » (Vinatier, *ibid*). Par essence, communiquer est donc plus complexe qu'il n'y paraît, ce que nous devons prendre en compte dans l'analyse des productions des élèves. Ainsi, dans un schéma de la communication plus développé, l'émetteur A et le récepteur B sont situés comme participants conjointement dans la construction et la reconstruction du discours. Cette vision dynamique est proposée par Grize (1996) (Figure 24) :

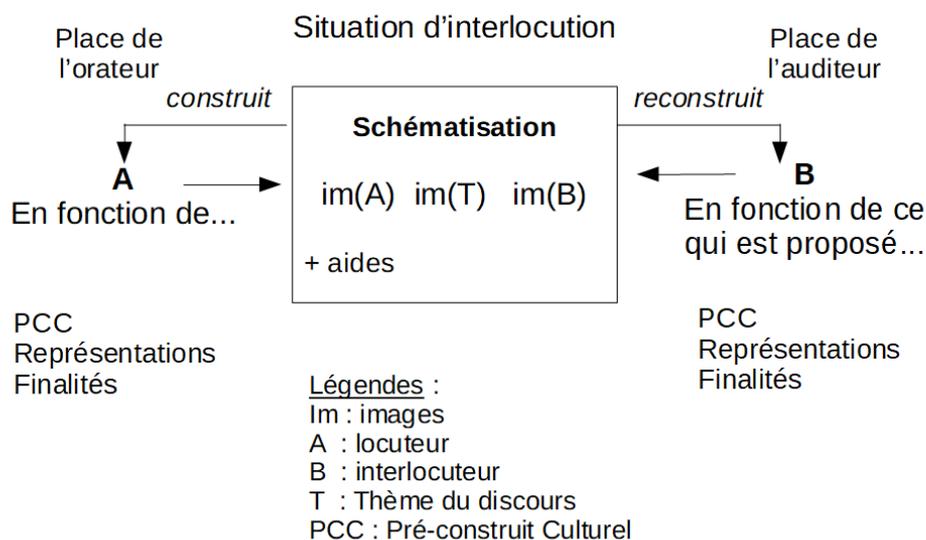


Figure 24 : schéma de la communication selon Grize (1996, p.68)

Communiquer est donc un dépassement de point de vue entre deux ou plusieurs individus¹⁰⁶ qui, dans une réciprocité, interviennent en modelant le discours du thème abordé.

1.1.3. Le rapport entre langage, concepts linguistique et scientifique

Dans l'Antiquité langage et pensée étaient réunis sous le même terme «le logos ». Réfléchir sur le langage pourrait alors signifier questionner le support de notre pensée. Nous partons désormais d'un modèle général du langage qui représente, pour l'individu, la langue dans laquelle se reconnaît une communauté discursive et la parole sous la forme orale et écrite. Un premier biais peut être signalé : le vocabulaire spécifique à une langue, comme dans le domaine scientifique, peut être conceptualisé différemment selon le locuteur. A l'école, un concept scientifique est souvent réinvesti dans un même contexte ou pour les mêmes exemples paradigmatiques. Par exemple, nous avons dressé un portrait du concept de plante très souvent confondu avec celui de végétal. Il s'agit de « *la dimension linguistique de l'analyse des concepts, aussi utile soit-elle, (elle) ne suffit pas dès lors qu'on envisage des concepts de type scientifique* » (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 2008/2011, p.24). En effet, un concept scientifique est avant tout un outil intellectuel pour penser. D'un point de vue rationaliste, Bachelard (1938/1985 ; 1938/2011) nous livre d'ailleurs cette position duelle de notre imagination : d'un côté elle fait obstacle à la connaissance scientifique objective, de l'autre elle est féconde pour développer notre pensée. Ainsi,

¹⁰⁶ Dans son schéma de la communication Grize précise que A et B sont des places occupées alternativement par des interlocuteurs et non pas deux sujets fixes. Par ailleurs, les PCC renseignent des raisons pour lesquelles on prend la place A ou B. Grize en déduit que cette schématisation souligne des aspects des représentations sociales. Nous ajoutons que ces dernières sont utiles à discerner lors d'un débat de classe.

il nous met en garde face à l'évidence première, si elle n'est pas discutée, elle ne permet pas de parvenir à saisir les choses dans leur vérité fondamentale : « *Tout ce que peut espérer la philosophie, c'est de rendre la poésie et la science complémentaires, de les unir comme deux contraires bien faits. Il faut donc opposer à l'esprit poétique expansif, l'esprit scientifique taciturne pour lequel l'antipathie préalable est une saine précaution.* » (Bachelard, 1938/2011, p.11). Dans une communauté discursive¹⁰⁷, cela conduit donc à manipuler les concepts avec discernement. Une autre difficulté est que la définition d'un concept scientifique, au regard de l'histoire des sciences, évolue « *par une succession de rectifications des idées, par une sorte de révolution permanente* » (ibid). Le langage, comme outil de manipulation des concepts scientifiques, est alors un outil intellectuel qui nécessite de comprendre le contexte de sa genèse. Nous reprenons cette thèse pour la situer dans le cadre d'une situation¹⁰⁸-problème¹⁰⁹ de classe, pour une vision alternative propre à faire évoluer les représentations des apprenants et offrir une controverse. Nous reprenons la proposition d'Astolfi (1992) pour caractériser un concept, et en particulier un concept scientifique, mobilisé en milieu scolaire (tableau 3) :

Tableau 3 : concept et concept scientifique d'après Astolfi (1992, p.101-102)

<i>Les concepts ne sont pas des choses qui s'apprennent de façon statique, s'empilent et s'accumulent.</i>	<i>Ce sont des outils intellectuels, destinés à résoudre une famille de problèmes, ceux qui caractérisent une discipline.</i>
<i>La formulation notionnelle constitue souvent le point d'arrivée du travail scolaire, tendu vers son émergence dans la classe.</i>	<i>Un concept est plutôt un point de départ pour l'activité intellectuelle, car il confère un pouvoir explicatif nouveau à celui qui en maîtrise l'usage.</i>
<i>Les concepts ne se construisent pas dans l'artifice de situations épurées pour les besoins didactiques, pour se transférer ensuite sans problème.</i>	<i>Ils prennent leur sens dans des situations-problèmes. Les situations épurées ne sont que des détours provisoires, des facilités que l'on peut se donner, dont l'efficacité ne peut être appréciée qu'au moment du retour à la complexité.</i>
<i>Les concepts ne viennent pas remplir le vide de l'ignorance, ni remplacer les erreurs par simple substitution.</i>	<i>Ils transforment des idées et représentations préexistantes, par des ruptures et réorganisations conceptuelles. Les erreurs sont des révélateurs des modes de pensée sous-jacents.</i>

107 Toute communauté qui cherche à produire des connaissances est considérée comme une communauté discursive, ainsi, la classe est une illustration du concept (introduit en didactique par Bernié en 2002).

108 Pour Borusseau (1998), une situation correspond aux circonstances dans lesquelles se trouve un individu ainsi que les relations établies avec le milieu. Lorsque nous considérons la situation didactique, c'est tout l'environnement de l'apprenant qu'il convient de prendre en compte, l'enseignant et le système éducatif en plus.

109 Nous reprenons la définition de Cornu et Vergnoux (1992) pour délimiter une situation problème : elle est très structurée sur les plans cognitif et méthodologique, elle permet à l'élève liberté d'action et investissement personnel, elle repose sur des consignes précises. Elle correspond donc à une alternative aux problèmes ordinaires de classe.

Les conditions de la construction et d'appropriation des concepts scientifiques scolaires sont donc à éclairer d'un point de vue didactique. Nous relierons ce point à notre cadre théorique de l'apprentissage par problématisation développé dans la sous partie «problématisation » (2.).

1.1.4. Le rapport entre langage, raison et troisième monde

D'après notre définition didactique, le langage mobilisé est une entité valide pour un temps donné, pour un public d'initiés qui mobilise plus ou moins correctement les concepts selon leur construction. Comment alors construire une connaissance objective ? Popper (1972/1998, p.193) signale qu'un « *homme qui lit un livre en le comprenant est une créature rare* ». Ce qui veut dire que le langage véhicule des messages qui peuvent être porteurs de nombreux contresens ou d'interprétations erronées. Le problème est que les produits humains, qui sont inclus dans le troisième monde¹¹⁰, sont constitués de langage or « *le langage lui-même, [...] est un sous produit inintentionnel d'actions qui étaient orientées vers d'autres buts* » (ibid, p.195).

Le monde du langage, créé et inscrit dans la culture humaine, a donc une forme d'autonomie qui participe à la connaissance objective. Chez l'Homme, il se caractérise non seulement par des fonctions inférieures¹¹¹, qu'il partage avec les animaux, mais surtout par des fonctions supérieures. Ce sont ces dernières qui motivent notre attention. Selon Popper (ibid), elles correspondent à la fonction de description et la fonction d'argumentation. Pour la première, l'idée est que le langage associe des faits à une description de la réalité, et il les critique du point de vue des idées de la vérité. Celle-ci correspond alors à de l'empirisme où la vérité serait reliée aux faits observés. La seconde, intimement subordonnée à la précédente, se penche sur la critique du contenu descriptif et des idées qui s'en dégagent. Popper en déduit donc que « *c'est le développement des fonctions supérieures du langage que nous devons à notre humanité, notre raison. Car nos pouvoirs de raisonner ne sont rien d'autre que les pouvoirs de l'argumentation critique* » (ibid, p.200).

110 Selon Popper, il existe 3 « univers » ou « monde » : le premier est celui des objets ou états physiques, le deuxième celui des états de conscience ou mentaux, le troisième celui des contenus objectifs de pensée. Le troisième monde représente, par conséquent, la pensée scientifique qui nous intéresse ici « *nous pouvons appeler le monde physique 'monde 1', le monde de nos expériences conscientes 'monde 2', et le monde des contenus logiques des livres, bibliothèques, mémoires d'ordinateur, et choses de ce genre 'monde 3'* » (1972/1998, p.137).

111 Pour Popper (ibid, p.199), les fonctions inférieures du langage se réfèrent « *à l'expression de soi et l'échange de signaux* ».

1.1.5. Le langage et la notion de genre de discours

La notion de genre exprime la diversité des pratiques langagières qui s'inscrivent dans des schémas conventionnels. Bakhtine (1984) indique que l'énoncé est la base même du langage, une « *unité de l'échange verbale* » et s'il y a compréhension par un interlocuteur, « *une compréhension responsive* », c'est qu'il répond à un schème : « *pour parler nous nous servons toujours des genres du discours, autrement dit, tous nos énoncés disposent d'une forme type et relativement stable de structuration du tout* » (ibid, p.284). Ainsi, rappelle Jaubert (2007), nous disposons de genres discursifs (formes types d'énoncés) lors des discours communicationnels et la reconnaissance par le destinataire du genre mobilisé est indispensable pour établir un échange verbal.

Le genre s'inscrit dans un contexte et n'a de pertinence que dans une communauté discursive. Pour notre recherche, nous nous limitons à exploiter la communauté discursive scolaire. Or, les difficultés repérées dans « *les discours des élèves s'expliquent moins par des manques linguistiques que par des problèmes de représentation du contexte de l'activité et de positionnement énonciatif* » (Jaubert, 2007, p.199). Chaque discipline possède sa propre pratique langagière et, par conséquent, son propre rapport au monde, ce qui fait dire à Bakhtine (1978, p.177) que la construction d'un savoir correspond à des « *formes intérieures d'une conscience verbale du monde* ». C'est pourquoi, certains les considèrent comme des outils et, plus particulièrement, des outils sémiotiques au service d'un ensemble puisque l'énoncé est adressé à des initiés : les élèves d'une classe par exemple. Par ailleurs, le genre joue aussi « *un rôle constitutif dans la structuration de l'activité qu'il médiatise et de ce fait peut être qualifié d'outil psychologique* » (Jaubert 2007, p.203). En conséquence, observer le genre de discours mobilisé par les élèves renseigne la « *façon dont ils fictionnalisent l'interaction et d'autre part, de leur niveau de maîtrise de cette situation* » (ibid).

1.2. Langage, savoirs et construction des savoirs scolaires

Attachons-nous maintenant au rapport entre le langage et les savoirs scientifiques, particulièrement ceux qui sont mobilisés par les savoirs scolaires. Qu'est-ce qu'un savoir scientifique ? Qu'est-ce qu'un savoir scientifique scolaire ?

1.2.1. Langage et activité scientifique

L'activité scientifique converge vers une forme de régularité : la production de réponses satisfaisantes pour expliquer le monde qui nous entoure et « *ce que nous tentons de faire dans les sciences, c'est de décrire et (autant que possible) et d'expliquer la réalité* » (Popper, 1972/1998, p.94). Des recherches en socio-linguistiques (Charlot, Bautier et Rochex, 1992) ont montré à la fois que la construction des savoirs relève de pratiques langagières et que ces dernières sont un gage de réussite scolaire. En effet, l'école véhicule des normes du langage fortement inspirées de l'écrit comme base de la transmission de la connaissance. Elle se distingue donc du langage quotidien presque exclusivement oral. Mais le savoir scientifique a une autre dimension, il relève d'une construction sociale inscrite dans une communauté de chercheurs, « *une cité scientifique* » (Bachelard, 1938/2011), qui discutent longuement de l'objet du savoir et opposent les arguments dans une controverse qui stimule et rectifie la solution à un problème posé. Cette communauté assure « *la garantie du paradigme dans lequel la recherche scientifique se développe* » (Lhoste, 2017, p. 113). Ainsi, les experts d'un domaine ont « *défini le champ des questions, ont négocié ce qui peut faire preuve, et ont développé des pratiques scientifiques dont des pratiques langagières* (Bachelard, 1938/1980 ; Meyerson, 1948/1995 ; Latour et Woolgars, 1996 ; Licoppe, 1996 ; Pestre, 1995) » (Jaubert, Rebière et Bernié, 2012). Les concepts scientifiques sont les produits d'une activité collective et « *la précision discursive et sociale fait éclater les insuffisances intuitives et personnelles* » (Bachelard, 1938/2011, p.242). Ces derniers s'opposent donc aux concepts quotidiens dits spontanés et leur rapport au langage. Le travail scientifique est dirigé vers le développement de la connaissance objective en usant de moyens : « *le langage, la formulation des problèmes, l'émergence de nouvelles situations problème, les théories concurrentes, la critique réciproque grâce à des arguments* » (Popper, 1972/1998, p.201). Par conséquent, faire des sciences ne consiste pas à chercher la vérité mais plutôt à déterminer ce qui est possible ou impossible, et ce qui est nécessaire. Nous faisons alors un pont avec la problématisation qui vise à la construction de nécessités « *qui font partie intégrante du savoir scientifique à construire* » (Orange, 2012, p.39). Quelles particularités ont les savoirs scolaires ?

1.2.2. Langage et savoirs scolaires

Il est nécessaire de distinguer deux types de connaissances : la connaissance subjective directe et immédiate décrite par Descartes¹¹², et la connaissance objective « *qui consiste dans le*

112 Dans ses *Règles pour les directions de l'esprit*, Descartes (1628) affirme que l'intuition permet d'accéder à la vérité des choses et des idées grâce à « *sa clarté et sa distinction* ».

contenu logique de nos théories, conjectures, hypothèses » (Popper, 1972/1998, p.136). Les savoirs scolaires appartiennent à cette deuxième catégorie et ils sont recherchés par les enseignants pour favoriser la connaissance objective. Pour autant, ils ne sont pas assimilables à un savoir savant puisqu'ils dérivent d'une transposition didactique indispensable pour adapter le langage scientifique à celui des élèves. C'est pourquoi, il convient de reconsidérer le langage scolaire qui permet « *la mise en interaction mutuelle de contextes, à travers la rencontre de concepts quotidiens en mutation et de concepts scientifiques transposés* » (Jaubert, 2007,p.116). Les savoirs scolaires, issus de savoirs scientifiques, n'ont donc pas le même statut d'un point de vue des connaissances construites d'autant plus s'ils sont construits par « *des novateurs, qui préfèrent aux savoirs l'idée de compétences (transversales ou non) et celui des rétronovateurs [...] qui les confondent avec un retour à des contenus traditionnels assez mécaniques* » (Astolfi, 2008/2014, p. 15). Il faut comprendre qu'ils correspondent à : « *un certain degré de généralisation et de mise en réseau avec des concepts déjà maîtrisés.* » (Jaubert et Rebière, 2001, p.83). Dans le second degré, et dans le champ des SVT, l'écrit est un passage obligé pour le savoir, ce qui lui donne un rôle particulier dans la conceptualisation de la notion concernée. Mais « *l'examen des pratiques scolaires réelles montre que les discours oraux et écrits sont très étroitement imbriqués* » (ibid, p.85). Il s'agit donc de les considérer conjointement dans une perspective d'analyse des discours. Or, nous avons expliqué dans le chapitre 1 que les conceptions des élèves, pour évoluer, devaient être mises à l'épreuve, comparées aux autres, repensées, reformulées au prix d'efforts cognitifs conséquents. Pour y parvenir, l'école doit faciliter la mobilisation de la pensée des élèves et « *provoquer des changements de positions, des déplacements de points de vue* » (ibid, p.85). La stabilité des conceptions s'oppose à leur évolution qui, pourtant, garantit la construction des connaissances. Les enseignants ont donc besoin de repères didactiques qui peuvent être issues de la recherche. Au demeurant, ils devraient aussi considérer les savoirs scientifiques scolaires comme de puissants moyens d'émancipation et de développement de la pensée critique (Orange, 2012). Puisque l'oral et l'écrit sont liés, nous questionnons maintenant le passage de l'oral à l'écrit en milieu scolaire. Est-ce aussi simple à première vue ?

1.2.3. Le passage de l'oral à l'écrit

Dans les disciplines conceptuelles, comme en SVT, le passage de l'oral à l'écrit révèle des difficultés d'apprentissages langagiers. C'est pourquoi, indique Jaubert (2007, p.212), que « *l'écrit ou l'oral intermédiaire [...] a pour but d'améliorer et de clarifier l'expression* ». La relative facilité de l'oral par rapport à l'écrit s'explique, notamment, par les éléments paralinguistiques,

comme les mimiques ou la gestuelles, l'intonation qui masquent des insuffisances discursives rappelle Astolfi (2008/2014). L'écrit nécessite évidemment des remaniements du langage qui induisent des connecteurs logiques (et, alors, ensuite, donc...) : il répond à une dialectique du genre premier et du genre second que nous développons dans le point suivant. Le style est notablement plus rigoureux et moins redondant. Pour Ricœur (1986), c'est plus dans la phrase que le sens se donne que dans la définition des mots, aussi, affirme-t-il que l'écrit n'est pas « une gravure » *de l'oral*. Nous pouvons donc voir l'écrit comme un bouleversement des rapports entre le langage et les individus, ce en quoi « *le monde de l'écrit de Ricoeur rappelle le monde 3 de Popper* » (Astolfi, 2008/2014, p.191).

Pour comprendre les difficultés des élèves pour le passage de l'oral à l'écrit, il nous faut repenser les divergences entre ces deux moyens d'expression du langage. L'oral peut être compris comme un flot plus ou moins continu dont l'effacement des idées est impossible sauf à revenir sur ses propos. De plus, il n'existe pas de phrases, plutôt des périodes où les connecteurs logiques sont rares et la ponctuation inexistante. Le message est ciblé autour des éléments sémantiques et non syntaxiques (Bronckart, 1985). D'ailleurs, lors d'une transcription d'un débat de classe, nombreux sont les répétitions, les hésitations, les silences qui ne semblent pas interférer dans la logique discursive comme si ces éléments allaient de soi : qu'en est-il vraiment ? Ces marques ne relèvent-elles pas de la pensée non maîtrisée en acte ? La production d'écrit entraîne une réelle rupture avec le langage oral et nécessite une intégration de son codage. C'est que l'écrit est plus réflexif, organisateur de la pensée, il emmène dans un autre univers. En effet, contrairement à l'oral, celui qui rédige « *développe une activité consciente [...] (il) se dédouble pour recréer en lui même les normes d'interaction sociale qu'il juge pertinentes compte tenu de la communauté discursive dans laquelle il se projette et de sa perception du contrat communicationnel* » (Jaubert, 2007, p.215). Ainsi, le langage s'inscrit dans une cohérence globale où la syntaxe fixe des règles. C'est pourquoi, rejoignant les propos d'Astolfi (2008/2014, p.196), est-il indispensable de ne pas « *confondre l'oral courant (qui n'a pas d'équivalent écrit) avec l'oralisation dite secondaire (pour laquelle un écrit est toujours en arrière -plan* ». Nous faisons l'hypothèse que l'école cherche à produire un oral qui se rapproche de l'écrit, une langue qui fait résistance chez les élèves qui n'ont pas les codes puisqu'elle n'est pas toujours la langue du quotidien. C'est pourquoi, pour certains d'entre eux, des difficultés émergent pour exprimer leur pensée en actes et complexifie l'analyse du chercheur dans les productions recueillies.

Comme nous avons dit, plus avant, que nous nous attachons à la construction des nécessités dans l'élaboration et/ou l'évolution des connaissances des élèves dans une situation problématisante, cela revient à considérer l'argumentation dans les productions de classe.

1.3. L'argumentation dans les apprentissages

Selon nos précédents propos, le langage est une condition essentielle à la construction et l'acquisition des connaissances. Quelle place a l'argumentation orale et/ou écrite des élèves dans cette construction ?

1.3.1. La secondarisation du discours pour construire les savoirs

Bautier et Goigoux (2004) nous indiquent que les concepts de « genre second » et de « secondarisation » sont issus de la distinction réalisée par Bakhtine (1984) entre genres de discours premiers et seconds. Si les genres premiers relèvent « *d'une production spontanée, et immédiate, liée au contexte qui la suscite [...] dans l'oubli d'un quelconque apprentissage* », les genres seconds s'élaborent sur les premiers et « *ils les travaillent, les ressaisissent dans une finalité qui évacue la conjoncturalité de leur production* » (Bautier et Goigoux, 2004, p.91). Les genres premiers scolaires sont des formes débutantes, ou intermédiaires, de construction du savoir scolaire. Lors de la situation qui l'a générée, le genre second connaît alors une certaine autonomisation en regard du genre premier. Aussi, nous comprenons que les productions écrites sont plus propices aux genres seconds car elles favorisent la réflexion sans en avoir l'exclusivité. Par exemple, « *les articles scientifiques ou les énoncés de savoirs stabilisés offrent eux aussi un exemple de réorganisation des genres premiers de discours dont ils se nourrissent* » (Jaubert, 2007, p.205). L'appropriation par le lecteur conduit à une mise à distance plus réfléchie, Schneuwly (1988, p.59 ; cité par Jaubert, 2007, p.206) en déduit que « *l'appropriation de la fonction de ces unités est justement le processus de transformation du rapport à ses propres processus de production langagière* ». Les genres seconds ont donc une influence majeure sur le « *développement des fonctions psychologiques supérieures dont ses propres processus de production langagière* » (ibid, p.206).

Dans une visée de travail collectif, les interactions langagières sont une condition de construction des apprentissages scolaires (Vinatier, 2009). Celles-ci auraient même un caractère de nécessité (Vygotski, 1934/1997 ; Bruner, 1986/2000). Des recherches montrent que les discours

premiers des élèves, plutôt proches du quotidien et spontanés, doivent donc se prolonger de discours seconds plus élaborés et pour remanier les premiers afin de construire les savoirs scolaires (Bautier et Goigoux, 2004). L'objectif recherché est d'opérer des déplacements cognitifs où les élèves changent de points de vue, et se positionnent autrement. Ces positions énonciatives sont à la fois individuelles, par changement conceptuel, mais aussi collectives puisqu'elles reposent sur des choix discursifs négociés entre le locuteur et les interlocuteurs. Partant du principe que la visée est de construire des explications du monde qui nous entoure pour mieux le comprendre, l'apprentissage scolaire devrait, selon nous, être comprise comme « *le but de la science, [...] (de) découvrir des explications satisfaisantes de tout ce qui nous étonne et paraît nécessiter une explication* » (Popper, 1972/1998, p.297).

1.3.2. L'argumentation comme outil didactique

La fonction argumentative du langage « *présuppose la fonction descriptive : les arguments portent, fondamentalement sur des descriptions, ils critiquent les descriptions du point de vue des idées régulatrices de vérité, de contenu et de vérisimilitude¹¹³* » (Popper, 1972/1998, p.200). C'est pour cela qu'il est nécessaire de sortir de la logique de l'assertion et de contraindre les élèves à une conception problématisée des apprentissages (Fabre, 2005 ; Orange, 2012). Ainsi, choisir l'argumentation comme leitmotiv invite à s'éloigner d'une forme de réification des savoirs scolaires (Fabre, 2007). Il ne s'agit donc pas de faire mémoriser des textes dans une perspective de « bons ou mauvais » répétiteurs mais de mettre en place des dispositifs pédagogiques qui facilitent le raisonnement et la justification du discours. La classe est une communauté discursive « *pilotée à travers savoirs, activités et valeurs qui lui sont spécifiques, comme l'exigence critique et la place qui est accordée à la réfutation et à la mise en tension* » (Fillon, Orange, Peterfalvi, Rebière et Schneeberger, 2004, p.204).

Nous voyons donc, pour notre recherche, l'intérêt de développer le langage de classe dans le champ de négociations élève/élève et élève/professeur afin de construire les savoirs. L'argumentation peut alors être appréhendée comme un outil (Vygotski, 1934/1997). D'abord, argumenter pourrait correspondre à « *négocier les significations en prenant en compte et rendant compatibles des énoncés a priori divergents, ou à les faire coexister en justifiant leur éventuelle incompatibilité* » (Fillon, Orange, Peterfalvi, Rebière et Schneeberger, 2004, p.208). Ensuite, cela

113 Si la science est à la recherche de la vérité, elle ne peut l'atteindre autrement dit « *le but de la science, c'est la recherche de la vérité au sens d'une meilleure approximation de la vérité, ou d'une plus grande vérisimilitude* » (Popper, 1972/1998, p.115).

permettrait, pour nos enquêtes didactiques (chapitres 5 et 6), de repérer les obstacles épistémologiques (Bachelard, 1938/1991), notamment ceux qui témoignent du savoir en jeu et ceux des postures épistémologiques. La justification force, en effet, à conceptualiser et entraîne souvent une fissuration des conceptions lorsqu'elles sont confrontées aux autres : les idées et les représentations peuvent se transformer confirme Astolfi (1992). Faire justifier les élèves permet donc de s'affranchir des arguments d'autorité qui n'ont pour objectif que de clore les échanges et de limiter le travail de construction du savoir. Toulmin (1950/1993) définit d'ailleurs l'argumentation comme un espace ouvert et riche aux antipodes d'un monolithisme théorique. D'un point de vue didactique, l'organisation d'une discussion réglée s'avère donc pertinente, ce que propose le débat.

1.4. Le débat scientifique : un dispositif didactique pour construire les savoirs

Selon Orange (2005, p.83) : « *l'importance des interactions langagières dans les apprentissages scientifiques ne fait aucun doute* ». Le débat scientifique peut alors être perçu comme un dispositif didactique (Johsua et Dupin, 1989). Mais, ses enjeux ne sont pas toujours évidents à cerner. Aussi, avant de mobiliser les sciences du langage pour mieux les comprendre, nous présenterons la place du débat dans la classe ainsi que les visées éducatives recherchées.

1.4.1. Le débat dans la communauté discursive

Dans le cadre théorique dans lequel nous nous inscrivons, le débat apparaît comme un moment privilégié dans la construction des savoirs scolaires. Les représentations des apprenants sont un obstacle même à l'acte d'apprendre, mais elles sont la base des échanges de la communauté discursive. L'école est un lieu privilégié de la mise en discussion d'un objet du savoir car l'erreur du locuteur y est autorisée voire provoquée. « *L'erreur un outil pour enseigner* » affirme Astolfi (1997/1999), car elle se présente, selon l'auteur, comme des indices pour comprendre le processus d'apprentissage et comme témoins des difficultés des élèves. De plus, le milieu scolaire n'est pas le lieu de la rhétorique où le bon usage de l'éloquence et de la persuasion feraient bonne place. Dans une finalité de construction du citoyen, il valorise davantage les arguments en éloignant les protagonistes d'un espace de combat (Serres, 1980). Quelle place a alors le débat pour construire des savoirs scientifiques ? Lorsqu'il est mis en place en classe, « *ils sont vus comme des moyens de faire expliciter les conceptions des élèves et de les amener à en douter ; c'est encore plus net si, dans le cadre de la problématisation, ces débats sont des moments où s'engagent la constructions*

*des raisons*¹¹⁴ » (Orange, 2012, p.51). Le débat pourrait se justifier à deux deux niveaux. D'abord à l'échelle individuelle pour provoquer « *un déplacement cognitif d'une position égocentrique vers une position de coopération sociale* » (Numa-Bocage, 2009, p.37). Ensuite, à l'échelle collective, présenter le savoir comme une vérité et non comme un construit au sens bachelardien du terme, « *c'est condamner les élèves à méconnaître la réalité de l'activité scientifique et la nature des savoirs, le long processus de leur fabrication au sein d'une communauté sociale et discursive* » (Jaubert, 2007, p.70). Pour autant, l'école ne joue pas à reconstruire des savoirs scientifiques existants mais à s'appropriier ces savoirs grâce à la médiation des enseignants. C'est pourquoi, Jaubert (ibid) nous rappelle le lien entre les communautés discursives scientifique et scolaire, et les élèves doivent pouvoir, lors d'un débat, se projeter dans un espace discursif singulier, différent des pratiques quotidiennes. Nous comprenons alors pourquoi le débat a une place privilégiée dans les apprentissages, et dans une logique de confrontation des représentations, « *parler, c'est échanger, et c'est changer en échangeant* » précise Kerbrat-Orecchioni (1990, p.17). Il est alors question que l'élève confronte sa conception de l'objet de savoir en jeu dans un contexte socio-constructiviste pour l'éprouver et la faire potentiellement évoluer. Les interactions langagières imposent donc la confrontation de points de vue différents et de voix différentes de la communauté discursive de la classe qui est, par conséquent, fortement hétéroglossique¹¹⁵. Lors du débat de classe, la gestion de l'hétéroglossie offre un contexte de « *conditions de l'exercice du langage, ce qui ouvre la possibilité d'une orchestration harmonieuse de l'hétéroglossie* » (Jaubert, 2007, p.116). Le débat est donc à la fois un outil pour que les savoirs construits soient raisonnés et critiqués (Fabre et Orange, 1997) et, également, une méthode pour apprendre afin de s'appropriier des pratiques scientifiques transposées pour la classe (Jaubert et Rebière, 2001).

1.4.2. Le débat dans l'enseignement des SVT

Selon le cadre de l'apprentissage par problématisation, le débat est un dispositif didactique qui participe à la construction du savoir scolaire. Est-il intégré dans les programmes de SVT ? Dans l'affirmative, comment est-il suggéré pour l'enseignement des savoirs scolaires ? Puisque nos recueils de données ciblent le niveau de Terminale Scientifique, nous orientons notre réponse vers ce dernier niveau du curriculum scolaire, dernière étape avant les études supérieures. Le Bulletin Officielle de 2011¹¹⁶ (p.1) indique, en préambule, trois objectifs principaux : «

114 Orange (ibid) précise que les raisons correspondent à un « *repérage de ce qui est possible et impossible dans les modèles explicatifs* ».

115 L'hétéroglossie, concept linguistique proposé par Bakhtine, exprime la pluralité de sens des énoncés dans un même discours.

116 Nous rappelons qu'il s'agit des anciens programmes de SVT, actuellement, la spécialité SVT de terminale générale est conduite par le BO spécial n° 8 du 25 juillet 2019.

- **aider à la construction d'une culture scientifique commune** fondée sur des connaissances considérées comme valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits (naturels ou expérimentaux) et des modes de raisonnement propres aux sciences ;
- **participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation citoyenne** par la prise de conscience du rôle des sciences dans la compréhension du monde et le développement de qualités intellectuelles générales par la pratique de raisonnements scientifiques ;
- **préparer les futures études supérieures** de ceux qui poursuivront sur le chemin des sciences et, au-delà, les métiers auxquels il conduit ; **aider par les acquis méthodologiques et techniques** ceux qui s'orienteront vers d'autres voies. ».

Le premier objectif cible une culture scientifique construite comme les sciences, c'est-à-dire un champ dans lequel les modalités de raisonnement devraient conduire à une nécessaire argumentation soumise à la controverse. Le second objectif prolonge cette perspective à la recherche d'un développement de l'esprit critique du citoyen dans un contexte historique et social, ce qui nous rappelle l'importance du débat dans la société. Le dernier objectif, enfin, prépare à de futures compétences professionnelles où le débat est indispensable dans les réunions d'équipe. Une lecture du programme indique que « *Échanges et **débats** conduisent ensuite à tirer des conclusions plus générales que l'étude collective d'un exemple unique ne le permettrait. Ils sont en outre l'occasion de développer les qualités d'expression, d'écoute et de respect mutuel, dans le cadre des règles de sécurité.* » (ibid, p.3). Cela nous amène à conjecturer que le débat est priorisé pour ces qualités à développer des capacités oratoires, son travail sur la gestion de classe et une approche sensiblement moins transmissive des savoirs. En revanche, nous nous demandons quelle est la place pour le développement de l'esprit critique ? Quelle construction des savoirs en comparaison de la communauté discursive scientifique ? Quelle place pour l'évolution des conceptions ? Par ailleurs, un peu plus loin, le Thème 2B « *La plante domestiquée* » offre l'occasion d'un débat en rappelant ses limites : « *Les éléments scientifiques introduits ici permettent un **débat** sur l'usage de telle ou telle méthode, mais il n'entre pas dans les objectifs de l'enseignement scientifique de trancher, à lui seul, la controverse.* » (ibid, p.12). Ici le débat est un moyen pour discuter de préférences vis-à-vis de méthodes de cultures des plantes : s'agit-il d'aborder une Question Socialement Vive ? Mais quelles sont les connaissances des élèves pour pouvoir aborder le sujet ? Ne risque t-on pas de tomber dans un échange d'assertions qu'il faudrait fuir ?

Du côté des nouveaux programmes de Terminale Scientifique en 2020¹¹⁷ ? La recherche de l'occurrence du mot « débat » ne nous rassure pas puisqu'il n'existe pas. Et nous constatons dans le préambule que les objectifs sont les mêmes à quelques mots près : «

- renforcer la maîtrise de connaissances validées scientifiquement et de modes de raisonnement propres aux sciences [...] ;
- participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation civique [...]
- *préparer les élèves qui choisiront une formation scientifique à une poursuite d'études dans l'enseignement supérieur [...]* » (p.2). La nouveauté réside dans le « *grand oral*¹¹⁸ » qui prépare les élèves à une nouvelle épreuve du Baccalauréat. Mais l'objectif est individuel, il vise à développer des capacités avant tout oratoires (« *prendre la parole en public* »), et, dans un second temps, « *argumentatives* ». Ces dernières doivent être étayées par des connaissances mémorisées et inscrites dans les programmes (« *connaissances liées à ses spécialités* »). D'ailleurs, les compétences travaillées dans le prochain programme de Terminale Scientifique sont explicites. Dans la compétence « *pratiquer des langages* » (p.5), quatre items sont retenus :

- Communiquer sur ses démarches, ses résultats et ses choix, en argumentant.
- *Communiquer dans un langage scientifiquement approprié : oral, écrit, graphique, numérique.*

Utiliser des outils numériques :

- conduire une recherche d'informations sur internet pour répondre à une question ou pour résoudre un problème scientifique, en choisissant des mots-clés pertinents, et en évaluant la fiabilité des sources et la validité des résultats ;
- *utiliser des logiciels d'acquisition, de simulation et de traitement de données. »*

Ce qui nous questionne c'est que si le mot « débat » est absent du vocabulaire de ce nouveau B.O., les compétences à développer sont toujours d'ordre individuelles ou alors elles ne sont pas réellement explicites pour inviter les professeurs à utiliser le débat comme outil didactique dans la construction des savoirs scolaires.

117 Le B.O. spécial n°8 du 25 juillet 2019 précise les programmes pour la rentrée de septembre 2020.

118 Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (education.gouv.fr/baccalaureat-2021-epreuve-du-grand-oral-permettre-aux-eleves-de-travailler-une-competeence-89576) : « *Cette épreuve a été conçue pour permettre au candidat de montrer sa capacité à prendre la parole en public de façon claire et convaincante. Elle lui permettra aussi d'utiliser les connaissances liées à ses spécialités pour démontrer ses capacités argumentatives et la maturité de son projet de poursuite d'études, voire professionnel* ».

Dans la mesure où nous considérons que le débat permet d'organiser langage et savoirs, nous développons maintenant le jeu des interactions des acteurs du discours ainsi que la logique intrinsèque du champ argumentatif. En effet, pour pouvoir analyser les échanges des élèves lors de la séquence forcée (chapitre 5), il y a nécessité *a priori* d'explorer et de comprendre la logique du discours.

1.4.3. Le champ argumentatif de Toulmin pour comprendre la logique du discours

Selon Orange (2009a), le débat scientifique de classe peut se lire dans une double approche : épistémologique et didactique. Et pour l'auteur, *«les savoirs scientifiques sont ici considérés comme fondamentalement argumentatifs : il ne s'agit pas simplement de savoir ce qui est vrai, mais de pouvoir dire ce qui est possible et ce qui ne l'est pas»* (Orange, 2009a, p. 345). Ce qui nous amène à comprendre ce qui se joue lors du discours des locuteurs dans une logique compréhensive. Le champ argumentatif de Toulmin (1950/1993) est un outil qui permet d'aider à la description de mécanismes rhétoriques et argumentatifs développés par les élèves lors de situation de débat. En effet, l'auteur cherche à produire une structure linéaire des arguments, structure qu'il souhaite rapprocher du droit et de sa rhétorique. Considérant alors que le locuteur produit des arguments, ceux-ci participent ou non à l'élaboration des données (D) du discours. Pour évaluer leur pertinence, il y a nécessité de les comparer à la conclusion (C) : *« Deux arguments appartiennent au même champ lorsque les données et les conclusions constituant chacun de ces deux arguments sont respectivement du même type logique »* (Toulmin, 1950/1993, p.17). Ainsi, les arguments s'articulent les uns aux autres de manière à ce que le destinataire suive le développement argumentatif du destinataire¹¹⁹. Pour que les données soient acceptées, le destinataire doit offrir des garanties (G) qui sont perçues comme logiques et/ou vraisemblables, et elles font autorité si elles reposent sur des fondements (F) : *« Lorsque nous défendons une affirmation, il se peut que nous produisions nos données, garanties et les réserves et conditions s'y rapportant sans pour autant satisfaire l'interlocuteur sceptique : car il peut éprouver des doutes non seulement au sujet de cet argument particulier, mais de la question plus générale de savoir si la garantie (G) est elle-même acceptable »* (ibid, p.126). Par conséquent, cela limite une éventuelle contestation du destinataire. Pour asseoir sa structure argumentative, l'auteur ajoute deux nouvelles conditions à la conclusion (C). En effet, cette dernière peut être accompagnée d'un qualificateur (Q) qui renforce son argumentation mais elle peut également proposer une réserve (R) pour limiter sa portée. La figure 25 résume cette structure argumentative :

119 Nous reprenons ici le vocabulaire proposé par Kerbrat-Orecchini (1994) lors du message adressé : destinataire → destinataire ; le message étant codé et dans un contexte donné.

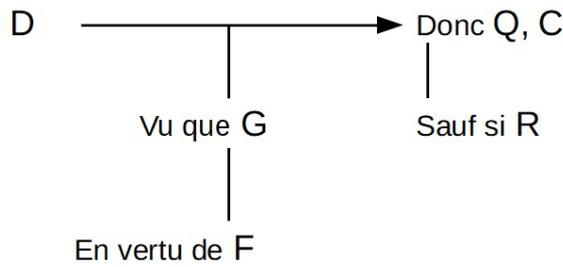


Figure 25 : champ argumentatif de Toulmin d'après Hoogaert (1995)

Cette schématisation est proposée dans une logique où le destinataire expose ses arguments dans un flot sans que le destinataire puisse argumenter ou contre-argumenter. Or, le débat est une structure plus complexe où le destinataire interagit : « *Cependant, le caractère statique de ce modèle a rapidement montré ses limites pour prendre en charge la dimension discursive des moments de controverses en classe* » (Lhoste, 2014, p.36). Et plus encore, lorsqu'il s'agit d'une classe, une pluralité de voix à laquelle s'ajoute celle de l'enseignant qui régule les interventions. Ainsi, « *au cours du développement de l'activité [...] les points de vue sont reformulés, argumentés, modifiés et les formes langagières pour les dire se transforment* » (Jaubert, 2007, p.97). Le schéma argumentatif de Toulmin est donc un outil utile mais incomplet dans une perspective d'analyse des discours des débats scientifiques. Comment le discours se construit-il alors ?

1.4.4. Positions, positionnements et postures de l'énonciateur

Quel(s) statut(s) donner à l'énonciateur ? Nous avons vu qu'il existait intrinsèquement une relation destinataire (émetteur)-destinataire(récepteur) à la lumière de la description que propose Bakhtine : « *Tout énoncé [...] comporte un commencement absolu et une fin absolue : avant son début, il y a les énoncés des autres, après sa fin, il y a les énoncés-réponses des autres [...]. Le locuteur termine son énoncé pour donner la parole à l'autre ou faire place à la compréhension responsive active de l'autre.* » (Bakhtine, 1984, p. 277). La fonction communicative du langage est donc dialogique, elle nécessite de prendre en compte non seulement le locuteur et son objet de discours, mais aussi son interlocuteur dans un « *rapport nécessaire aux autres partenaires de l'échange verbal* » (ibid, p. 273).

Pour donner du sens aux apprentissages scolaires, les professeurs de SVT centrent l'attention des objets d'apprentissage sur l'observation et les événements de la réalité quotidienne, ce qui facilite la mobilisation des élèves. L'objectif sous-jacent est de remettre en question leurs représentations. Les situations didactiques en classe offrent un contexte favorable pour que les élèves aient une nouvelle lecture du monde car « *ils (les élèves) sont contraints à ne pas rester prisonniers d'un langage unique (celui familier des échanges quotidiens, constitutif du monde des croyances) et sont ainsi amenés à essayer et à s'approprier d'autres langages* » (Jaubert, 2007, p.104). Ainsi, lors des échanges, les élèves endossent des positions, des positionnements et des postures. Ils seront utiles à découvrir dans la perspective compréhensive de l'analyse des discours des débats de classe.

Dans tout discours, il y a un locuteur et un énonciateur. Comment les distinguer ? La différence est sensible puisque le premier est à l'origine des éléments de réflexion du discours : c'est le sujet parlant. Le second est celui qui va exprimer et énoncer son point de vue. Aussi, pour devenir énonciateur, le locuteur doit engager ses représentations. Pour notre recherche, l'intérêt est avant tout de rendre compte de la dynamique du discours et de comprendre comment les acteurs communiquent et se positionnent à mesure que le débat avance. Ainsi, un élève occupe une place énonciative lorsqu'il propose un contenu destiné à des interlocuteurs. Grize (1997) précise que ce discours s'inscrit dans une communauté disciplinaire où s'installe un accord tacite, un contrat cognitif où les arguments seront pertinents (Toulmin, 1950/1993). Selon Grize (ibid), ce potentiel argumentatif permet de réduire la distance destinataire (énonciateur)-destinataire.

Rabatel (2012) nous rappelle qu'il n'y a d'intérêt à identifier les différents registres des élèves que parce que l'intention est d'étudier leurs positions et de comprendre la dynamique du discours de classe. Comment alors procéder ?

1.5. Observer et analyser des pratiques langagières

Les activités langagière et cognitive en classe de sciences qui motivent notre recherche sont associées à « *un ensemble de pratiques socio-culturelles, cognitives, affectives dans lesquelles se jouent l'élaboration des savoirs, de l'identité du sujet et de son rapport au monde* » (Bautier et Rochex, 1998, p.144). Nous avons précisé qu'il s'agissait d'une communauté discursive singulière qui engage à une « *nécessaire construction [...] de nouveaux rôles sociaux, à articuler avec de*

nouveaux savoir-faire, informés par une référence en actes aux pratiques sociales et langagières des communautés » (Bernié, 2002, p. 82). C'est pourquoi, nous considérons que le débat scientifique favorise l'apprentissage dans la mesure où il favorise l'activité langagière de classe. Quelles observation et analyse à porter sur les discours et en particulier lors des débats de classe ?

1.5.1. Observer et analyser des fonctions didactiques du débat

Le débat scientifique de classe est, selon nous, un dispositif qui facilite les interactions en classe. Fabre et Orange (1997) ont montré qu'il permet de faire évoluer le questionnement des élèves et leurs conceptions, de plus, il mobilise le travail des obstacles. Ainsi, les interactions langagières articulées à des productions écrites peuvent déclencher trois fonctions didactiques principales. Lhoste (2017, p.122) les résume à partir des travaux de Orange (2012) :

- *« construire progressivement des objets en discussion, ce qui permet une objectivation des contenus de pensée [...] ;*
- *tenter des argumentations qui peuvent ensuite être débattues et critiquées. [...] Ces activités doivent permettre in fine la construction d'un problème scientifique et d'explications possibles ;*
- *mettre à l'épreuve ces explications possibles lors de moments d'expérimentation, de recherche documentaire... ».*

Ainsi les pistes d'observation et d'analyse didactiques offrent un autre regard sur ce que disent les élèves. Elles nous engagent également dans le travail de problématisation que nous développons dans le point suivant.

1.5.2. Observer et analyser des fonctions épistémologiques du débat

Les apprentissages scolaires passent par l'oral et/ou l'écrit et certaines stratégies langagières qui « *favorisent capitalisation, confrontation, critique des différents points de vue* » semblent plus pertinentes pour déclencher une acculturation scientifique (Jaubert, 2000, p;193). L'analyse des transcriptions des débats et/ou des productions écrites de classe par le chercheur mettent au travail différentes fonctions du langage. Nous présentons dans le tableau 4 une échelle d'analyse qui porte un regard sur l'activité langagière comme moyens :

Tableau 4 : les fonctions du travail du langage en sciences
(Jaubert, 2000 ; cité par Lhoste, 2017, p.123)

l'activité langagière comme moyen de « réaliser l'objet »	l'activité langagière comme moyen de s'inscrire et d'agir dans le champ de la controverse	l'activité langagière comme moyen de reconfigurer l'activité humaine pour socialiser et stabiliser des énoncés de savoir
Mettre à distance l'expérience et construire un espace problème	Reconnaître le discours de l'autre	Reconfigurer l'activité humaine (la démarche scientifique est reconstruite <i>a posteriori</i>)
Recourir systématiquement aux références	Convaincre les pairs et négocier ce qui fait preuve	Socialiser des énoncés
Réfléchir et proposer un point de vue nouveau (usage de comparaisons, usage de modalisations)	La pratique scientifique génère des genres discursifs propres et dans le même temps, ces genres discursifs organisent, structurent fortement l'objet de savoir	Stabiliser des énoncés de savoir

Le langage est donc un outil non négligeable à considérer comme une pratique de significations de la pensée. Il nous permet donc d'orienter notre analyse lors des débats pour comprendre ce qui se joue lors des activités langagières de classe (séquence forcée du chapitre 5). Nous avons également mobilisé le champ argumentatif de Toulmin (1950/1993) et la schématisation du discours avec la logique naturelle de Grize (1992, 1996) pour comprendre la complexité du discours. Un dernier outil nous paraît important à porter à relever : le modèle du trilogue argumentatif de Plantin (1996). En effet, lors des épisodes fortement argumentatifs, l'attribution de trois rôles argumentatifs (proposer, s'opposer, douter) permet de disséquer le discours. En revanche, le dernier rôle du trilogue, le tiers, est moins fréquent dans les débats (Orange, Lhoste et Orange-Ravachol, 2008). En effet, le tiers thématise et transforme en question : une réalisation délicate pour les élèves qui, plus est, expose fortement à la controverse. En conséquence, l'enseignant médiateur cherche à stimuler les élèves pour prendre ce rôle afin d'activer le débat.

1.6. Bilan de l'activité langagière

L'activité langagière des élèves est une condition *sine qua non* de la construction de savoirs scolaires car « *le langage est considéré comme constitutif du milieu de l'apprentissage et du développement humain : il donne sens aux activités humaines dont il est partie prenante* » (Jaubert, 2007, p.17). La classe devient dès lors une communauté discursive scolaire capable de provoquer

des transformations cognitives mais aussi langagières et psychologiques chez les élèves. Dans les disciplines scientifiques, comme en SVT, les concepts sont des outils intellectuels pour penser, réfléchir et argumenter. Ce qui va nous importer dans les activités scolaires, c'est surtout « *le processus de transformation du langage déjà là, sa mise en travail, ce que nous appelons la secondarisation des pratiques langagières* » (Jaubert, 2007, p.208) en référence à Bakhtine (1978). Il s'agit d'une activité collective que nous assimilons à celle des chercheurs lorsqu'ils produisent des savoirs savants (Bachelard, 1938/2011). Les savoirs scolaires sont des transpositions de ce savoir savant, l'intention des enseignants n'est non pas de les redécouvrir, mais, en quelque sorte, de s'appuyer sur les points clés de la théorie mobilisée. Pour y parvenir, l'oral et l'écrit sont convoqués. Toutefois, le passage de l'oral à l'écrit est délicat nous rappelle Ricoeur (1986). C'est pour cela que l'étude des genres, en référence à Bakhtine (1978, 1984), permet de comprendre les transformations des discours et voir poindre des éléments de secondarisation. Nous pensons que le débat est facilitateur (Orange, 2012) et participe à développer des compétences scientifiques comme l'acculturation, le raisonnement, l'argumentation et la formation de l'esprit critique. Certains outils d'analyse, que nous prenons en charge, notamment ceux de Bakhtine, Toulmin, Grize et Plantin, ouvrent des portes pour analyser les productions des élèves. La perspective est d'observer et d'analyser ce qui se joue lors des échanges de la communauté discursive scolaire (Jaubert, 2007 ; Lhoste, 2017). Au demeurant, s'intéresser aux apprentissages de classe c'est chercher à découvrir les transformations progressives des discours dans une reconversion et accéder à leur compréhension. Dans une théorie de la communication que nous utilisons pour l'analyse de notre corpus, nous considérons un principe fondamental : « *le discours est une construction collective (...)] ou une réalisation interactive* » (Orrechioni, 1990/1995, p.13). Elles nous aident à analyser le processus de problématisation lors de l'apprentissage : pour notre recherche, il s'agit de la nutrition des plantes. La figure 26 résume cette première sous-partie :

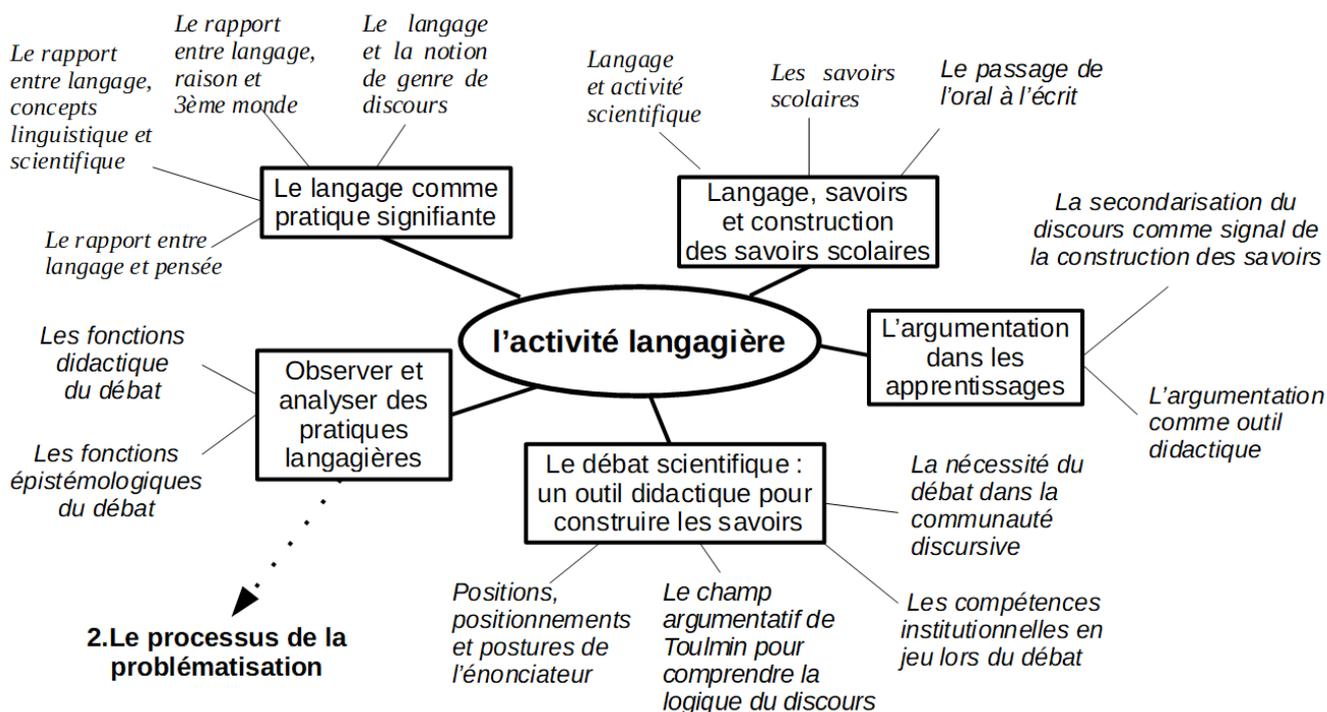


Figure 26 : l'activité langagière et la communauté discursive scolaire

2. LA PROBLÉMATISATION

Astolfi (2008/2014) distingue trois concepts novateurs pour un nouveau regard sur l'école¹²⁰ : les champs conceptuels, les objectifs-obstacles et les problèmes et la problématisation. C'est ce dernier concept que nous souhaitons développer à présent car il offre un cadre didactique où des outils d'analyse aident à comprendre les situations d'enseignement-apprentissage. Ainsi, dans le chapitre 5, nous utilisons en particulier une macrostructure et un espace de contraintes, outils que nous présentons plus loin. Pour assurer « *une saveur des savoirs*¹²¹ », nous débutons par positionner le problème dans l'enseignement scientifique. Ensuite, entre problème et savoir, nous souhaitons délimiter la problématisation en l'accompagnant d'une liste de critères exhaustive (Fabre, 2016). Enfin, nous terminons par présenter le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation¹²² dans lequel nous nous inscrivons (Fabre et Orange, 1997 ; Orange, 2001, 2002, 2005, 2012).

120 Selon Astolfi (2008/2014), ces trois concepts sont importants pour que les enseignants puissent avoir un autre regard sur leur activité comme pour celle des élèves .

121 Titre éponyme de l'ouvrage d'Astolfi (2008/2014).

122 Le cadre théorique de la problématisation est travaillé dans l'axe 5 du CREN (Centre de Recherche en Éducation à Nantes) : Savoirs, apprentissage, valeurs en éducation. A travers des approches philosophiques, épistémologiques et didactiques, ils donnent lieu à des recherches fondamentales ou des recherche-développement cren.univ-nantes.fr

2.1. La place du problème dans l'enseignement scientifique

Le problème est un terme polysémique. Aussi, afin de le définir dans un contexte d'enseignement scientifique, nous commençons par le présenter dans une connaissance objective puis de développer le sens qu'il porte à l'enquête.

2.1.1. Le problème et la connaissance objective

Lorsque nous parlons quotidiennement d'un problème c'est que, implicitement, celui-ci est généralement résolu ou suspendu en questionnement, ou encore en voie de résolution. Cela conduit Popper (1972/1998, p.370) à dire qu'« *un homme qui travaille sur un problème peut rarement dire clairement en quoi consiste son problème [...] et, même s'il est en mesure d'expliquer son problème, il peut se tromper* ». Par ailleurs, il convient de distinguer les problèmes de la vie quotidienne des problèmes scientifiques. Par exemple, dans la recherche scientifique, le problème est repéré en amont mais à vouloir le résoudre, il se transforme. Popper (ibid, p.371) s'appuie sur des exemples précis pour étayer ses propos. Nous n'en reprendrons qu'un seul, celui de Kepler : « *le problème conscient de Kepler était de découvrir l'harmonie de l'ordre du monde ; mais nous pouvons dire que le problème qu'il a résolu était celui de la description mathématique des mouvements dans un ensemble de systèmes planétaires à deux corps* ». L'investigation est dirigée sous couvert de rationalité, les hypothèses sont mises à l'épreuve et s'appuient sur des théories, l'esprit critique est sollicité comme mise à l'épreuve d'une pensée qui se surveille. A ce jeu du problème à résoudre « *si l'hypothèse ne résiste pas à ces critiques et à ces tests, pas mieux du moins que ses concurrentes, elle sera éliminée* » (ibid, p.372). Dans un cadre scientifique, le problème est donc une question qui ne peut se résoudre, *a priori*, dans l'instant. Ainsi, nous pouvons définir la connaissance objective comme la réponse à une question qui fait problème, ce que Bachelard (1938/2011,p.16) exprime dans cette citation nombre de fois reprise : « *pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit.* ». Qu'en est-il en dehors de la recherche scientifique ?

2.1.2. Le sens du problème

Dans un monde problématique où l'actualité questionne les citoyens, les enjeux de l'école seraient de faire problématiser les élèves annonce Fabre (2005) car, quoi qu'il en soit, rappelle

Popper (1972/1998), tout dans la vie peut être considéré comme problème : mais quel sens donner au problème ? Nous l'avons vu précédemment, selon le positionnement et l'origine des solutions visées, le savoir à construire par les enseignants se trouve du côté des réponses, soit du côté des questions ou des problèmes (Meyer, 1986). Ainsi, le problème n'est pas vu de la même façon selon les auteurs. Pour Dewey (1938) par exemple, l'élève doit vivre comme une expérience personnelle une difficulté rencontrée qui « *fait problème pour lui* ». Ce point de vue pragmatique de l'auteur est le fondement de sa célèbre « méthodologie de l'enquête » publiée dès 1938 (Fabre, 2005) que nous transposons au contexte scolaire. Pour d'autres encore, à l'instar de Bachelard (1938/2011), la nature du problème est davantage épistémologique : c'est le point de vue rationaliste (Fabre, 2005). Ainsi, nous pensons qu'à l'école, le problème doit donner du sens aux élèves pour une intégration au sein de l'expérience individuelle et s'inscrire dans un contexte, le domaine scientifique par exemple. Les deux aspects doivent donc se développer simultanément et le rôle du problème est d'osciller entre les deux. Nous comprenons alors qu' : « *un problème est posé quand il est perçu et pris en charge par un sujet* » (Fabre, 2005, p.55). Or, en contexte scolaire, une condition supplémentaire est à prendre en compte car il s'agit également de confronter les représentations des apprenants, et ceux-ci offrent fréquemment une résistance aux représentations alternatives. S'ils comprennent les explications « *qu'ils s'avèrent même capables de les mobiliser pour résoudre de nombreuses questions scolaires, [...] elles restent pourtant comme extérieures à leur propre pensée* » (Astolfi, 2008/2014, p.153). Alors, quelle difficulté possible à l'école ? Selon Astolfi (ibid), trop souvent les enseignants ne font que redécouvrir le savoir scolaire engagé dans un apprentissage sans le problématiser, autrement dit, sans donner de sens et de consistance au problème. Nous considérons donc que la construction de problèmes est indispensable pour faire évoluer les représentations des élèves. Il s'agit de les faire passer d'une opinion à un savoir scientifique, le principe étant de chercher les raisons qui se dissimulent derrière nos pensées, ce que nous précisons plus loin dans les critères de la problématisation (Orange, 2012 ; Fabre, 2017). Comment faut-il aborder le problème en contexte scolaire ?

2.1.3. Problèmes à résoudre ou problèmes à construire

Fabre (1999, 2007) regrette que l'image traditionnelle du savoir scolaire réside en une transmission, un propositionnalisme qui admettrait des textes comme la vérité : le «*texte du savoir programmé* » (Astolfi, 2005, p.252). Chaque discipline scolaire, comme les SVT, pourrait se présenter comme un troisième «*Monde* » avec son système propre de théories (Popper, 1972/1998). Cette image traditionnelle est ancrée chez certains enseignants comme le souligne Astolfi (ibid). Ne

s'agit-il pas d'une forme réifiée du savoir inscrite dans un positivisme épistémologique ? Quelle opportunité est-elle à saisir pour faire construire des savoirs tout en s'appuyant sur le monde des élèves ?

La perspective didactique est d'aller vers la construction des problèmes pour accéder aux pensées profondes des élèves : « *autrement dit, il s'agit de remonter vers l'amont plutôt que de filer vers l'aval !* » (Astolfi, 2008/2014, p.156). Cela donne tout son sens au travail de débat pour travailler les conceptions (Orange, 2007) et, simultanément, construire des raisons qui sont « *des explications construites pour rendre compte des faits jugés pertinents pour le problème travaillé* » (Orange, 2012, p.24). C'est dans cette logique que nous construisons notre séquence forcée dans le chapitre 5. En effet, le débat est un lieu d'exploration des possibles, des controverses accrochées à un objet de savoir bien identifié. En termes kantien, il s'agit de dépasser un discours classique de type assertorique, ce qui rejoint l'apprentissage scientifique défendu par le cadre théorique de la problématisation : « *les savoirs scientifiques auxquels les élèves doivent accéder sont des savoirs apodictiques* » (ibid, p.13). Une difficulté qui émerge est que le référent empirique des élèves est plus ou moins riche, il peut alors bloquer la situation didactique. Comment y remédier ? La posture de tuteur de l'enseignant, décrite par Bucheton et Soulé (2009), peut débloquent l'impasse cognitive en apportant des informations pertinentes : « *les données sont les fruits d'autres recherches effectuées par d'autres personnes, en d'autres lieux* » (Astolfi, 2008/2014, p.158). Pour poursuivre l'apprentissage, ces données apportées par les enseignants sont à intégrer au savoir construit qui permet de découvrir la « boîte noire » (Latour, 1989/2005). Celle-ci sera dévoilée dans une autre séquence ou dans un autre niveau de la scolarité, souvent parce que le niveau d'abstraction n'est pas suffisant. Ainsi, le travail de conceptualisation progresse à mesure de l'évolution des apprentissages de l'élève.

Comment construire un apprentissage collectif ? La question du problème est première puisqu'il doit être accepté par la classe. Les moyens didactiques utilisés pour que les élèves valident et s'engagent dans le problème correspondent au concept de dévolution de Brousseau (1986). L'auteur précise que le professeur est aux manettes d'une ingénierie didactique et qu'il doit, à la manière de la technique du « *pied dans la porte* » (Astolfi, 2008/2014, p.227), faire accepter la classe la responsabilité d'une situation d'apprentissage mais, également, considérer les conséquences de ce transfert de responsabilité. Par conséquent « *la dévolution produit ainsi une*

sorte de genèse artificielle de la connaissance, moyennant une implication de la logique naturelle de l'élève » (ibid, p.158).

Les problèmes sont donc, avant tout, des questions scientifiques qui n'étaient pas prévues par les élèves. Plus qu'à organiser une course qui précipite vers leurs solutions, les problèmes sont donc à construire, voire à reconstruire, avec les élèves, un objectif réalisable avec l'apprentissage par problématisation.

2.2. La problématisation : définition et critères

Face à un enseignement traditionnel des SVT qui livre le problème aux élèves alors qu'il devrait être construit, nous considérons, comme le dit Lhoste (2017, p;91) que l'apprentissage par « *problématisation peut se constituer comme une sorte d'antidote* ». Ce point (2.2.) permet de délimiter la problématisation avant de présenter le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation (2.3.).

2.2.1. Vers une définition de la problématisation

D'un point de vue métaphorique, la boussole et la carte sont les clés d'un monde problématisé ou à problématiser. Fabre (2016) explique que le voyageur a besoin de s'orienter avec une boussole pour déterminer sa route sur une carte qui contient des repères avec des données intangibles. Ici, la boussole représente le lieu où nous souhaitons aller (le but), un processus d'enquête est nécessaire. Un problème est posé, il s'agit maintenant d'aller vers la solution. Mais la construction du problème revêt alors une importance majeure puisqu'il s'agit de mettre quelque chose en question. Ensuite, il sera nécessaire de délimiter ce problème, ce qui pose des difficultés à plusieurs niveaux : intellectuel, social et affectif, puisque le référentiel empirique s'affiche comme un obstacle aux apprentissages. Si le voyage est risqué, il est indispensable à qui veut construire de la connaissance (Serres, 1980). Naviguer entre le problème et la solution, c'est entrer dans une véritable démarche de la problématisation où doute et certitude se rejoignent dans une dialectique : « *Tout cela plaide donc encore pour donner une grande importance à ce qui se passe entre problème perçu et solution, et pour ne pas le réduire à une simple représentation du problème comme cela a pu être fait parfois : c'est bien d'une construction dont il s'agit, celle du problème, ou problématisation. On voit aussi les liens qui doivent encore exister entre cette problématisation et*

les savoirs construits, qui ne peuvent aucunement se limiter à la solution du problème » (Orange, 2005, p.73).

2.2.2. La problématisation : un double dédoublement

Cette approche singulière de la problématisation est décrite par Lhoste (2017, p.62) qui pose la construction du problème comme un double dédoublement et propose en conséquence une « schématisation de la dynamique de la problématisation » (figure 21). D'abord, un premier dédoublement est montré par le problème visé dont l'investigation est comme une enquête à mener, selon la vision de Dewey (1967/1993), où les faits et la théorie sont au service de la solution. Ensuite, parce que « la question qui se pose est de savoir comment est contrôlée l'enquête, ce qui norme les relations entre faits et idées » (Lhoste, 2017, p60), ce contrôle est le second dédoublement (figure 27). Celui-ci est caractéristique de l'esprit scientifique cher à Bachelard (1938/2011), ce qui pousse à dire que « la science n'a pas d'objet hors de sa propre activité, qu'elle est en elle-même, dans sa pratique, productrice de ses propres normes et du critère de son existence » (Lecourt, 2002, p.10 ; cité par Lhoste, ibid). Ainsi, le second dédoublement met en jeu les idées des élèves du point de vue assertorique mais aussi ce qui fonde leurs idées du point de vue apodictique.

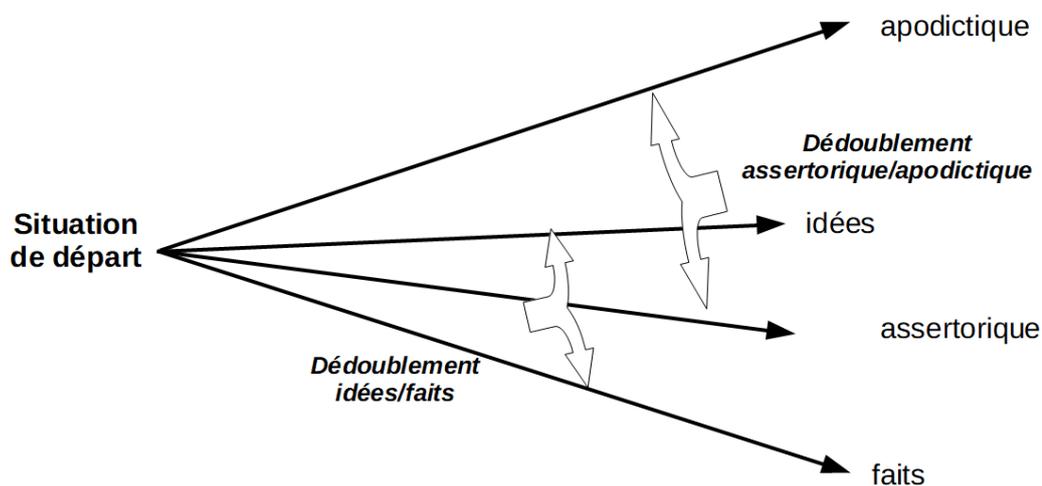


Figure 27 : la dynamique de la problématisation d'après Lhoste (2017, p.62)

Les dédoublements sont complexes, l'enseignant aura à cœur « d'engager les élèves dans un travail de désynchrétisation entre ce qui relève des faits convoqués par ces solutions possibles et des

idées explicatives » (ibid, p.63), ce qui relève du premier dédoublement. Pour construire « *les principes de nécessités* » (Bachelard, 1949/1998, p.11), le second dédoublement est à faire vivre, il n'est possible que dans un cadre où se situe la problématisation. C'est à ce prix que le savoir scolaire en SVT pourrait se construire, tout comme le savoir scientifique : le registre empirique fortement assertorique prend une valeur d'apodicticité. Au regard de la définition et de son double dédoublement, quels critères retenir pour s'ancrer dans un processus de problématisation ?

2.2.3. Les critères de la problématisation

Nous reprenons à notre compte les critères répertoriés par Fabre (2016, p.18-29) pour articuler problème scientifique et problématiser. Cinq critères sont retenus, ils ont un statut dans la fonctionnalité du problème et éclairent « *toute éducation au problème à promouvoir à l'école* » (ibid, p.19) (tableau 5).

Tableau 5 : le problème scientifique et la problématisation, cinq critères pour les apprécier (d'après Fabre, 2016, 18-29)

Critères		Statut fonctionnel du critère
1	L'examen d'une question	- 3 possibilités, soit : une énigme, une controverse, un échec - nécessité de temps pour y répondre - 3 étapes à envisager : position, construction et résolution du problème
2	L'articulation du doute et de la certitude	- douter en s'appuyant sur des certitudes : une dialectique indispensable - une caractéristique essentielle de la démarche scientifique : vision dynamique
3	L'articulation des données et des conditions dans un cadre	- dimension horizontale du problème : position, construction et résolution - dimension verticale du problème : articuler les données (ce qui est à expliquer, l'assertorique) et les conditions (les explications possibles, l'apodictique)
4	La réflexivité	- « surveillance de soi » (Bachelard) - savoir si l'objectif est la solution ou la recherche des conditions
5	La perspective heuristique	- déterminer les exigences de la réponse pour éprouver sa validité

Cette liste de critères n'a de sens que pour des contenus didactiques à éprouver mais ils se frottent à « *l'étonnement (qui) ne peut devenir problématisation qu'en se mesurant à ces exigences* » (ibid, p.29).

2.3. Le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation

2.3.1. Les différents registres du cadre théorique de la problématisation

Dans la communauté scientifique les problèmes sont recherchés et « *la science avance en recherchant en permanence des explications autres* » (Orange, 2005, p.76). Cette perspective qu'offre la problématisation opère en confrontant deux registres. Le premier est le registre empirique qui correspond soit à des travaux antérieurs soit aux faits tirés de l'expérience individuelle mais il « *ne doit pas être considéré comme allant de soi, comme donné au départ du travail du problème* » (Orange, 2012, p.24). Le deuxième, le registre des modèles, qui correspond lui aux idées qui sont des tentatives d'explications : « *des explications construites pour rendre compte des faits jugés pertinents pour le problème travaillé* » (ibid). Comme le problème travaillé est construit, faits et théories se répondent, ce qui revient à dire que les faits sont sélectionnés en fonction du contexte et que les explications avancent au fur et à mesure de ce dialogisme. Aussi, Orange (2005, p.77) en déduit « *qu'il y a transformation des problématiques* ». Cette problématisation se développe donc par un travail critique sur les faits et les idées en mettant en tension un registre empirique et un registre des modèles, ce que Martinand propose dès 1992. Il faut préciser que les éléments des registres empirique et des modèles retenus pour comprendre ce qui se joue lors de l'apprentissage par problématisation sont ceux qui sont impliqués dans une articulation explicite des registres « *des contraintes empiriques pertinentes, avec des conditions de possibilité des modèles explicatifs* » (Orange, 2000, p.27). En regard de ces deux premiers registres, Orange (1997, 2002, 2005, 2012) ajoute un troisième nommé registre explicatif : « *un cadre épistémique* » (ibid, p.25). Il est associé à un paradigme et expose des pré-supposés qui sont autant de principes partagés rendant compte de la problématisation élaborée. Nous pouvons également le voir comme une caractérisation du mode d'explication comme le mécanisme, le vitalisme, animisme... La figure 28 reprend le schéma de l'activité scientifique ainsi que les 3 registres.

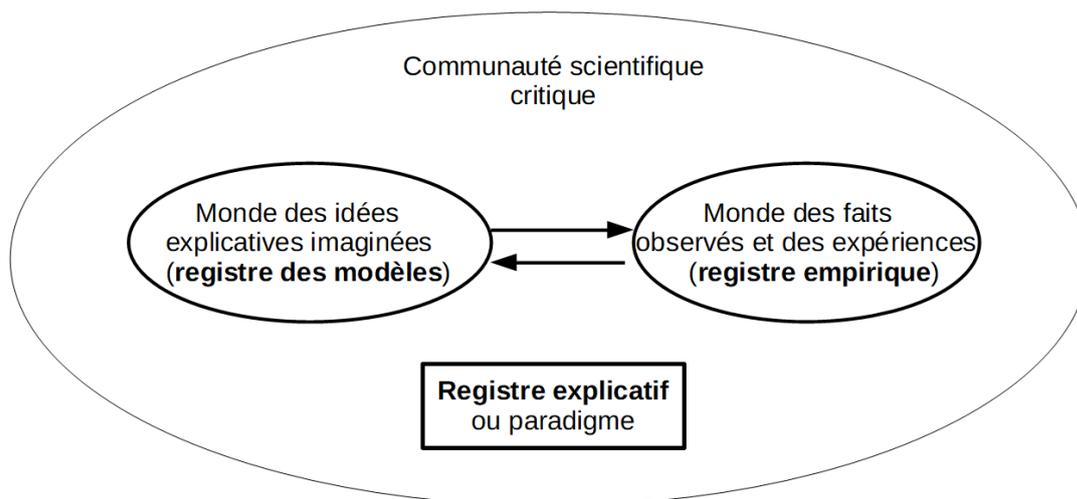


Figure 28 : schéma de l'activité scientifique prenant en compte les trois registres.
D'après Orange (2012, p.27)

Dans l'activité scientifique, il s'agit bien de conserver une logique de la problématisation, ce qui oppose problématologie et image dogmatique de la pensée, c'est pour cela qu'il est nécessaire de conserver une part d'étonnement, d'ouverture à la pensée et d'invention (Deleuze, 1968). Cette singularité de la communauté scientifique doit s'étendre à la communauté scientifique scolaire et conduire à donner aux solutions un caractère de nécessité. Celle-ci doit se soumettre à une double interrogation : comment est-ce possible ? Et cela pourrait-il en être autrement ? L'articulation entre l'argumentation sur les possibles et le processus de problématisation prend alors tout son sens (Lhoste, 2005). Aussi, en classe l'argumentation renseigne sur « *l'analyse des stratégies utilisées par un élève pour construire cet énoncé (et) peut nous apporter des informations par rapport à la problématisation* » (ibid, p.161). Pour caractériser le produit de l'activité de la problématisation, l'utilisation d'un espace de contraintes (figure 25) facilite la catégorisation des interventions des élèves, en particulier lors d'un débat de classe. Ce cadre met en tension les trois registres : le registre empirique (RE), le registre des modèles (RM), le registre explicatif (Rex). Une difficulté est de différencier chez les élèves les contraintes du registre empirique des nécessités du registre des modèles. Si nous revenons à l'origine de la définition proposée par Orange (2012), non seulement ces nécessités font partie des savoirs scientifiques à construire mais elles en sont même la partie essentielle.

2.3.2. Un espace de contraintes du cadre théorique par problématisation

En SVT, les problèmes scientifiques sont généralement de type explicatifs. Orange (1997) relie explications scientifiques et modélisation. Dans une perspective de modélisation, Orange (1997, 2000, 2005, 2007, 2012) affirme que le cadre théorique de la problématisation autorise la construction de concepts théoriques mais aussi de concepts pragmatiques. Ainsi, la problématisation est affaire de savoirs théoriques associés à des principes qui structurent la pensée. Elle est aussi question, selon nous, d'une certaine conception de la construction des savoirs scientifiques par les enseignants de sciences. Pour comprendre cette activité scientifique du point de vue du chercheur, il est indispensable de convoquer les trois registres explicités dans le paragraphe précédent. La modélisation exprimant la représentation du produit de la problématisation (figure 28).

Selon le modèle, des allers-retours sont indispensables entre le registre empirique et celui des modèles. Problématiser en classe impose également d'être d'accord sur le registre explicatif pour avoir un cadre commun mais aussi des références empiriques à partager. Ces dernières indiquent qu'un certain nombre de faits sont acceptés à la hauteur d'un référentiel commun. Autrement dit, il est nécessaire de convoquer un minimum de conceptions communes pour mener à bien l'activité scientifique. Il en est de même en classe. Par ailleurs, les nécessités apparaissent au niveau du registre des modèles. Celle-ci ne viennent pas des seuls faits : *« c'est dans le travail du problème, et dans sa construction, que les nécessités prennent forme, par une interaction entre un registre explicatif, choisi consciemment ou non, et des faits empiriques qui sont retenus comme liés au problème »* (Orange, 2012, p.41).

Afin de rendre compte de l'activité de problématisation en classe, Orange (2000) décline le modèle du cadre de l'apprentissage par problématisation en un espace de contraintes en jeu dans un débat scientifique de classe (Lhoste, 2017). L'intention est de ne sélectionner que les éléments explicites des registres empiriques et des modèles pour ne conserver que ceux qui sont pertinents au regard du problème : *« l'établissement des raisons »* (Orange, 2000, p.27). La figure 29 représente la schématisation d'un espace de contraintes qui rend compte de la problématisation. Nous précisons que ce modèle préfigure celui que nous construisons dans le chapitre 5 pour comprendre ce qui se joue lors du débat de classe relatif à la nutrition des plantes.

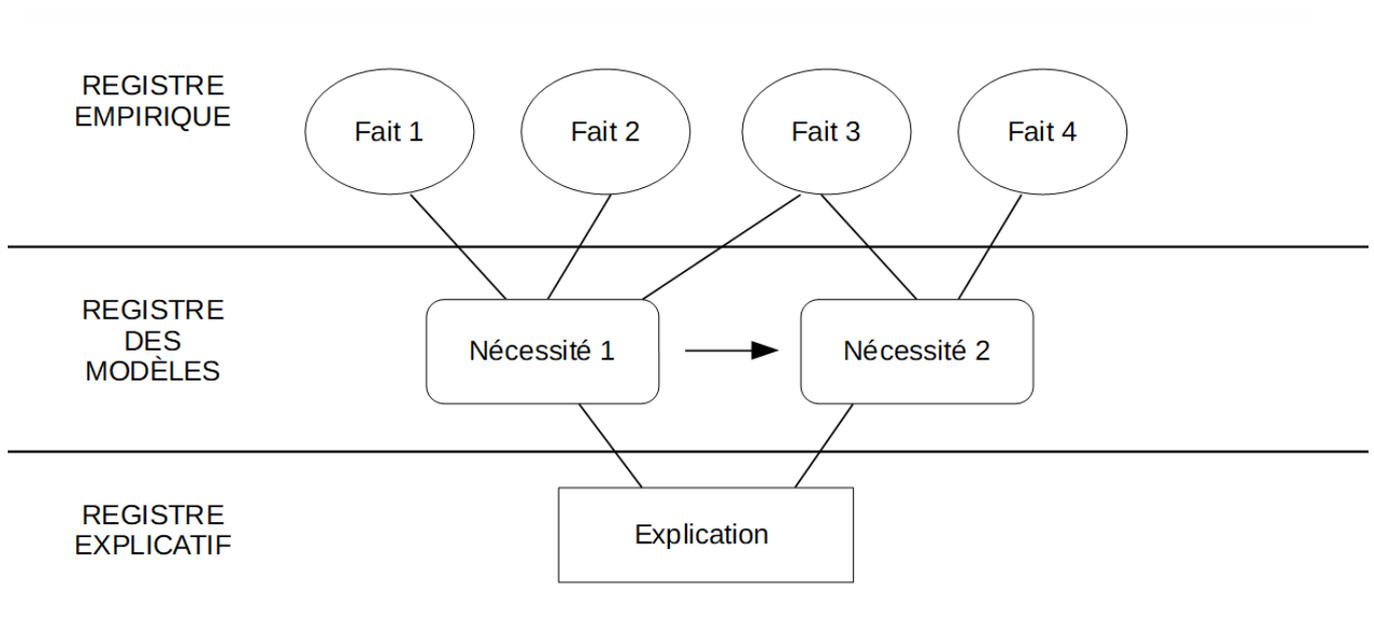


Figure 29 : représentation d’un espace possible des contraintes de la problématisation

Dans le schéma ci-dessus, les traits simples représentent des liens entre les éléments des 3 registres : ils permettent de montrer le développement de la problématisation. La flèche indique, quant à elle, « comment les nécessités se propagent en s’appuyant sur le registre empirique et le registre explicatif » (Orange, 2012, p.43). Par ailleurs, Lhoste (2017, p.68) nous éclaire également sur cette représentation en indiquant que l’apparition de nécessités sur les modèles et les contraintes théoriques sont des « éléments hors-question qui ne sont pas soumises à discussion, même si elles conditionnent les nécessités construites et les contraintes empiriques retenues ».

2.4. Le bilan de la problématisation

La fréquente confusion entre problème et problématisation appelle à prononcer leurs différences. Avant tout, le problème est inclus dans la problématisation, mais il peut y avoir problème sans problématisation, l’inverse étant impossible. C’est que le problème est inhérent à l’enseignement scientifique, et comme en contexte scolaire, sa construction a au moins autant d’importance que sa résolution.

Une définition possible de la problématisation nous est donnée par Orange (2012, p.131). Elle permet de situer ce processus : « ou construction de problème. C’est l’étude d’un problème de

façon à explorer et à délimiter le champ des possibles pour les solutions. Dans le meilleur cas, la problématisation conduit à identifier et à thématiser les conditions de possibilité de ces solutions sous forme de nécessités ». Et nous rappelons pour cette définition, que nous mobilisons des problèmes explicatifs scientifiques, comme pour notre recherche en SVT.

Le dernier point concerne une modélisation du cadre théorique. Trois registres sont convoqués (empirique, des modèles et explicatif) et le modèle du registre des contraintes, particulièrement adapté au débat de classe, permet de suivre le processus de problématisation, s'il y a, alors que le discours avance . La figure 30 résume nos propos.

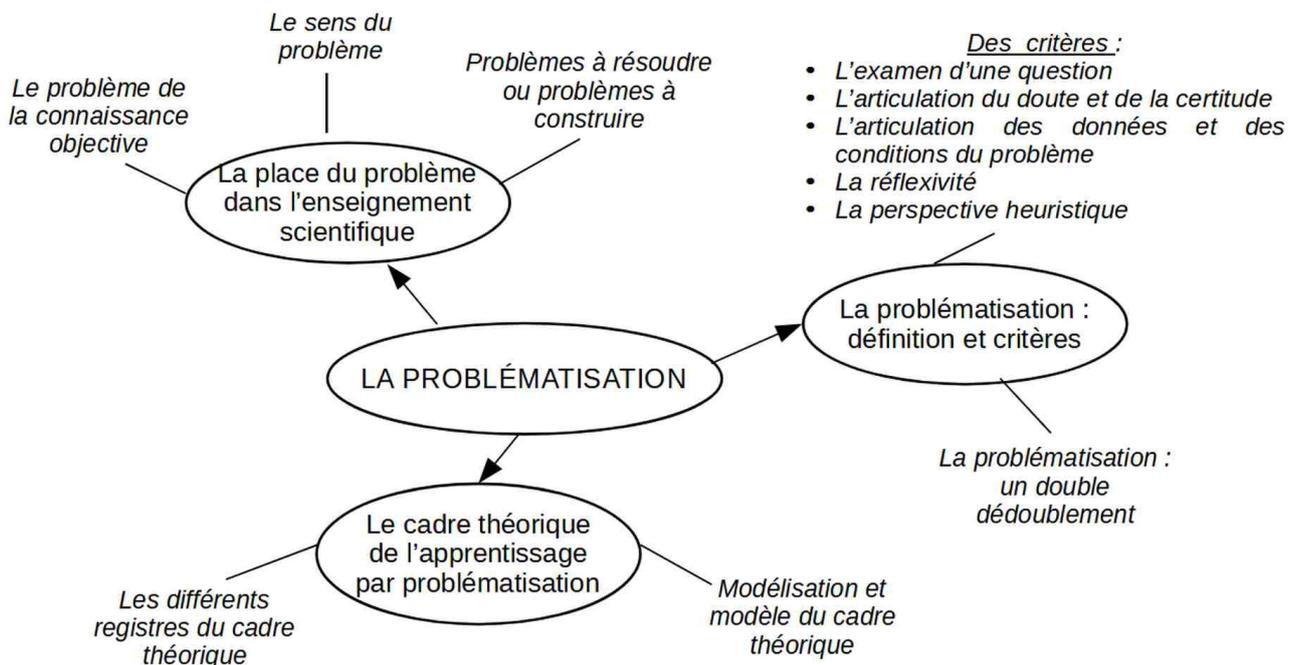


Figure 30 : problématisation et cadre théorique
 (La figure 30 est une synthèse de notre représentation de la problématisation : les flèches sont les axes principaux, les traits simples les axes secondaires.)

3. BILAN DU CHAPITRE 3

Nous considérons que les activités langagières, orales et/ou écrites, inscrites dans une situation d'apprentissage qui fait problème sont dans un processus de problématisation. C'est

pourquoi, au terme du chapitre, il nous semble indispensable de rappeler l'importance du travail langagier dans le processus de problématisation et les conceptualisations scientifiques. C'est pourquoi, nous ne pouvons dissocier les deux concepts. Par ailleurs, nous indique Fabre (Fabre, 2017, p.112) : « *dans la tradition problématologique l'idée de problématisation est toujours liée à celle d'émancipation par le savoir. C'est le cas, chez Dewey, chez Bachelard, Deleuze ou Meyer.* ». Tandis que les activités langagières permettent de suivre les déplacements qui s'opèrent à mesure que les arguments des élèves avancent, « *les trajets problèmes-solutions permettent de construire la carte de la problématisation, celle du champ des possibles et des nécessités qui l'organisent* » (Orange, 2005, p.87). Lhoste (2005, p.174) prolonge la proposition en considérant qu'identifier les raisons c'est accéder aux connaissances scientifiques et « *une analyse plus fine des productions langagières permettrait de suivre , au plus près, l'activité de problématisation des élèves* ». C'est dans cette perspective que nous abordons notre séquence forcée relative à la nutrition des plantes dans le chapitre 5.

Si nous concevons l'apprentissage par problématisation comme une autre façon de penser les relations entre problème et solution, nous souscrivons aux propos de Fabre qui dit : « *Je crois comme Astolfi que la logique disciplinaire consiste en une articulation de savoirs et de méthodes tout à fait favorable à l'apprentissage de la problématisation et qu'elle constitue une formation de l'esprit sans équivalent.* » (Fabre, 2017, p.113). La figure 31 permet de clôturer ce chapitre tout en resituant notre question de recherche :

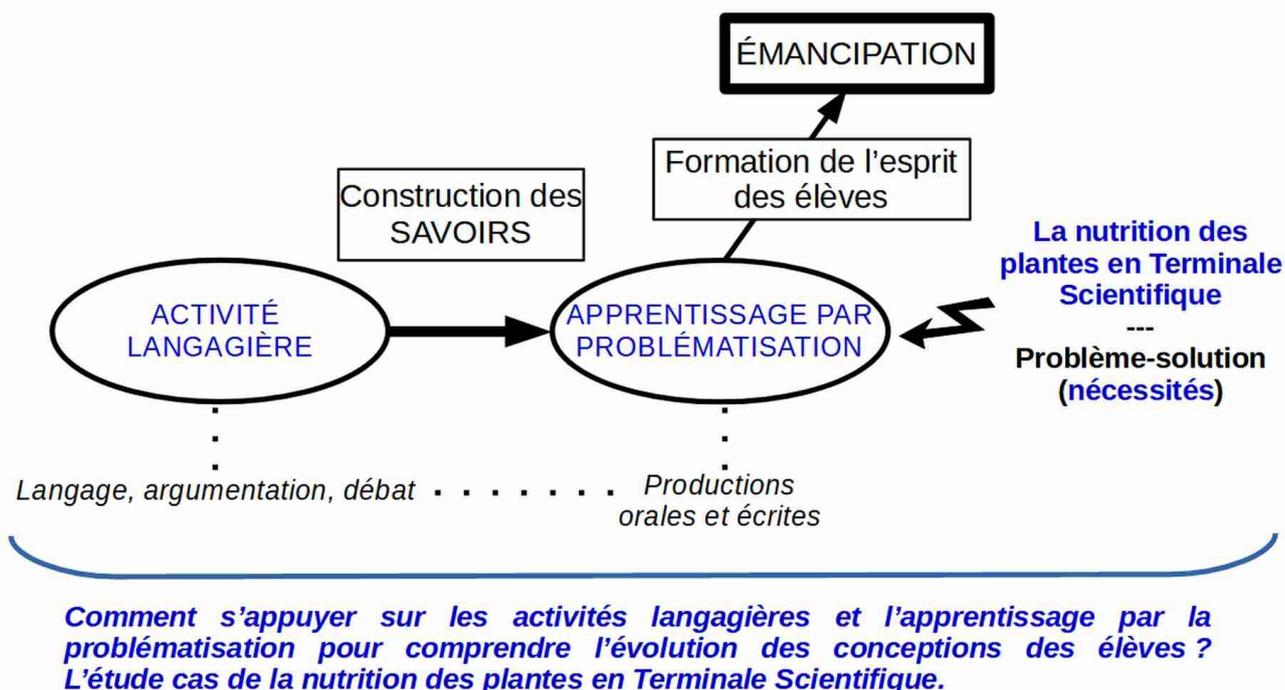


Figure 31 : bilan du chapitre 3 « activité langagière et apprentissage par problématisation »

4. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ENQUÊTE

Suite au cadre théorique qui délimite notre thèse (chapitres 1, 2 et 3), nous poursuivons notre recherche par l'élaboration d'une enquête destinée à comprendre les difficultés des élèves lors de l'apprentissage de la nutrition des plantes. Cette enquête illustre le processus de réflexion qui guide nos travaux, elle est en réalité subdivisée en trois parties distinctes qui composent les trois prochains chapitres. Par conséquent, l'organisation que nous proposons, en 3 enquêtes successives, s'explique par les nouvelles questions de recherche qui se sont dégagées des résultats obtenus au fur et à mesure de l'avancée de nos travaux. Ainsi, la première enquête concerne le chapitre 4 où nous cherchons à faire émerger les conceptions des élèves de terminale scientifique, l'étude se veut la plus large possible par le nombre d'élèves interrogés et qualitative pour l'analyse du contenu de leurs réponses. La deuxième enquête (chapitre 5) concerne plus particulièrement une seule classe de terminale scientifique pour laquelle nous mettons en place une séquence forcée conduite par le cadre de l'apprentissage par problématisation. Enfin, la troisième enquête (chapitre 6) est une approche statistique et qualitative des connaissances des élèves à 3 moments de l'année : en amont de la séquence forcée, après celle-ci, et à distance de l'enseignement.

Chapitre 4 : étude quantitative et qualitative des connaissances d'élèves de Terminale scientifique relative au concept de plante

Introduction

1. UNE PREMIÈRE ENQUÊTE EXPLORATOIRE POUR CIBLER LES DIFFICULTÉS DES ÉLÈVES

1.1 Le positionnement théorique

1.1.1 Le concept de plante dans les programmes du premier degré

1.1.2 Des conceptions des élèves du premier degré sur le concept de plante

1.2 Bilan sur notre positionnement, a priori, des difficultés des élèves de Terminale Scientifique dans les apprentissages relatifs au concept de plante

2. LA MÉTHODOLOGIE DE L'ENQUÊTE

2.1 La méthodologie du recueil de données par questionnaire individuel

2.1.1 Le public visé pour le recueil de données exploratoire

2.1.2 Le questionnaire basé sur plusieurs items du concept de plante

2.2 La méthodologie d'analyse des conceptions des élèves de Terminale Scientifique

2.2.1 « Que sais-tu de la croissance des plantes ? »

2.2.2 « Que sais-tu de la nutrition des plantes ? »

2.2.3 « Autres informations que tu souhaites apporter concernant les végétaux »

2.3 Bilan de la méthodologie mise en œuvre

3. LES RÉSULTATS ET LA DISCUSSION

3.1 Les résultats concernant la croissance des plantes

3.1.1 L'analyse des réponses des élèves

3.1.2 L'analyse des erreurs et l'absence de réponses

3.2 Les résultats concernant la nutrition des plantes

3.2.1 L'analyse des réponses des élèves

3.2.2 L'analyse des erreurs et l'absence de réponse

3.3 Les résultats concernant la reproduction des plantes

3.3.1 L'analyse des réponses des élèves

3.3.2 L'analyse des erreurs et l'absence de réponse

3.4 Les résultats concernant la classification des plantes

3.4.1 L'analyse des réponses des élèves et l'absence de réponse

3.4.2 L'analyse des erreurs et l'absence de réponse

3.5 Les résultats concernant la connaissance de quelques plantes

3.5.1 L'analyse des réponses des élèves

3.5.2 L'analyse des erreurs et l'absence de réponse

3.6 Les résultats concernant d'autres connaissances relatives aux plantes

3.6.1 L'analyse des réponses des élèves

3.6.2 L'analyse des erreurs

4. LA CONCLUSION SUR L'ENQUÊTE DIDACTIQUE ET LA NOUVELLE FORMULATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE

4.1 L'identification des conceptions des élèves de Terminale Scientifique au sujet du concept de plante

4.2 Les nouvelles formulations des questions de recherche

Chapitre 4 : étude qualitative des connaissances d'élèves de Terminale scientifique relative au concept de plante

Il ne faut pas voir la vérité telle que je suis.

Paul Eluard.

Introduction

Le quatrième chapitre correspond à une enquête exploratoire qui vise à évaluer les connaissances initiales des élèves de Terminale Scientifique pour le concept de plante. Dans un premier temps, nous justifierons le choix de l'enquête à la recherche des difficultés scolaires d'élèves ordinaires¹²³. Ensuite, nous présenterons la méthodologie utilisée et le choix motivé du questionnaire. L'intérêt est double puisque celui-ci porte sur une évaluation la plus large possible, par le nombre de réponses, et qualitative, pour leur analyse. Elle vise à objectiver le regard du chercheur pour ouvrir le champ des possibles et mettre à jour les conceptions des élèves vis-à-vis des plantes. Nous faisons le choix de ne pas développer l'analyse de toutes les questions de l'enquête dans la mesure où nous centrons finalement notre investigation sur la nutrition des plantes, fil conducteur de notre thèse. Si les résultats des productions des élèves sont exposés puis discutés, nous faisons une focale particulière sur les erreurs scientifiques relevées puisqu'elles sont significatives des conceptions des élèves et peuvent correspondre à des obstacles épistémologiques. Il faut donc comprendre que cette enquête permet de faire émerger de nouvelles questions de recherche et justifie la succession des chapitres de notre thèse.

1. UNE ENQUÊTE EXPLORATOIRE POUR CIBLER LES DIFFICULTÉS DES ÉLÈVES

Dans la perspective de l'analyse des données inhérentes à ce chapitre 4, nous débutons nos propos par un bref positionnement théorique tourné vers le concept de plante dans le cadre scolaire. Nous faisons ensuite un détour rapide sur les conceptions des élèves du premier degré à propos des plantes pour éclairer certaines difficultés des élèves de Terminale scientifique. Cette approche est en réalité un point d'appui pour notre discussion générale. Ainsi, les obstacles épistémologiques

123 Par « ordinaires », nous entendons un public scolaire qui ne relève pas d'un enseignement spécialisé ou adapté.

rencontrés seront présentés. Alors, nous pouvons terminer par positionner nos travaux dans une vision, *a priori*, des difficultés d'apprentissage des élèves de fin de curriculum scolaire face au concept de plante. Selon nous, ce cheminement nous approche d'une première explication des divergences entre savoirs scolaires et connaissances des élèves.

1.1. Le positionnement théorique

Comme nous l'avons dit plus haut, avant d'aborder les conceptions des élèves de terminale scientifique relatives à la nutrition des plantes, nous cheminons dans le premier degré et nous situons le concept de plante dans les programmes. Ainsi, en nous appuyant sur des travaux similaires de recherches en didactique (Rumehlard, 1985 et 1992 ; Canal de Leon, 1992 ; Goix, 1997; Lhoste, Peterfalvi et Orange, 2007 ; Orange, 2009b), nous souhaitons appréhender l'évolution des conceptions des élèves au cours du curriculum scolaire.

1.1.1. Le concept de plante dans le curriculum du premier degré

La confusion végétal/plante que nous repérons dans l'ensemble des programmes scolaires, c'est-à-dire du premier et du second degrés, a, selon nous, une origine scientifique et sociale. Scientifique d'abord puisque la science du végétal, la botanique, est inscrite dans une longue tradition française. Elle a dû se démarquer de la médecine et de la pharmacopée pour devenir discipline indépendante. L'évolution des idées en systématique rejette le terme végétal car « *au sens phylogénétique et dans les classifications modernes, le règne végétal, dans son contenu traditionnel, n'existe plus* » (Lecointre, 2010, p.5). Or, dans les classifications fonctionnelles¹²⁴, la confusion est fréquente car les deux termes ne sont pas distingués rappelle Bosdeveix (2016). La polysémie des termes entraîne une confusion des groupes d'êtres vivants considérés jusqu'à ne plus savoir qui ils sont, sauf à enrichir l'opposition avec les animaux. Une lecture des programmes du premier degré¹²⁵ permet de discriminer le vocabulaire utilisé, ce que nous réalisons dans le tableau suivant (tableau 6).

124 Une classification fonctionnelle est en relation avec un problème fonctionnel. Autrement dit elle regroupe des espèces qui partagent la même fonction : « *ces classifications fonctionnelles sont nombreuses en biologie car chaque domaine classe ses propres sujets d'étude* » (Bosdeveix, 2016, p.28).

125 Nous nous penchons uniquement sur les programmes de 2015, ce qui pourrait être considéré à juste titre comme un biais dans notre recherche puisque les élèves de Terminale Scientifique qui feront l'objet de notre étude ont été confrontés à un autre programme. Néanmoins, en comparaison avec les anciens programmes du M.E.N. de 2008, nous pouvons affirmer que le concept de plante est globalement abordé dans une même finalité. Finalité que nous pointerons dans le chapitre 7 « discussion générale et mise en perspective » comme un obstacle à l'apprentissage du concept de plante.

Tableau 6 : analyse comparative des programmes des cycles 1, 2 et 3 pour le concept de plante

Cycle concerné	Références au B.O. de 2015	Objectif principal / Analyse
1	<ul style="list-style-type: none"> - observer les différentes manifestations de la vie animale et végétale (p.20) - Reconnaître les principales étapes du développement d'un animal ou d'un végétal, dans une situation d'observation (p.21) du réel ou sur une image. - Connaître les besoins essentiels de quelques animaux et végétaux. (p.21) 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Découvrir le monde</i> - Terme végétal est exclusif - Premiers éléments de connaissances des plantes
2	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier ce qui est animal, végétal, minéral ou élaboré par des êtres vivants : <ul style="list-style-type: none"> — Développement d'animaux et de végétaux. — Quelques besoins vitaux des végétaux. (p.66) 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Questionner le monde</i> - Terme végétal est exclusif - Mobilisation des pré-requis, mêmes perspectives (développement et besoins)
3	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les changements des peuplements de la Terre au cours du temps. (p.191) - Origine des aliments consommés : un exemple d'élevage, un exemple de culture. (p.192) - Modifications de l'organisation et du fonctionnement d'une plante ou d'un animal au cours du temps, en lien avec sa nutrition et sa reproduction. (p.192) - Stades de développement (graines germination-fleur-pollinisation, œuf-larve, adulte, œuf -foetus-bébé-jeune-adulte). (p.192) - Relier les besoins des plantes vertes et leur place particulière dans les réseaux trophiques. <ul style="list-style-type: none"> — Besoins des plantes vertes. (p.193) 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Expliquer le monde</i> - Terme plante exclusif - Nouvelle orientation des connaissances : les plantes et les interactions avec les autres êtres vivants dont l'Homme

L'analyse des programmes du premier degré révèle deux points particuliers :

- une répartition du vocabulaire par cycle : végétal pour les cycles 1 et 2, plante pour le cycle 3 ;
- une évolution des connaissances : d'abord une connaissance végéto-centrée puis une ouverture sur les interactions avec les autres êtres vivants.

Au regard de ces premiers éléments, nous pouvons conjecturer que les savoirs scolaires expriment bien une volonté de construire le concept de plante chez les élèves. En référence à des travaux de recherches en didactique des plantes, nous présentons maintenant une production d'élève de cycle 2 pour illustrer nos propos et pour nous aider à cibler les obstacles possibles à la compréhension du concept de nutrition des plantes.

1.1.2. Des conceptions des élèves du premier degré relatives à la nutrition des plantes

Le numéro 15 de la revue Aster¹²⁶ de 1992 intitulé « Lumières sur les végétaux » s'annonce, dans l'introduction réalisée par Rumelhard (1992, p.3), comme une « occasion de faire le point sur quinze ans de recherche en didactique concernant un ensemble de questions de physiologie végétale étroitement interdépendantes : nutrition, respiration, photosynthèse ». Nous nous intéressons en particulier à l'article de Canal de Leon (1992, p.7-32) qui analyse des conceptions des élèves de classes primaires. L'auteur s'appuie sur un ensemble de recherches, dont celle de l'équipe de l'INRP de Paris en 1976¹²⁷, et confirme à une « tendance générale chez les élèves du primaire. Ils considèrent que les plantes s'alimentent d'une façon analogue à celle des animaux en prenant des aliments à l'extérieur. Ceci se ferait pas les racines, en mangeant de la terre (ou les produits qui forment le sol) » (Canal de Leon, 1992, p.10).

Nous avons privilégié des productions d'élèves de cycle 2 car il nous est possible de suivre une enseignante avec qui nous travaillons régulièrement¹²⁸. De plus, la graphie est plus accessible à l'analyse que celle des élèves de cycle 1. A l'occasion de la première séance d'une séquence consacrée au problème de l'origine des besoins nutritifs des plantes, l'enseignante a demandé aux élèves de CP-CE1 de réaliser un dessin pour exprimer leurs idées. La consigne donnée est la suivante : « Dessine une plante et tout ce dont elle a besoin pour se nourrir ». Grâce à une dictée à l'adulte, les légendes complètent la proposition des élèves. La production choisie (figure 32) est une illustration pour le lecteur, elle correspond, selon nous, au travail d'un élève ordinaire¹²⁹ en comparaison des autres productions de la classe (annexe 1). Ce choix est discutable, nous le reconnaissons, mais nous pensons qu'il éclaire le niveau de conceptualisation d'un élève de 7-9 ans.

126 La revue de recherches en didactique des sciences expérimentales est disponible en ligne :

http://ife.ens-lyon.fr/edition-electronique/archives/aster/web/fascicule.php?num_fas=433

127 Host, V. (1976). La nutrition des végétaux. Dans *Activités d'éveils scientifiques. IV. Initiation biologique. Recherches Pédagogiques*. INRP. https://www.siv.archives-nationales.culture.gouv.fr/siv/IR/Fran_IR_055625

128 Madame Marcoux est professeur des écoles à Avrillé (49240), dans un esprit collaboratif, nous avons réalisé plusieurs travaux en commun pour récupérer des productions d'élèves sur plusieurs thématiques du programme de sciences. Les productions sont des éléments que nous utilisons pour la formation des étudiants de master MEEF premier degré à l'INSPE d'Angers et du Mans, mais aussi pour les stagiaires SVT du second degré dont nous avons la responsabilité pour leur formation continue.

129 Au sens où, notre expérience de 8 années comme formateur à l'INSPE d'Angers, nous a permis de nous forger une représentation des propositions des élèves de cycle 2 lorsqu'ils abordent la nutrition des plantes à l'école.

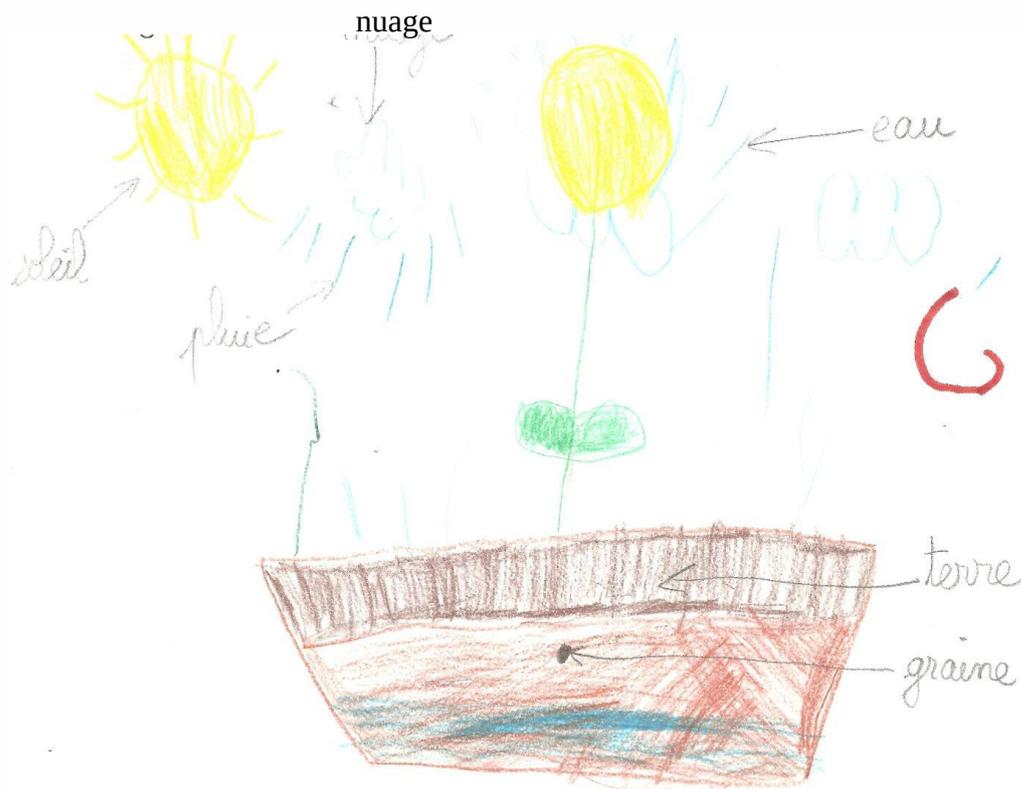


Figure 32 : production d'un élève de cycle 2 (7-8 ans) « les besoins des plantes »
(c'est nous qui ajoutons le terme « nuage » car il est illisible sur l'original)

Les éléments présents sur le dessin (le soleil, la pluie, la terre) nous conduisent à dire que la lumière/chaaleur et l'eau sont des éléments intégrés dans les représentations des élèves. En revanche, l'eau est présentée comme un élément qui pourrait être absorbé par les parties aériennes de la plante ou qui termine sa course dans la terre sans en connaître sa destinée, ici elle est dessinée au fond du bac (couleur bleue). Si la terre est identifiable par sa couleur marron, elle est considérée comme un support opaque qui complète un contenant. La notion de minéraux n'est pas citée, probablement parce qu'elle n'est pas connue. Le concept de gaz étant très éloigné des connaissances des élèves, et parce qu'il est invisible, nous le considérons comme un obstacle épistémologique (Bachelard, 1938/2011). C'est pourquoi le dioxyde de carbone (CO_2) est systématiquement absent à l'école primaire. Notons que, dans les productions des élèves, la plante dessinée est systématiquement une Angiosperme où la fleur, elle même, est surdimensionnée, et le plus souvent unique et isolée, c'est-à-dire sans interactions avec d'autres êtres vivants. Dans certaines productions, nous relevons que la symbolisation de la terre est soit absente, soit sous la forme d'un trait horizontal ou encore masqué par un contenant comme un pot. Nous notons également que l'apport d'eau peut être représenté par un arrosoir. De plus, si la forme et/ou la couleur de la plante est/sont différente(s),

c'est surtout la fleur qui domine le dessin de la plante alors que ce sont les parties chlorophylliennes, principalement les feuilles, qui sont essentielles à la nutrition. Nous conjecturons que le rôle des feuilles n'est pas connu à l'école primaire.

1.2. Positionnement théorique à partir des difficultés des élèves du premier degré pour comprendre celles des élèves de Terminale Scientifique dans les connaissances relatives au concept de plante

Les élèves de Terminale Scientifique sont dans le système scolaire depuis quinze ans¹³⁰, aussi construisent-ils des connaissances qui sont liées à des enseignements se situant dans une logique de cohérence verticale¹³¹. Dans cette perspective, il faut comprendre que les bases fondatrices du bagage scolaire des élèves du second degré devraient reposer sur les enseignements du premier degré. Or, nous avons vu précédemment, que des difficultés conceptuelles existaient dès le cycle 2. Si certaines sont surmontées, d'autres peuvent émerger à mesure que le domaine des connaissances scientifiques s'élargit et de nouveaux obstacles apparaissent. Par exemple, dans la même étude de l'INRP de Paris citée précédemment (Host, 1976), les chercheurs « *estiment impossible de commencer l'apprentissage des processus de la photosynthèse avant l'âge de douze ans environ, âge auquel une première approximation cohérente pourrait être développée* » (Canal de Leon, 1992, p.10). Selon nous, les obstacles sont liés à des connaissances empiriques déjà forgées et/ou associés à un manque de connaissances scientifiques (éléments chimiques, notion de gaz, principe de conservation de la matière...) : des difficultés d'apprentissage en sont une des conséquences possibles. C'est pourquoi, pour faire évoluer les connaissances des apprenants, il est nécessaire de « *renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne* » (Bachelard, 1938/2011, p.21). Nous en déduisons, à l'instar de nombreux travaux en didactique, dont ceux d'Astolfi (1997/1999 ; 2008/2011 ; 2008/2014), que la difficulté scolaire serait une norme à prendre en compte dans le modèle pédagogique. Nous proposons quatre composantes explicatives qui pourraient l'éclairer :

- l'élève est un individu singulier mais qui possède des conceptions issues de constructions sociales (Goldstein, 1951/1983) ;

- des connaissances scolaires qui font émerger des obstacles que nous retrouvons dans des conceptions d'élèves et qui conduisent alors à une résistance cognitive, l'enseignement ne va pas de

130 Cycle 1 (3 ans), cycle 2 (3 ans), cycle 3 (3 ans), cycle 4 (3 ans), lycée (3ans).

131 La cohérence verticale indique que des notions abordées dans les programme de lycée en série S sont en lien avec les acquis du collège.

soi ou comme l'affirme Astolfi (2008/2014, p.58) : « *comme si les choses pouvaient s'engrammer silencieusement dans la tête des élèves à mesure que l'explication avance* » ;

- un lexique propre à chaque discipline qui « *invente des mots, en recycle ou en rectifie d'autres* » (Astolfi, 2008/2014, p.24) qui est parfois éloignée de la langue quotidienne, comme une langue étrangère ;

- apprendre est un voyage (Serres, 1991) où les obstacles épistémologiques correspondent à des facilités de sens commun, apprendre nécessite de désapprendre, à réformer son esprit par une catharsis intellectuelle (Bachelard, 1938/2011).

En conclusion, nous pensons que face à un apprentissage, la difficulté scolaire est un schème¹³², au sens de Vergnaud (2011), de l'apprendre à faire apprendre pour les enseignants. Dans le champ des sciences à l'école, les notions relatives aux plantes ne peuvent donc pas échapper à cette qualité. De plus, le mot plante est polysémique, il ne facilite pas toujours sa compréhension (Bosdeveix, 2016). Enfin, la simple rencontre des plantes au quotidien est bien le premier des obstacles (Bachelard, 1938/2011, p.23).

Nous engageons donc une enquête à visée exploratoire auprès d'un public scolaire pour faire un état des lieux des connaissances potentielles sur le concept de plante, et en particulier leur nutrition, en fin de curriculum du second degré.

2. LA MÉTHODOLOGIE DE LA PREMIÈRE ENQUÊTE

Souhaitant mettre en lumière les connaissances des élèves sur le concept de plante, pour en inférer leurs conceptions possibles, nous commencerons par présenter la méthodologie du recueil de données. Dans un schéma classique, nous expliciterons la méthodologie d'analyse qui a permis de construire une grille d'analyse avant de proposer un bilan de la méthodologie mise en œuvre.

2.1. La méthodologie du recueil de données par questionnaire individuel

132 Schème au sens de Vergnaud (2011, p.43) qui précise qu'il correspond à une « *organisation invariante de l'activité* ».

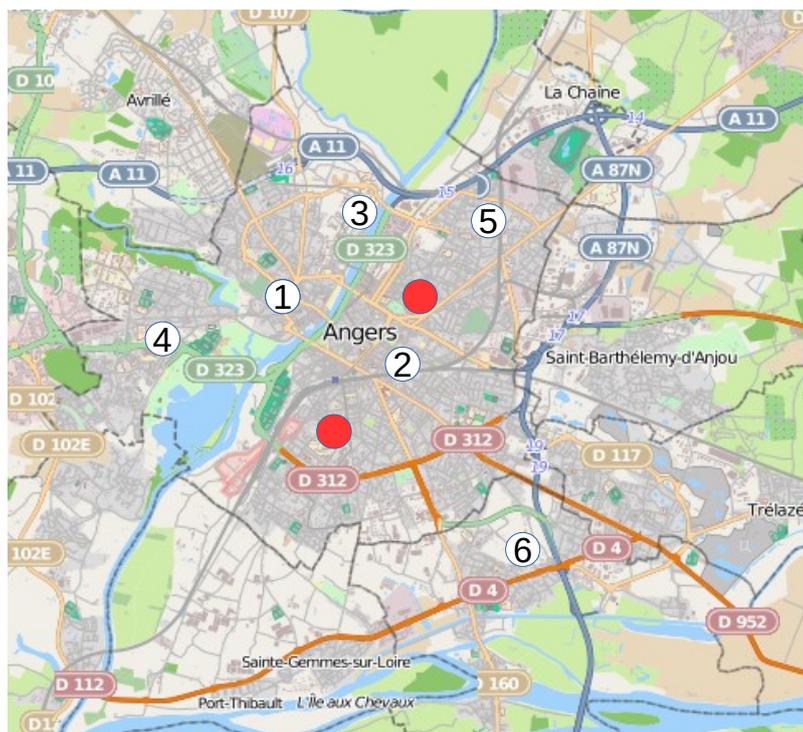
Ce premier recueil de données est réalisé dès le début de la première année de notre thèse en 2017. Il a pour objectif principal d'objectiver l'état des lieux des connaissances des élèves avant la séquence d'enseignement du programme de Terminale Scientifique « *thème 1-A5 : Les relations entre organisation et mode de vie, résultat de l'évolution : l'exemple de la vie fixée chez les plantes* » (MEN, 2011)¹³³. Nous souhaitons développer la méthodologie du recueil de données en présentant en particulier le questionnaire élaboré à cet effet.

2.1.1. Le public visé pour le recueil de données exploratoire

Le recueil de données a une double visée : qualitative pour l'analyse de son contenu et importante en quantité de données pour avoir un panel de réponses le plus large possible . En effet, pour l'étude didactique considérée, nous cherchons l'obtention d'un grand nombre de réponses d'élèves de Terminale Scientifique pour faire émerger des régularités. Il est à noter que peu de recherches en didactique des sciences concernant notre objet d'étude, les plantes, se portent sur ce dernier niveau du lycée. La ville d'Angers¹³⁴ est le cœur de notre enquête, elle comprend 8 lycées généraux et technologiques publics. Seuls 6 lycées (figure 33) ont répondu favorablement à notre sollicitation et nous avons pu récolter 453 réponses d'élèves (tableau 7). Dès le mois de septembre, un questionnaire a été proposé en début de cours des Sciences de la Vie et de la Terre. Cette période permet de ne pas interférer avec le chapitre cité ci-avant.

133 Nous précisons que ce programme est désormais obsolète puisqu'un nouveau B.O.est mis en place depuis la rentrée scolaire 2020-2021 (n°8 du 25 juillet 2019). Toutefois, nous relevons que le concept de plante est marqué dans la partie « De la plante sauvage à la plante domestiquée » (p.13-16).

134 Angers est la préfecture du Maine et Loire (49) dans les Pays de la Loire. La ville se distingue notamment par son engagement dans le végétal, Végépolys est le premier pôle de compétitivité horticole européen. La ville possède une forte concentration en espaces verts (18 parcs et jardins).



- 1 : lycée A. & J.Renoir
- 2 : lycée D. d'Angers
- 3 : lycée J.Moulin
- 4 : lycée H.Bergson
- 5 : lycée E.Mounier
- 6 : lycée J.Bodin
- Lycées n'ayant pas répondu à notre demande.

Figure 33 : répartition des lycées angevins ayant participé au recueil de données

Tableau 7 : répartition du nombre de réponses par lycée

Lycée concerné	Nombre de participants
Lycée A. et J. Renoir	115
Lycée H. Bergson	82
Lycée J. Moulin	33
Lycée E. Mounier	48
Lycée J. Bodin	63
Lycée D. D'Angers	112
Total	453

2.1.2. Le questionnaire basé sur plusieurs items du concept de plante

Le choix d'un questionnaire anonymisé (figure 34, l'original est un format A4) permet un certain degré de liberté de réponse pour les élèves, et si plusieurs questions sont posées c'est parce « *qu'aucune question ne peut jamais approcher entièrement une notion* » (De Singly, 1992/2016, p.26) . Pour délimiter les éléments pertinents à questionner, nous nous sommes basés sur le contenu du programme de Terminale Scientifique (MEN, 2011) que les élèves n'ont pas encore suivi. Ainsi, les connaissances à construire sont les suivantes « *Les caractéristiques de la plante sont en rapport*

avec la vie fixée à l'interface sol/air dans un milieu variable au cours du temps. Elle développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec l'atmosphère (échanges de gaz, capture de la lumière) et avec le sol (échange d'eau et d'ions). Des systèmes conducteurs permettent les circulations de matières dans la plante, notamment entre systèmes aérien et souterrain. » (B.O. spécial n°8, 2011, p.8).

Afin de balayer le concept de plante le plus largement possible, le questionnaire comprend 5 questions ouvertes, il interroge sur : la croissance, la nutrition, la reproduction, leur classification et le nom de plantes qu'ils connaissent. Il faut préciser que, en début de thèse, nous ne nous étions pas arrêté sur la nutrition des plantes. La notion de classification¹³⁵ a été ajoutée car elle procède d'une construction des apprentissages en SVT associée à une cohérence verticale des programmes, le concept d'évolution étant sous-jacent. Par ailleurs, nous avons ajouté au document « *cite quelques végétaux*¹³⁶ » pour avoir une représentation de l'univers des plantes dans l'esprit des élèves. Le questionnaire étant directif, il nous a également semblé important de proposer aux élèves « *Autre(s) information(s) que tu souhaites apporter concernant les végétaux* », ce qui laissait la possibilité à un élève de mentionner une information qu'il ne pouvait pas mettre dans une case. Nous sommes conscients que les questions proposées n'engagent pas les élèves à des réponses explicatives, la forme est plus scolaire et invite à plutôt à une restitution de connaissances. Ce que nous souhaitons puisqu'il s'agit bien pour nous de faire un état des connaissances des élèves de Terminale Scientifique (annexe 2).

135 Le terme de classification a été préféré à celui de systématique ou de phylogénie pour ne pas ajouter un obstacle sémantique aux élèves.

136 En septembre 2017, nous n'avions pas encore fait la distinction entre végétal et plante d'où la présence du terme dans le questionnaire. Cette distinction n'étant connue que des experts, nous considérons qu'elle n'a pas interféré dans les réponses des élèves.

Recueil de données réalisé dans le cadre d'une thèse en didactique des sciences.
Les résultats seront accessibles aux élèves qui le souhaitent.
Pour plus d'informations, n'hésitez pas à venir me rencontrer.
Merci d'avance pour votre participation.

Francis Rouquet, professeur de SVT au lycée Renoir à Angers

Préalable : tes réponses seront utilisées à des fins statistiques. Tu peux écrire des phrase ou des mots. Si tu ne sais pas quoi écrire à une question, laisse la case vierge. Il est important de ne pas copier sur ton(a) voisin(e) et de répondre avec sincérité sans quoi l'analyse sera faussée.

Ex : je suis Francis Rouquet – Ton identifiant (écrire) : FR (pour conserver l'anonymat)

Ton identifiant :.....

Que sais-tu des végétaux concernant leur :

Croissance ?

Nutrition ?

Reproduction ?

Classification ?

Cite quelques végétaux :

Autre(s) information(s) que tu souhaite(s) apporter concernant les végétaux :

Figure 34 : questionnaire distribué aux élèves de Terminale Scientifique

Dans un premier temps, nous avons contacté les lycées (figure 42) pour savoir s'ils acceptaient notre sollicitation. Dans un deuxième temps, suite à leurs réponses, nous leur avons envoyé un mail en demandant de respecter les consignes de la feuille du questionnaire, et en particulier, de ne pas aider les élèves mais de les encourager à écrire. Une durée de 10 minutes a été préconisée.

2.2 La méthodologie d'analyse des connaissances des élèves de Terminale Scientifique

Puisque nous limitons notre investigation à la question de recherche, pour l'analyse, nous ne devrions retenir que celle du questionnaire relative à la nutrition (question 2). Toutefois, à la lecture des réponses à la question 1 concernant la croissance, il nous semble pertinent d'en proposer une analyse pour plusieurs raisons. D'abord, en référence aux travaux de Goix (1997), parce que des confusions et/ou des analogies apparaissent entre croissance et nutrition dans les réponses des élèves. Nous verrons en conclusion qu'elles sont inscrites dans une conception de la nutrition. Ensuite, parce que « *dans leurs réponses, les personnes enquêtées sont, inconsciemment, sensibles à un effet de contexte du questionnaire* » (De Singly, 1992/2016, p.82). Aussi, la réponse à la

première question peut-elle être soit développée soit limitée, mais elle peut induire un développement des questions suivantes comme si elle avait un effet « starter ». Nous avons également souhaité proposer une analyse de la dernière question qui offre aux élèves la possibilité de noter d'autres informations relatives à la nutrition. En effet, pour le lecteur, cela peut permettre d'appréhender le contexte global du questionnaire.

La grille d'analyse, *a priori*, a été modifiée au fur et à mesure du dépouillement des réponses des élèves, l'objectif étant de minimiser les catégories avant d'en inférer les conceptions des élèves à propos de la nutrition des plantes. Point que nous développons dans la conclusion de ce chapitre 4 comme nous l'avons déjà précisé. Afin de récupérer un maximum d'informations des questionnaires, nous avons également fait le choix de relever systématiquement trois catégories : autres réponses, erreurs scientifiques et rien (pour aucune réponse). Pour chaque catégorie, nous proposons un exemple de réponse d'élèves pour éclairer le lecteur.

2.2.1. « Que sais-tu de la **croissance** des plantes ? »

Afin que notre grille d'analyse puisse accepter toutes les propositions des élèves, nous avons proposé cinq catégorisations de réponses qui ne sont pas exclusives :

- les **besoins** associés au **développement** : lorsque les réponses indiquent des besoins pour les plantes afin de se développer et qu'ils correspondent aux savoirs scientifiques actuels (par exemple : « *Pour une bonne croissance, les végétaux ont besoin d'eau, de soleil et d'une terre riche en minéraux* » CM-RE);

- le **développement** : lorsque les réponses concernent les stades de développement, la croissance, la vitesse, la durée, la multiplication cellulaire (par exemple : « *c'est quand les végétaux se développent, poussent* » LL-RE);

- **autres réponses** : lorsque les réponses ont un lien avec la croissance mais sont différentes des besoins ou du développement (par exemple : « *départ d'une graine ou d'un noyau, fleuraison* » SB-RE);

- **erreurs** : lorsque les réponses ne relèvent pas des connaissances que nous avons fixées ou normées pour la question mais qui interrogent les conceptions que pourraient développer les élèves (par exemple : « *ils grandissent même après avoir été coupés* » MC-RE ;

- **rien** : lorsqu'il n'y a pas de réponses.

Ces deux dernières catégories « erreurs » et « rien » sont reprises pour la question suivante, elles ne seront donc pas réécrites.

2.2.2. « Que sais-tu de la **nutrition** des plantes ? »

Pour la nutrition, nous avons considéré quatre réponses possibles que nous justifions :

- le **nombre de critères** retrouvés lorsqu'ils correspondent aux savoirs scientifiques : lumière, minéraux, eau et CO₂ (dioxyde de carbone) ; à chaque élément repéré dans la production écrite de l'élève, nous attribuons « 1 », la somme des « 1 » correspond aux connaissances de l'élève (par exemple la réponse : « *les végétaux se nourrissent d'eau de nutriment dans la terre grâce à la photosynthèse* » SP-RE possède 2 critères et fait référence à la photosynthèse) ;

- le **dioxygène** (O₂) : lorsque le gaz est compris comme un élément entrant dans la nutrition, d'un point de vue scientifique, il est possible de le considérer ainsi puisqu'il intervient indirectement dans la respiration cellulaire pour la synthèse d'énergie (Adénosine Tri Phosphate) (par exemple : « *eau + dioxygène + soleil + nutriments du sol* » MG-RE);

- la **photosynthèse** : il s'agit d'un mécanisme intervenant dans le métabolisme des plantes et qui est intimement associé à la nutrition pour la production de matières ;

- **autres** : lorsque les réponses ont un lien avec la nutrition mais sont différentes des catégories précédentes (par exemple : « *certaines mangent des petits insectes* » FC-RE) ;

2.2.3. « Autres informations que tu souhaites apporter concernant les végétaux

Ce dernier item était la possibilité d'ajouter une information en relation avec les plantes en fin de questionnaire. Deux raisons ont motivé ce choix : d'abord, certains élèves ont pu ne pas trouver place à une information dans l'un des items proposés, ensuite, certaines réponses peuvent entraîner la mobilisation d'autres connaissances. Nous avons retenu six catégories :

- les **informations générales et l'utilité des plantes** : lorsqu'il s'agit d'informations basées sur des sensations, des idées générales (par exemple : « *c'est beau* » ??-BE) ;

- la **biologie** : lorsque des éléments concernent la biologie des plantes au sens général du terme (par exemple : « *les kiwis ne sont pas hermaphrodites* » CCC-RE);

- les **moyens de défense** : lorsqu'il y a une évocation aux défenses des plantes (par exemple : « *certains végétaux comme les acacias peuvent communiquer entre eux afin de se défendre ou de s'éviter couronne de timidité* » CL-MO);

- les plantes **indispensables à la vie** : lorsqu'il y a un lien avec les autres êtres vivants dont l'Homme (par exemple : « *les végétaux sont importants pour la survie de tous !* » TM-JM) ;

- **autres** : une seule réponse (par exemple : « *je suis pas très forte excusez moi de foirer votre thèse* » ER-BE) ;

- **erreurs** : lorsque les réponses ne relèvent pas des connaissances que nous avons fixées ou normées pour la question mais qui interrogent les conceptions possibles des élèves (par exemple : « *1 arbre coupé et on doit en planter 2 pour maintenir la planète en vie* » EA-MO).

2.3. Bilan de la méthodologie mise en œuvre

Notre intention est d'identifier les connaissances des élèves de Terminale Scientifique sur plusieurs items du concept de plante. Un questionnaire anonyme en début d'année scolaire permet de recueillir les connaissances des élèves mais cette démarche n'est pas ordinaire. Les six lycées qui ont participé à l'enquête permettent d'envisager d'interroger un public élargi du niveau de Terminale Scientifique. L'anonymat assure une forme de liberté d'expression. Chaque élève est repéré uniquement par ses initiales auxquelles nous ajoutons les deux premières lettres du nom du lycée correspondant. Ainsi, Pierre Dupont au lycée J. Ferry se noterait PD FE. Ce repère sera repris dans des réponses d'élèves dans le point suivant (3. Les résultats et la discussion).

La construction d'une grille d'analyse nécessite une catégorisation des réponses. Celle-ci était anticipée mais il a été nécessaire de faire évoluer les catégories pour intégrer toutes les réponses. Pour chaque item, nous commençons par des catégories spécifiques, ensuite une catégorie « autres » nous permet de retenir la réponse sans multiplier les catégories. Les deux dernières catégories « erreurs » et « rien » sont également utiles pour apprécier la complétude et la pertinence des réponses.

Si nous visons une analyse la plus large possible avec une cohorte de 453 réponses (annexe 3), nous considérons que toutes les réponses peuvent renseigner notre recherche sur les conceptions des élèves mais aussi leurs difficultés et les erreurs déclarées d'où la visée qualitative simultanée.

3. LES RÉSULTATS ET LA DISCUSSION

Nous reprenons encore une fois l'ordre chronologique des items du questionnaire pour présenter les résultats et leur analyse. Pour faciliter la lecture des résultats, nous choisissons de reprendre la même logique pour toutes les questions : d'abord l'analyse des réponses, puis l'analyse des erreurs et enfin l'absence de réponse.

3.1. Les résultats concernant la croissance des plantes

3.1.1. L'analyse des réponses des élèves

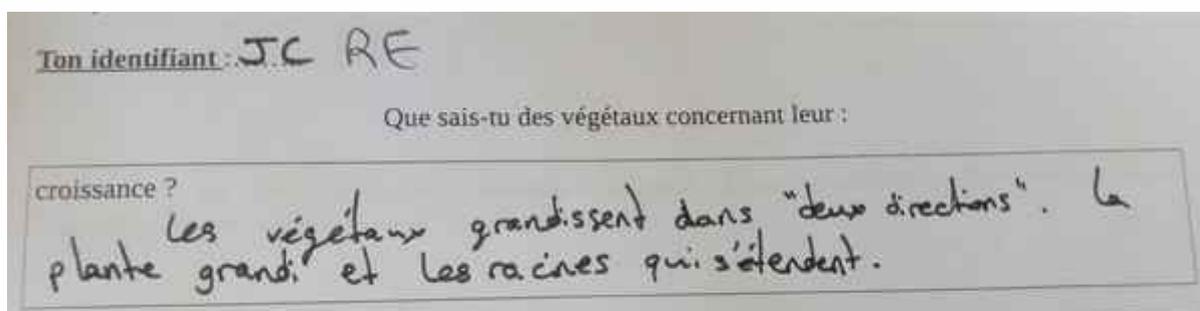


Figure 35 : réponse de l'élève JC RE¹³⁷ à « Que sais-tu des végétaux concernant leur croissance ? » catégorie « développement »

Pour notre analyse *a priori*, les réponses attendues concernaient la « croissance » des plantes. La figure 35 ci-dessus illustre un exemple de proposition d'élève (JC RE). En fonction des productions des élèves, nous rappelons avoir été conduit à proposer cinq catégories pour cet item que nous reprenons dans le tableau 8.

Tableau 8 : résultats de la catégorisation des réponses des élèves pour l'item « croissance »

besoins/ développement	Développement	Autres	Erreurs	Rien
227	106	118	2	65

¹³⁷ Nous illustrons l'ensemble des questions par la même production d'élève JC RE.

Certaines réponses des élèves peuvent se retrouver dans deux catégories. Par exemple, lorsqu'un élève donne un élément de « développement » mais ajoute un autre élément n'appartenant à cette catégorie.

La majorité des réponses relève de la catégorie **besoins** associés à la **croissance** des plantes (n = 227). Cette association est représentative de notre échantillon puisqu'elle concerne 50,1 % des élèves qui pensent que les apports exogènes expliquent la croissance. Cela confirme les résultats des travaux de Goix (1997, p.141) qui affirme que, pour les élèves, « *la croissance est utilisée comme témoin de la satisfaction des besoins : elle joue le rôle de réactif biologique* ». L'expérience première et l'anthropomorphisme (alimentation et croissance) pourraient être à l'origine de leurs réponses. Ainsi nous pouvons lire : « *ils grandissent un peu comme les Hommes d'abord graine (tous petits) puis taille adulte¹³⁸* » (NM RE), « *en se nourrissant, un peu comme les êtres humains* » (MJ RE), « *comme l'homme, un végétal commence petit* » (MPM JM). Par ailleurs, l'association de deux éléments pour proposer une explication est un biais cognitif fréquent qui permet de livrer une explication avec un minimum d'effort cognitif (Houdé, 2014). Dans les réponses, nous avons également repéré l'ordre des éléments cités, avec, de façon décroissante : le soleil (82 %) – l'eau (57 %) – les minéraux (25 %) – CO₂ (11 %). Le soleil et l'eau sont les deux éléments principaux assimilés à ces besoins. Au regard des conceptions des élèves de cycle 2 (1.2.2.), nous constatons une forme de stabilité des connaissances relatives aux besoins des plantes. En définitive, l'importance que les élèves accordent aux éléments nutritifs alors que la question oriente plutôt sur la croissance des plantes pourrait s'expliquer par leur réification. En effet, même si le fonctionnement de la croissance n'est pas demandé aux élèves, nous nous demandons s'ils ne réalisent pas une analogie entre besoins et croissance, ce qui n'est pas sans rappeler l'obstacle substantialiste¹³⁹ bachelardien.

Concernant la catégorie **développement**, l'analyse des réponses dégage cinq axes principaux d'explications possibles. Le premier, des **stades de développement** : « *naissent, bulbe, germe/germination, graine, bourgeon, floraison/fleur, fruit, tige, branche, ramification, feuille, racine, meurent* ». Le second, la **croissance** : « *taille et épaisseur augmente* » (BB BO) (TM BE), « *cycle de croissance* » (DD DA). Le troisième, la **vitesse** : « *lente, lente et longue, très lente, lente et verticale, très vite, plus ou moins rapide/vite* », « *à son rythme* » (JM JM). Le quatrième, la

138 En italique, des propos des élèves relevés dans les questionnaires.

139 Pour Bachelard (1938/2011, p.97), cela revient à attribuer à une substance toutes les qualités, « *superficielles ou profondes* » (Bachelard, 1938, p.97) sans déterminer de relation de cause à effet.

durée : « avec du temps, longtemps, longue, régulière, toute leur vie (AL RE), infinie, ne cesse de croître, avec l'âge, continue, au fil du temps, ne s'arrêtent jamais, meurent en une année (RBN RE), un temps particulier (PM BO), c'est long DW RE, même après avoir été coupés (MC RE), grandissent ou croissent 10¹⁴⁰, saisons 4, « souvent plusieurs mois » (PD DA). Le cinquième, la **multiplication des cellules** ou ce que nous interprétons comme telle : « auxèse, auxine – mitoses, hormones » (AT MO), des bourgeons, les feuilles/racines s'allongent 3, « dans 2 directions, la plante grandit et les racines qui s'étendent » (JC RE), « la cime » (A ? MO), « elle est influé par le caryotype » (MB JM), « elle se fait en direction du soleil » (JV DA), « vers le haut, lumière » (BM DA), « concentrique chez les arbres » (MA DA). Les axes proposés indiquent la pertinence des réponses pour l'item considéré. En revanche, les points de vue divergent, ce que nous faisons correspondre à une disparité des conceptions à laquelle nous ajoutons la difficulté d'exprimer ses idées, une difficulté du langage et de la pensée. Nous pensons également faire émerger un obstacle animiste puisque les élèves ne font pas de corrélation entre l'augmentation de masse des plantes et l'absorption des éléments nutritifs : ils restent dans l'aspect extérieur de la plante quand la production primaire correspond à l'explication de la croissance. L'analyse étant basée sur du déclaratif écrit, considérant la richesse des réponses, nous limitons nos propos pour ne pas tomber dans la surinterprétation.

La catégorie « **autres** » renseigne d'autres aspects explicatifs de la croissance. Par exemple « la photosynthèse » dans 85/118 réponses est fréquemment mobilisée ou indirectement « la chlorophylle, la sève ». Ce processus est une connaissance scolaire du cycle 4 et il est présenté comme point central de la vie des plantes sans prendre en compte leur milieu de vie : « grâce à la sève élaboré et la photosynthèse » (AC JM). Pour Astolfi (1992), cela revient à abandonner les problèmes scientifiques en pensant que la nature est bien faite, un point de vue aristotélien. Un autre aspect concerne la diversité des plantes « varie selon l'espèce/la plante » 27, ce qui témoigne d'une réelle prise en compte du vivant dans ces différences. Pour les autres élèves, la grande majorité, cela signifie-t-il qu'ils considèrent les plantes comme fonctionnant toutes de la même façon ? Pour Bachelard (ibid), cette pensée caractérise un obstacle d'unicité des points de vue qui conduit à trop généraliser pour pouvoir se représenter plus simplement le monde qui nous entoure. Certains associent la croissance à la surface occupée : « l'espace qu'elle possède influe » (AM RE), « de manière proportionnée » (EM RE), « espace disponible », « elles grandissent sous terre et dans les airs » (AR DA). Certaines réponses laissent penser que les connaissances sont moins mobilisées ou plus difficilement explicitées : « leur santé » (BV RE), « importance environnementale » (SA MO),

140 Terme 10 signifie que nous avons retrouvé 10 fois terme dans les différents questionnaires.

« *les racines sont importantes pour les plantes, fleurs* » (ML JM) , « *ils ont une vie bizarre ex : vie au ralentie ou quelque chose comme ça vu au collègue* » (TD DA). Nous notons également que les mécanismes mitotiques de croissance étudiés en classe de 1S sont rarement mentionnés (2%), la croissance cellulaire (auxèse) est inexistante : il s'agit d'un obstacle descriptif à probablement relier avec la non prise en compte de l'échelle cellulaire et, par conséquent, le manque de transversalité accordée aux différents chapitres de SVT.

Loin de faire une liste des obstacles possibles rencontrés par les élèves pour répondre à cette première question de la croissance des plantes, nous souhaitons montrer leur importance d'un point de vue épistémologique.

3.1.2. L'analyse des erreurs scientifiques et l'absence de réponses

Les « **erreurs** » sont, nous l'avons dit, une opportunité pour le chercheur de poursuivre son travail d'analyse pour comprendre et approcher la pensée des élèves. Pour la croissance des plantes, deux propositions sont considérées comme des erreurs que nous expliciterons ensuite : « *recycle le CO₂ en O₂ ce qui leur permet de grandir* » (RS RE), « *elles réalisent une photosynthèse pour respirer et ainsi grandir* » (QD DA) :

- la première erreur peut-être expliquée comme une confusion possible et classique, sur l'origine du dioxygène (O₂). L'expérience de Hill (1937-1939) montre, qu'en absence de CO₂, la réaction de la photosynthèse se résume à une oxydo-réduction et qui a pour conséquence, notamment, le rejet de dioxygène comme déchet métabolique (Heller, 1977/1989, p.184). Elle atteste donc que le O₂ ne provient pas du CO₂. Par conséquent, lorsque RS RE souligne le « mystère » de l'origine du O₂, il s'agit probablement d'un obstacle de la connaissance générale relevant d'une séduction de facilité, en référence à Bachelard (1938/2011), qui permet à l'élève de fournir une explication. En effet, un raisonnement déductif permet d'affirmer que la molécule de CO₂ contient bien 2 atomes d'oxygène O, il suffit de séparer l'élément carbone C pour les faire apparaître or, 2 O = O₂. Le mot « *recycle* » mérite tout de même notre attention car d'un point de vue scientifique, il y a bien entrée du CO₂ et sortie du O₂. Aussi, si la pensée de l'élève est d'utiliser ce vocabulaire pour dire « transformation de la matière », nous pensons néanmoins qu'il considère que le CO₂ devient du O₂.

- la deuxième erreur souligne une autre confusion courante entre la photosynthèse et la respiration, comme si la photosynthèse était perçue par les élèves comme une respiration inversée (Orange, 1997). L'identification de la vie à la respiration (Canguilhem, 1973) est associée à la

production de dioxygène par photosynthèse, par conséquent les deux mécanismes sont confondus dans une pensée simplificatrice. Un obstacle qui est rencontré également dans l’histoire des sciences car les gaz échangés sont les mêmes dans la photosynthèse et la respiration mais les sens sont inversés. Ainsi, pour l’élève, les deux mécanismes se confondent.

3.2. Les résultats concernant la nutrition des plantes

3.2.1. L’analyse des réponses des élèves

Pour notre analyse *a priori*, les réponses attendues concernaient les « 4 critères identifiés » comme nécessaires pour la nutrition des plantes : eau, minéraux, CO₂ et lumière. La figure 36 correspond à un extrait d’une production d’élève (JC RE). En fonction des productions des élèves, nous rappelons avoir été conduit à proposer six catégories pour cet item (tableau 9), avec quatre subdivisions pour la première catégorie.

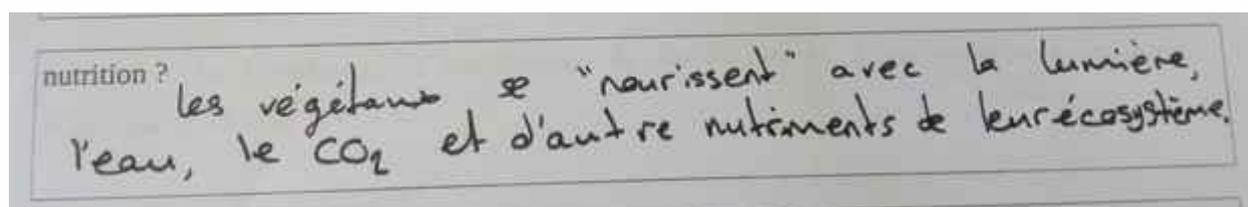


Figure 36 : réponse de l’élève JC RE à « Que sais-tu des végétaux concernant leur nutrition ? »
 Dans cet exemple, 3 critères sont reconnus et un autre élément de réponse est attribué à la catégorie « autres »

Tableau 9 : résultats de la catégorisation des réponses des élèves pour l’item « nutrition »

Nombre de critères reconnus				O ₂	photosyn thèse	Autres	Erreurs	Rien
1	2	3	4					
125	166	79	5	25	61	97	18	38

Pour le « **nombre de critères retenus** », l’ordre qui semble privilégié pour les élèves en fréquences décroissantes est : l’eau, les minéraux, la lumière, le CO₂. Nous constatons que cet ordre est différent de celui de l’item « **développement** » (sous partie précédente 3.1.) : nous rappelons que pour la première question la réponse « lumière » était privilégiée alors que pour la deuxième question c’est « l’eau » qui est préférée. Cela qui nous conduit à penser que les élèves pourraient attribuer des rôles différents à la matière et l’énergie reçues. Cela confirme les observations des

productions d'élèves dans les travaux de Goix (1997, p.162) qui relève que si « *l'eau, des sels minéraux et de la lumière* » sont nécessaires pour faire grandir la plante, en revanche l'eau et l'engrais « *ne participent pas à la construction de matière* » pour les élèves. Par ailleurs, lorsqu'il n'y avait qu'un seul critère de cité, la nourriture est présente le plus souvent mais sous des termes très différents et non équivalents, le plus souvent « *minéraux, sels minéraux* » mais aussi « *sol, engrais, nutriments, éléments, terre, terreau, sédiments, composants, aliment, molécule de la terre* ». Nous pensons que le terme « **minéraux** » ou « **sels minéraux**¹⁴¹ » est une difficulté majeure que nous pouvons qualifier d'obstacle sémantique ou verbal dans la compréhension de la nutrition des plantes. En effet, il nous semble que le mot « **nutriment** » possède un caractère polysémique et masque des conceptions différentes sur l'origine des minéraux du sol. Finalement, quand un enseignant utilise le terme « nutriment », quelle est la résonance pour les élèves ? Cet état de fait nous questionne d'autant que la notion a été étudiée à plusieurs reprises en SVT, il est à l'origine du chapitre 6 où nous aurons à cœur de comprendre l'origine et la sélectivité des connaissances des élèves. Pour autant, pour notre étude, les questions de l'origine et de la fonction de la matière conduisent les élèves à la considérer comme si elle avait « *aussi bien une qualité superficielle qu'une qualité profonde, aussi bien une qualité manifeste qu'une qualité occulte* » sur les êtres vivants. Bachelard (1938/2011, p.97) attribue ce genre de problèmes scientifiques à un obstacle de type substantialiste. Nous retrouvons la définition de l'obstacle du chapitre 1 comme une facilité de la pensée et qui empêche de penser autrement. Force est de constater encore une fois que 64,2 % des élèves ne retrouvent qu'un ou deux élément(s) nécessaire(s) à la nutrition des plantes, autrement dit, l'eau et les minéraux. Cela nous renvoie à la sous partie 1.1.2. et les travaux de l'INRP de Paris (1976) qui ont montrés que les élèves de primaires considèrent l'alimentation de la plante est réalisée par l'extérieur et surtout par la terre.

La catégorie **dioxygène** n'est pas dans notre analyse a priori, cependant ce gaz intervient indirectement dans la nutrition pour la respiration. Comme 5,5 % des élèves le considère comme indispensable, nous avons créé cette catégorie « dioxygène ». Nous pensons qu'ils attribuent à ce gaz une valeur hautement symbolique : la vie. La nutrition est une fonction majeure¹⁴² des êtres vivants, comme le dioxygène est considéré comme indispensable, les deux événements sont probablement associés en une proposition explicative. Par ailleurs, il y a dans certaines réponses des erreurs qui réapparaissent avec la confusion CO₂-O₂ : « *oxygène de carbone* » (CC BO),

141 Bachelard (ibid, p.145-148) accorde plusieurs pages à l'importance du sel comme obstacle substantialiste, il écrit notamment que « *la surpuissance du sel est si grande qu'on la met à l'origine de la vie* » (p.146)

142 Les trois fonctions qui caractérisent le vivant sont : la fonction de nutrition, la fonction de reproduction et la fonction de relation.

« respirent grace (souvent) au CO₂ » (TM JM), « besoin de CO₂ pour la respiration » (AB RE), et 5 réponses indiquent que le CO₂ donne du O₂.

La **photosynthèse**, 13,5 % des réponses, est encore une fois mobilisée mais, compte tenu des enseignements en cycle 4, seconde et première pour les programmes de SVT, nous estimons que cette proportion est faible. Cela confirme, selon nous, à nouveau les travaux de Goix (1997, p.146) qui la conduisent à dire que la photosynthèse est sous-tendue par des obstacles « *mettant en jeu des modes de pensée assez primitifs : le primat de la perception sur la conceptualisation, l'usage de la pensée catégorielle [...], un excès de survalorisation [...] ou de dévalorisation* ».

Ce qui est notable dans la catégorie « **autres** », c'est que la nutrition est envisagée du côté des organes 68 (racines 76, feuilles 2, poils absorbants 3, tige 1) avec une prévalence des racines. Celles-ci sont donc considérées comme l'organe principal de la nutrition (17 % des réponses) : « *ils se nourrissent grâce à leur racines, qui prennent, ce dont ils ont besoin pour vivre, dans le sol* » (TK DA). L'absence de prise en compte de l'importance du sol dans la nutrition, que nous avons relevé chez les élèves du premier degré, se trouve éclairé par la seule présence d'un organe : la racine. Par ailleurs, d'autres points de vue pertinents sont abordés : la sève 2, insectes 8, la chaleur 6, le chloroplaste 2, « *en parasitant d'autres plantes* » (LOTO MO), « *un environnement qui lui correspond pour pousser* » (CL JM), « *les végétaux morts nourrissent les nouveaux* » (LD JM).

3.2.2. L'analyse des erreurs et l'absence de réponse

Pour cette deuxième question, la relation « éléments nutritifs » et « soleil » nous amène à repérer une erreur : « *ils se nourrissent des nutriments dont ils ont besoin dans la terre, ainsi que des éléments que leur amène le soleil* » (FDC BO). Nous relevons un obstacle verbal (chapitre 6) avec une confusion probable des mots « nutriment » et « élément ». La difficulté est de savoir quel signifié se cache derrière les signifiants. Pour l'élève, le soleil est-il porteur de matière ? Ou bien considère-t-il la lumière et/ou la chaleur au même titre que les substances de la terre ?

Par ailleurs, d'autres erreurs ont pour origine la nourriture qui est parfois associée à d'autres concepts : « *déchets enfouis dans le sol* » (JK BO), « *chlorophilie* » (ML BO), « *une aide de certaines espèces (abeilles...) qui aide à la croissance* » (SR RE), « *se nourrissent de nutriments* »

comme les glucides » (LR RE), « *glucose* » (NC RE), « *un peu tout ce qui est salé, ne mangent pas de sucre* » (AB BE), « *les végétaux se nourrissent d'eau ou d'insectes cela dépend le type, ou aussi de rien, mais avec beaucoup de la lumière (soleil)* » (DD DA). Pour l'ensemble de ces réponses, nous considérons que les concepts et notions ne sont pas assez maîtrisées ou que la recherche d'explications est difficile car les connaissances sont parcellaires.

Toujours pour cette deuxième question relative à la nutrition des plantes, l'absence de réponse « **rien** » est plus faible : 38 contre 65 pour la précédente question. Il s'agit du deuxième item du questionnaire, les élèves sont probablement plus mobilisés. Selon Grémy (1993, p.166) : « *il arrive que les réponses à une question varient sensiblement selon que celle-ci est posée au début ou à la fin du questionnaire* ». Aussi, pourrait-il être intéressant de proposer un questionnaire en inversant nos questions afin de vérifier les propos de Grémy. Nous faisons également l'hypothèse que les deux premiers items « croissance » et « nutrition » sont peut-être mélangés dans l'esprit des élèves. Probablement parce que « *deux termes considérés comme synonymes ne suscitent pas automatiquement la même réaction chez les personnes interrogées* » (*ibid*, p.167). Ainsi, pour les élèves, répondre à la première ou à la deuxième question pourrait être considéré comme secondaire dans la mesure où ils fournissent une réponse.

3.3. Les résultats concernant d'autres connaissances relatives aux plantes

3.3.1. L'analyse des réponses des élèves

Pour notre analyse *a priori*, les réponses attendues concernaient des compléments d'informations qui relèvent de l'expérience quotidienne. Cet item est délicat à étudier car, selon Grémy (1993, p.174), les questions ouvertes sont « *plus sensibles aux biais introduits par l'enquêteur, et les réponses sont plus difficiles à analyser* ». Notons que cette proposition que nous considérons comme un espace d'expression des connaissances a été investie par les élèves pour environ 20 % des questionnaires. Les figures 37, 38 et 39 sont des illustrations de plusieurs propositions pour souligner la diversité des réponses des élèves.

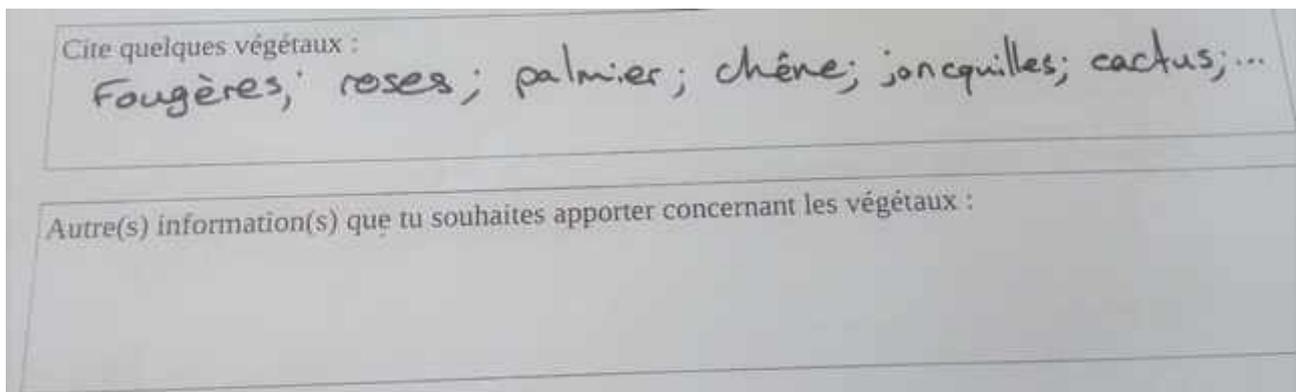


Figure 37 : réponse de l'élève JC RE à « Autre(s) information(s) que tu souhaites apporter concernant les végétaux »
(nous conservons la question précédente pour montrer qu'il s'agit du même élève)

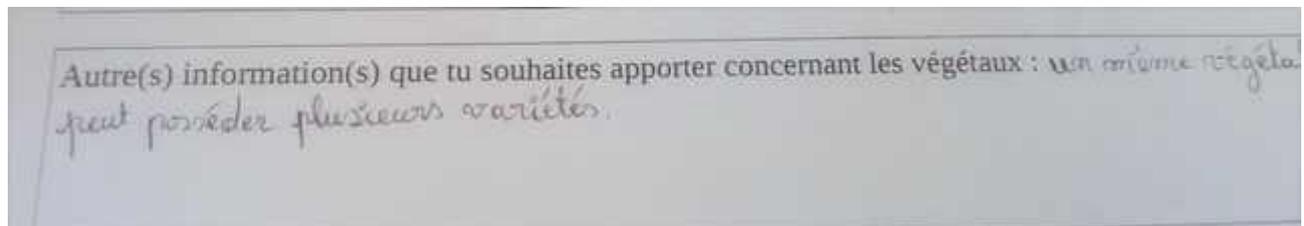


Figure 38 : réponse de l'élève BA RE à « Autre(s) information(s) que tu souhaites apporter concernant les végétaux »

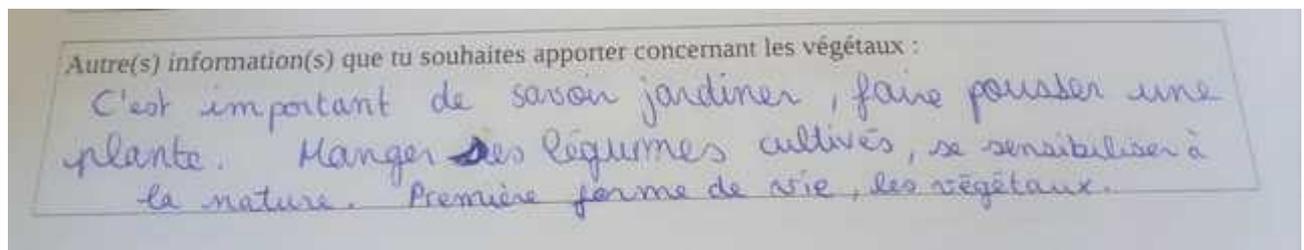


Figure 39 : réponse de l'élève MS RE à « Autre(s) information(s) que tu souhaites apporter concernant les végétaux »

Dans la figure 37, l'élève n'a pas souhaité apporter d'informations complémentaires comme 80 % des autres propositions. Plusieurs hypothèses s'offrent à nous, notamment, nous pensons que l'intitulé de l'item a pu dérouter et/ou ne pas motiver les élèves. La figure 38 quant à elle apporte un complément que l'élève aurait pu placer dans une réponse précédente (question 4 / classification). Nous faisons l'hypothèse que soit il ne savait pas où placer cette information, soit celle-ci est venue en fin de questionnaire. Enfin, la figure 39 révèle une intention de l'élève à compléter au maximum son questionnaire. S'agit-il d'une attitude purement scolaire pour montrer ses connaissances

scientifiques (« *première forme de vie* ») ? S'agit-il au contraire d'informer le lecteur que ses connaissances sont ancrées dans son quotidien (« *savoir jardiner* », « *manger ses légumes* ») ? S'agit-il d'une forme de militantisme (« *se sensibiliser à la nature* ») ? Finalement, par les exemples des figures 38 et 39, nous soulignons un inconvénient majeur pour l'analyse des questions ouvertes car « *les informations recueillies peuvent être trop dispersées* » (De Singly, *ibid*, p.67).

C'est pourquoi nous proposons une catégorisation en quatre domaines, notés en gras dans le texte, que nous illustrons par quelques exemples de réponses d'élèves :

- les réponses **Information générale et utilité** : « *c'est bon pour la santé* » (MC DA), « *sa bouge pas, sa se mange* » (NL DA), « *ils sont essentiels quand à la purification de l'air. Ils sont friands de lumière* » (NO DA), « *certains se mangent et certains sont bons* » (LB DA), « *certaines espèces sont en voie d'extinction notamment à cause de l'homme ou du climat* » (LB JM), « *les végétaux sont nos amis ne les détruisez pas* » (AP JM), « *nous étudions leurs caractéristiques souvent afin de produire des remèdes à base de leurs vertus* » (CS RE), « *c'est important de savoir jardiner, faire pousser une plante. Manger ses légumes cultivés, se sensibiliser à la nature* » (MS RE), « *on peut manger des végétaux (orties), la plupart des ressources agricoles sont bourrées de pesticides et fongicides de nos jours. Un label Bio permet de lutter contre cela* » (RC MO). Les réponses expriment un versant écolo-centré et/ou des questions socialement vives (Legardez et Simmoneaux, 2006).
- Les réponses relatives à la **biologie** des plantes, comme si les élèves considéraient le questionnaire comme une évaluation scolaire où il y a nécessité de fournir le maximum de renseignements pour être reconnu « bon » apprenant. Ainsi : « *il faut parfois mâle et femelle pour avoir des fruits (kiwi)* » (MB DA), « *les arbres perdent leurs feuilles en hiver car la sève descend pour pas mourir* » (MAG BE), « *cellule possédants une paroi* » (FR BE), dessin *d'une cellule (membrane, paroi, cytoplasme et chloroplaste)* (?? BE), « *la couleur des plantes vertes provient de la chlorophyle* » (BB BE) et (PB BE), « *un même végétal peut posséder plusieurs variétés* » (BA RE).
- Les réponses attribuées aux **défenses** des plantes : « *certains végétaux comme les acacias peuvent communiquer entre eux afin de se défendre ou de s'éviter (couronne de timidité)* » (CL MO), « *peuvent libérer des particules pour prévenir ses congénères d'un danger (ex : ours)* » AL RE, « *les végétaux peuvent avoir un système de défense* » (PLP RE), « *moyen d'autodéfense (poison, pétale/sépale, épine)* » (JF RE).

- Les réponses qui réifient **l'importance des plantes** pour la biodiversité avec parfois des messages écolo-centrés : « *essentiel a la survie de notre espèce* » (AA BE), « *c'est important pour la vie et la vie c'est GENIALE* » (EL JM), « *un arbre coupé et on doit en planter 2 pour maintenir la planète en vie* » (EA MO), « *ils sont nécessaire à la vie car ils produisent l'oxygène et absorbe certaines molécules néfastent* » (AR RE), « *sans les végétaux, les êtres humains et animaux ne pourraient pas respirer* » (ZC BO).

3.3.2. L'analyse des erreurs

Pour cet espace d'expression, nous retrouvons certaines **erreurs** déjà évoquées, notamment celles concernant les gaz : « *transforme le CO₂ en O₂* » 5, « *les végétaux respire du CO₂ le jour et regetent du O₂* » (LG BO), « *ils respirent en prenant le CO₂ de l'atmosphère puis rejetent du O₂* » (LD JM). Cela confirme l'hypothèse d'un obstacle épistémologique majeur concernant les gaz, déjà relevé dans des recherches en didactique des sciences (chapitre 2), qui entraîne les élèves dans des modèles explicatifs où CO₂ et O₂ sont confondus tant dans leurs rôles que dans leurs sens au niveau des échanges. La conception d'un modèle unitaire du fonctionnement de la plante en est probablement l'origine.

4. LA CONCLUSION SUR L'ENQUÊTE DIDACTIQUE ET LA NOUVELLE FORMULATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE

Avant de proposer une nouvelle formulation des questions de recherche, nous faisons un bilan des réponses des élèves à propos des plantes pour dégager les principales conceptions qui nous semblent émerger.

4.1. L'identification des conceptions des élèves de Terminale Scientifique au sujet de la nutrition des plantes

L'enquête didactique exploratoire a été menée à l'aide d'un questionnaire dont nous avons soulevé quelques biais. Néanmoins, dans un souci de faire émerger des régularités, nous pouvons retenir les éléments suivants pour nous aider à proposer les conceptions des élèves de Terminale Scientifique relatives à la nutrition des plantes :

- dès le premier degré, les bases du concept de plantes sont posées, d'abord dans une perspective de connaissances du monde qui nous entoure, puis pour commencer à proposer un modèle explicatif à leur fonctionnement. Le curriculum scolaire vise à consolider et approfondir ce modèle, notamment à travers les programmes de l'enseignement des SVT au collège puis au lycée.

- Les difficultés des élèves sont, selon notre hypothèse, inhérentes de l'apprendre à faire apprendre. En effet, si les élèves doivent donner du sens aux activités réalisées, la situation didactique devrait également les surprendre, les mobiliser sur leurs conceptions du sujet abordé (Astolfi, 2008/2014). Aussi, les difficultés peuvent faire surface sous différentes formes selon le questionnement et selon l'élève concerné. Par exemple, pour notre étude du concept de plantes, des erreurs émergent : le sens des échanges gazeux pour les questions 1 et 2, c'est-à-dire l'origine et le devenir du O₂ et du CO₂. De plus, des obstacles sémantiques apparaissent, celui de « nutriment » nous semble le plus récurrent dans les propositions des élèves.

- Les questions 1 et 2 suggèrent également que la croissance et la nutrition sont confondues chez les élèves, parce que le raisonnement de type animiste est présent (Orange, 1997 ; 2009a). En revanche, nous constatons que la connaissance des besoins des plantes, lorsqu'elle évolue par rapport aux élèves du premier degré, concerne essentiellement les minéraux du sol et le CO₂. Les connaissances assimilées ont tendance à devenir notre propre dogmatisme, ce que Bergson cité par Bachelard (1938/2011, p.17) affirmait : « *notre esprit a une irrésistible tendance à considérer comme plus claire l'idée qui lui sert le plus souvent* ». Cela signifie que nos connaissances ont une fâcheuse tendance à persister dans le temps et que, par conséquent, il est difficile de les faire évoluer. Par ailleurs, nous notons une prévalence du soleil et de l'eau lorsqu'il s'agit d'un point de vue « croissance » alors que la prévalence est du côté des minéraux du sol lorsqu'il s'agit de la « nutrition » (figure 40) . Nous pensons qu'un obstacle lié à l'expérience première, que nous qualifions d'empirique, est alors à l'origine des conceptions des élèves et il pourrait expliquer cette dialectique forte entre croissance -nutrition.

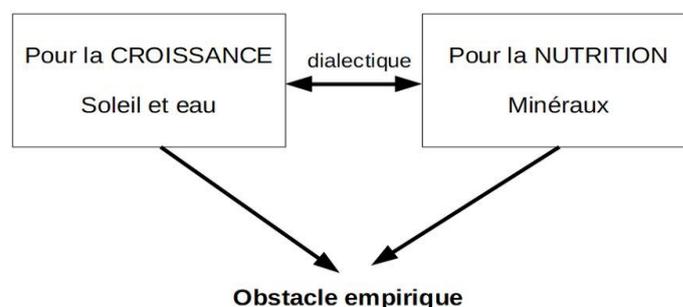


Figure 40 : importance des éléments nutritifs selon le point de vue de la croissance ou de la nutrition

Fort de ces différents éléments, nous proposons trois conceptions principales de la nutrition des plantes qui pourraient rendre compte des réponses des élèves : une conception animiste, une conception biochimiste de type mécaniste, une conception vitaliste. Nous précisons que ces conceptions sont étroitement liées chez les apprenants :

- une **conception animiste** : les productions des élèves font apparaître fréquemment les besoins qualitatifs des plantes, qu'ils relient à la croissance, comme s'ils étaient suffisants pour assurer leur croissance. D'où le lien fort besoins-croissance que nous notons dans leurs productions écrites. Ce constat rejoint les travaux de Orange (2009a) qui écrit à ce sujet que la pensée animiste est puissamment ancrée d'une part parce que la croissance des plantes est lente et que, d'autre part, leur organisation interne n'est pas directement accessible. Par ailleurs, cette conception de la nutrition est renforcée par un point de vue anthropocentrique de la nutrition. Cela signifie que les élèves envisagent souvent l'alimentation des plantes comme celle de l'Homme lorsque manger permet de grandir. Nous retrouvons donc une vision aristotélicienne de la nutrition des plantes qui seraient pourvues d'une âme nutritive.
- Une **conception biochimiste** : celle-ci est centrée sur la photosynthèse, processus qui est réifié dans les programmes scolaires du second degré. D'abord, la lumière, systématiquement présente dans les représentations des élèves, est abordée comme l'énergie indispensable captée par les feuilles vertes. Ensuite, nous avons relevé des confusions possibles dans les échanges gazeux liés soit à la photosynthèse soit à la respiration. Toutefois, d'un point de vue des processus métaboliques, il est impossible¹⁴³ de savoir si le CO₂ ou l'O₂ est prélevé ou rejeté au sein de la plante. Aussi, nous considérons qu'en Terminale Scientifique, les élèves ont fait un lien entre le CO₂ et la photosynthèse. L'est-il pour la nutrition ? Nous pouvons en douter car les réponses des élèves ne sont pas toujours précises, le lien photosynthèse-nutrition n'est donc pas systématique. Par ailleurs, les élèves peuvent relier le dioxygène que nous respirons à celui produit par les plantes. Cette conception fonctionnelle que nous relevons s'exprime implicitement ou explicitement lorsque les élèves abordent la photosynthèse dans leurs productions orales ou écrites. Il nous semble que cette conception relie la biologie et la chimie du vivant d'où notre proposition de conception biochimiste.

143 Impossible au sens du fonctionnement ordinaire d'une plante. Des expériences historiques basées sur des radio-isotopes, comme celles de Ruben et Kamen en 1940 et Calvin en 1961, ont permis d'identifier le sens des échanges gazeux.

- une **conception vitaliste** : dans cette perspective, nous avons relevé dans les propositions des élèves le rôle prépondérant des racines comme organes de la nutrition, ce que nous rapprochons, dans un premier temps, du vitalisme au cœur de la théorie de la nutrition des plantes jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle (chapitre 2). Dans un second temps, notre constat corrobore d'autres travaux réalisés en didactique des sciences « *Dans une étude¹⁴⁴ menée au début des années 1980 par l'INRP (voir Rumelhard, 1985) auprès de deux cent quarante élèves de première et de terminale (seize-dix-huit ans)* » (Orange, 2009a, p.116). De façon similaire aux résultats obtenus à la même période par Simpson et Arnold (1982), nous pensons que cette évocation quasi systématique des racines pour la nutrition pourrait correspondre à une analogie avec l'ingestion des aliments par l'Homme. Les élèves assimileraient alors les racines des plantes à notre bouche comme l'endroit où les aliments entrent. Avec une particularité que nous avons identifiée : les aliments sont compris comme des nutriments. Or, les nutriments, comme nous le verrons dans le chapitre 5, sont agrégés à un obstacle verbal qui génère des difficultés dans l'analyse des productions des élèves.

Ces trois conceptions rejoignent celles identifiées par Cañal de León (1992) même si l'auteur propose d'autres dénominations et qu'il étudie un corpus d'élèves de primaire¹⁴⁵. Néanmoins, nous supposons que leurs manifestations, dans les propositions des élèves, relèvent bien de différents obstacles épistémologiques dont la difficulté de concevoir la nutrition par un gaz, mais aussi parce qu'ils comparent la plante à l'animal (l'Homme). Ces obstacles sont renforcés par un raisonnement probablement inductif¹⁴⁶ dominant car « *il y a le besoin général d'un monde qui se conforme à nos attentes* » (Popper, 1979/1998, p.69). Par ailleurs, les modèles explicatifs des élèves reposent le plus souvent sur un principe d'unicité des points des êtres vivants : la plante imaginée comme un être vivant qui a un mode de fonctionnement unique pourrait se résumer à : des besoins en matière et le processus de la photosynthèse. Enfin, pour une partie non négligeable des élèves, l'anthropomorphisme conduit leur raisonnement pour comprendre la nutrition chez les autres êtres vivants. Ces explications « *l'ont été dans l'histoire de la science, elles le sont dans les apprentissages scolaires* » (Orange, 2009a, p.117). La figure 41 est construite pour rendre compte de nos propos, elle se veut donc être un résumé des conceptions (dans le schéma, à l'intérieur du

144 La question suivante leur a été posée (questionnaire écrit) : « Comment les plantes se nourrissent-elles ? D'où tirent-elles leurs substances nutritives ? Sous quelle forme celles-ci sont-elles puisées ? En quoi ce mode de nutrition se distingue-t-il de celui de l'homme ? ».

145 Dans son article pour la revue Aster de 1992, l'auteur décrit trois conceptions des élèves de primaire : l'alimentation, la photosynthèse et la respiration.

146 « *L'idée d'un principe d'induction, c'est l'idée d'un énoncé – on peut le considérer comme un principe métaphysique, ou comme valide a priori, ou comme probable, ou peut-être comme une simple conjecture – qui, s'il était vrai, doterait de bonnes raisons notre confiance dans les régularités* » (Popper, 1979/1998, p.75).

cadre en pointillés) et de leurs origines possibles (autour de ce cadre), chez les élèves de Terminale Scientifique, vis-à-vis de la nutrition des plantes :

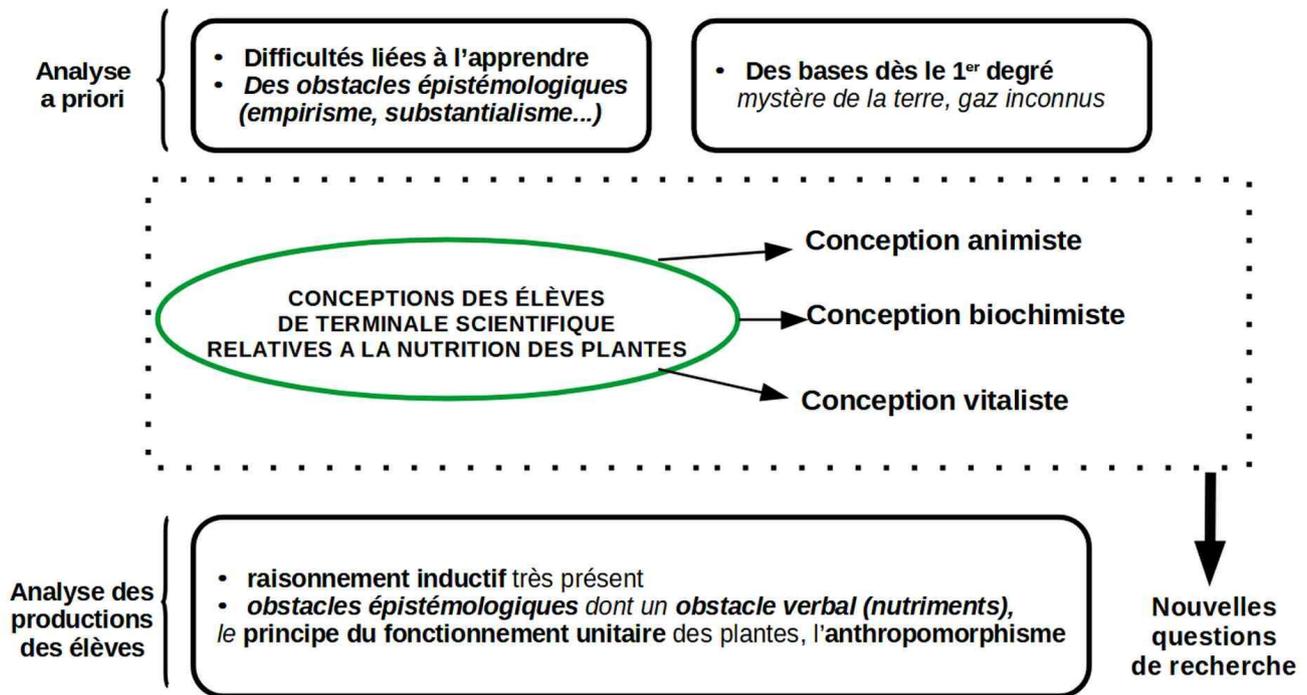


Figure 41 : les conceptions des élèves de Terminale Scientifique (TS) à propos de la nutrition des plantes après analyse des questionnaires des 453 élèves

4.2. Les nouvelles formulations des questions de recherche

Notre enquête didactique nous a emmené à chercher quelles sont les caractéristiques utilisées par les élèves pour donner leur point de vue à propos de la nutrition des plantes. Selon nos conclusions, leurs conceptions relèvent de différents obstacles épistémologiques et leur pensée emprunte un raisonnement fortement inductif. Toutefois, dans le cadre du questionnaire, les réponses des élèves concernent une situation particulière dans le champ scolaire, celle d'une proposition pour une recherche. C'est une limite possible au domaine de validité de notre analyse.

Afin de poursuivre notre investigation et pour comprendre comment les élèves mobilisent leurs connaissances, nous avons précisé plus haut que nous orientons la suite de notre thèse exclusivement sur l'apprentissage de la nutrition des plantes. Plusieurs raisons nous amène à faire ce choix et à reformuler nos questions de recherche qui dessinent notre plan de thèse. D'abord parce

que le sujet semble fécond, en témoigne de nombreuses recherches en didactique des sciences (Peterfalvi, Rumelhard et Vérin, 1987; Campestrini, 1992 ; Orange, 1997 ; Lhoste, 2017). Comme nous avons identifié des conceptions des élèves de Terminale Scientifique sensiblement différentes de celles des élèves de primaire, nous nous interrogeons donc sur la place des apprentissages dans l'évolution des connaissances des apprenants. De plus, les obstacles épistémologiques repérés sont l'occasion de mobiliser la problématisation comme levier pour cet apprentissage. Les connaissances des élèves sont également à confronter à l'élaboration de la théorie de la nutrition des plantes construites pendant plusieurs siècles. Ensuite, le sujet de la nutrition nous interroge tant sur l'origine possible des connaissances des élèves que leur évanescence¹⁴⁷. Enfin, dans une démarche compréhensive, nous questionnons les programmes de SVT et l'enseignement de la nutrition des plantes qui traverse les différents niveaux de la scolarité des élèves.

Aussi, les chapitres 5 et 6 de notre thèse conduisent notre nouveau questionnaire et justifient de nouvelles enquêtes. Nous souhaitons repartir des représentations initiales¹⁴⁸ des élèves de Terminale Scientifique à propos de la nutrition des plantes mais à l'échelle d'une seule classe. Nous cherchons, en particulier, à développer leur argumentation pour comprendre leurs difficultés d'apprentissage. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que privilégier le débat scientifique de classe pourrait permettre d'aider les élèves à problématiser « *c'est-à-dire à organiser et délimiter le champ des possibles* » (Orange, 2012, p.50). Notre questionnaire se poursuit et nous nous demandons maintenant quels sont les principaux obstacles rencontrés par les élèves lors de la construction des connaissances relatives à la nutrition des plantes ? D'un point de vue de l'apprentissage, qu'est-ce qui se joue lors d'un débat de classe relatif à la nutrition des plantes ? Comment s'appuyer sur les activités langagières et la problématisation pour comprendre les interactions au sein d'une classe lors de l'apprentissage visé ? Quelle est l'origine des connaissances des élèves pour ce concept et comment expliquer leur évanescence et/ou la persistance de leurs représentations ?

147 Titre d'une communication personnelle pour le colloque de l'Ardist 2020 à Bruxelles : « L'évanescence des savoirs scolaires. L'exemple de la nutrition des plantes au lycée ».

148 Nous considérons donc que les représentations initiales des élèves sont le reflet des connaissances des élèves pour lesquelles s'ajoutent des croyances.

Chapitre 5 : étude qualitative des interactions entre élèves lors d'une séquence forcée traitant de la nutrition des plantes

Introduction

1. DEUXIÈME ENQUÊTE DIDACTIQUE SUR L'APPRENTISSAGE DU FONCTIONNEMENT DE LA NUTRITION DES PLANTES

1.1 La visée scientifique de la recherche

1.1.1 Une origine possible de certaines difficultés d'apprentissages des élèves

1.1.2 La nouvelle formulation des questions de recherche

1.1.3 La stratégie de l'enquête

1.1.4 Bilan intermédiaire

1.2 La mise en place d'une séquence forcée

1.2.1 Définition et intérêts d'une séquence forcée

1.2.2 Le déroulement de la séquence permettant l'enquête didactique

1.2.3 Bilan intermédiaire

1.3 Bilan des objectifs de l'enquête didactique

2. PREMIÈRE SÉANCE : LES CONNAISSANCES INITIALES DES ÉLÈVES

2.1 L'objectif de la séance 1

2.2 Le déroulement et le recueil de données de la séance 1

2.3 L'analyse des productions des élèves

2.3.1 Les productions individuelles des élèves

2.3.1.1 La catégorisation des productions individuelles

2.3.1.2 Les résultats issus de l'analyse des productions individuelles

2.3.1.3 Des difficultés de catégorisation des productions individuelles

2.3.2 Les productions de groupes de 4 élèves

2.3.2.1 La catégorisation des productions de groupes de 4 élèves

2.3.2.2 Les résultats issus de l'analyse des productions de groupes de 4 élèves

2.4 Bilan de la séance 1

3. DEUXIÈME SÉANCE : LES CARICATURES POUR PRÉPARER L'ARGUMENTATION DES ÉLÈVES AU DÉBAT SCIENTIFIQUE

3.1 Objectif de la recherche de la séance 2

3.1.1 Connaissances et difficultés des élèves pour le concept de nutrition des plantes

3.1.2 Problématisation et débat argumentatifs

3.1.3 Une situation qui utilise des caricatures pour induire le processus de problématisation

3.2 Le déroulement et le recueil de données de la séance 2

3.3 L'analyse des résultats

3.3.1 Méthodologie d'analyse des productions individuelles

3.3.2 Résultats et discussion de l'analyse des productions individuelles

3.3.3 Méthodologie d'analyse du débat

3.3.4 La structure argumentative d'un épisode du débat

3.3.4.1 Le lancement du débat

3.3.4.2 La poursuite du débat

3.3.5 Des espaces de contraintes pour rendre compte de la problématisation lors du débat

3.3.5.1 La construction d'un espace de contraintes

3.3.5.2 Le registre empirique des élèves (RE)

3.3.5.3 Le registre des modèles (RM)

3.3.5.4 Le registre explicatif (REX)

3.3.6 Les espaces de contraintes construits pour le fonctionnement de la nutrition des plantes

3.4 Bilan de la séance 2

4. TROISIÈME SÉANCE : LA POURSUITE DU TRAVAIL SUR LES NÉCESSITÉS

4.1 Objectif de recherche de la séance 3

4.1.1 Présentation succincte de la séance 3

4.1.2 La mise au travail d'obstacles épistémologiques

4.2 Le déroulement de la séance 3

4.2.1 Recueil des productions écrites en binômes ou trinômes

4.2.2 Les modalités du débat

4.3 Résultats et discussion

4.3.1 Le classement des 13 affirmations par les élèves

4.3.2 Les textes produits par les binômes/trinômes groupes qui résument le fonctionnement de la nutrition des plantes

4.3.3 Le débat qui a suivi les productions écrites

4.3.4 La structure argumentative d'un épisode du débat

4.3.5 Un espace de contraintes pour rendre compte de la problématisation lors du débat

4.4 Bilan de la séance 3

5. CINQUIÈME SÉANCE : LES NUTRIMENTS, OBSTACLE SÉMANTIQUE IDENTIFIÉ LORS DU DÉBAT

5.1 Objectif de recherche de la séance 5

5.1.1 Le signifiant et le signifié

5.1.2 Un obstacle sémantique rencontré lors des débats : les nutriments

5.2 Le déroulement de la séance 5

5.2.1 Le déroulement et le recueil de données

5.2.2 Méthodologie d'analyse des données

5.3 Résultats et discussion

5.3.1 Le débat de classe de la séance 3 à propos du mot « nutriment »

5.3.2 Analyse des textes relatifs à la définition de « nutriment »

5.3.2.1 Les critères d'analyse

5.3.2.2 L'analyse des définitions du mot « nutriment »

5.3.3 Analyse des textes relatifs à la définition de fonctionnement de la « nutrition des plantes »

5.4 Bilan de la séance 5

6. BILAN DU CHAPITRE 5

Chapitre 5 : étude qualitative des interactions entre élèves lors d'une séquence forcée traitant de la nutrition des plantes

Je dis : une fleur ! et, hors de l'oubli où ma voix relègue aucun contour, en tant que quelque chose d'autre que les calices sus, musicalement se lève, idée même et suave, l'absente de tous bouquets.

Mallarmé (1897, p.251). *Divagations, crise de vers.*

Introduction

La notion de difficulté scolaire est récurrente dans le paysage du système scolaire parce qu'elle est toujours présente face à un nouvel apprentissage. En revanche, elle est moins questionnée dans les recherches en didactique pour des élèves en fin de curriculum, qui plus est pour des élèves en relative réussite¹⁴⁹ scolaire. Nous rappelons que le public désigné pour nos données correspond à une classe ordinaire¹⁵⁰. Pour notre recherche, nous considérons les difficultés scolaires d'ordre cognitives qui pourraient relever d'obstacles épistémologiques (Bachelard, 1938/2011) et qui se traduisent par des difficultés d'apprentissage chez les élèves.

Notre investigation concerne particulièrement les difficultés des élèves dans l'apprentissage du fonctionnement de la nutrition des plantes. La mise en place d'une séquence forcée dont nous avons donné une définition dans le chapitre 1, est un dispositif que nous adoptons pour réaliser une enquête didactique (voir la sous partie 1.2. de ce chapitre). Elle est caractérisée par « *des objectifs pédagogiques (quels apprentissages ?) et des objectifs de recherche (que veut-on construire et/ou observer ?)*. » (Orange, 2010, p.77). Ainsi, pour nous, celle-ci a pour vocation à faire émerger les connaissances des élèves relatives au fonctionnement de la nutrition des plantes, et à faire construire/reconstruire le problème plus qu'à en chercher une solution (Fabre, 2016). Autrement dit, pour nos objectifs de recherche, nous nous appuyons sur le chapitre 2 pour relier notre enquête aux activités langagières et la problématisation.

149 Pour notre recherche, nous nous basons sur une classe de Terminale Scientifique pour laquelle 94 % des élèves ont eu le Baccalauréat en fin d'année scolaire, autrement dit, après notre recherche. Cet examen normatif qui sanctionne un niveau minimum pour pouvoir poursuivre des études supérieures.

150 Ordinaire au sens où les élèves sont en classe de Terminale, ils attestent donc du niveau le plus supérieur du second degré, niveau qui sera validé par le Baccalauréat. Nous considérons donc que ces élèves ont des potentialités cognitives qui permettent de suivre un enseignement classique.

Pour mener notre recherche, nous choisissons d'étudier quatre moments singuliers de la séquence forcée qui correspondent à quatre séances. Pour des facilités de lecture, nous les appelons respectivement : les connaissances initiales des élèves, les caricatures, les nécessités, les nutriments.

1. DEUXIÈME ENQUÊTE DIDACTIQUE SUR L'APPRENTISSAGE DU FONCTIONNEMENT DE LA NUTRITION DES PLANTES

1.1. La visée scientifique de la recherche

La réalisation d'une enquête didactique permet d'envisager d'étudier les connaissances initiales qui sont donc des représentations des élèves et de comprendre ce qui se joue lors des séances en classe. Nous commençons par contextualiser l'origine possible de certaines difficultés d'apprentissage des élèves comme un préalable car elle pourrait éclairer une partie de leurs représentations. De plus, cela nous conduit, ensuite, à présenter une nouvelle formulation des questions de recherche. Dans une dernière sous partie, nous présenterons la stratégie mise en place pour mener à bien notre étude.

1.1.1. Une origine possible de certaines difficultés d'apprentissages des élèves

Les stratégies de nutrition relatives à l'autotrophie sont diverses selon les taxons des plantes (Meyer, Reeb et Bosdeveix, 2019). Alors, comment expliquer la généralisation de leur nutrition dans les programmes scolaires des premier et second degrés ? En effet, ces derniers proposent un fonctionnement unique de la plante : une autotrophie organisée avec l'exemple paradigmatique d'une Angiosperme pourvue de feuilles et de racines. Par exemple, « *les mycorhizes sont connues chez la majorité des Embryophytes* » (ibid, p.76) dont les Angiospermes¹⁵¹ et cette association nutritive n'est pas envisagée dans les programmes. Ne réduisent-ils pas les plantes et leur nutrition à un modèle explicatif unique, de sens commun ? Nous faisons la thèse que « *la nature même des savoirs scientifiques scolaires* » (Lhoste, 2017, p.47) est peu porteuse de sens car ils ne sont pas assez opérants (Orange, 2009a). Cela pourrait être à l'origine de certaines difficultés d'apprentissage des élèves. En effet, pour être mieux appréhender, le concept de plante doit être envisagé dans toutes ses complexités, ce qui nécessite de maintenir un lien entre les savoirs et les

151 Les Angiospermes sont une subdivision particulière des plantes vasculaires du groupe des Spermaphytes (plantes à graines).

problèmes qui y sont associés. Or, les exemples scolaires paradigmatiques (l'Elodée du Canada, le Pélargonium, le Lierre, la Jacinthe...) nous semblent peu féconds car ils ne reflètent pas la réalité de la diversité des fonctionnements. En témoigne, dans les manuels scolaires, la faible fréquence des exemples des familles pourtant les plus représentatives des Angiospermes en nombre d'espèces : les Astéracées, les Orchidacées, les Poacées notamment. Cela ne permet pas d'envisager les caractères adaptatifs de la nutrition des plantes dans une perspective évolutive pourtant recherchée dans les programmes de SVT. Nous illustrons nos propos par un exemple qui nous semble suffisamment démonstratif, il concerne les Orchidacées¹⁵², plantes communes dans les jardinerie et chez les fleuristes. Nombreuses sont les espèces épiphytes¹⁵³ et adaptées à l'ombre, avec des racines aériennes alors que les programmes scolaires (MEN, 2011) exposent, comme des faits, l'importance de la quantité de lumière pour la nutrition aérienne et des racines pour la nutrition souterraine. Nous pointons donc que ce caractère adaptatif essentiel à la nutrition de la majorité des plantes est oublié des programmes¹⁵⁴ ou envisagé comme un épiphénomène dans certains manuels. Notre hypothèse est alors que le savoir scolaire relatif aux plantes n'est pas assez problématisant et qu'il pourrait engendrer des difficultés d'appropriation du concept. Certaines représentations scientifiques erronées des élèves en seraient-elles une conséquence ?

1.1.2. La nouvelle formulation des questions de recherche

Notre questionnement, relatif aux difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves, rejoint le cœur des préoccupations des recherches didactiques d'Astolfi (1997/1999) face aux savoirs scolaires : comment les rendre plus efficaces ? Selon nous, l'originalité de notre recherche est double : la première est qu'elle vise un public de Terminale scientifique où les données sont peu fréquentes car il s'agit d'un niveau à examen où le temps scolaire est compté comme une injonction à terminer le programme ; la seconde est que la thématique de « la nutrition des plantes » qui, même si elle a déjà été étudiée (Orange, 1997), est abordée d'une façon différente. Ici, nous cherchons à comprendre ce qui se joue lors d'une séquence forcée singulière consacrée à la nutrition des plantes. Celle-ci est nécessaire pour répondre à nos deux objectifs simultanés : enseigner le programme de terminale et produire des éléments pour notre recherche. La problématique visée par notre enquête a débuté par notre curiosité à nous demander quelles sont les connaissances des élèves concernant la nutrition des plantes. Ensuite, nous nous sommes appliqués à mettre au travail le problème du

152 Les Orchidacées représentent la deuxième famille d'Angiospermes en nombre d'espèces (plus de 25 000). Elles se caractérisent par une vie hors sol avec des racines aériennes chlorophylliennes. Rappelons que cette famille, comme la quasi-totalité des plantes terrestres à racines sont mycorhizées (Delaveau, 2003 ; Lenne, 2014).

153 Les épiphytes sont des plantes qui se servent d'autres plantes comme support.

154 Concernant la nutrition d'une plante, nous lisons : « Elle développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec l'atmosphère (échanges de gaz, capture de la lumière) et avec le sol (échange d'eau et d'ions). » (MEN, 2011, p.8). En revanche, aucune occurrence relative aux mycorhizes dans tout le B.O..

fonctionnement de la nutrition des plantes dans une perspective de problématisation. Désormais, notre interrogation est marquée par trois aspects :

- Quelles sont les connaissances mobilisées par les élèves lors de la séquence forcée ?
- Quelles sont les nécessités mobilisées ou approchées lors du travail du problème ?
- Quels sont les apports du débat scientifique de classe pour cet apprentissage ?

1.1.3. La stratégie de l'enquête

L'enquête réalisée repose sur une étude qualitative. C'est pourquoi, étant professeur de SVT d'une classe de Terminale scientifique¹⁵⁵, il était plus aisé de travailler avec nos élèves pour maîtriser le facteur temps de la séquence forcée. En effet, la nutrition des plantes est un thème du programme où l'on consacre peu de temps. La recherche avait donc pour contrainte de prendre le moins de temps possible pour ne pas remettre en cause la programmation annuelle et, par conséquent, prendre en compte les enjeux du Baccalauréat. En conséquence, la séquence devait s'inscrire dans la succession des thèmes et des chapitres déjà engagés, et être la moins chronophage possible. L'agencement de cinq séances rapprochées dans le temps permettait de réunir ces deux contraintes majeures : réaliser une recherche dans le temps de l'apprentissage tout en le limitant dans sa durée.

1.1.4. Bilan intermédiaire

La visée scientifique de l'enquête nous engage donc comme enseignant et chercheur. Elle s'appuie sur un positionnement théorique, l'établissement d'une séquence contrainte dans le temps, et un questionnement pluriel. La figure 42 permet de résumer notre visée scientifique.

155 Cette classe de Terminale scientifique est composée de 32 élèves.

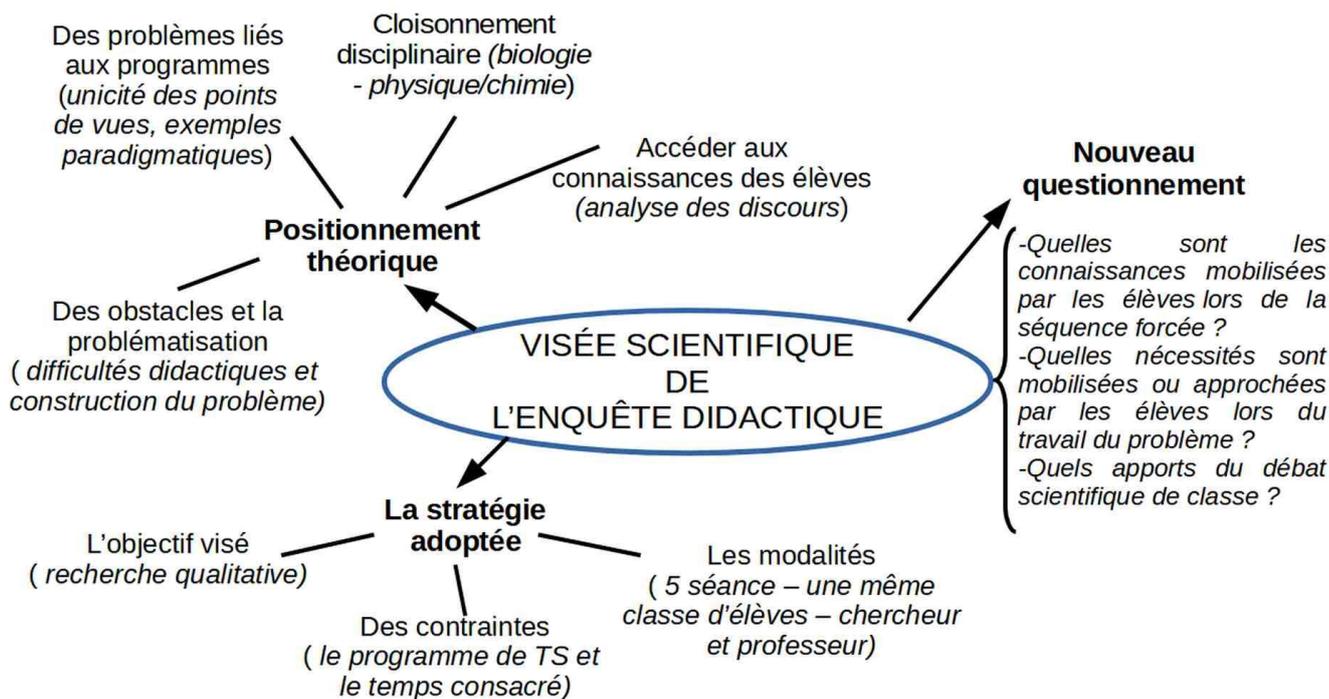


Figure 42 : visée scientifique de l'enquête didactique

1.2. La mise en place d'une séquence forcée

La séquence que nous allons proposer est à la fois une séquence construite pour la recherche et pour enseigner. Comment intégrer ces deux objectifs différents ?

1.2.1. Définition et intérêts d'une séquence forcée

La mise en place d'une séquence intitulée « la nutrition des plantes » et qui s'appuie sur le chapitre « la vie fixée chez les plantes » (MEN, 2011, p.8-9) permet de consolider et/ou d'approfondir les connaissances des élèves sur le sujet concerné. Cette séquence exprime toute sa singularité dans le fait qu'elle est construite, *a priori*, dans sa structure générale, mais que chaque séance est modifiée depuis le problème initial¹⁵⁶ dans une logique : celle de situations forcées (Orange, 2010). Nous précisons par rapport à la définition de l'auteur¹⁵⁷ que nous sommes à la fois l'enseignant et le chercheur. L'enquête avance donc à mesure que les élèves se questionnent et argumentent sur l'objet d'apprentissage, l'enseignant étant garant des limites puisque lui seul connaît le programme officiel. En fonction du travail engagé et des propositions des élèves, le

156 Comment fonctionne une plante pour se nourrir ?

157 Puisque l'auteur est le directeur de notre thèse, nous avons eu la confirmation par celui-ci que la séquence proposée pouvait être qualifiée de forcée.

chercheur a donc pour objectif d'adapter les séances suivantes qui seront donc uniques, au sens où elles relèvent d'une étude de cas. Il faut donc comprendre que la séquence forcée proposée est constituée de séances avec des situations forcées, que ces dernières sont construites, *a priori*, par le chercheur¹⁵⁸ mais qu'elles sont modifiées les unes après les autres à mesure que le travail du problème avance et que les éléments de recherche sont récoltés.

1.2.2. Le déroulement de la séquence permettant l'enquête didactique

Le tableau 10 suivant résume le déroulement des cinq séances forcées qui comportent des moments de travail¹⁵⁹ individuels, en petits groupes (2 à 4 élèves) et collectifs (classe entière).

Tableau 10 : déroulement de la séquence forcée

Objectifs généraux	<p>Connaissances : <i>Elle développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec l'atmosphère (échanges de gaz, capture de la lumière) et avec le sol (échange d'eau et d'ions). Des systèmes conducteurs permettent les circulations de matières dans la plante, notamment entre systèmes aérien et souterrain.</i></p> <p>Capacités, attitudes : <i>Conduire une étude morphologique simple d'une plante commune. Réaliser et observer une coupe anatomique dans une tige ou une racine. Effectuer une estimation (ordre de grandeur) des surfaces d'échanges d'une plante par rapport à sa masse ou son volume. Comparer avec un mammifère par exemple.</i></p>	
Séance	Titre de la séance pour l'enseignant	Objectifs spécifiques de la séance (en lien avec les programmes scolaires)
1 <u>durée</u> : 30 min	Les connaissances initiales des élèves	- Mobiliser individuellement les connaissances des élèves relatives à la nutrition des plantes. - Les confronter en groupes de 4 à 5 élèves (débat).
2 <u>durée</u> : 40 min	Les caricatures	- Argumenter individuellement puis collectivement (débat) aux raisons qui valident ou infirment les caricatures retenues.
3 <u>durée</u> : 40 min	Les nécessités	- Argumentation en binôme puis collectivement (débat) sur des affirmations anonymisées d'élèves.
4		- Observer, réaliser et manipuler pour

158 Dans sa définition de situation forcée, Orange (2010) précise qu' il s'agit d'une proposition didactique composée de chercheurs en didactique et d'enseignants. Ici, nous rappelons que nous sommes à la fois le chercheur et l'enseignant mais nous assumons ce choix dans la mesure où la séquence forcée mise en place nécessite des contraintes horaires fortes pour mener à bien à les objectifs du programme et de la recherche.

159 La durée hebdomadaire des cours de SVT en Terminale scientifique est le suivant : 2 heures de cours collectif, 1h quinzaine en classe entière pour l'accompagnement personnalisé, 1h30 de travaux pratiques en 1/2 groupe classe.

<u>durée</u> : 1H30 min	Travaux pratiques : la nutrition des plantes	s'approprier des savoirs. - Raisonner pour relier pratique et théorie.
5 <u>durée</u> : 20 min	Les nutriments	- Mise au travail de l'obstacle verbal « nutriment » pour poursuivre le travail du problème..

1.2.3. Bilan intermédiaire

La séquence proposée correspond donc à un ensemble de séances non ordinaires (figure 43), elles sont développées par la suite dans ce chapitre.

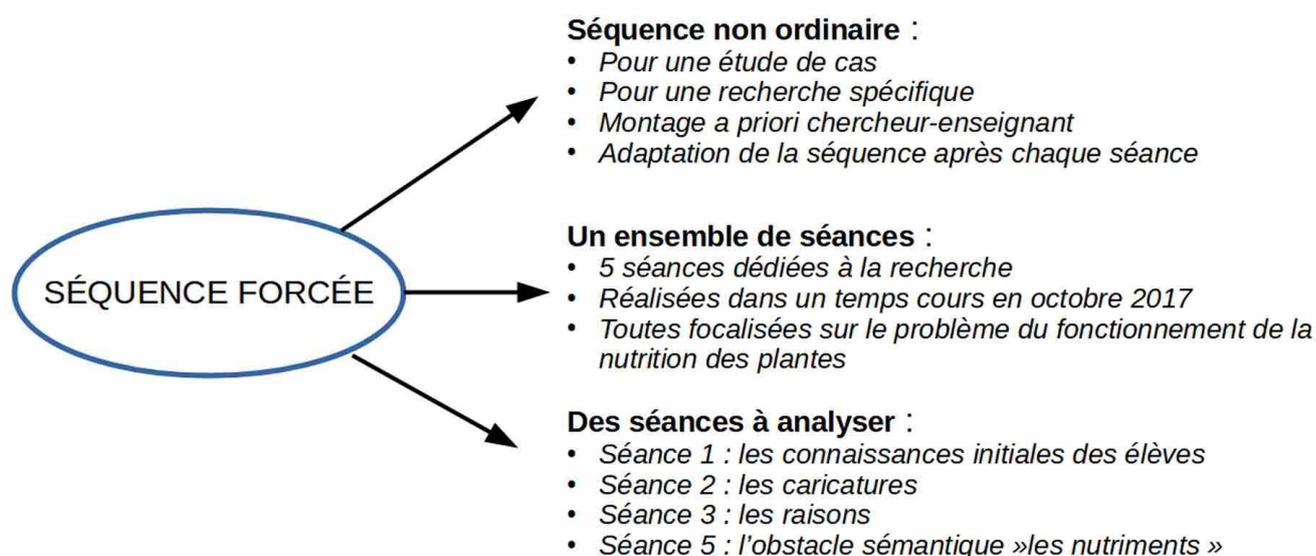


Figure 43 : caractéristiques de la séquence forcée

1.3. Bilan des objectifs de l'enquête didactique

En conclusion, au vu des travaux que nous engageons pour réaliser une enquête didactique, il était fécond de distinguer deux axes principaux : les objectifs de la recherche (visée scientifique) et la mise en place d'une séquence forcée (visée pédagogique). Il s'agit donc de représenter le cadre de notre investigation relative à l'apprentissage du problème du fonctionnement de la nutrition des plantes (figure 44).

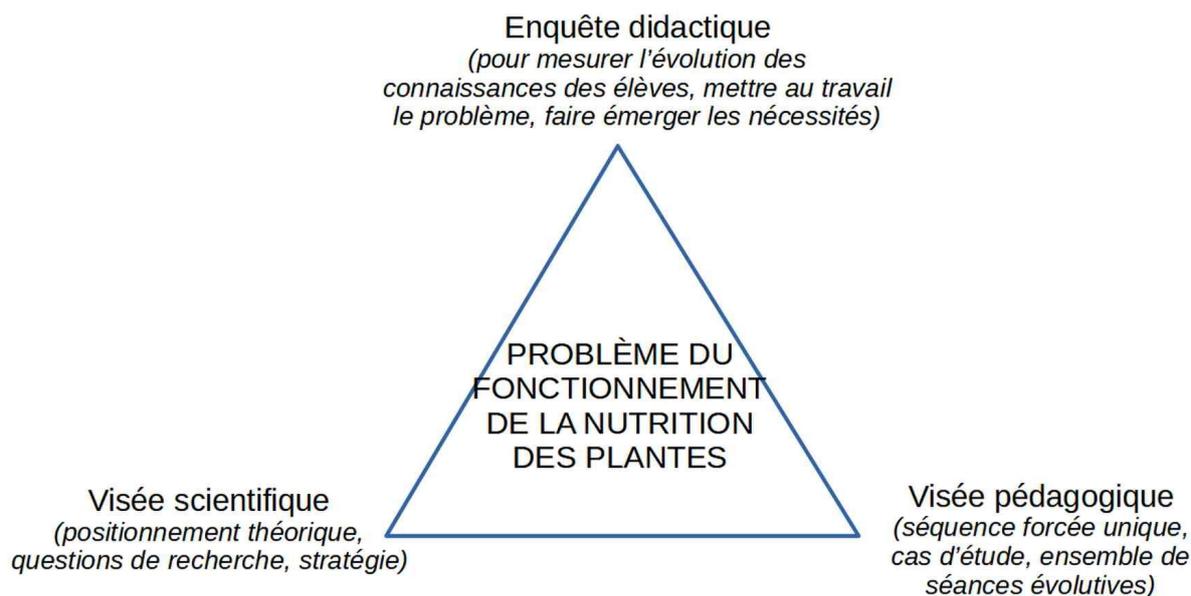


Figure 44 : bilan de la présentation de l'enquête didactique

La partie suivante concerne l'ensemble de la séquence. Il faut donc considérer que les élèves ont commencé par mobiliser leurs connaissances relatives au fonctionnement de la nutrition des plantes lors de la séance 1. A partir de l'analyse de ce premier recueil des représentations des élèves, nous élaborons une séquence forcée illustrée par les séances 2, 3 et 5. La séance 4 concerne les capacités et attitudes requises par les programmes de Terminale, il s'agit d'une séance de travaux pratiques que nous ne développons pas (tableau 10).

2. PREMIÈRE SÉANCE : LES CONNAISSANCES INITIALES DES ÉLÈVES

La première séance ouvre le champ de la mise en place de notre séquence forcée. Pour comprendre l'origine et l'évolution des connaissances des élèves, il était donc nécessaire de recueillir leurs points de vue à propos du fonctionnement de la nutrition des plantes, c'est l'objectif de la recherche pour cette séance. La présentation suivante a pour objectif de contextualiser la réalisation des productions individuelles (annexe 4) et en petits groupes de 4 élèves(annexe 5). Ensuite, nous procédons à leur analyse. Des résultats obtenus, et de leur mise en discussion, nous proposons un bilan.

2.1. L'objectif de la séance 1

Un mois après le pré-test, c'est-à-dire en octobre 2017, nous avons mis en place la séquence forcée. La séance 1 correspond à un recueil des connaissances initiales des élèves que nous assimilons à leurs représentations du fonctionnement de la nutrition d'une plante. C'est pourquoi il nous arrive d'indiquer parfois connaissances ou représentations dans le texte. Cette séance a donc valeur d'évaluation diagnostique avant de débiter le chapitre du programme¹⁶⁰ : « L'exemple de la vie fixée chez les plantes ». Elle constitue le premier élément de notre recherche pour la séquence forcée.

2.2. Le déroulement et le recueil de données de la séance 1

Dans un premier temps, il est demandé aux élèves de compléter individuellement un document A4 dont nous ne présentons que l'entête, le reste de la page étant vierge, pour que les élèves puissent répondre le plus librement possible (figure 45).

┌

Terminale S - Thème 1 – Partie A – Chapitre 5 : la vie fixée des plantes

Initiales :

Comme tous les êtres vivants, une plante doit se nourrir mais cette fonction est associée à une vie fixée, ce qui impose des contraintes quant à sa réalisation.
Par un schéma et un texte, explique comment fonctionne un végétal pour se nourrir.



Figure 45 : entête du document A4 (à gauche) – un élève complétant le document (à droite)

Plusieurs précautions ont été prises pour faciliter le recueil :

¹⁶⁰ Le titre exact associé au programme (MEN, 2011, p.8) est le suivant : « Thème 1-A-5 Les relations entre organisation et mode de vie, résultat de l'évolution : l'exemple de la vie fixée chez les plantes ».

- **Le titre du document** : qui évoque l'appartenance de l'activité dans un chapitre du programme. Il était nécessaire car, au début de la recherche, certains élèves ont exprimé leur crainte de ne pas terminer le programme si la séquence forcée était trop longue ou hors programme.
- **L'anonymat du document** : pour le lecteur de la thèse, il est certifié par l'écriture des initiales des élèves. Lorsqu'elles sont identiques (2 fois 2 élèves de la classe), leur écriture nous permet facilement de les distinguer. L'intérêt est de conserver l'anonymat des élèves.
- **La contextualisation de l'activité** : est réduite et n'expose pas, *a priori*, à une difficulté de compréhension. Nous rappelons qu'à cette période, nous n'avions pas fait la différence scientifique entre plante et végétal.
- **La production attendue** : invite les élèves à réaliser un schéma et un texte. Ainsi, cela permet aux élèves de s'exprimer par deux modalités différentes. Le schéma pourrait faire l'économie du texte et limite les difficultés d'expression. Le texte invite à écrire ce qui est difficile à exprimer par le schéma. L'objectif est donc de faciliter l'expression des élèves.
- **La durée de l'activité** : un temps de 10 minutes a été préconisé pour compléter le document, les élèves ont respecté ce temps.

Dans un second temps, les élèves ont formé des groupes de 4 (figure 46) en respectant leur répartition habituelle dans la classe. Il leur a été demandé de former des îlots pour mieux communiquer. Le même document que dans la première étape a été remis à chacun des 8 groupes mais, cette fois, il est agrandi au format A3. Le nouvel objectif d'apprentissage est de réaliser une production de groupe à partir des échanges entre élèves. Il faut donc comprendre que les consignes sont les mêmes : un schéma accompagné d'un texte pour expliquer le fonctionnement de la nutrition des plantes. Ce document est également anonymisé avec le même principe des initiales de tous les élèves du groupe. Le nombre restreint facilite les échanges. La durée de cette deuxième phase est de 20 minutes pour favoriser les discussions. Nous n'intervenons à aucun moment, sauf pour rappeler la durée de l'activité.



Figure 46 : dispositif de la classe pour le second temps de la séance 1

2.3. L'analyse des productions des élèves

Nous proposons une analyse en respectant l'ordre chronologique de la séance 1 : le recueil individuel puis les productions de groupe de 4 élèves.

2.3.1. Les productions individuelles des élèves

Les connaissances des élèves proviennent à la fois de savoirs sociaux (ou naturels) construits en dehors du système scolaire et des savoirs scolaires transposés par les enseignants en savoir à enseigner. Or, dans le chapitre 4, nous avons montré que les représentations-connaissances des élèves du premier degré étaient marquées par une double méconnaissance : celle de la partie souterraine de la plante, pour sa nutrition, et celle du rôle du CO₂. Nous faisons l'hypothèse, analyse *a priori*, que le curriculum scolaire, lui même, pourrait être une origine possible de cette méconnaissance.

Nous rappelons qu'une durée de 10 minutes est accordée aux élèves pour compléter une feuille A4 où il est noté comme consigne principale : « *Comme tous les êtres vivants, une plante doit se nourrir mais cette fonction est associée à une vie fixée, ce qui impose des contraintes quant à sa réalisation. Par un schéma et un texte, explique comment fonctionne un végétal pour se nourrir* ».

2.3.1.1. La catégorisation des productions individuelles

Afin d'analyser les 32 productions individuelles pour les catégoriser, nous décidons de porter un regard sur 3 aspects des éléments figurés et/ou textuels :

- ceux associés aux besoins nutritifs des plantes et les organes qui permettent leur récupération : lumière (soleil), eau, minéraux, CO₂, racine, feuille ;
- les explications possibles qui rendent compte du fonctionnement de la nutrition des plantes : les échanges dont absorption et/ou rejet, la photosynthèse et/ou la synthèse de molécules (glucose, amidon), les organes (racine, feuille) et/ou des cellules, des éléments figuratifs témoignant d'échanges (flèches) ;
- les explications qui, même si elles sont plus éloignées des savoirs scientifiques, proposent d'autres conceptions qui pourraient être à l'origine d'autres explications.

Ces différents aspects pourraient mettre en valeur 4 niveaux d'explications pour le fonctionnement de la plante vis-à-vis de sa nutrition, ils correspondent alors à 4 conceptions possibles des élèves. Celles-ci sont décrites comme une échelle allant d'une explication simple (niveau 1) à une explication plus complexe (niveau 4) :

- **niveau 1** : conception où le fonctionnement est exprimé essentiellement en besoins à **l'échelle de l'organisme** (exemple : affiche 4);
- **niveau 2** : conception où le fonctionnement est exprimé à **l'échelle de l'organe** et le **rôle des racines** dans l'absorption minérale (eau et ions minéraux) est systématiquement présent (exemple affiche 7);
- **niveau 3** : conception où le fonctionnement est exprimé à **l'échelle de l'organe** et le **rôles des racines et des feuilles** sont présents (exemple affiche 5);
- **niveau 4** : conception où le fonctionnement est exprimé à **l'échelle de l'organe** et de la **cellule** (exemple affiche 1).

2.3.1.2. Les résultats issus de l'analyse des productions individuelles

Puisque les 32 élèves ont complété le document et que 28/32 ont dessiné une plante, c'est que la consigne est comprise. Pour les 4 autres élèves, nous conjecturons que leur schéma, qui ne figure pas une plante, est déjà une tentative d'explication fonctionnelle de la nutrition des plantes et que leur niveau de conceptualisation est plus avancé (figure 47). Nous relevons également que 17/32 élèves n'ont pas représenté de source de lumière (figure 48). Trois hypothèses pourraient traduire ce constat. Premièrement, un manque de connaissance, mais nous écartons cette hypothèse dans la mesure où, même des élèves du premier degré possèdent cette notion. Deuxièmement, il s'agit d'un oubli parce que l'élève est concentré à dessiner et argumenter, qu'il est limité par la durée de la consigne. Troisièmement, un obstacle tautologique pourrait indiquer le caractère essentiel de la présence de lumière en ne le représentant pas.

Terminale S - Thème 1 – Partie A – Chapitre 5 : la vie fixée des plantes

Initiales : AG

Comme tous les êtres vivants, une plante doit se nourrir mais cette fonction est associée à une vie fixée, ce qui impose des contraintes quant à sa réalisation.
Par un schéma et un texte, explique comment fonctionne un végétal pour se nourrir.

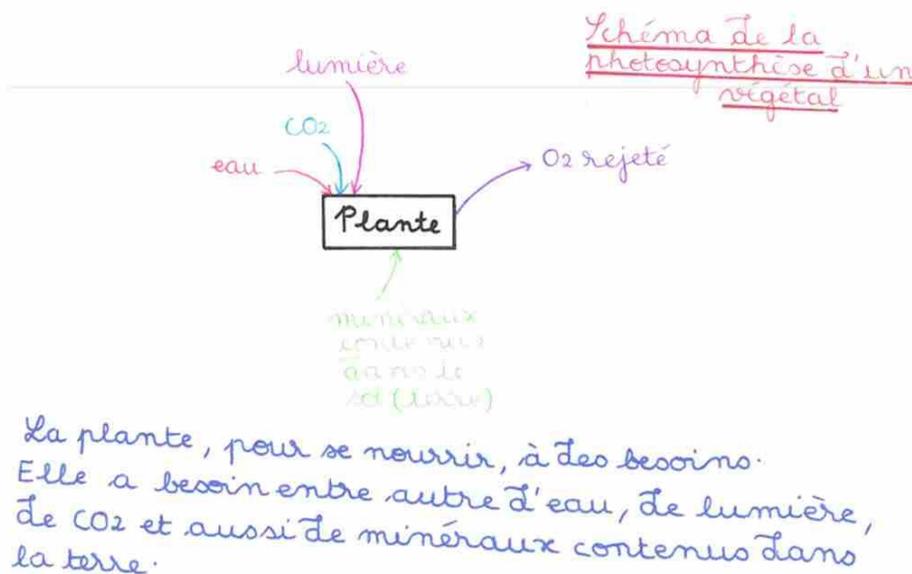


Figure 47 : production de l'élève AG (sans plante au sens figuré)

Initiales : B N

Comme tous les êtres vivants, une plante doit se nourrir mais cette fonction est associée à une vie fixée, ce qui impose des contraintes quant à sa réalisation.
Par un schéma et un texte, explique comment fonctionne un végétal pour se nourrir.

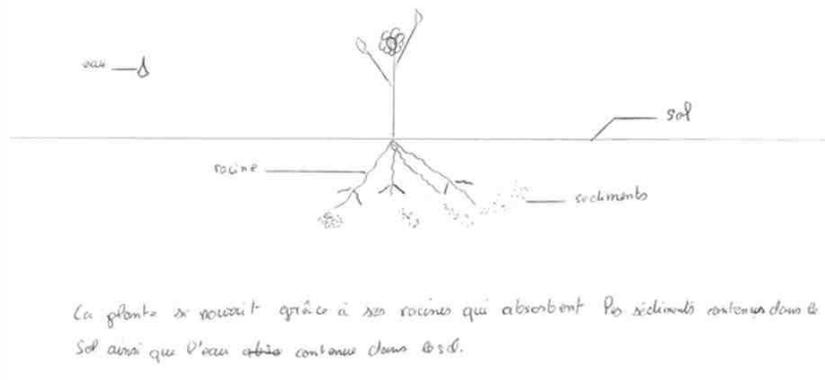


Figure 48 : production de l'élève BN (sans lumière)

Le regroupement des productions individuelles nous conduit à proposer 4 conceptions de la nutrition des plantes qui sont des tentatives d'explication.

- **Conception 1** : concernant les éléments textuels ou figurés qui participent à une tentative d'explication de la nutrition des plantes, nous constatons que 6/32 élèves sont dans une forme d'assertion qui pourrait relever de l'empirisme. Pour ceux-là, nous pourrions penser que seule la présence de substances est suffisante pour nourrir la plante, il s'agit selon nous d'une manifestation de l'obstacle substantialiste. Par exemple, NM écrit « Grâce à ses racines sous la terre, le végétal absorbe les nutriments présents. Il contourne ainsi son principal obstacle sa stabilité (il ne peut pas se déplacer) ». Cela confirme cette conception animiste de la vie (Canguilhem, 1968) où les plantes ont uniquement, d'un point de vue aristotélicien, une âme nutritive.

Pour les 26/32 autres élèves, les propositions à la recherche d'une explication plus construite, d'un point de vue argumentatif, sont variées et sous tendent des échelles de fonctionnement différents : celle de l'organisme ou des cellules ou des molécules. Nous illustrons notre analyse aux 3 échelles repérées par les conceptions 2, 3 et 4 :

- **Conception 2** : certains élèves se représentent la nutrition par des échanges à l'**échelle de l'organisme** : la notion de nécessité de matière et d'énergie pour assurer la fonction de nutrition est alors sous-jacente et nous pensons qu'une pensée mécaniste est le terreau de leurs explications, la vie comme mécanisme selon la seconde conception de la vie de Canguilhem (1968).

SR1 : « *la plante se nourrit à l'aide de plusieurs éléments. Celle-ci se nourrit à l'aide d'éléments naturels. Le soleil et son apport de lumière permettent à la plante de survivre. Des événements naturels tels que la pluie apportent à la plante de l'eau, essentiel à sa survie. Le sol lui aussi apporte de l'eau mais aussi des minéraux. Les racines situées sous le sol permettent l'alimentation des plantes. Des phénomènes tels que la symbiose font en sorte que l'espèce reste en vie (avec les champignons par exemple)* ».

- **Conception 3** : quelques élèves associent essentiellement les racines, rarement les feuilles, comme organes de nutrition et sollicitent l'**échelle cellulaire** : les racines sont le plus souvent accompagnées du mécanisme d'absorption, cette connaissance pourrait relever des apprentissages réalisés dans le second degré, par ailleurs l'échelle cellulaire est découverte en sixième avec l'apprentissage de l'utilisation du microscope comme objet technique d'investigation scientifique. Une conséquence de cette conception est la non prise en compte du CO₂. Toutefois, l'émergence d'une conception fonctionnaliste est manifeste.

JC : « *La plante se nourrit de matière organique qu'elle crée à l'aide de la lumière et d'eau. La synthèse de ces matières organique a lieu dans les cellules végétale. elle absorbe l'eau à l'aide de ses racines (certains végétaux ont une physionomie adaptée et absorbe l'eau grâce à leur feuilles). Certains minéraux et d'autre nutriments viennent directement de la terre* ».

- **Conception 4** : d'autres indiquent la photosynthèse et/ou une synthèse (glucose, amidon) et c'est l'**échelle moléculaire** qui est mobilisée : le niveau d'explication nous semble plus avancé puisqu'il s'agit de raisonner à une échelle d'explication plus complexe qui mobilise des connaissances chimiques voire biochimiques, c'est-à-dire à un niveau de conceptualisation encore plus avancé. Pour ces élèves, la conception fonctionnaliste est affichée.

EM : « *un végétal se nourrit par l'intermédiaire de ses racines qui atteignent sous terre les nutriments qui lui sont nécessaires (eau et sels minéraux). La photosynthèse, grâce au soleil, permet ainsi à un végétal chlorophyllien de synthétiser du glucose à partir d'H₂O et CO₂* ».

2.3.1.3 Des difficultés de catégorisation des productions individuelles

Nous devons également admettre que certaines propositions d'élèves sont plus difficiles à catégoriser ou n'entrent pas dans notre catégorisation¹⁶¹ car elles nécessitent de prendre en compte à la fois des éléments du schéma et du texte proposés. Elles peuvent aussi manifester plusieurs échelles de compréhension. Ainsi AG dessine un rectangle qui correspond à la plante et ajoute en légende : « lumière, eau, CO₂, O₂ rejeté, minéraux contenus dans le sol » (échelles de l'organisme et moléculaire) et son texte renforce sa suggestion en précisant que : « La plante pour se nourrir, à des besoins. Elle a besoin entre autre d'eau, de lumière, de CO₂ et aussi de minéraux contenus dans la terre ».

Une autre difficulté d'analyse est celles des productions qui présentent certaines caractéristiques éloignées des savoirs scientifiques. Nous les reprenons car elles sont, selon nous, d'autres sources possibles de compréhension des problèmes rencontrés par les élèves lors des apprentissages. D'un point de vue de la recherche, elles sont même des reflets des difficultés d'apprentissage des élèves. C'est pourquoi nous illustrons plus abondamment cette sous-partie.

- BN1 confond les deux molécules H₂O et O₂: « en effet, la plante se nourrit des matière organique sèche par les rayons du soleil. Elle absorbe du CO₂ et rejette du H₂O. ». Nous rapprochons cette confusion d'une difficulté à les distinguer entre elles. Une hypothèse que nous avançons est que la disciplinarisation des apprentissages peut être un frein aux apprentissages scientifiques : pour cet exemple, entre la physique-chimie (étude des atomes et des molécules) et les SVT (origine et devenir des molécules).
- EL écrit « respire du CO₂ », il y a ici une confusion du rôle des molécules (CO₂ pour O₂), l'erreur provient du fait que la photosynthèse est souvent comprise par les élèves comme une respiration « inversée », ce que nous avons explicité dans la partie théorique.
- RL utilise le verbe « capter », à 3 reprises et à bon escient, pour l'eau et les racines, la lumière et les feuilles ; en revanche cet élève écrit que la lumière est « captée par les branches ». Sous-entend-il que les branches portent les feuilles ? Ou bien, comme dans les représentations-connaissances du quotidien il en est ainsi puisque la lumière (soleil ou lampe artificielle) se propage potentiellement sur toutes les surfaces aériennes de la plante, pense-t-il que les branches captent autant la lumière que les feuilles ? Nous rapprochons donc cette proposition d'un obstacle empirique possible.

161 Notre objectif est de limiter le nombre de catégories aussi nous sommes contraints de marginaliser certaines réponses sans pour autant les écarter.

- TH écrit que la « *photosynthèse est la transformation de l'énergie solaire en nutriments* ». Cette confusion matière/énergie révèle probablement d'une difficulté des apprentissages à appréhender les concepts, les relier et les remobiliser de façon pertinente. Pour la matière, l'échelle macroscopique permet de s'en faire une représentation simple, nous pensons par exemple aux minéraux qui peuvent être contenus dans les engrais (solides ou liquides) ou la cendre de cheminée. En revanche, l'énergie est un concept particulièrement résistant d'un point de vue cognitif car il nécessite un haut degré d'abstraction (Hervé, Venturini et Albe, 2014).
- MS indique que la plante « *se nourrit de glucose qui lui donne de l'énergie pour pousser* ». Dans sa proposition, le glucose « matière » est confondu avec l'énergie, ce que nous rapprochons d'un obstacle substantialiste. Nous rejoignons les conclusions de Hervé, Venturini et Albe (2014) qui affirment que l'enseignement de l'abstraction du concept d'énergie devrait être un objet d'apprentissage pour les élèves pour faciliter sa compréhension. Finalement, TH et MS expriment une difficulté similaire autour de la compréhension du concept d'énergie.
- BN2 indique que « *la plante se nourrit grâce à ses racines qui absorbent les sédiments contenus dans le sol ainsi que l'eau contenu dans le sol* ». Nous pensons que cette confusion « sédiments » pour « minéraux » caractérise un obstacle sémantique que nous traitons plus en détails dans la séance 5 de ce chapitre.
- CB accompagne son schéma d'un texte où il précise « *de plus, je crois que certaines plantes se nourrissent de minéraux de la pluie en absorbant les gouttes par la feuille* ». Orange (2009b) explique que les conceptions relatives à la nutrition des plantes persistent. En effet, l'auteur rappelle que la comparaison à l'animal est prégnante et que, par conséquent « *manger suppose une bouche et une seule ; une entrée de nourriture, et non pas une entrée par les racines – eau et sels minéraux – et d'autres par les feuilles – CO₂.* » (ibid, p.117). Nous pensons qu'il pourrait s'agir, d'une part, d'une méconnaissance scientifique de la composition de l'eau de pluie (H₂O eau pratiquement pure, un peu de CO₂ et très peu de minéraux) en comparaison à l'eau du robinet ou à l'eau minérale en bouteille qui sont minéralisées. D'autre part, si certaines plantes comme les Ptéridophytes, les Bryophytes, certaines Angiospermes (notamment les Orchidées) peuvent absorber de l'eau sous forme vaporisée, nous considérons que la proposition de CB pourrait être associée à un obstacle empirique. D'une part, dans notre quotidien, nous observons bien que la pluie tombe sur toute la partie aérienne des plantes ; d'autre part, l'été en France, il n'est pas rare de voir des

arrosages automatiques dans les champs qui atteignent l'ensemble de la plante, dont les feuilles.

2.3.2. Les productions de groupes de 4 élèves

Le second temps de la première séance est organisé de manière à grouper les élèves librement par 4 tout en respectant la proximité géographique des tables. Il faut alors comprendre que les groupes sont hétérogènes. Nous rappelons que le recueil de données correspond à 8 affiches composées sur une feuille A3, la consigne est la même que pour l'activité précédente (figure 56), la durée est cette fois de 20 minutes.

2.3.2.1. La catégorisation des productions de groupes de 4 élèves

L'analyse des 8 productions de groupes nous conduit à regrouper les affiches selon 3 niveaux d'explications possibles pour le fonctionnement de la plante vis-à-vis de sa nutrition, autrement-dit 3 conceptions envisageables. Si la catégorisation proposée est différente de celle des productions individuelles c'est que les propositions de groupes sont plus complexes et présentes toutes une conception fonctionnaliste. Aussi, les catégories suivantes sont décrites comme une échelle allant d'une explication simple (niveau 1) à une explication plus complexe (niveau 3), ce que nous attribuons à des conceptions de niveaux conceptuels différents. Pour faciliter l'accès du lecteur aux informations, nous présentons un exemple d'affiche par niveau de conception dans les figures 49, 50 et 51.

- **niveau 1** : conception où le fonctionnement est exprimé à **l'échelle de l'organe**, le **rôle des racines** dans l'absorption minérale (eau et ions minéraux) est présent (exemple affiche 8);
- **niveau 2** : conception où le fonctionnement est exprimé à **l'échelle de l'organe**, les **rôles des racines et des feuilles** sont présents (exemple affiche 5);
- **niveau 3** : conception où le fonctionnement est exprimé à **l'échelle de l'organe**, les **rôles des racines et des feuilles** sont présents, mais il nous semble que **l'idée d'un système ouvert** est présenté à la fois par la légende (rejet, apport, synthèse) et par les stomates (appelées par erreur photosphère) (exemple affiche 1).

8

Terminale S - Thème 1 – Partie A – Chapitre 5 : la vie fixée des plantes

Initiales du groupe : MM, BN, SM et NM

Comme tous les êtres vivants, une plante doit se nourrir mais cette fonction est associée à une vie fixée, ce qui impose des contraintes quant à sa réalisation.

Par un schéma et un texte, explique comment fonctionne un végétal pour se nourrir.

La plante va à l'aide de ses racines absorber l'eau et les nutriments présents dans le sol. L'eau présente dans le sol provient des cours de pluie. Le phénomène de symbiose, la pour certaines plantes, contribue à sa nutrition.

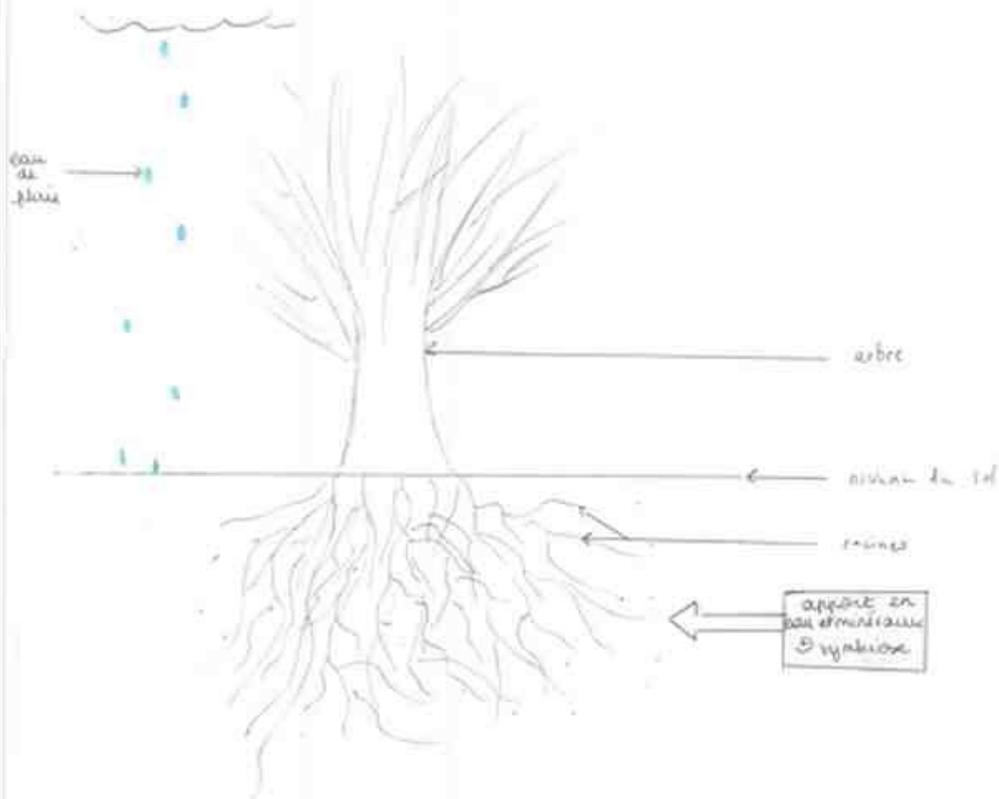


Schéma présentant la nutrition d'une plante.

Figure 49 : affiche n°8 – niveau 1

Terminale S - Thème 1 – Partie A – Chapitre 5 : la vie fixée des plantes

Initiales du groupe : A.L ; N.B ; B.L ; C.M.

Comme tous les êtres vivants, une plante doit se nourrir mais cette fonction est associée à une vie fixée, ce qui impose des contraintes quant à sa réalisation.
Par un schéma et un texte, explique comment fonctionne un végétal pour se nourrir.

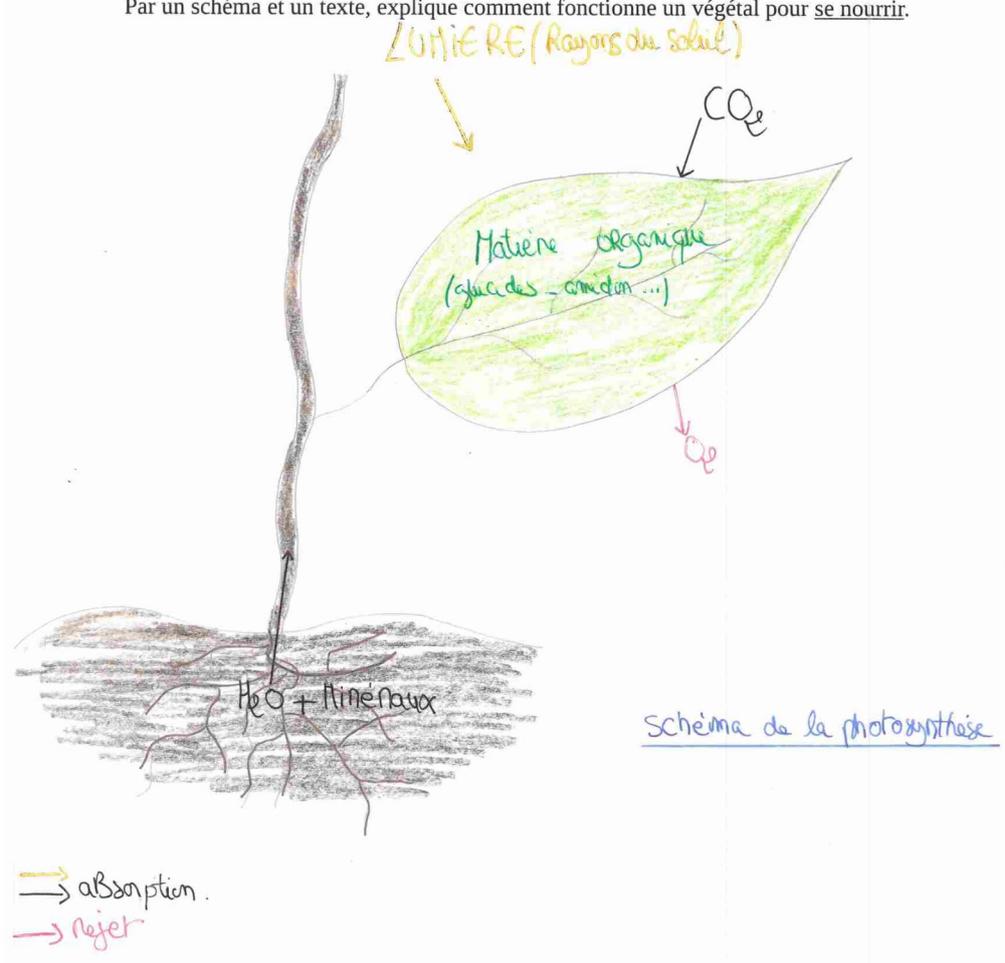


Figure 50 : affiche n°5 – niveau 2

1

Terminale S - Thème 1 – Partie A – Chapitre 5 : la vie fixée des plantes

Initiales du groupe : EM ED RS FC

Comme tous les êtres vivants, une plante doit se nourrir mais cette fonction est associée à une vie fixée, ce qui impose des contraintes quant à sa réalisation.

Par un schéma et un texte, explique comment fonctionne un végétal pour se nourrir.

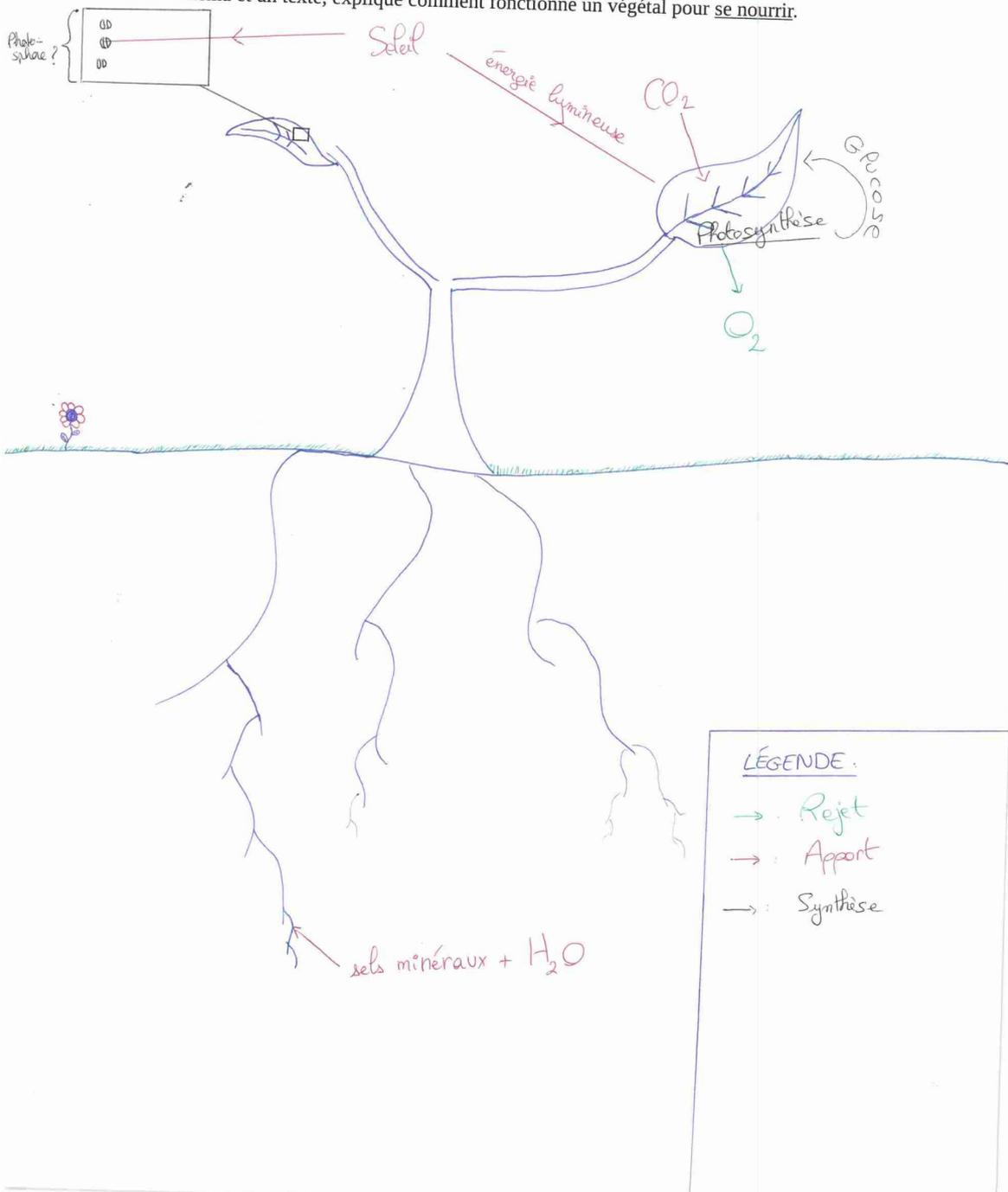


Figure 51 : affiche n°1 – niveau 3

2.3.2.2 Les résultats issus de l'analyse des productions de groupes de 4 élèves

D'après notre analyse des affiches de groupe, les 3 niveaux de complexité dans l'explication du fonctionnement de la nutrition de la plante sont représentés de la manière suivante :

- **Niveau 1** : les affiches 4 (CB LB AF MS), 2 (RL TH EL BR), 3 (HC JC AP PL), 7 (AG CB PCP PBA) et 8 (MN BN SM NM) considèrent à la fois l'organisme mais aussi l'organe avec un point de vue fonctionnel consacré essentiellement aux racines. Nous rapprochons ce constat de l'analyse des productions individuelles où il nous semblait que les connaissances empiriques et/ou scolaires avaient participé à construire un modèle de fonctionnement de la nutrition de la plante qui se rapproche d'une conception mécaniste. Les productions abordent l'absorption racinaire, c'est-à-dire une prise en compte d'une entrée nécessaire dans un organe spécialisé, ce qui pour nous est un niveau de conceptualisation plus avancé que certaines productions individuelles. Les échanges gazeux sont évoqués à l'endroit où se trouvent les feuilles ou la fleur par la représentation des flèches ($\text{CO}_2 \rightarrow$ et $\rightarrow \text{O}_2$). Toutefois, l'importance de la feuille comme organe de nutrition de la partie aérienne est-elle assimilée puisqu'elles ne sont pas présentes dans les représentations ?
- **Niveau 2** : les affiches 5 (AL NB BL CM) et 6 (VB SL SP AM) montrent une volonté d'explication du fonctionnement de la plante en figurant explicitement les organes racine et feuille. Dans l'affiche 5, la figuration de la plante est d'ailleurs partielle, la feuille est surdimensionnée comme pour souligner son importance. L'absorption et le rejet apparaissent dans la légende. Dans l'affiche 6, c'est le titre qui annonce les intentions des élèves : « *fonctionnement du végétal pour se nourrir* ». Un niveau supplémentaire de conceptualisation est exprimé, au moins dans les intentions communicationnelles des élèves. En revanche, dans les deux cas, les explications restent sommaires : s'agit-il de difficultés dans l'expression et/ou la maîtrise des connaissances ? Le schéma contient-il implicitement l'explication ? La discussion orale a-t-elle été un frein aux explications écrites du fait de la contrainte de s'accorder sur un minimum commun de connaissances ?
- **Niveau 3** : seule l'affiche 1 (EM ED RS FC) atteint ce niveau de complexité. La figuration de la plante est singulière puisqu'elle présente, dans la partie gauche, un détail de stomates et, dans la partie droite, une feuille surdimensionnée dont le texte cherche à expliquer la photosynthèse. De plus, une légende traduit la notion d'échanges avec « *rejet* », « *apport* » et « *synthèse* » (du glucose). Il y a bien dans cette production à la fois l'échelle de l'organisme (la plante), des organes (feuille et racine), des cellules (stomates). De plus,

l'équation bilan de la photosynthèse est signifiée par les éléments suivants : CO_2 + lumière (apports) et O_2 (rejet) + glucose (synthèse). Le registre explicatif des élèves pourrait être biochimique tout en prenant en compte la globalité de la plante dans son fonctionnement. Le niveau de conceptualisation est le plus avancé de toutes les productions selon nous.

2.4. Bilan de la séance 1

Force est de constater l'hétérogénéité des réponses mais également l'inégalité des niveaux de conceptualisation du phénomène étudié. Du reste, la recherche et/ou l'expression des explications à l'écrit semble(nt) faire émerger des difficultés chez les élèves. Certaines relèvent, selon nous, d'obstacles épistémologiques au sens bachelardien du terme. Ils viennent se glisser entre le désir de connaître l'objet scientifique et la notion étudiée qu'ils pensent maîtriser. Cela se traduit par des réponses implicites et/ou des confusions quant à ce qu'ils croient savoir du fonctionnement de la nutrition de la plante. Bachelard (1938/2011, p.13) affirme que « *le réel n'est jamais ce qu'on pourrait croire mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser* ».

Toutefois, les productions émergent d'un groupe de 4 élèves : tous se sont-ils exprimés ? Lors des échanges au sein des groupes, l'élève qui a la responsabilité de transcrire les propositions de ses camarades a-t-il été fidèle aux propos ? Le filtre de ses connaissances n'a-t-il pas induit une réinterprétation du contenu des informations ? De plus, le passage de l'oral à l'écrit est une difficulté que nous gardons à l'esprit et qui souligne que le langage est porteur de sens en particulier par la communauté qui en est producteur. Un observateur extérieur peut échapper à ce sens, d'autant que la production écrite mobilise des symboles chargés d'implicites. Les affiches des élèves soulignent la complexité communicationnelle et les difficultés de l'analyse des productions, des limites que nous percevons mais qui sont une motivation pour pousser la curiosité du chercheur à comprendre les explications des apprenants.

Fort de cette analyse et dans la logique d'une séquence forcée, nous construisons la deuxième séance à partir des 8 productions de groupe. Elles nous permettent de réaliser des caricatures comme outils pédagogiques pour favoriser l'explicitation des connaissances des élèves. Dans cette optique, notre objectif est de provoquer des réponses raisonnées qui naviguent entre la construction du problème et la recherche de solutions.

3. DEUXIÈME SÉANCE : LES CARICATURES POUR PRÉPARER L'ARGUMENTATION DES ÉLÈVES AU DÉBAT SCIENTIFIQUE

Pour comprendre les enjeux de cette deuxième séance, nous avons découpé ce point en quatre sous-parties : les objectifs fixés, son déroulement effectif, les résultats et leur mise en discussion et, enfin, nous proposons un bilan.

3.1. Objectif de recherche de la séance 2

Le positionnement théorique présenté dans le point suivant nous permet d'explicitier les objectifs de la séance 2 dont les principaux sont de mobiliser les connaissances des élèves pour l'objet de savoir visé, préparer l'argumentation des élèves grâce aux caricatures (dont nous précisons la définition dans la sous partie 3.1.3.), poursuivre l'apprentissage par problématisation par le débat scientifique de classe. Il s'agit donc de mettre au travail la question de recherche suivante : comment les caricatures permettent-elles aux élèves de se préparer au débat argumentatif pour mettre au travail le problème du fonctionnement de la nutrition des plantes ? Nous développerons ensuite la méthodologie de la séance avant de présenter les résultats et de les discuter.

3.1.1. Connaissances et difficultés des élèves pour le concept de nutrition des plantes

Notre positionnement théorique se trouve à la croisée de plusieurs chapitres. D'abord, le chapitre 1 nous renseigne sur les origines possibles des difficultés d'apprentissage des élèves. Ensuite, le chapitre 2 nous éclaire à la fois sur la complexité de la construction de la théorie de la nutrition des plantes avec les problèmes scientifiques rencontrés et les ruptures nécessaires pour la faire évoluer comme une théorie acceptée par tous. Enfin, le chapitre 4 nous dresse un tableau possible de leurs connaissances à propos de la nutrition des plantes, il s'agit pour nous d'un état des lieux au niveau Terminale scientifique. Fort de ce cadre théorique, des obstacles épistémologiques, dont l'empirisme et l'anthropomorphisme, sont attendus au cours de la séance 1. Par ailleurs, la question est de savoir si les élèves peuvent argumenter leurs connaissances ou s'ils restent dans un discours assertorique, non argumenté, sur la base de souvenirs d'un programme précédent ou d'expériences hors scolaire avec la nature, sans recherche d'explications.

3.1.2. Problématisation et débat argumentatifs

Si nous mobilisons la problématisation à la fois comme cadre didactique et cadre d'analyse (chapitre 3), c'est qu'elle permet d'accéder à un savoir scientifique construit et raisonné. Elle donne également à comprendre ce qui se joue lors des processus d'apprentissage en classe. Nous justifions cette proposition en trois points préalablement abordés dans le chapitre 3 et que nous reprenons succinctement pour le lecteur afin de fixer la singularité du cadre théorique de la problématisation.

- **Entre problème et problématisation**

« *La science ne commence que s'il y a problème* » nous dit Popper (1972/1998, p.329). Mais du côté des apprentissages scolaires, poser un problème n'est qu'une étape dans la construction du savoir. En effet, si l'enjeu de l'école est de proposer une déclinaison de connaissances à construire à partir d'une situation-problème, dont l'objectif principal est de trouver la solution, celui-ci semble réducteur. Pourtant, la solution fera bonne figure dans la trace écrite des élèves. La problématisation engage à dépasser cette étape pour un voyage plus aventureux (Serres, 1980). Il s'agit de penser la relation entre le problème et la solution grâce à un processus d'enquête (Dewey, 1967/1993). La place du problème dans les situations d'enseignement-apprentissage est donc abordée de façon singulière. Ainsi, pour conforter cette définition, il convient de pointer que « *c'est l'activité de recherche scientifique qui constitue le paradigme de l'apprentissage* » (Fabre, 1999, p.78). L'objectif n'est donc pas centré uniquement sur la résolution du problème, au sens épistémologique du terme, mais plutôt sur une construction du problème et sa résolution. La problématisation est donc, selon cette orientation, une perspective qui vise la construction d'explications. Aussi faut-il comprendre que c'est dans la relation explications-problèmes qui les ont fondés que les savoirs scientifiques prennent tous leurs sens. La problématisation s'annonce alors comme une diversité, « *le pari [...] consiste à reconnaître cette diversité tout en la renvoyant à deux sources de l'épistémologie du problème, le pragmatisme de Dewey et le rationalisme de Bachelard* » (Fabre, 2005, p.54). La séquence forcée mise en place est donc conduite par ce sens du problème, celui du fonctionnement de la nutrition des plantes, son application au sein d'une classe de Terminale scientifique relève donc d'une étude de cas.

- **De l'assertorique à l'apodictique**

La critique kantienne considère qu'il existe trois types de jugement qui sont autant de modes de la pensée générale. Le premier a une fonction d'entendement, le jugement est problématique quand il est essentiellement subjectif, c'est-à-dire qu'il autorise un individu à prendre telle ou telle

affirmation pour la tenir comme valable. Le deuxième est le jugement assertorique qui exprime la réalité comme logique mais il s'agit d'une vérité intrinsèque de l'individu. Enfin, le troisième a une fonction de la raison, celle-ci a donc une vertu argumentative. Il faut comprendre que ces différents jugements sont présents dès lors que la situation problème de départ est proposée. Pour reprendre Dewey, ils interviennent alors dans « l'enquête » à mener, terme que nous reprenons à plusieurs reprises pour mener notre séquence. A cela, il est indispensable d'ajouter que les faits et les théories sont construits lors de la formation du problème. *In fine*, ce qui nous importe dans « l'enquête », ce sont les relations entre les faits et les idées des élèves. Nous reprenons les propos de Lhoste (2017, p.61) qui cite Dewey en précisant que l'idée « *provoque et dirige de nouvelles observations qui fournissent une nouvelle matière factuelle* » (Dewey, 1967/1993, p.183-184) et « *l'accumulation de ces faits suggèrent des hypothèses : c'est la dialectique des indices et des preuves* » (Fabre, 2005, p.19). Dans un cadre didactique, les sciences passent ainsi d'un discours alimenté par de l'assertorique où les faits sont construits séparément, à celui d'un discours apodictique où s'établissent des relations nécessaires. Notre analyse porte sur les productions écrites et orales des élèves (dont le débat scientifique de classe).

- **La place du débat dans l'argumentation**

Le débat participe, selon notre thèse, au processus d'enquête pour construire la connaissance vers une forme d'apodicticité. Orange (2012, p.50) affirme d'ailleurs que les débats permettent d'aider les élèves « *à organiser et délimiter le champ des possibles. Cette problématisation doit idéalement conduire à l'identification de nécessités qui donneront aux savoirs construits leur caractère apodictique* ». Ainsi, il s'agit d'engager les élèves dans un processus de raisonnement qui lui-même engage à une argumentation. L'auteur (ibid, p.51) ajoute que « *l'argumentation a une grande importance dans les débats scientifiques en classe [...] où s'engage la construction des raisons, c'est à dire le repérage de ce qui est possible et impossible dans les modèles explicatifs, préparant ainsi l'identification des nécessités* ». Tout l'intérêt de ces dernières étant qu'elles obligent à problématiser sans chercher directement une solution au problème. Or, selon Plantin (2005, p.53) « *la situation argumentative typique se définit par le développement de la confrontation des points de vue en contradiction en réponse à une même question* ». Le débat est, par conséquent, un procédé qui peut permettre un engagement des élèves dans cette dynamique où ils peuvent endosser des rôles différents, des positions énonciatives, selon le modèle trilocal : proposant, opposant et tiers (Plantin, 1996 ; 2005).

3.1.3. Une situation qui utilise des caricatures pour induire un processus de problématisation

Pour initier le débat scientifique de classe, nous faisons appel à un procédé original d'un point de vue didactique et pédagogique : les caricatures (Orange, 2007b ; Orange et Orange-Ravachol, 2007 ; Orange et Orange Ravachol, 2013 ; Chalak, 2016 ; Rouquet, 2022). Celles-ci sont construites à partir des productions de groupe qui servent de base lors des débats scientifiques de classe. Aussi, elles « *reprennent les caractéristiques fonctionnelles¹⁶² de certaines productions de groupe en les homogénéisant du point de vue de la forme et en les dépersonnalisant (les caricatures ne sont pas attribuées à tel ou tel groupe)* » (Orange, 2012, p. 102). Nous les mobilisons dans notre recherche en faisant l'hypothèse qu'elles sont inductrices du processus de la problématisation, au même titre que les inducteurs mentionnés par Fabre et Musquer (2009). Pour notre recherche, et à partir des propositions des élèves réalisées lors de la première séance, nous construisons donc une silhouette dépersonnalisée (figure 52). Elle est utilisée pour répondre au problème « comment font les plantes pour se nourrir ? » et quatre hypothèses sont retenues dans les différentes productions de groupes (annexe 7).

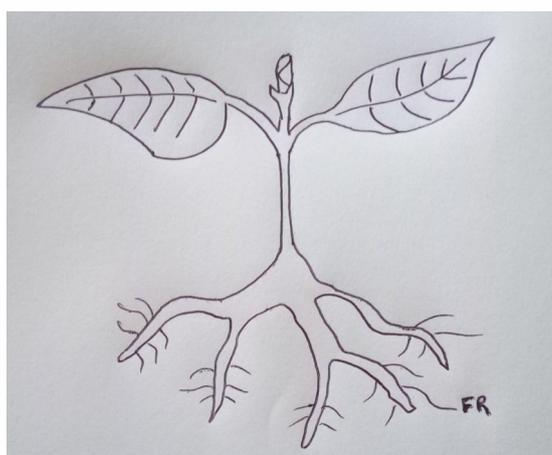


Figure 52 : silhouette utilisée pour les caricatures¹⁶³ pour la nutrition des plantes

Nous développons désormais la méthodologie de la séance 2 avant d'exposer l'analyse des données.

162 Dans notre étude de cas, nous cherchons à mobiliser les connaissances des élèves pour expliquer l'origine et le fonctionnement de la nutrition des plantes d'où la deuxième question « Pourquoi ? ». L'objectif est de les inciter à justifier leur réponse.

163 La caricature présentée dans la figure est pour nous un « modèle de plante » qui va porter les quatre hypothèses retenues pour la nutrition des plantes. Les hypothèses (présentées dans le 4.2.) sont les propositions des élèves que nous avons pu extraire lors de l'analyse de leurs productions de la séance précédente. L'objectif est double : dépersonnaliser le modèle et dépersonnaliser les hypothèses.

3.2. Le déroulement et le recueil de données de la séance 2

Une semaine sépare la deuxième séance de la première. Une feuille A4 est distribuée à chaque élève (figure 53), elle comprend la silhouette de départ complétée par « minéraux et H₂O » puisque toutes les affiches sont en accord sur ce point : il s'agit d'un référentiel empirique commun. Le document invite les élèves à s'interroger à propos de quatre hypothèses qui sont des solutions possibles aux besoins de la plante pour avancer dans la compréhension du fonctionnement de sa nutrition. C'est à partir de l'analyse des productions des 8 groupes de 4 élèves que nous formulons ces propositions :

- Hypothèse 1 : minéraux et H₂O
- Hypothèse 2 : minéraux et H₂O + lumière et nutriments
- Hypothèse 3 : minéraux et H₂O + lumière et nutriments et CO₂
- Hypothèse 4 : minéraux et H₂O + lumière et CO₂.

Terminale S - Thème 1 – Partie A – Chapitre 5 : la vie fixée des plantes

Initiales:

Lors de la dernière séance, des propositions sous forme d'affiches (schéma et texte) ont été réalisées par groupe de quatre élèves: **toutes les réponses proposent l'absorption de minéraux et d'eau (H₂O) par les racines.** En revanche, des différences sont présentées.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des productions de la classe. Précise dans chaque cas si la proposition permet d'expliquer la nutrition du végétal et pourquoi.

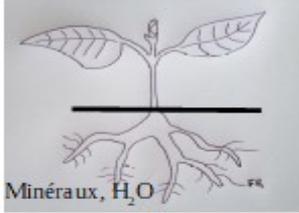
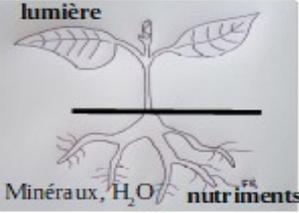
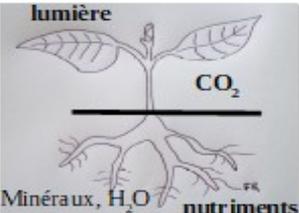
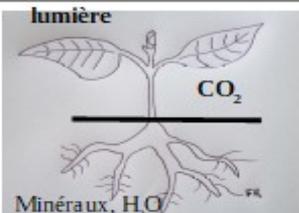
Propositions	Permet-elle la nutrition du végétal?	Pourquoi?
 <p>1</p>		
 <p>2</p>		
 <p>3</p>		
 <p>4</p>		

Figure 53 : document distribué aux élèves pour débiter la séance 2 (format A4)

Il est à noter que même si les propositions des groupes envisageaient déjà un fonctionnement de la plante (conception fonctionnaliste), comme celui-ci est souvent implicite et/ou incomplet et/ou de niveau de conceptualisation différent, nous ne souhaitons pas influencer les élèves. Aussi, les caricatures sont dépouillées de cet aspect. Notre idée est bien de faire réagir les élèves par l'intermédiaire des caricatures, un outil pédagogique peu ordinaire. Par ailleurs, le terme « nutriment » est privilégié car il est mobilisé dans certaines productions individuelles et de

groupes, or nous notons que le signifié du concept embrasse des notions différentes. Néanmoins, pour ceux qui n'emploient pas ce signifiant, il pourrait, nous le reconnaissons, perturber leurs réponses. Nous nous demandons également, dès à présent, si la question initiale était bien posée ou si la réponse des élèves est plus dans l'implicite. Nous précisons aussi que les hypothèses, qui sont comprises comme des entrées et sorties de matière et d'énergie, sont disposées sans aucun souci de hiérarchisation quant à leurs contenus pour éviter d'influencer les réponses des élèves (annexe 8).

Dans un premier temps, et pour chaque hypothèse, les élèves indiquent si « **Oui ou Non** » la proposition « **Permet-elle la nutrition de la plante ?** ». Ensuite, ils indiquent « **Pourquoi ?** ». L'objectif d'apprentissage visé, au regard du cadre théorique, est de commencer le travail de l'argumentation des élèves pour les préparer au débat. C'est une singularité de notre recherche car dans les autres travaux portés à notre connaissance qui utilisent ce processus didactique, les caricatures sont plutôt mobilisées après le débat scientifique pour analyser ce que les élèves ont retenu (Orange, 2007b ; Orange et Orange-Ravachol, 2007 ; Orange, 2012 ; Chalak, 2016). Ainsi, nous espérons mobiliser un discours argumentatif qui conduit à travailler les nécessités et qui dépasse celui du discours assertorique. Ce travail dure de 5 à 10 minutes selon les élèves. Dans un second temps, un débat collectif est proposé pour mobiliser les productions individuelles fraîchement composées. Pendant les échanges, les élèves ont conservé leur trace écrite pour pouvoir s'y référer. Les 4 hypothèses sont alors reprises tour à tour sous l'impulsion de notre posture d'enseignant. Une analyse liminaire (tableau 11) permet de situer ce moment de classe.

Tableau 11 : analyse liminaire du débat de classe

Durée du débat	12 minutes 30 secondes
Effectif réel	29 élèves présents + 1 caméraman¹⁶⁴
Tours de paroles lors des échanges	110
Participation réelle au débat / effectif	13 élèves soit 43 %
Répartition de la parole	9 grands interlocuteurs (3 à 10 interventions) 4 petits interlocuteurs (1 ou 2 intervention(s))

¹⁶⁴ 12 élèves de la classe suivent l'option « cinéma et audiovisuel » au sein du lycée.

3.3. Analyse des résultats

3.3.1. Méthodologie d'analyse des productions individuelles

En regard de notre cadre théorique (chapitre 2), l'analyse *a priori* nous conduit à penser que l'hypothèse 1 devrait être infirmée par tous les élèves puisqu'elle évoque une nutrition exclusivement souterraine et sans source d'énergie. L'hypothèse 2 devrait être discutée selon les connaissances des élèves puisqu'il manque la source de carbone du CO₂ pour fabriquer la matière organique de la plante. Nous rappelons que cette connaissance est étudiée dès les années collège en SVT. En revanche, seules les hypothèses 3 et 4 pourraient être validées puisqu'elles reprennent les besoins des plantes en matière et énergie pour assurer leur nutrition. Le terme « nutriments », que nous avons ajouté dans les hypothèses 2 et 3, pourrait permettre aux élèves de donner des explications inattendues dans la mesure où il est polysémique. Ainsi, le choix que les élèves ont à faire entre les différentes hypothèses 3 et 4 pourrait provoquer des réponses argumentées. Nous mobilisons donc les caricatures comme des outils au service de la problématisation des élèves.

Afin d'analyser les 27 productions individuelles (5 absents lors de cette séance), nous portons notre attention sur 3 critères principaux :

- l'accord ou le désaccord avec l'hypothèse : oui ou non ;
- le fonctionnement de la plante en terme de besoins : présence ou absence d'un ou plusieurs élément(s) ;
- le fonctionnement de la nutrition qui se traduit par des échanges ou par une réaction.

3.3.2. Résultats et discussion de l'analyse des productions individuelles

Pour l'analyse, nous reprenons l'ordre des 4 caricatures proposées par le document distribué aux élèves.

- **Hypothèse 1** : tous les élèves répondent que l'hypothèse est fausse « NON ». Ce qui signifie qu'il y a implicitement un minimum commun de connaissances qui pourrait être partagé. 18/27 justifient leur réponse par un manque d'élément(s), ce qui signifie que le fonctionnement est exprimé en besoins, par exemple NM indique : « *pas d'absorption de nutriments* ». 9/27 proposent une explication en utilisant la notion de photosynthèse comme

si son expression était une explication en elle même : JC « *photosynthèse impossible* ». D'autres, comme RL, proposent une explication plus explicite « *besoin de lumière pour transformer ce qu'elle absorbe* » ou MM « *pas de lumière donc pas de photosynthèse ni croissance* ». Seul l'élève MS construit sa réponse dans une logique déductive : « *il faut de la lumière pour que les chloroplastes de la chlorophylle (des feuilles) réalisent la photosynthèse, et donc par conséquent la synthèse de matière organique* ».

- **Hypothèse 2** : la majorité des élèves 20/27 infirment l'hypothèse. Pour justifier leur réponse 17/27 élèves expriment les besoins, par exemple NB écrit : « *n'absorbe pas de CO₂* ». Pour les 10 autres, c'est la focale photosynthèse qui est la plus présente pour expliquer le non fonctionnement de la caricature, ainsi BN écrit « *ce schéma oubli de montrer le rejet de CO₂* ». Ce gaz est compris alors comme un déchet de la respiration et non comme une source carbonée.
- **Hypothèse 3** : 25/27 élèves valident la proposition portée par la caricature. Cette hypothèse est, par conséquent, fortement partagée par la classe. 18/27 l'expriment par les besoins qui sont suffisants, JC indique : « *absorption eau, CO₂, nutriments non synthétisés + minéraux* ». Pour les 7 autres élèves, le fonctionnement proposé repose toujours sur la photosynthèse : « *car tous ces éléments permettent la photosynthèse par l'absorption par les feuilles et les racines* » écrit MM. L'élève EL note que « *le CO₂ relève de la respiration et non de la nutrition* ». Il s'agit probablement d'une méconnaissance de la fonction de nutrition dont la respiration est une sous fonction ou bien d'une difficulté conceptuelle à considérer les échanges gazeux comme un tout dans la plante. Nous avons déjà discuté de ce point dans la sous partie 2.2.1.3 avec les travaux de Hervé, Venturini et Albe (2014).
- **Hypothèse 4** : 16/27 infirment l'hypothèse, cette proposition de caricature est donc celle qui fait le moins de consensus entre les élèves et 16 l'expriment encore par des besoins, par exemple SR note : « *il manque les nutriments qui nourrissent la plante* ». Pour les autres élèves, certaines raisons sont exprimées : MN « *racines pas d'absorption* », RL « *toute cette matière se déploie grâce à la sève et est transformée grâce la lumière captée par les feuilles* », LB « *le CO₂ ne sert à rien, de plus ce n'est pas lui rentre en jeu pour la photosynthèse mais l'eau qui fabrique ensuite du CO₂* ». Nous considérons, pour ces 3 élèves, qu'il y a une réelle tentative d'explicitation fonctionnelle.

Lors de cette première activité, la majorité des élèves expriment une possibilité ou une impossibilité de fonctionnement de la nutrition de la plante par l'absence de besoin(s) : ce sont les

caricatures qui ont orientées leurs réponses en ce sens. Comme le document invitait les élèves à justifier leur explication pour chaque proposition (« permet-elle la nutrition du végétal ? » et « pourquoi ? »), nous pensons que la mobilisation de leurs connaissances n'est pas suffisante à ce stade ou bien que notre formulation n'incite pas assez à justifier. Environ 1/3 des élèves a proposé des raisons qui sont des tentatives d'explications de « non fonctionnement » donc d'impossibilité fonctionnelle. Les justifications sont essentiellement centrées sur la photosynthèse qui apparaît pour eux comme le mécanisme principal de la nutrition des plantes. Force est de constater que les contenus des programmes de SVT pourraient apporter une réponse à l'importance faite par les élèves du processus de la photosynthèse, notion abordée dès la classe de 5ème. Le phénomène d'absorption racinaire est la deuxième raison invoquée. Enfin, les échanges gazeux sont souvent sources de confusions car la photosynthèse est considérée comme une respiration inversée, ce que nous retrouvons aussi sur des sites internet¹⁶⁵ : « *cette réaction (la photosynthèse) permet aux plantes de produire du glucose grâce à de l'énergie [...]...est l'inverse de la réaction de la respiration cellulaire, et vice-versa* ». Ce qui souligne la difficulté conceptuelle à comprendre les échanges gazeux, c'est-à-dire à l'échelle moléculaire et à envisager la plante d'un point de vue systémique. La conception des élèves relèvent-elles d'une vision globale ou compartimentée du fonctionnement de la plante ?

Nous considérons donc que, pour notre analyse du questionnaire, un biais est inhérent à la succession des réponses des élèves et qu'il convient de porter un regard global sur les productions individuelles. Dans cette optique, la comparaison avec les représentations individuelles nous permet d'affirmer que les élèves ont davantage cherché à argumenter leurs réponses. Ce constat motive l'analyse du débat puisqu'il reprend successivement les 4 propositions illustrées par les caricatures.

3.3.3. Méthodologie d'analyse du débat

Puisque nous souhaitons comprendre ce qui se joue lors du débat scientifique de classe, lors de l'apprentissage par le processus de la problématisation du fonctionnement de la nutrition des plantes, deux méthodes d'analyse sont mobilisées. Nous les présentons succinctement avant de les distinguer pour l'analyse. La première, une structure argumentative (Orange, Orange-Ravachol et Lhoste, 2008) qui se construit à partir des éléments de discours relevés lors de la transcription (voir annexe 9) et où sont recherchées les positions argumentatives des locuteurs. La seconde, un espace

¹⁶⁵ Consultation du site « La photosynthèse et la respiration cellulaire - Alloprof » le 29/10/2021 (<https://www.alloprof.qc.ca>).

de contraintes pour repérer, en particulier, les nécessités qui pourraient être mises au travail. Pour sa réalisation, il est nécessaire de convoquer trois registres tels qu'ils sont définis par Orange (2012, p.42) et que nous reprenons : « *le registre empirique ou registre des faits, où sont notés les faits repérés comme pertinent pour le problème ; le registre explicatif, qui organise les explications, solutions du problème travaillé ; le registre des modèles où se développent les explications mais où ne sont notés ici que les nécessités* ». L'espace de contrainte structure les relations entre le registre empirique, le registre des modèles et le type d'explication avancé (Lhoste, Peterfalvi et Orange, 2007). La transcription de l'ensemble du débat (annexe 9) permet d'analyser les assertions qui sont des argumentations des élèves afin de construire un espace de contraintes qui comprend :

- un registre empirique qui affiche les faits retenus par les élèves en lien avec le problème de la nutrition de la plante. Il correspond à ce qui est dit par les élèves ;
- un registre des modèles qui expose les explications des élèves qui sont des nécessités au travail, autrement-dit ces explications sont des contraintes (conditions de possibilité) portant sur les modèles explicatifs tentant de « *rendre compte des faits jugés pertinents pour le problème travaillé* » (Orange, 2012, p.24) ;
- le registre explicatif qui organise les explications des élèves pour le fonctionnement de la nutrition des plantes.

3.3.4. La structure argumentative d'un épisode du débat

3.3.4.1. Le lancement du débat

L'hypothèse 1 (minéraux et H₂O) introduit le débat de classe (annexe 9), si nous considérons que le travail individuel sur les caricatures a permis de préparer les élèves, le positionnement énonciatif ne peut être engagé. Les tours de paroles sont des unités qui reflète le contexte du débat, nous nous attachons principalement à leur contenu¹⁶⁶. Toutefois, nous sommes conscients que nous ne pouvons accéder qu'aux propos entendus et que nous n'avons pas, par définition, accès à l'implicite. Les tours de paroles 1 à 22 sont marqués par les nombreuses interventions du professeur (10/22) qui cherche à dynamiser les échanges pour que le problème soit pris en charge par les élèves. Par ailleurs, ses interventions soulignent son désir de distribuer la parole et de conserver une neutralité dans ses propos : « *D'accord. Autre chose ? Oui.* » (5), « *oui* » (12), « *oui ?* » (18). Les premières interventions des élèves sont brèves et reprennent les justifications, que nous avons

¹⁶⁶ « L'ensemble des techniques des communications visant par des procédures systématiques et objectives de description du contenu des messages à obtenir des indicateurs qui permettent l'inférence de connaissances relatives aux conditions de production et/ou réception de ces messages » (Bardin, 1977, p.47).

constatées dans les productions individuelles, sous forme de besoins : « *Heu..le premier schéma il ne permet pas la nutrition du végétal. Car heu la plante ne reçoit pas de lumière et heu, du CO₂.* » (Neïla, 2) et « *Et du coup heu sans lumière la photosynthèse elle heu peut pas avoir lieu. Donc heu...la plante ne peut pas s'alimenter.* » (Barbara, 4). La discussion se poursuit avec Rémi (6) qui introduit le terme de nutriment : « *Et heu, moi j'ai, je disais qu'il y a pas de nutriments non plus, et j' pense que ça a..un rôle dans..la nutrition d'la plante* ». 7 élèves (Simon L., Théo, Barbara, Neïla, Jules, Faustine et Mathilde) vont intervenir pour discuter plus du terme lui-même que du fonctionnement de la nutrition de la plante. Ainsi Théo (10) affirme « *Heu les nutriments c'est plus la matière organique* », Neïla (13) ajoute : « *Les nutriments ils peuvent être heu, utiles* » et Faustine (17) « *Pour moi les nutriments ils permettent heu, ils permettent la croissance et heu le développement de la plante surtout* ». Le lancement du débat a permis de mettre au travail le problème de la nutrition des plantes voire de le reconstruire en faisant poindre un sous problème : qu'est-ce qu'un nutriment ? Nous constatons également que les élèves s'appuient majoritairement sur les caricatures pour étayer leur discours : elles ont donc une fonction d'induction à l'argumentation. Le débat est clos sur cette première caricature par une prise de parole de l'enseignant (20) qui récapitule et sollicite les élèves : « *Est-ce qu'il y en a d'autres qui veulent ajouter quelque chose là-dessus ou pas ? Donc, globalement ce schéma, il marche ou il ne marche pas, pour vous ?* ». Plusieurs élèves répondent « non » (21).

3.3.4.2. La poursuite du débat

Notre objectif est d'analyser la suite du discours des élèves en prenant en compte leur argumentation. La structure argumentative tente de montrer la dynamique du discours (Orange, Lhoste et Orange-Ravachol, 2008). Celle que nous présentons est, de notre point de vue, fortement argumentative, ce que nous justifierons à la suite de la figure 54, l'axe du déroulement du débat est orienté du haut vers le bas ; les propositions sont situées sur deux verticales pour rendre compte de la complexité des échanges ; les flèches, verticales ou biaisées quand il y a une objection ou un dépassement de l'objection, correspondent aux interactions entre les différentes propositions (énoncé de la thèse, dépassement, confirmation du dépassement, objection, prolongement, confirmation de l'objection, nouvelle thèse). L'épisode sélectionné, des tours de paroles 23 à 41, nous semble pertinent pour présenter la dynamique argumentative du débat. L'épisode présenté correspond à l'hypothèse 2 où « la nutrition de la plante a besoin des minéraux, de l'H₂O et de la lumière et des nutriments ». Il est à noter que, plus loin (3.3.5), nous présentons un second outil

d'analyse pour l'ensemble du débat : un espace de contraintes. L'intérêt est de prendre en compte l'ensemble du positionnement des élèves vis-à-vis des 4 hypothèses.

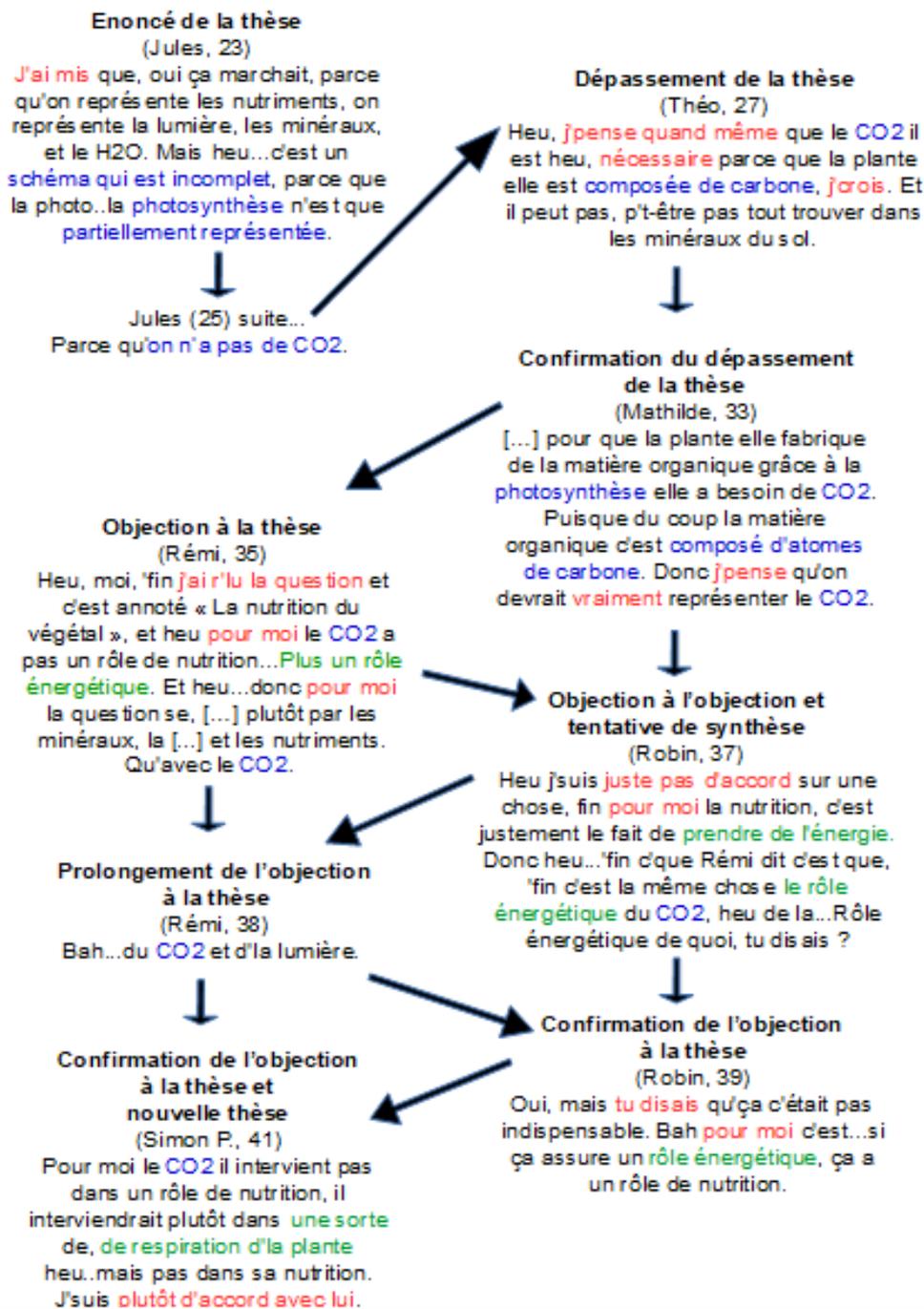


Figure 54 : structure argumentative associée à un épisode du débat « Caricature n°2 : la nutrition de la plante nécessite de la lumière, des minéraux, de l'eau et des nutriments»(En rouge : position énonciative de l'élève¹⁶⁷ / En bleu : éléments de la thèse / en vert : nouvelle thèse)

167 Voir sous partie 3.1.2. où nous précisons les positions énonciatives définies selon le modèle trilocal : proposant, opposant et tiers (Plantin, 1996 ; 2005).

L'épisode fait intervenir sept élèves et il est, selon nous, manifestement fortement argumentatif car il y a des thèses, des objections, des réfutations. De surcroît, les réponses sollicitent le répertoire des connaissances scientifiques des élèves en lien avec le problème en jeu. Notre grille de lecture, qui s'appuie sur le modèle trilogal de Plantin (1996; 2005), indique que les élèves proposent, s'opposent ou endossent un rôle de tiers lorsqu'ils s'interrogent sur la proposition. En effet, lorsque Jules (23) argumente et fait figure de proposant, il cite le CO₂ qui est absent de l'hypothèse 2 et manifeste l'impossibilité d'une photosynthèse qui n'est que « *partiellement représentée* » et qui ne peut donc pas fonctionner. Cela ne peut pas en être autrement (nécessité) pour lui. Selon nous, Théo (27) est dans une autre proposition énonciative en confirmant la thèse de Jules tout en modifiant ses propos par un « *j'pense quand même* » dans une forme d'opposition douce : il dépasse donc la thèse de Jules et s'interroge. Il endosse donc le rôle de tiers. S'il relève l'importance du CO₂, il indique que l'élément carbone C intervient dans la composition de la plante. Par ailleurs, il fait l'hypothèse que le carbone ne se trouve pas dans le sol. L'utilisation du « *j'crois* » et « *p't'être pas* » indique qu'il ne peut cependant justifier davantage son argumentation par manque de connaissances ou bien, pour nuancer ses propos par des figures de rhétorique. Mathilde (33) manifeste son accord avec Théo en apportant des précisions : elle associe, dans un raisonnement déductif, photosynthèse et matière organique puis matière organique et carbone. Mais un opposant à cet épisode est incarné par Rémi (35) qui justifie et légitime son intervention par « *moi j'ai r'lu la question* ». Son argument déplace le problème du CO₂ de la nutrition vers le « *rôle énergétique* ». Y a-t-il un malentendu ? C'est ce que semble penser Robin (37, 39) qui discute des concepts de nutrition et d'énergie mais qui termine son discours d'abord de façon confuse « *rôle énergétique de quoi, tu disais ?* », puis plus affirmée « *si ça assure un rôle énergétique, ça a un rôle de nutrition* ». Robin exprime donc une évolution de sa pensée ou de l'expression de sa pensée ou d'une prise de conscience de ses mots lors de son intervention. En fin d'épisode, Simon (41), joue un rôle singulier : celui d'organisateur du discours qui prend une position consensuelle. En effet, tout en imposant sa pensée « *pour moi* » « *une sorte de, de respiration* » (une respiration inversée), il ajoute « *j'suis plutôt d'accord avec lui* » en visant Robin (signe perceptif à la vidéo), assurant également à Rémi une forme de solidarité implicite en évoquant « *la respiration* », alors que ce dernier avait abordé « *un rôle énergétique* ». Simon a donc, selon nous, un rôle de tiers puisqu'il doute tout en prenant en charge le problème de l'origine du carbone et du rôle du CO₂.

La structure argumentative révèle des interactions entre les sept élèves. Le discours semble avancer vers une pensée construite puisque les élèves argumentent en puisant dans leurs connaissances scientifiques. Si les caricatures ont été inductrices de l'argumentaire, tout l'intérêt de

la structure argumentative révèle que c'est dans les interactions que se cimente le discours, que des négociations implicites et explicites sont nécessaires pour faire avancer le problème. Toutefois, le problème de l'absence du CO₂ pour réaliser la photosynthèse se déplace vers un aspect énergétique du métabolisme. De plus, la distinction nutrition et respiration est marquée par le concept d'énergie de façon implicite puis explicite (Robin). Le débat permet donc de poursuivre le travail du problème en faisant émerger celui du rôle du CO₂ en le reliant à un problème énergétique sous-jacent. Cette mise au travail du problème que caractérise la structure argumentative correspond, selon nous, à de la problématisation à une échelle d'un épisode du débat. Pour passer à une autre échelle, celui de l'ensemble du débat, nous construisons maintenant des espaces de contraintes (chapitre 3).

3.3.5. Des espaces de contraintes pour rendre compte de la problématisation lors du débat

Nous présentons, en amont des deux espaces de contraintes (figure 61 et 61 bis), les modalités permettant leur construction. L'analyse préalable de l'ensemble du débat (annexe 9) a été réalisée en repérant ce qui pouvait relever des différents registres empiriques, des modèles et explicatif.

3.3.5.1. La construction d'un espace de contraintes

Le cadre théorique de la problématisation nous aide à comprendre ce que « *l'on retient dans l'activité des élèves comme relevant de la construction des raisons* » (Lhoste, 2017, p. 2). Pour la réalisation d'un espace de contraintes, il est nécessaire de convoquer trois registres tels qu'ils sont définis par Orange (2012, p. 42) et que nous reprenons pour familiariser le lecteur avec cet outil de recherche en didactique : « *le registre empirique ou registre des faits, où sont notés les faits repérés comme pertinent pour le problème ; le registre explicatif, qui organise les explications, solutions du problème travaillé ; le registre des modèles où se développent les explications mais où ne sont notés ici que les nécessités* ». L'espace de contrainte s'annonce donc comme une structure des relations entre le registre empirique, le registre des modèles et le type d'explication avancé.

La transcription de l'ensemble du débat permet d'analyser l'argumentation des élèves afin de construire un espace de contraintes où :

- un registre empirique RE qui affiche les faits retenus par les élèves en lien avec le problème de la nutrition de la plante ou ceux qui sont évoqués dans sa construction ;
- un registre des modèles RM, qui conduit à exprimer les explications des élèves, ces dernières étant des conditions de possibilité portant sur les modèles explicatifs tentant de

« rendre compte des faits jugés pertinents pour le problème travaillé » (Orange, 2012, p. 24) ;

- le registre explicatif REX correspond « au monde mental sur lequel s'appuie la construction d'un modèle et lui donne les qualités explicatives » (Orange, 2012, p.132), ici nous le considérons comme biochimiste car les élèves associent les molécules apportées et/ou synthétisées pour que cela fonctionne ou vitaliste lorsqu'ils confèrent une force vitale qui permet le développement des plantes.

Nous présentons ci-après les différents registres que nous avons inférés de l'analyse du débat de classe.

3.3.5.2. Le registre empirique des élèves (RE)

Le RE, que nous dessinons à partir du discours des élèves de la classe, indique que des acquis de savoirs scolaires sont mobilisés. Puisque nous ne retenons que les éléments qui sont impliqués dans l'établissement des raisons¹⁶⁸, ceux-ci relèvent selon nous de l'empirisme. Certains faits exposés sont validés par l'ensemble des élèves sans être discutés. Nous constatons d'ailleurs que les deux premières caricatures sont peu explicitées, ce qui confirme les travaux d'Orange (2012) pour qui les fondements des argumentations sont rarement argumentées. Dans cette première partie du débat nous relevons 42 tours de paroles / 110 et le professeur intervient souvent pour relancer (19 fois). Ainsi, les propositions intègrent dès les premiers tours de paroles des matières indispensables à la nutrition (eau, minéraux, CO₂, carbone, nutriments) et de l'énergie (lumière). Nous notons également dans le verbatim des organes d'absorption soit avec précision (Mathilde 89 « les racines ») soit avec imprécision (Robin 50 « au corps de la plante »), ce qui dans ce dernier cas illustre une pensée anthropomorphique. Par ailleurs, la synthèse de la molécule de glucose revient à de nombreuses reprises comme un savoir partagé, 15 occurrences lors du débat ce que nous attribuons alors à une nécessité pour le modèle. Il en est tout autrement avec la respiration comme l'exprime Angelo (52) « déjà selon moi une plante ne respire pas », le registre empirique est donc toujours en cours de négociation à la moitié du débat. Certaines notions étudiées au collège¹⁶⁹ sont absentes, nous pensons qu'elles n'ont pas été assez mobilisées à l'école ou bien qu'elles se réfèrent à un autre registre empirique, c'est-à-dire à un autre problème. À ce stade, le nom des

168 Nous reprenons à notre compte la définition de « raison » proposée par Orange (2012, p. 131) : « toute argumentation scientifique qui permet de délimiter le champ des possibles [...] sous forme de nécessités qui sont des conditions de possibilité des modèles explicatifs scientifiques ».

169 MEN, B.O. spécial n°11 du 26 novembre 2015, cycle 4, SVT, p. 346 : « Relier les besoins des cellules d'une plante chlorophyllienne, les lieux de production ou de prélèvement de matière et de stockage et les systèmes de transport au sein de la plante ».

molécules biochimiques est rarement connu, seule exception le glucose, peut-être du fait du cloisonnement disciplinaire entre chimie et biologie ou encore de leur absence dans les programmes de SVT.

3.3.5.3. Le registre des modèles (RM)

Le RM, qui résulte de l'analyse de l'ensemble du débat, accepte des nécessités qui sont des contraintes sur le modèle envisagé : nécessité d'absorption pour nourrir les plantes (l'eau, les minéraux, la lumière, le CO₂), nécessité d'échanges (la photosynthèse, la respiration) et nécessité de synthèse de matière organique. Ce registre pourrait être induit par les quatre caricatures qui forcent chaque élève à la construction d'une explication rationnelle. En revanche, en regard des savoirs scientifiques (chapitre 2), nous relevons l'absence de la nécessité de déplacement des matières (importation et exportation). Comment l'expliquer ? Nous pensons que si les mécanismes d'absorption sont évoqués ou présentés lors d'activités pratiques des séances de SVT, ils restent des savoirs propositionnels. De plus, les lois de diffusion des gaz, d'absorption de l'eau et des minéraux n'étant pas du ressort du second degré. Nous considérons donc que cette nécessité de déplacement des matières n'est pas présente dans le débat car soit elle est implicite, soit les élèves n'ont pas les connaissances nécessaires pour en discuter. La nécessité d'échanges, quant-à-elle, est représentée exclusivement par le rejet des gaz (O₂ ou CO₂). Mais nous relevons que le CO₂ est considéré différemment selon le registre des modèles mobilisé : respiration ou photosynthèse ? Apport ou déchet ? L'eau H₂O vapeur n'est pas considérée dans le RE des élèves, nous pensons qu'il est négligé dans les bilans de classe, en témoigne la majorité des manuels scolaires. Une autre explication est que le monde de l'invisible est également un obstacle fréquent en SVT (les molécules, les cellules, les microbes...). Pour les élèves, le substantialisme est également marqué par l'idée que l'entrée de substances procure un principe suffisant pour nourrir la plante (Orange, 1997).

3.3.5.4. Le registre explicatif (REX)

Le REX reprend les éléments du raisonnement des élèves qui dessinent un modèle de « science normale » pour reprendre l'expression d'Orange (1997) qui, même s'il est faux sur le plan scientifique, fonctionne pour eux. Si nous reprenons le discours des élèves lors du débat, deux registres explicatifs pourraient émerger. Le premier pourrait être de type biochimiste (« la plante

va les transformer en, en nutriments, fin les casser et les reconstruire en nutriments » Robin ; « *oui dans la, dans la feuille* » Barbara). Le second pourrait être attribué au vitalisme, comme si les substances par leurs qualités profondes agissaient *de facto* (« *les apports sont nécessaires pour vivre* » Simon ; « *Bah des vitamines* » Rémi ; « *du terreau pour que la terre la plante se développe* » Nour). Les explications proposées par les élèves « *prennent sens dans une certaine vision du monde faite de présupposés considérés comme allant de soi et qui ne sont pas remis en cause* » (Orange, 2012, p.25).

Les REX sous-jacents que nous identifions, sont confirmés par de nombreuses recherches en sciences de l'éducation. Ceci est en adéquation avec les obstacles épistémologiques de type empirique, substantialiste et anthropomorphique que nous avons relevés lors de l'analyse de notre premier recueil de données (Rouquet, 2019). De plus, dans ce réseau de connaissances qui s'expriment lors du débat, nous identifions deux obstacles issus de notre analyse. Le premier est classique. Il correspond à un obstacle substantialiste mis au jour par la présence même de la matière : selon Bachelard (1938/2011) une explication commence souvent par l'hypothèse d'une cause matérielle ou d'un substrat solide dont le phénomène ne serait qu'un effet. Le second concerne les nutriments. Nous l'identifions comme un obstacle sémantique, dans la mesure où les élèves ne prêtent pas la même définition : « sels minéraux, sol, engrais, éléments, terre, terreau, sédiments, composants, aliment, molécule de la terre ». Ce qui, lors du discours, ajoute des confusions dans la pensée des élèves, comme un bruit de fond cognitif.

3.3.6. Les espaces de contraintes construits pour le fonctionnement de la nutrition des plantes

Afin de rendre compte de la dynamique du débat (annexe 9), deux espaces de contraintes sont proposés : à petite échelle (épisode du débat, figure 55) et à grande échelle (débat dans sa totalité, figure 56). Les figures schématisent les mises en tension qui s'effectuent lors du débat entre le registre empirique et celui des modèles. Par rapport à la structure argumentative, tout l'intérêt de cette modélisation est de présenter, sous forme schématique, les éléments qui sont mis en discussion lors du débat ainsi que les raisons qui y sont associées. *In fine*, l'espace de contraintes permet de rendre compte ce qui s'est joué lors du débat : la construction/reconstruction du problème, les sous problèmes ou nœuds problématiques et comment ils sont pris en charge par les élèves. Le premier illustre un sous problème du débat, celui de l'origine et du devenir du carbone pour la plante. Nous choisissons cet épisode car il caractérise un point de tension que nous qualifions de fort dans les

échanges entre élèves : il les mobilise dans la plupart de leurs argumentations (annexe 9). Nous pensons, encore une fois, que les caricatures 3 et 4 ont favorisé les échanges puisque les élèves s'appuient sur elles dans leur discours.

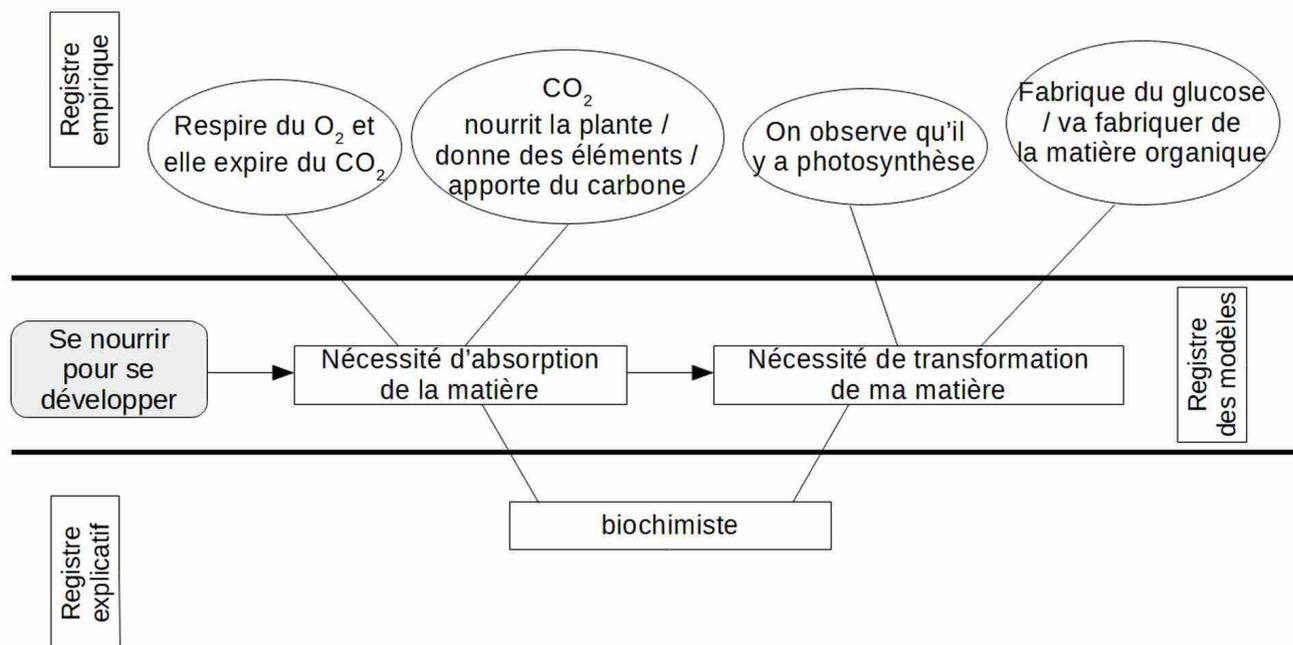


Figure 55 : Espace de contraintes pour l'épisode du débat des tours de paroles 34 à 66 (caricatures 3 et 4) où il est question de faire émerger la source du carbone

Les mises en tension entre RE¹⁷⁰ et RM soulignent les confusions entre respiration et photosynthèse au niveau des échanges gazeux : Jules (113) indique que « *la photosynthèse fait que elle expire plus de CO₂, plus de CO₂ qu'elle n'en rejette et heu elle expire donc plus d'O₂ qu'elle n'en respire.* » ou Théo (143) « *c'est pas vraiment d'la respiration c'est quand elle récupère du CO₂.* ». Le registre explicatif infra, pourrait être biochimiste, et nous savons alors qu'il existe « *des obstacles au transfert d'une discipline à l'autre* » (Rumelhard, 1985, p.47).

Le second espace de contraintes illustre la totalité du débat. Il montre comment le registre empirique a évolué autour du problème du fonctionnement de la nutrition des plantes. Nous avons expliqué que les caricatures 1 et 2 avaient été peu discutées. Lorsque le professeur (tour de parole 42) annonce que la discussion se focalise désormais sur la caricature 3, une élève qui ne s'était pas exprimée jusqu'alors prend la parole. En effet, Nour (43) fixe les données comme s'il s'agissait d'une synthèse et les élèves semblent valider ses propos en ne répondant pas : « *Moi j'pense que c'est plus complet, parce qu'on retrouve heu, plus ou moins ce dont la plante a besoin, avec heu, les*

170 Les formulations des élèves font références, implicitement, à des activités manipulatoires réalisées en spécialité SVT grâce au dispositif d'EXpérimentation Assisté par Ordinateur (« on observe qu'il y a photosynthèse... »).

minéraux, heu l'eau, et les nutriments heu, la lumière et le CO2 qu'elle absorbe. Donc heu, tout ce dont la plante nécessite bien c'est représenté sur le schéma. ». Ensuite, les caricatures 3 et 4 vont focaliser les échanges autour du mot « nutriment ». Celui-ci s'affiche, selon nous, comme un sous nœud du problème : quel signifié cache t-il pour les élèves ? Pour certains élèves il s'agit d'un besoin, ainsi Jules (76) donne sa définition : « *Bah ce qu'elle ne peut pas synthétiser* » alors que pour d'autres comme Robin (107) « *elle va, la plante va les transformer en, en nutriments, fin les casser et les reconstruire en nutriments.* ». Les quatre caricatures pourraient être, d'après l'analyse du verbatim, à l'origine du registre explicatif que les élèves mobilisent pour construire leurs explications au problème. D'abord, la discussion des caricatures 1 et 2 autour des besoins de la plante (nécessité d'absorption des matières), ensuite les caricatures 3 et 4 pour questionner la nécessité de transformation de cette matière.

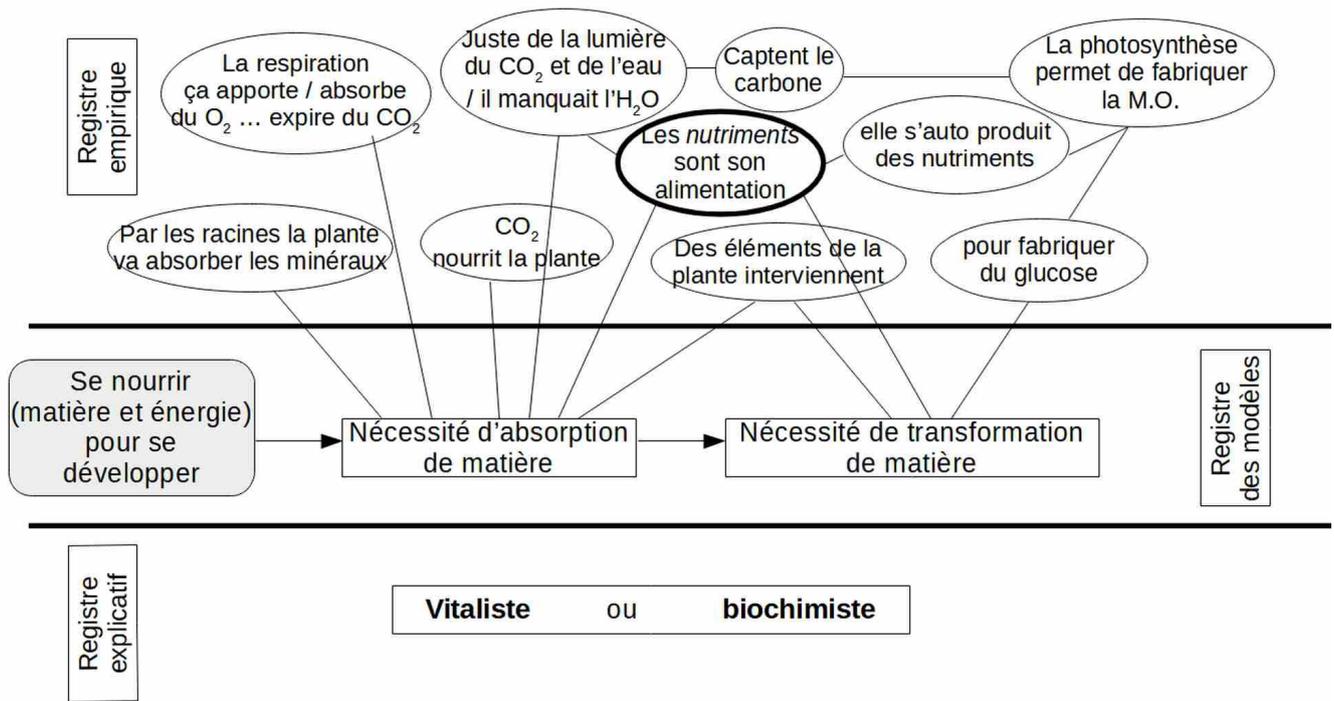


Figure 56 : espace de contraintes convoquant les trois registres lors de la séance relative à la totalité du « débat concernant les quatre caricatures (hypothèses) »

Les mises en tension entre RE et RM se chevauchent dans deux REX différents. S'agit-il de deux façons différentes de problématiser pour les élèves ? Selon nous, la coexistence de deux REX n'est pas un frein au débat car les élèves peuvent poursuivre leur argumentation tout en pensant que l'ensemble des protagonistes raisonne dans le même domaine explicatif sans pour autant se comprendre. D'autant qu'ils s'appuient sur le travail des caricatures réalisé individuellement puis en petits groupes avant le débat collectif. Nous rejoignons ainsi la logique complexe de sens de Sallaberry (2011) et le paradoxe qui naît du court-circuit entre le niveau individuel et collectif. En effet, lors du débat, il existe un consensus collectif qui ne fait pas abstraction des désaccords, il les met en arrière plan (Sallaberry et Vannereau, 2010). C'est toute l'ambiguïté de la construction d'une connaissance collective : la collaboration ne va pas de soi et contraint les protagonistes à composer avec les contradictions. Ainsi, l'enseignant a-t-il intérêt à endosser la posture du tiers pour limiter/éviter les faux débats et dépasser les consensus qui inhibent l'argumentation des élèves. Par exemple, lorsque Jules (70) dit : « bah, l'absence de nutriments », le professeur (71) relance par un : « Ok. Est-ce que le schéma il marche ou pas ? » ou bien « Alors qu'est-ce qui manquerait selon toi ? » (professeur, 73). Nous soulignons dans la figure 61 bis « les nutriments sont son alimentation » puisque lors du débat, selon nos inférences, des confusions sont au cœur de la construction du problème de la classe. Nous convenons également que, selon le registre explicatif

mobilisé consciemment ou inconsciemment par les élèves, les nécessités pourraient être différentes, toutefois elles émergent de notre point de vue dans un consensus de classe.

3.4. Bilan de la séance 2

Notre thèse est que, dans le cadre de cette recherche, le travail sur les caricatures facilitent l'apprentissage par problématisation en développant l'argumentation des élèves en amont du débat lors du travail du problème. Notre réponse est étayée par les quatre points suivants :

- Le premier point relève de l'analyse de l'ensemble du discours. Il permet de pointer des questionnements intermédiaires dans les propositions des élèves (le rôle de la matière, la respiration, le concept d'énergie, les nutriments). Ce questionnement est, selon nous, un signe d'engagement dans la problématisation et les caricatures pourraient avoir eu un rôle de facilitateur et/ou de déclencheur dans l'argumentation des élèves. En effet, avant le débat, la discussion en petits groupes pour les différentes caricatures les oblige à faire un travail de désyncrétisation (Orange, 2001) : des négociations sur les accords et désaccords des éléments figurés engagent aux échanges. Cela pointe un intérêt majeur pour développer l'argumentation des élèves alors qu'initialement leurs réponses individuelles relèvent plutôt d'un syncrétisme où se mêlent les éléments des RE et RM.
- Le second concerne le débat scientifique et la construction des connaissances. Celui-ci incite les élèves à mettre au travail des obstacles de leur registre empirique puisque les justifications avancées invitent à la controverse, les thèses exposées sont discutées, argumentées, réfutées ; d'où les changements possibles de positions énonciatives et des remises en question (Plantin, 1996 ; 2005). Ils peuvent être marqués, lors du débat, par une absence de prise de paroles, des hésitations (Théo, 27 : « j'crois [...] p't-être pas » ou Mathilde, 65 : « C'est p't-être les nutriments que lui apportent un autre organisme ou que elle elle fin... »). C'est que dans l'acte même de connaître apparaît « une forme de nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des troubles » (Bachelard, 1938/2011, p.14). Plusieurs obstacles épistémologiques sont en relief dans le discours des élèves, notamment l'empirisme, le substantialisme et l'anthropomorphisme, nous pointons également un obstacle sémantique, celui de « nutriments ».
- Le troisième se focalise sur les caricatures, elles sont originales puisque issues de l'analyse des productions de groupes d'élèves. Ces caricatures conduisent à combattre « les séductions de la facilité » (Bachelard, 1938/2011, p.55) c'est-à-dire qu'elles pourraient

forcer les élèves à justifier leur réponse donc à construire une argumentation. Contre la connaissance générale des élèves, le débat a pour conséquence de soulever des nécessités propres à une forme d'apodicticité. Or, les caricatures sont mobilisées comme une préparation au débat afin d'initier la réflexion des élèves face au problème posé. Ainsi, elles permettent d'amorcer leur argumentation avant de pouvoir les confronter. Selon nous, c'est un objectif premier pour construire des savoirs scientifiques. Toutefois, nous prenons comme première limite le nombre de participants au débat, même si dans ce cas 43 % (14 élèves parmi les 32 élèves) représente une proportion non négligeable. La seconde pourrait être associée à la distance entre la pensée écrite et son expression oralisée inscrite dans le discours de l'élève. Cette difficulté, que nous avons souhaitée minimiser par les caricatures, est un double frein : pour l'élève qui peut peiner à exprimer ses idées et pour le chercheur qui peut interpréter ou surinterpréter des propos ou qui est dans l'abîme de leur absence.

- Enfin, le quatrième, surgit des espaces de contraintes qui montrent lors de notre analyse et au regard des points précédents, une forme de complexité dans le réseau des faits mobilisés par les élèves, à l'origine des tensions entre RE et RM. De plus, d'après nos inférences lors de l'analyse du débat, le registre explicatif, vitaliste et/ou biochimiste, laisse penser que plusieurs discours se superposent : l'unicité des points de vue est impossible. D'ailleurs peut-il en être autrement? En revanche, force est de reconnaître une avancée dans la résolution du problème grâce aux tensions qui émergent entre RE et RM : une mise au travail du problème dans une perspective heuristique, c'est à dire de la problématisation. On passe ainsi réellement « *d'une épistémologie de la réponse à une épistémologie de l'enquête* » (Fabre, 2017, p.100). L'activité de problématisation étant comprise comme « *une mise en tension entre des éléments du registre empirique [...] et des éléments du registre des modèles* » (Lhoste, 2017, p. 4), nous considérons que les caricatures auraient pu permettre de faciliter la problématisation par le travail préalable de l'argumentation dans cette situation forcée.

Pour autant, si nous mesurons les effets sur le groupe classe, qu'en est-il au niveau individuel ? Le processus de problématisation amorcé peut-il être développé davantage ? Le débat a mis en avant l'obstacle sémantique « les nutriments ». Se pose alors la question des idées que veulent exprimer les locuteurs et comment elles sont comprises par les autres élèves lors du débat car « *un discours argumentatif est toujours polyphonique* » (Perrin-Schirmer, Auricchio et Masseron, 2004, p.171). C'est pourquoi, pour continuer l'investigation de notre recherche, nous avons eu à cœur de poursuivre le travail de problématisation pour développer les raisons qui sont donc des nécessités sur les explications avancées. Tel est l'objectif principal de la séance 3.

4. TROISIÈME SÉANCE : LA POURSUITE DU TRAVAIL SUR LES NÉCESSITES

Cette troisième séance de la séquence forcée est en continuité temporelle et didactique avec la précédente. Nous commençons par présenter l'objectif de recherche, puis son déroulement, les résultats et leur mise en discussion et, enfin, nous dressons un bilan.

4.1. Objectif de recherche de la séance 3

Dans un cadre didactique, puisque nous visons à faire évoluer les connaissances des élèves vers des savoirs apodictiques, les argumentations des élèves avancées dans la séance 2 sont des propositions aux explications recherchées et elles « *vont permettre aux élèves de comprendre les limites de ces propositions et donc de les préparer à un changement conceptuel* » (Orange, 2012, p.38). Le positionnement théorique nous permet d'éclairer davantage les objectifs sous-jacents de la séance 3 dont le principal est de poursuivre l'apprentissage par problématisation en cherchant à mettre au travail des obstacles épistémologiques. Il s'agit donc de justifier la question de recherche suivante : comment les élèves construisent les savoirs apodictiques du fonctionnement de la nutrition des plantes en mobilisant l'apprentissage par problématisation ? Nous développerons ensuite la méthodologie de la séance avant de proposer les résultats et de les discuter.

4.1.1. Présentation succincte de la séance 3

La séance 3 est réalisée le lendemain de la séance 2, d'une durée de 40 minutes, elle se découpe en deux temps :

- une production écrite réalisée en binôme pour mobiliser le travail effectué la veille et préparer le nouveau débat scientifique. Il s'agit de classer des raisons évoquées par les élèves lors de la séance 2 (figure 63). Le travail en binôme pourrait permettre aux élèves, qui ne se sont pas manifestés lors du premier débat, de pouvoir exprimer leur point de vue. Cela peut enrichir le registre empirique où les faits sont potentiellement, soit repris, soit enrichis pour le second débat.
- un débat collectif.

4.1.2. La mise au travail d'obstacles épistémologiques

Il nous semble pertinent d'approfondir maintenant cette focale de la séance 3 en nous appuyant sur le cadre théorique du chapitre 1. Dans ce premier chapitre, lorsque nous avons explicité les obstacles épistémologiques rencontrés par les élèves, c'est que nous pensons qu'ils peuvent être à l'origine de difficultés d'apprentissage et qu'il est indispensable de les mettre au travail pour faire évoluer leurs représentations. Or, lors de la séance 1 qui nous a permis de préparer la mise en place des caricatures, nous avons relevé les productions individuelles et de groupe des élèves : celles-ci révèlent bien des obstacles. Même s'il s'agit d'une étude de cas, la comparaison d'une production d'un élève de Terminale scientifique avec la composition¹⁷¹ d'un élève ordinaire de cycle 2 permet de souligner les points communs et les différences relatives à la compréhension de la nutrition des plantes. La figure 57 nous conduira à cette comparaison que nous reprenons dans le tableau 12.

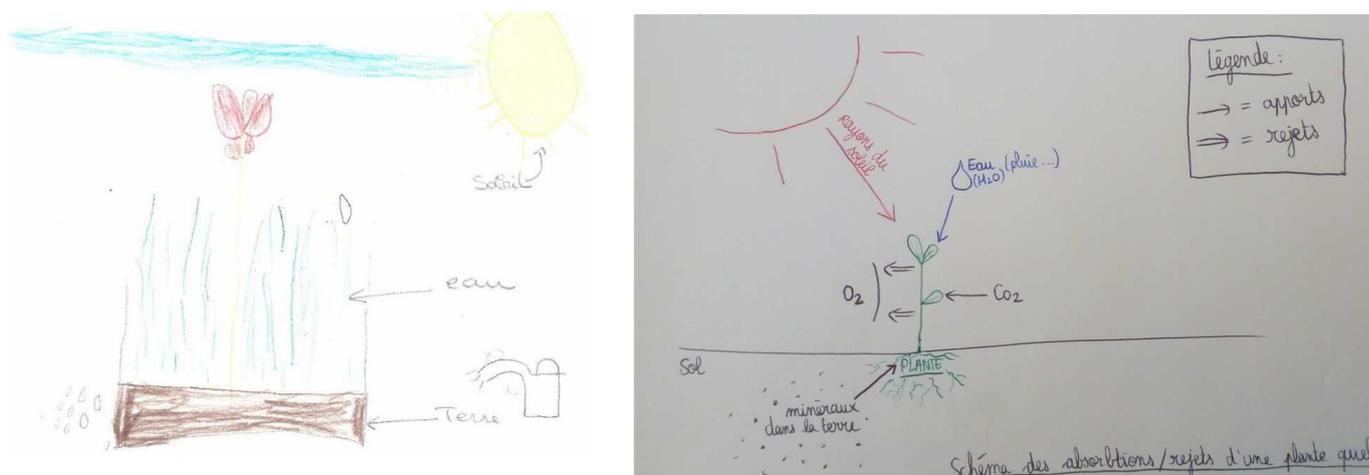


Figure 57 : comparaison de deux productions d'élève qui répondent à la question : comment une plante se nourrit-elle ? (à gauche : élève de cycle 2 – à droite : élève de Terminale scientifique)

L'expérience première est, nous l'avons dit en référence aux travaux de Bachelard, le premier obstacle. Les faits établis par les élèves sont que le soleil, l'eau et la terre sont nécessaires pour toute plante fixée visible dans l'environnement proche. Cela relève d'un obstacle empirique. De plus, l'apport de matière minérale suffit pour justifier le développement de la plante, ce qui raisonne avec un obstacle substantialiste. Ces deux obstacles avaient été déjà identifiés par des

¹⁷¹ Pour cette production, une dictée à l'adulte a permis d'ajouter des légendes. Nous ne souhaitons pas multiplier les exemples d'illustrations car, d'après l'expérience de formateur que nous avons des productions des élèves de cycle 2, ce dessin est représentatif de la production possible d'un élève de 7-9 ans.

travaux en didactique sur le même thème, notamment par Rumelhard (1985). Ils sont à prendre en compte dans la suite de notre séance puisqu'ils expliquent la mise en relation des registre empirique et explicatif des élèves.

Tableau 12 : comparaison des deux productions d'élèves cycle 2/Terminale scientifique

Éléments de comparaison	Élève de cycle 2	Élève de Terminale scientifique
Points communs : présence...	<p>obstacle empirique</p> <ul style="list-style-type: none"> - du soleil - d'eau sans distinction du lieu d'absorption - de terre / minéraux de la terre <p>-----</p> <p>obstacle substantialiste</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'ensemble des substances permet un bon développement 	
Différences notables	<ul style="list-style-type: none"> - la terre semble être un lieu mystérieux - le soleil est important toute les parties la plante 	<ul style="list-style-type: none"> - la plante absorbe des minéraux grâce à des racines - les feuilles vertes captent les rayons du soleil - la photosynthèse est représentée par l'absorption de CO₂ et le rejet d'O₂ - la notion de molécule et de gaz- H₂O, CO₂ et O₂)

Les différences que nous relevons s'expliquent par le niveau de conceptualisation plus avancé des élèves de Terminale, du fait de leur âge, mais aussi par des nouvelles notions abordées grâce aux savoirs scolaires ou hors scolaires : absorption racinaire, rôle de la chlorophylle, photosynthèse, molécules.

4.2. Le déroulement de la séance 3

La séance 3, d'une durée de 40 minutes, se découpe en deux temps. Une production écrite, réalisée en binôme, portée par le document présenté dans la figure 58 ci-dessous et un débat collectif.

Terminale S - Thème 1 – Partie A – Chapitre 5 : la vie fixée des plantes

Initialiales:

Lois de la séance précédente, les propositions qui expliquent la nutrition du végétal convergent toutes vers le schéma 3 qui présente :

lumière + CO₂ + minéraux + H₂O + nutriments.

Les autres propositions indiquent le plus souvent que la nutrition du végétal n'est pas possible, plusieurs raisons sont invoquées. Vous devez classer les raisons ci-dessous. Votre réponse sera consignée dans un tableau.

La nutrition du végétal n'est pas possible car...

1]: car les minéraux et l'eau du sol ne suffisent pas pour nourrir le végétal	8]: car les nutriments sont absents mais la présence de CO ₂ permettra à la plante d'en produire
2]: car il faut tous les éléments pour permettre la photosynthèse	9]: car il manque les nutriments indispensables pour se nourrir
3]: car le CO ₂ ne nourrit pas la plante	10]: il ne reçoit pas de lumière pour la photosynthèse
4]: car le CO ₂ relève de la respiration et non de la nutrition	11]: car il faut des nutriments pour compléter son alimentation.
5]: car le végétal a besoin de carbone pour grandir	12]: car sans lumière, la chlorophylle ne se développe pas
6]: car sans nutriments, la photosynthèse n'est pas suffisante pour nourrir le végétal	13]: car il ne reçoit pas le CO ₂ nécessaire pour la photosynthèse
7]: car le végétal se nourrit de glucose, il lui faut de la lumière et du CO ₂ pour assurer la photosynthèse	

Tableau proposé:

Contextualisation par rapport au programme

Les 13 affirmations des binômes

Activité 1 : classer les raisons dans un tableau

Activité 2 : réaliser un texte pour résumer le fonctionnement de la nutrition des plantes

Figure 58 : présentation du document remis aux binômes de la classe

4.2.1. Recueil des productions écrites en binômes ou trinômes

Le début de la séance commence par un rappel de la séance 2. Les 29 élèves présents sont habituellement en binôme dans la classe, leur placement est volontaire. Nous décidons de conserver les binômes car les élèves ont pris l'habitude de travailler ensemble, ce qui facilite leur implication et permet une mise en route de l'activité plus rapidement. Toutefois, pour cette séance, 3 élèves sont absents. Nous n'avons donc eu, au total, que 13 productions (annexe 11), certains binômes sont recomposés pour l'occasion et il y a également 3 trinômes du fait de la configuration de la salle. La figure 63, présente le document A4 remis aux élèves que nous explicitons pour le lecteur. Les élèves ont 10 minutes pour classer librement les 13 argumentations qui sont présentées comme des

affirmations¹⁷² pour les aider, dans un second temps à produire un texte court pour « **résumer le fonctionnement de la nutrition des plantes** ». Il faut comprendre que les affirmations proviennent des productions des élèves de la séance précédente, ainsi, nous est-il permis de suivre leur cheminement sans pour autant interférer dans la construction du problème. Le nombre « 13 » d'affirmation correspond à un panel exhaustif de propositions retrouvées dans les écrits¹⁷³, et si c'est le hasard qui fait correspondre 13 affirmations à 13 productions, notre intention première est que tous les élèves puissent se retrouver dans au moins une affirmation. Il était demandé aux élèves de réaliser un classement par rapport à ce début de phrase : « *la nutrition du végétal n'est pas possible car... :*

1 : car les minéraux et l'eau du sol ne suffisent pas pour nourrir le végétal

2 : car il faut tous les éléments pour permettre la photosynthèse

3 : car le CO₂ ne nourrit pas la plante

4 : car le CO₂ relève de la respiration et non de la nutrition

5 : car le végétal a besoin de carbone pour grandir

6 : car sans nutriments, la photosynthèse n'est pas suffisante pour nourrir le végétal

7 : car le végétal se nourrit de glucose, il lui faut de la lumière et du CO₂ pour assurer la photosynthèse

8 : car les nutriments sont absents mais la présence de CO₂ permettra à la plante d'en produire

9 : car il manque les nutriments indispensables pour se nourrir

10 : il ne reçoit pas de lumière pour la photosynthèse

1 : car il faut des nutriments pour compléter son alimentation

12 : car sans lumière, la chlorophylle ne se développe pas

13 : car il ne reçoit pas le CO₂ nécessaire pour la photosynthèse »

Si les élèves sont invités à réfléchir aux affirmations, paradoxalement nous indiquons « La nutrition du végétal n'est pas possible car... ». Il faut comprendre alors que les solutions envisagées n'étaient pas suffisantes pour assurer pleinement la nutrition de la plante. Cela revient à demander aux élèves de se positionner face aux propositions/affirmations de leurs camarades. Ce travail de l'erreur rejoint les travaux d'Astolfi (1997/1999) qui considère que ce sont des indices pour comprendre les processus d'apprentissage des élèves. Elles ont également une place de choix dans l'apprentissage par problématisation en regard des difficultés voire des obstacles épistémologiques rencontrés. A noter que, pour l'activité 1, le tableau à réaliser est laissé au libre arbitre des élèves

172 Les 13 affirmations correspondent respectivement aux 13 productions des binômes

173 Il faut comprendre que pour chaque production d'élève il y a au moins une affirmation retenue mais que dans certaines productions il y en a plusieurs et que certaines se retrouvent dans plusieurs propositions.

(pas de directives pour le nombre et le titre des lignes et colonnes). Pour l'activité 2, le texte est également libre. Il est construit à partir des connaissances des élèves et de la réflexion amorcée à partir du classement des raisons.

4.2.2. Les modalités du débat

Lorsque tous les groupes ont terminé leur activité, le débat peut être lancé : l'objectif est de reprendre les différentes affirmations pour discuter de leurs classements. Les élèves sont libres pour intervenir et ils conservent leur trace écrite pour s'y référer ; ils restent donc à la même place en classe (figure 59 , photographie de gauche). L'enseignant est situé devant sa paillasse, à côté de la caméra¹⁷⁴ (figure 59, photographie de droite). Il a un rôle de modérateur et de facilitateur pour l'enchaînement des 13 affirmations qui étaient à classer. La retranscription (annexe 10) est réalisée pour un enregistrement de 25 minutes.



Figure 59 : la disposition des élèves et du professeur pendant l'enregistrement (photographies extraits de l'enregistrement vidéo)

4.3. Résultats et discussion

Pour discuter des résultats obtenus, nous souhaitons distinguer trois parties qui se succèdent dans le temps :

- le classement des 13 affirmations provenant des 13 productions des binômes (annexe 11);
- le résumé relatif à « la nutrition des plantes » ;
- le débat lui-même (annexe 10).

¹⁷⁴ Pour l'aspect technique, nous avons attribué à un élève volontaire, qui suit l'option cinéma-audiovisuel dans le lycée, le soin de réaliser l'enregistrement. Il ne participe donc pas aux échanges.

4.3.1. Le classement des 13 affirmations par les élèves

Les élèves devaient classer les 13 affirmations selon leur convenance et nous constatons que pour l'ensemble des productions, 2 ou 3 colonnes sont proposées. L'analyse engage à réaliser une catégorisation à 3 niveaux différents que nous illustrons par des productions d'élèves puis sous la forme d'une synthèse (tableau 13) :

- un classement binaire que nous qualifions de catégorisation de **niveau 1**. Il est, selon nous, comme une solution de facilité, c'est-à-dire plus basique d'un point de vue réflexif comme un tri rapide (figure 60). Ne s'agit-il pas également d'une forme ordinaire de proposition d'élèves qui s'assurent de livrer la bonne réponse au professeur ?

Tableau proposé :

Vrai	Faux
1	2 3
2	5
4	8
6	13
7	
9	
10	
11	
12	

Figure 60: tableau de classement proposé par PC-RG : **niveau 1**

- un classement ternaire de catégorisation de **niveau 2** qui marque un raisonnement plus avancé et une recherche de relation entre les affirmations (double flèche), peut-être une recherche consciente ou inconsciente de corrélation. En revanche, si tous les classements ne sont pas du même ordre, il nous est difficile d'en faire une analyse plus fine quant aux intentions des élèves (figure 61).

Tableau proposé :

Vrai -	faux -	incomplet -
1; 6; 8; 10; 11; 13	2; 4; 12	3; 5; 7; 9
Globalement, il manque toujours un des éléments cités au début.	fausses informations.	La formulation est correcte mais il manque des éléments pour qu'elle soit vraie.

3-8 se complètent
6-9-11 se complètent.

Figure 61 : tableau de classement proposé par JC-MC : **niveau 2**

- un classement quaternaire de catégorisation de **niveau 3** avec un enchaînement de conséquences qui, selon nous, souligne une vraie démarche réflexive pour approcher les nécessités (figure 62).

Tableau proposé :

	permet la photosynthèse qui permet la nutrition	permet la nutrition directement
raison possible	4- 11 -12-10	1-3-6-9-11
raison non possible	2-7-13	5-8

Figure 62 : tableau de classement proposé par CB-LB : **niveau 3**

Le tableau 13 ci-après reprend la catégorisation des productions d'élèves pour rendre compte des niveaux de formulation/classification des 13 propositions.

Tableau 13 : typologie et niveau de classement des 13 affirmations selon les titres des propositions des binômes

Type de classement	Nombre de binômes concernés	Propositions des binômes	Niveau de formulation
Un classement binaire	7 binômes	- vrai / faux (4 binômes) - d'accord / pas d'accord (1 binôme) - semble exact / semble inexact (1 binôme) - photosynthèse pas possible /incomplet (1 binôme)	Niveau 1
Un classement ternaire	5 binômes	- vrai / faux + vrai et faux OU incomplet OU photosynthèse / nutrition OU manque / trop OU hors contexte	Niveau 2
Un classement quaternaire	1 binôme	- permet la photosynthèse qui permet la nutrition / permet la nutrition directement / « <i>raison possible ou non possible</i> »	Niveau 3

Nous devons préciser que le classement n'est pas si simple puisque, pour le niveau ternaire, certaines réponses témoignent d'une réflexivité plus ou moins justifiée d'un point de vue argumentatif. Par exemple, AF-MS proposent « *Vrai-Faux et Photosynthèse-nutrition* » tandis que VB-SL notent « *Vrai-Faux et hors contexte* » sans plus d'explications pour ce « hors contexte ». De plus, pour le chercheur, il s'agit de comprendre le langage écrit proposé or « *comprendre signifie intellectuellement appréhender ensemble, comprendre, saisir ensemble (le texte et son contexte, les parties et le tout [...]). La compréhension intellectuelle passe par l'intelligibilité et par l'explication* » (Morin, 1999/2000, p.115). Notre recherche de catégorisation est inévitablement limitée par le manque de signification du texte : les mots souffrent de ne pouvoir dire pleinement leur signification. Il nous manque probablement un échange oral avec les binômes pour mieux comprendre leur message. Il nous semble tout de même pouvoir montrer des niveaux d'explications différents selon les binômes/trinômes.

4.3.2. Les textes produits par les binômes/trinômes qui résument le fonctionnement de la nutrition des plantes

Les résumés produits pour argumenter le fonctionnement de la nutrition des plantes peuvent être classés, selon nous, en deux catégories :

- Catégorie 1 : ceux qui ne font que relater les éléments nécessaires à la nutrition ; les élèves restent au niveau des besoins des plantes.
- Catégorie 2 : ceux qui font émerger des processus (à titre d'exemple, nous soulignons en jaune dans la figure 63)

Texte proposé :

1 Toutes les absorptions proposées sont nécessaires à la nutrition du végétal. Elles permettent lès son développement et sa vie.

2 Texte proposé :

la nutrition de la plante se fait via des nutriments que produit la plante. Elle produit ces derniers en récupérant des "matières premières" (minéraux, CO₂) et en les conversion en récupération l'énergie que produit la photosynthèse.

3 Texte proposé :

Pour se nourrir, dans un premier temps le végétal absorbe de la lumière, du CO₂ et des minéraux, et dans un second temps après la photosynthèse la plante produit des nutriments et en consomme. La plante respire, la respiration de la plante los de la photosynthèse est marqué par les jets échangés gazeux.

Figure 63 : 3 textes d'élèves qui résument leur idée de la nutrition des plantes (c'est nous qui soulignons en jaune)

Catégorie 1 : le **texte 1** correspond à une solution non argumentée de type assertorique. Les élèves ne semblent pas pouvoir justifier la nutrition des plantes. Nous proposons plusieurs hypothèses à cela. D'abord, leurs conceptions n'ont pas été assez fissurées dans les séances précédentes pour pouvoir être remises en cause : leur système explicatif est donc suffisant. Ensuite, l'obstacle substantialiste est très marqué et ne permet pas de le dépasser à ce moment de la séquence. S'agit-il d'une résistance inconsciente à l'obstacle ? Nous savons également que pour faire évoluer une conception, il faut du temps. Enfin, comme pour tout écrit, il s'agit d'une prise de risque qui s'inscrit dans le temps et qui peut mettre à jour des difficultés d'expression¹⁷⁵ de la pensée, ce que certains élèves refusent.

Catégorie 2 : les **textes 2** et **3** sont élaborés avec une argumentation raisonnée, ils tendent donc, selon nous, vers une forme d'apodicticité. En effet, le **texte 2** aborde la nécessité de transformation par « *conversion* » à partir de « *matières* » et « *d'énergie* ». Le **texte 3**, quant à lui, exprime à la fois une temporalité pour souligner en réalité des lieux de processus différents, et la nécessité d'échanges gazeux réalisés par « *la respiration* » et « *la photosynthèse* ». Nous considérons que pour cette catégorie de textes, les élèves sont engagés dans un développement d'argumentations basé sur des raisons et qu'ils pourraient faire avancer le processus de problématisation lors du débat.

¹⁷⁵ Nous pensons à la qualité rédactionnelle qui comprend l'orthographe, la grammaire et la ponctuation.

4.3.3. Le débat qui a suivi les productions écrites

L'objectif visé est de mettre au travail, collectivement, l'argumentation des élèves pour avancer dans le processus d'enquête et pour faire émerger les nécessités. Une analyse liminaire permet de donner certaines caractéristiques du débat (tableau 14).

Nous choisissons d'étudier le débat sous la forme d'une structure argumentative (figure 64) pour un épisode particulier qui nous semble pertinent pour comprendre ce qui se joue lors des interactions langagières et pour appréhender les positions énonciatives des élèves. En effet, celui-ci concerne « la respiration et les échanges gazeux », or, nous savons qu'il s'agit d'un obstacle épistémologique qui est donc mis au travail ; par ailleurs, le moment est dense en échanges. Nous réalisons ensuite un espace de contraintes couvrant l'ensemble du débat dans la figure 65(annexe 10).

Tableau 14 : caractéristiques du débat de la séance 3

Durée	26 minutes
Nombre d'élèves	29 (28 + 1 caméraman)
Nombre de tours de paroles	156
Participation relative	18 élèves soit 62 % avec : - 6 grands interlocuteurs (7 à 12 interventions) - 12 petits interlocuteurs (1 à 2 intervention(s))

4.3.4. La structure argumentative d'un épisode du débat

Pour cette structure argumentative (Orange, 2012), nous reprenons à nouveau le modèle trilogal de Plantin (1996 ; 2005) que nous adaptons. L'épisode caractérise les difficultés à comprendre que deux phénomènes interviennent dans les échanges gazeux (affirmation 4) : la respiration et la photosynthèse (figure 64) :

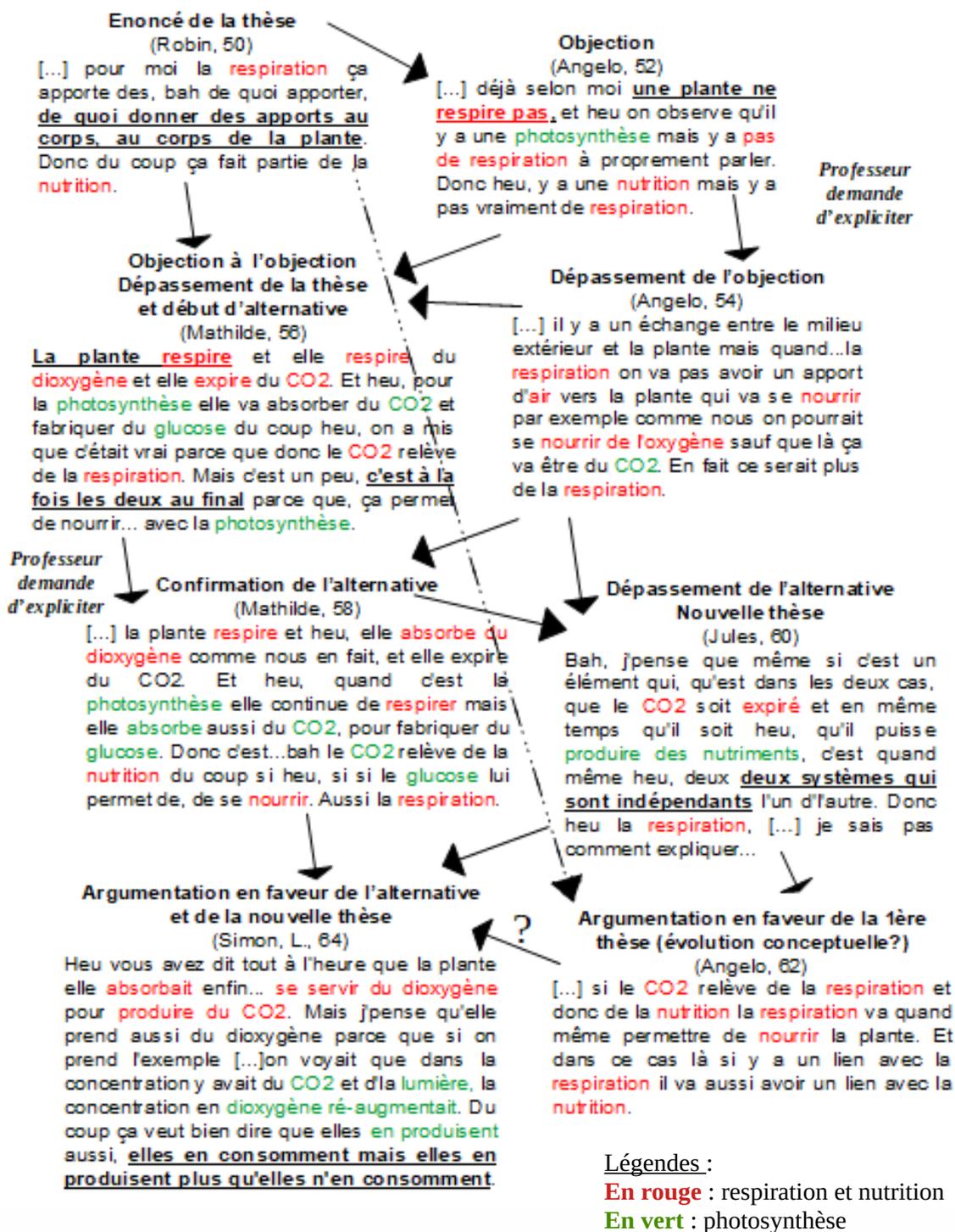


Figure 64 : structure argumentative d'un épisode du débat relatif à l'affirmation 4 « car le CO₂ relève de la respiration et non de la nutrition »

Cinq élèves sont concernés lors de ces échanges : Robin, Angelo, Mathilde, Jules et Simon. Cet épisode nous semble fortement argumentatif pour plusieurs raisons. La thèse est énoncée par Robin, le proposant, mais celle-ci est objectée aussitôt par Angelo, l'opposant. Mathilde intervient avec une nouvelle position pour défendre son groupe puisqu'elle reprend les arguments des deux

premiers élèves. Ensuite, elle commence à proposer une alternative, elle change donc de position énonciative pour prendre celle de tiers. L'échange se poursuit dans une dynamique où les élèves argumentent en maintenant la proposition ou en développant leur argumentation pour la faire préciser. Dans le même temps, certains élèves émettent des doutes : Mathilde (56 et 58) utilise des interjections d'hésitation pour accompagner sa parole « *heu...bah...* » tout comme Angelo (52), Jules (60) lui, dit « *je sais pas comment l'expliquer* ». Pour les élèves, le problème est de savoir si la plante respire ou non et si la respiration intervient dans la nutrition. L'argumentation s'oriente rapidement (Angelo, 52) vers la photosynthèse, processus repris ensuite par Mathilde (56). Cette dernière nomme les gaz concernés : « *dioxygène* » et « *CO₂* » pour affirmer ses connaissances. Nous voyons resurgir dans ces échanges le concept de « respiration inversée » qui a marqué l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes (chapitre 2). Toutefois, les deux processus semblent bien différenciés pour les élèves. Simon (64) semble pouvoir conclure en utilisant un fait non discutable. Il rappelle un graphique étudié (il mime la courbe avec son doigt) et tente de mettre tout le monde d'accord avec une proposition autour du dioxygène : « *elles en consomment* » puis, dans une forme d'opposition, il utilise un « *mais* » pour renforcer sa deuxième proposition « *elles en produisent plus qu'elles n'en consomment* ». L'élève souhaite marquer le double sens du passage des gaz qui caractérise les deux processus en jeu : la respiration et la photosynthèse. Simon intègre donc les réponses pour proposer une solution unificatrice : le rôle du tiers.

4.3.5. Un espace de contraintes pour rendre compte de la problématisation lors du débat

Pour construire ce nouvel espace de contraintes, nous avons procédé à l'analyse du verbatim extrait du débat de la séance 3 en nous focalisant sur les éléments du registre empirique et les nécessités qui abondent le registre des modèles (voir annexe 10 et légendes associées). La question est donc de savoir comment la plante doit fonctionner pour se nourrir afin de grandir ou se développer. Comme pour la séance 2, nous reprenons les 3 registres qui délimitent l'espace de contraintes (figure 65) qui représente ce qui se joue lors de l'ensemble du débat de la séance 3 :

- le registre explicatif, conscient ou inconscient (Orange, 2012), est biochimiste (mécaniste) et/ou vitaliste.
- Le registre empirique déclaré est celui qui est partagé ou discuté (**étoiles vertes**), autrement dit, soit les élèves sont en accord, soit en désaccord, soit ils ne s'expriment pas.
- Le registre des modèles correspond aux nécessités qui surgissent des échanges, selon nos propos précédents, elles seules garantissent la construction d'un savoir scientifique de type apodictique.

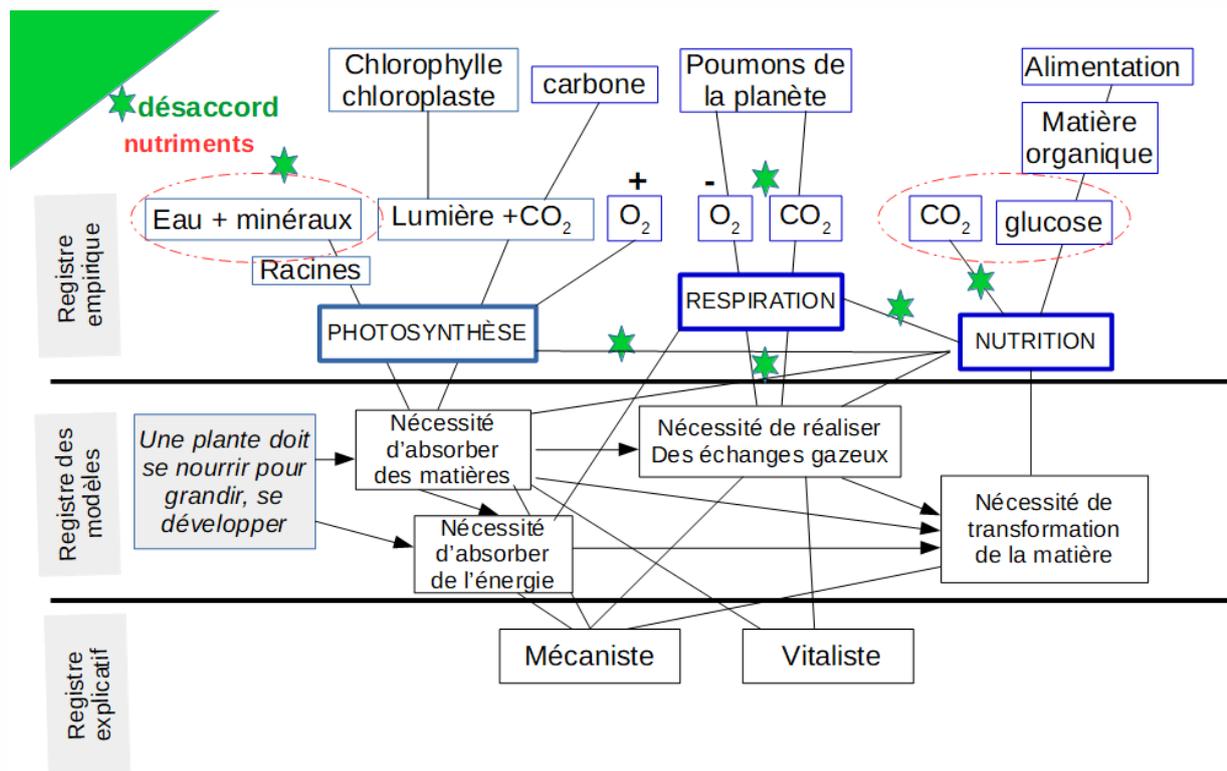


Figure 65 : espace de contraintes convoquant les 3 registres lors de la séance 3

Le registre empirique correspond aux faits qui sont ou ne sont pas questionnés par les élèves, il nous semble riche et quelques désaccords sont identifiés. Par exemple, lorsque Théo (21) affirme : « car il faut tous les éléments pour permettre la photosynthèse » heu alors on a mis que c'était faux puisque heu heu parce qu'on a pas on a pas besoin de tous les éléments pour faire heu pour faire la photosynthèse », Simon (25) indique : « nous on pense que justement on a besoin de tous les éléments mais que la photosynthèse n'a pas de lien avec la nutrition, du coup on l'a mis dans [...] ». Il s'agit plutôt de points à éclaircir parce que les points de vue sont exprimés différemment et peuvent entraîner des confusions, mais aussi parce que les conceptions reposent sur des bases diverses. Ainsi, Jules (37) précise : « heu nous on a mis que c'était incomplet parce que le CO₂ va permettre de nourrir la plante en synthétisant des nutriments mais par le biais de la photosynthèse ». Le chapitre 3 a permis de montrer que le langage utilisé dans la communication était toujours porteur de sens. Il est probablement à l'origine de confusions scolaires élève-élève et élève-professeur, objet que nous développons plus loin car il est à l'origine de la séance 5. Par exemple Robin (50) exprime avec difficulté sa pensée : « alors nous on a mis faux parce que heu personnellement pour moi la respiration ça apporte des, bah de quoi apporter, de quoi donner des apports au corps, au corps de la plante. Donc du coup ça fait partie de la nutrition. ». Lorsque

Angelo (52) prend part à l'échange il semble plus assuré sans pour autant pouvoir justifier ses propos : « *Bah, j'ai mis faux parce que, déjà selon moi une plante ne respire pas, et heu on observe qu'il y a une photosynthèse mais y a pas de respiration à proprement parler. Donc heu, y a une nutrition mais y a pas vraiment de respiration..* ». Toutefois, nous relevons dans le discours des élèves que la photosynthèse, la respiration et la nutrition sont présents dans les échanges et fondent le registre empirique pour ce débat : ils sont des sous nœuds identifiables au problème de la nutrition des plantes.

Le registre des modèles fait apparaître, selon nos inférences dans l'analyse du discours argumentatif des élèves, plusieurs nécessités. D'abord la nécessité d'absorber de la matière et de l'énergie, ce qui a pour conséquence la nécessité d'échanges gazeux. Pour que la plante puisse se nourrir, l'ensemble des conditions aboutit à la nécessité de transformation de la matière absorbée. Nous retrouvons chez Mathilde (56) des éléments qui confortent le registre des modèles : « *La plante respire et elle respire du dioxygène et elle expire du CO₂. Et heu, pour la photosynthèse elle va absorber du CO₂ et fabriquer du glucose du coup heu, on a mis que c'était vrai parce que donc le CO₂ relève de la respiration. Mais c'est un peu, c'est à la fois les deux au final parce que, ça permet de nourrir... avec la photosynthèse.* ». Ainsi, pour les élèves, les échanges ont permis de délimiter un champ des possibles. En revanche, nous constatons que la nécessité de circulation des substances, sous forme liquide ou gazeuse, n'est pas envisagée. Trois hypothèses pourraient l'expliquer :

- soit ils ne connaissent pas les mécanismes de circulation,
- soit ils n'ont pas été mobilisés parce que le discours n'a pas été orienté dans ce sens,
- soit ils sont confrontés à un obstacle épistémologique (substantialisme et/ou empirisme).

4.4. Bilan de la séance 3

La séance 3 a permis aux élèves de poursuivre le travail du problème de la nutrition des plantes, notamment lors de la rencontre de certains obstacles dont les principaux sont, selon nos inférences, le substantialisme, l'empirisme et l'anthropomorphisme. Les doutes exprimés (transcription/vidéo) font penser qu'une fissuration des conceptions est possible chez certains élèves mais que celle-ci agit différemment selon les personnes en raison de la plus ou moins grande résistance de leur conception.

La structure argumentative met en évidence des échanges caractéristiques d'un débat scientifique où « *trois actes fondamentaux existent* » (Orange, 2012, p.52) : une thèse (solution possible au problème), des objections à la thèse propre à la controverse, le doute où la prise position n'est pas tranchée. Les postures de proposant, opposant et tiers sont manifestes à la lecture puis l'analyse de la transcription. Elles permettent de faire avancer l'enquête et la classe se dirige vers un consensus en rejetant certaines solutions. Celui-ci est dessiné par l'espace de contraintes où, selon nous, plusieurs nécessités pourraient émerger : « *c'est-à-dire les conditions de possibilité des explications ou solutions du problème* » (Orange, 2012, p.42). C'est pour cela que nous pouvons dire que la séance a participé à la construction d'un savoir scientifique tout en développant des compétences langagières destinées à la communication. Le problème de la nutrition est-il résolu pour autant ?

La quatrième séance correspond à des travaux pratiques en demi-classe ; elle prolonge donc cette séance 3 en apportant une étape expérimentale. Si plusieurs objectifs sont visés (conception d'un protocole, réalisation d'une coupe microscopique, communication des résultats, s'informer dans des documents puis raisonner à partir des connaissances), l'intérêt de la séance est de confronter la théorie aux faits. Nous avons mis à profit l'observation des vaisseaux dans la plante (racines, tige, feuilles) pour commencer à aborder la nécessité de circulation de la matière. La contrainte temporelle de la programmation ne permettait pas de réaliser une séance entière sur cette nécessité. Aussi, avons-nous plutôt décidé un temps court pour construire la séance 5 car, d'un point de vue didactique, elle met en lumière un obstacle sémantique que nous n'avions pas soupçonné en amont de la séquence forcée : celui de nutriment.

5. CINQUIÈME SÉANCE : LES NUTRIMENTS, OBSTACLE SÉMANTIQUE IDENTIFIÉ LORS DU DÉBAT

Cette dernière séance s'est dessinée comme incontournable suite aux débats entre les élèves. C'est pourquoi nous commençons par présenter son objectif de recherche avant son déroulement. Ensuite, nous présentons les résultats que nous mettons en discussion.

5.1 Objectif de recherche de la séance 5

La séance 3 a soulevé une confusion au sujet du concept de nutriments puisque les élèves n'ont pas la même acception de la définition. Selon Bachelard (1938/2011) un obstacle consiste à mettre un mot à la place d'une explication¹⁷⁶. Ici, « nutriment » est bien un obstacle épistémologique, au sens bachelardien, puisqu'il est assimilé à la nourriture et peut masquer la nécessité de transformation voire de circulation de la matière. Pour certains élèves, cela pourrait signifier que la nourriture n'aurait pas besoin d'être transformée et distribuée, son rôle « magique » pour le développement de la plante correspond au substantialisme défini par Bachelard (ibid). Aussi, nous pensons que lorsque le mot est utilisé ou entendu, le registre empirique, voire explicatif, peut être différent. L'espace des contraintes dessiné pourrait alors ne pas correspondre à tous les élèves et notre analyse quelque peu faussée. Comme nous souhaitons mettre au travail cet obstacle sémantique sans être dans une activité chronophage, la séance est courte et sans débat. Cependant, son intérêt est d'offrir, d'une part, une nouvelle piste de recherche pour comprendre les difficultés des élèves dans les interactions au sein de la classe et, d'autre part, elle continue le travail du problème de la nutrition des plantes, en particulier sur l'origine et le devenir des matières.

La séance 5, d'une durée de 20 minutes, se situe la semaine suivante lors d'une séance consacrée à l'accompagnement personnalisé en classe entière. Nous mettons donc à profit une partie du temps pour notre recherche, l'autre partie pour l'enseignement en travaillant la méthodologie pour le Baccalauréat.

Pour délimiter ce quatrième point du chapitre 5, il nous a paru nécessaire de nous appuyer sur la distinction signifiant/signifié avant de prendre en charge l'obstacle sémantique relevé. Nous présentons ensuite le déroulement de la séance. L'analyse et la discussion de cette dernière contribueront à comprendre les difficultés des élèves au cours d'un apprentissage comme celui de la nutrition des plantes.

5.1.1. Le signifiant et le signifié

Si nous prenons l'exemple du concept de « force », il a une signification précise en physique, celle qui est définie dans la mécanique newtonienne¹⁷⁷. En revanche, « *l'utilisation du*

176 Selon nous, il s'agit bien d'un obstacle verbal au sens bachelardien puisqu'il est assimilé à la nourriture et peut masquer la nécessité de transformation voire de transport de la matière.

177 Les lois de la mécanique de Newton apparaissent dans son ouvrage « *Philosophiae naturalis principia mathematica* de 1687.

même mot dans la langue de tous les jours (la force des circonstances, les vents de force 8, la force d'une argumentation, etc.) est imprécise » indique Chalmers (1976/1982, p.61). L'origine provient du fait que la transposition de nos représentations ou de notre pensée, le signifié (l'aspect conceptuel), est distant du signifiant (l'image du mot). En effet, le lien matériel entre le signifié et le signifiant est arbitraire (De Saussure, 1964). Le problème vient donc du fait que, selon la communauté discursive, le mot n'est pas utilisé dans le même sens. Il en découle des difficultés de transmission et de réception des messages transmis entre les interlocuteurs. Comme nous l'avons dit dans le chapitre 3, tout individu conceptualise à partir de son expérience, au sens large du terme, de ses croyances... Ainsi, nous avons des façons singulières de symboliser, de penser et, par conséquent, de dire. Dans le domaine scientifique la parole à « *une nature sacrée* » rappelle Jaubert (2007, p.133), c'est-à-dire qu'elle porte sur une valeur de vérité de l'énoncé. Lorsque les élèves ne maîtrisent pas le concept en jeu, ils ont « *recours à des analogies* » (ibid, p.140). Nous comprenons donc qu'au cours d'un débat, des confusions peuvent survenir. Toutefois, lorsqu'il y a eu un accord verbal sur une justification scientifique, il y a « *un mouvement d'intériorisation* ». Autrement dit, concernant le concept engagé, « *sa construction sur un plan interpsychologique s'accompagne de sa reconstruction sur un plan intrapsychologique* » (ibid, p.148).

5.1.2. Un obstacle sémantique rencontré lors des débats : les nutriments

L'origine du mot « nutriment » se retrouve au milieu du XIX^{ème} siècle, Littré (1874, p.771) en propose une définition : « *NUTRIMENT (nu-tri-man). s.m. Mot introduit récemment pour désigner les substances qui pourraient nourrir sans passer par l'estomac et en subir l'action digestive ; tels seraient l'albumine, les bouillons, l'osmazôme¹⁷⁸* ». Plus récemment, dans les définitions tirées de l'Encyclopédie Universalis ou de différents dictionnaires comme Le Larousse ou Le Robert, le mot nutriment est affecté aux animaux et plus particulièrement à l'alimentation de l'Homme. Concernant les plantes, l'ouvrage de Heller (1977/1989), qui est spécialisé dans la nutrition des plantes, n'évoque pas ce terme et préfère celui d'élément. Le terme ne serait donc pas pertinent pour les plantes. Pourquoi est-il alors utilisé par les élèves ?

Lors du débat de la séance 3, lorsque l'on s'intéresse au registre empirique des élèves¹⁷⁹ pour comprendre leur pensée, nous identifions que les nutriments sont associés aux aliments chez

178 L'osmazôme est un terme de chimie du XIX^{ème} siècle qui est associé à la substance extraite de la chaire animale. Il provient de l'association des mots grecs correspondants à « odeur » et « bouillon ». C'est l'équivalent des « bouillons-cubes » actuels.

179 Nous utilisons l'espace de contraintes repris par Orange en 2012 et issu d'un débat sur la nutrition pour une classe de CM1-CM2 d'après Orange (2000).

l'Homme. Ce qui, pour une pensée simplifiée pourrait correspondre à : ils entrent par la bouche et nourrissent toutes les parties du corps. Quels liens avec les plantes ? Notre hypothèse est que les élèves pourraient tomber dans la facilité de l'explication décrite par Bachelard (1938/2011), et ils ont recours à l'analogie (Jaubert, 2007). C'est que, dans la perspective d'une explication fonctionnaliste de type mécaniste de la nutrition végétale, indique Delaporte (1979/2011, p.44) « *le modèle analogique emprunté au règne animal* » est moins coûteux cognitivement. Il s'agit donc d'une transposition anthropomorphique qui engendre, selon nous, d'autres confusions. En effet, ce qui est difficile à admettre, c'est que les plantes ont deux zones d'entrée des matières (caractère amphibie) et ne possèdent pas d'organes pour la sortie des déchets contrairement aux animaux, à l'instar de notre tube digestif. La théorie de l'humus a jadis résolu le problème en attribuant une fonction stomacale au sol¹⁸⁰, les assimilats seraient donc pré-digérés. La nutrition repose sur l'absorption de nutriments et la fonction relève tout aussi bien du monde animal que du monde des plantes. C'est sans compter que nous pouvons y associer « *l'étude de la croissance végétale puisqu'elle est le résultat de la nutrition* » (ibid, p.52), tout comme chez l'Homme. Un ensemble de circonstances qui assignent au mot « nutriment » des confusions chez les élèves, ceci est notre hypothèse principale.

5.2. Le déroulement de la séance 5

La séance est découpée en deux temps : une discussion d'environ 10 minutes pour remobiliser la notion de « nutriment » mobilisée la semaine précédente, un travail écrit par groupes d'élèves pour proposer deux définitions.

5.2.1. Le déroulement et le recueil de données

Pour cette séance, la classe comprend 30 élèves (2 absents), dont le caméraman. Dans un premier temps, les élèves sont mobilisés au sujet du mot « nutriment », terme qui avait créé des confusions lors du débat de la séance 3. Nous rappelons au lecteur que l'obstacle sémantique que nous soulevons vient du fait qu'il pourrait, selon les élèves, avoir une définition différente. Il s'agit d'une simple remobilisation du fait de la distance temporelle entre les 2 séances, c'est à dire une modalité pédagogique plus ordinaire pour que les élèves puissent s'impliquer rapidement dans le

180 Au XVIIIème siècle, Duhamel du Monceau dans *Éléments d'agriculture* (1762, p.44, cité par Delaporte 1979/2011, p.79) indique que « *la terre est donc, en quelque façon, l'estomac où se fait la digestion du suc nourricier des plantes* ».

5.2.2. Méthodologie d'analyse des données

Lors des premières minutes, la discussion engagée entre le professeur et les élèves a permis de mobiliser les élèves autour du problème rencontré dans le dernier débat et d'évoquer les divergences de définition accordée au mot « nutriment ». Comme il ne s'agit pas d'un débat, nous ne retenons pas la transcription de la partie filmée. Nous repartons donc des éléments de discours de la transcription du débat de la séance 3 qui abordent les nutriments. L'objectif est de comparer le signifié déclaré des élèves au regard du même signifiant. Ensuite, nous procéderons à l'analyse des productions des élèves de la séance 5 pour comprendre, d'une part, les divergences des définitions pour le mot « nutriment » puis, d'autre part, évaluer le travail du problème du fonctionnement de la nutrition des plantes en fin de séquence (annexe 12).

5.3. Résultats et discussion

5.3.1. Le débat de classe de la séance 3 à propos du mot « nutriment »

Avant d'analyser les productions issues de la séance 5, nous revenons sur la séance 3. Notre intention est de focaliser notre attention sur les passages du débat où les élèves abordent le terme « nutriment » pour comprendre quel sens (le signifié) est donné dans le déclaratif. Huit élèves sont concernés, certains interviennent plusieurs fois sur le sujet (tableau 15).

Tableau 15 : analyse des propos des élèves relative au mot « nutriment » lors du débat de la séance 3

Élève et numéro du tour de parole	Déclaratif	Signifié du mot « nutriment »
Théo (23)	<i>c'est à dire que pt'être qu'on a besoin que que de la lumière et du CO₂ et pas besoin des nutriments du sol... du coup on a peut-être pas besoin de tous les éléments</i>	matière du sol
(137)	<i>[...] quand la plante fait la photosynthèse, elle va pas récupérer des nutriments heu, du soleil. Alors que quand heu elle va prendre du CO₂, elle va récupérer les nutriments du CO₂. Et j'crois qui lui faut d'énergie pour récupérer ces nutriments.</i>	matière issue de matière (élément chimique?) et énergie
Jules	<i>heu nous on a mis que c'était incomplet parce que le CO₂</i>	

(37)	<i>va permettre de nourrir la plante en en synthétisant des nutriments mais par le biais de la photosynthèse</i>	
Jules (60)	<i>Bah, j'pense que même si c'est un élément qui, qu'est dans les deux cas, que le CO2 soit expiré et en même temps qu'il soit heu, qu'il puisse produire des nutriments, c'est quand même heu, deux deux systèmes qui sont indépendants l'un d'l'autre.</i>	matière produite par la plante à des fins nutritives
Angelo (68)	<i>Heu, pour moi c'est faux parce que, heu, avec c'qui l'entoure la plante va produire des nutriments et avec ces nutriments qu'elle va produire elle va forcément être nourrie.</i>	Matière produite par la plante à des fins nutritives
(87)	<i>[...] si la plante heu, a heu de la lumière ainsi qu'du CO₂ et des minéraux elle pourra produire elle-même les nutriments, et donc si il en manque c'est juste qu'elle les produit pas. [...]</i>	Matière produite par la plante à des fins nutritives
(122)	<i>[...] les nutriments qui sont (...) son alimentation et qui donc qui va lui faire (...) nécessaires pour produire des nutriments.</i>	Matière du sol et produite par la plante
(152)	<i>[...] la nutrition se fait déjà dans l'absorption de lumière, de CO₂, de minéraux et d'H₂O. Donc ça ça va être la première phase d'absorption, 'fin de la nutrition, et heu grâce à certains de ces éléments elle va produire des nutriments.</i>	Matière produite par la plante
Rémi (70)	<i>[...] le schéma présente heu lumière + CO₂ + minéraux + H₂O + nutriments donc c'est qu'y a un apport de nutriments. Et donc heu elle, elle crée des, elle s'auto-produit des nutriments mais à la fois aussi elle en prend.</i>	Matière du sol et produite par la plante
Robin (72)	<i>[...] parce que par exemple quand on met une graine de haricot dans du coton elle va, elle va germer mais elle va pas se développer plus que ça parce que y a pas de nutriments dans le coton.</i>	Matière du sol
Mathilde (89)	<i>[...] Heu...parce que par les racines la plante elle va, heu absorber des minéraux, et ça va lui permettre de se, de se lever. C'est un nutriment.</i>	Matière du sol

Clément (106)	<i>Bah la photosynthèse elle (...) parce que la photosynthèse elle permet la synthèse du glucose, et le glucose c'est un nutriment, donc ça intervient dans la nutrition.</i>	Matière produite par la plante
------------------	--	---------------------------------------

Par conséquent, le signifiant « nutriment » n'a pas le même signifié pour tous les élèves, ni même pour un élève dans toutes ses interventions. Il est porteur, selon notre étude de cas, de 4 signifiés même si, dans tous les cas, il sert à nourrir la plante. Les différences de définitions identifiées s'expriment-elles dans un registre explicatif différent ? Toutefois, il s'agit dans tous les cas d'une substance qui participe à la nutrition. En résumé, 4 catégories de signifiés sont repérés :

- catégorie 1 : nutriment pour matière du sol ou
- catégorie 2 : nutriment pour matière produite par la plante ou
- catégorie 3 : nutriment pour matière du sol et produite par la plante ou
- catégorie 4 : nutriment pour élément contenu dans une molécule.

Ainsi, lorsqu'un élève utilise ou entend le mot « nutriment », il n'a pas toujours le même sens pour lui et les autres. Le signifié se construit différemment selon les individus, aussi nous aurions tort de croire que la réalité se construit de la même façon pour chacun, ce que Bachelard (1938/2011, p.53) écrit en ce sens : « *En réalité le mot grave, le mot clé n'entraîne que la conviction commune, conviction qui relève du passé linguistique ou de la naïveté des images premières plus que de la vérité objective* ». Ici les images premières sont associées à l'alimentation humaine, à savoir : de l'anthropomorphisme. Lors du débat, un élève ou un professeur met en scène des mots qui sont son point de vue et qui reposent sur une pensée abstraite, conceptuelle : il exprime sa pensée. Notre analyse nous porte à croire que nutriment est un obstacle sémantique puisqu'il est principalement associé à aliment de l'Homme. Aussi, les autres participants (élèves et professeur), les interlocuteurs, sont chargés de décrypter le message, d'où l'existence d'incompréhensions induites par le sujet parlant explique Bakhtine (1978 ; 1984). Comment savoir s'il y a accord ou désaccord lors d'un débat pour un même signifiant ? Comment convaincre ses pairs lorsque le discours est porteur de dissonances au niveau du sens du signifiant ? Pour l'enseignant, qui doit endosser la position du énonciative du tiers, il est pourtant nécessaire de proposer une synthèse qui fait office d'institutionnalisation des connaissances construites collectivement. Or, Jaubert (2007, p.70) indique que « *l'enseignement des sciences à l'école ne peut se réduire à présenter un énoncé*

de savoir scientifique universel, transparent, codant une vérité en soi ». L'activité scientifique et le processus de construction des savoirs s'étalent dans le temps, parfois sur plusieurs siècles, comme nous l'avons montré pour l'élaboration de la théorie de la nutrition des plantes (chapitre 2). Nous rejoignons les propos de Jaubert (ibid) pour qui « *la transposition de ces (scientifiques) pratiques dans le cadre de la classe semble donc indispensable* ». La force du débat est qu'il met au travail le langage et nous invite à faire une analogie entre la communauté scientifique savante et la communauté scientifique scolaire pour comprendre comment les savoirs se construisent.

5.3.2. Analyse des productions des élèves relatives à la définition de « nutriment »

12 productions de textes constituent notre corpus, les élèves sont en binômes ou trinômes librement constitués. Pour plus de commodités, dans l'annexe 11 correspondante, nous identifions la proposition de définition de « nutriment » par « 1 », celle du fonctionnement de la nutrition par « 2 ». Avant de présenter notre analyse, il convient d'établir les critères que nous retenons.

5.3.2.1. Les critères d'analyse

Afin d'analyser le contenu de la définition de nutriment proposée par les élèves, nous retenons 3 critères :

- critère 1 : l'utilité potentielle des nutriments ;
- critère 2 : leur nature (chimique);
- critère 3 : leurs origines (provenance).

5.3.2.2. L'analyse des définitions du mot « nutriment »

Dans leur ensemble, 9/12 propositions comprennent 3/3 critères et 3/12 en possèdent 2/3. Cela signifie pour nous que les élèves ont fortement mobilisé leurs connaissances, nous proposons 3 catégories pour caractériser leur contenu :

- **Catégorie utilité** : pour les 12 productions recueillies, toutes indiquent une utilité aux nutriments. Celle-ci est qualifiée d'indispensable (6/12), de nécessaire (4/12) ou permettant (2/12) la nutrition. Cela pourrait signifier que, dans les connaissances des élèves, les plantes sont dépendantes de matière extérieure pour leur fonctionnement.

- **Catégorie nature** : le plus souvent, les nutriments sont des molécules et des ions (8/12), un groupe ajoute comme un gaz (1/12), d'autres comme des éléments (2/12), enfin certains sont sans proposition (2/12). Les élèves mobilisent le vocabulaire issu de la chimie « molécule », « ions » et « gaz ». Pour le mot « élément », nous pensons qu'il est utilisé non pas dans sa définition originelle de la chimie (un élément de la classification périodique, par exemple le Fer, le calcium...) mais plutôt comme mot sans signification précise.
- **Catégorie origine** : elle est envisagée soit de l'extérieur de la plante (6/12) soit de l'intérieur (1/12) soit des deux (4/12) soit sans origine indiquée (1/12). Nous considérons donc que la provenance externe des nutriments est une connaissance partagée. Certains groupes précisent également que la matière minérale provient de la transformation de la matière organique (LR-AP « *ce cycle alimentaire de décomposition amène à la production de matière minérale* » ; AM-SP-BN « *une minéralisation de l'humus se fait* »). Pour la provenance interne, la photosynthèse est le processus qui serait selon eux à l'origine des nutriments (EM-NM « *ainsi que le glucose synthétisé par photosynthèse qui est une assimilation différente, dite chlorophyllienne* » ; MC-NB-JC « *élément qui peut être produit par l'être vivant ou assimilé* »). Nous nous interrogeons sur le sens donné par les élèves du verbe assimiler. En effet, pour MC-NB-JC mais également pour SL-CB (« *ce sont des molécules ou des ions qui permettent le fonctionnement d'un organisme après assimilation* ») assimiler pourrait aussi bien signifier absorber que transformer : deux nécessités différentes.

Les définitions proposées par les élèves témoignent de la complexité du réel, celui que l'empirisme voudrait nous faire apparaître grâce à une pensée simplifiante (Morin, 1990/2005). Probablement aussi parce que « *nous ne disposons pas des moyens de concevoir la complexité du problème* » (ibid, p.17).

Dans les écrits des élèves, nous relevons donc la double origine possible des nutriments : une origine endogène, ce que la plante fabrique elle même, et exogène, l'air et le sol, ce qu'elle prélève dans le milieu. Notre analyse nous conduit ainsi à proposer un schéma synthétique possible pour cette étude de définition du mot nutriment, ce qui pourrait représenter une pensée synthétique de la classe (figure 67) :

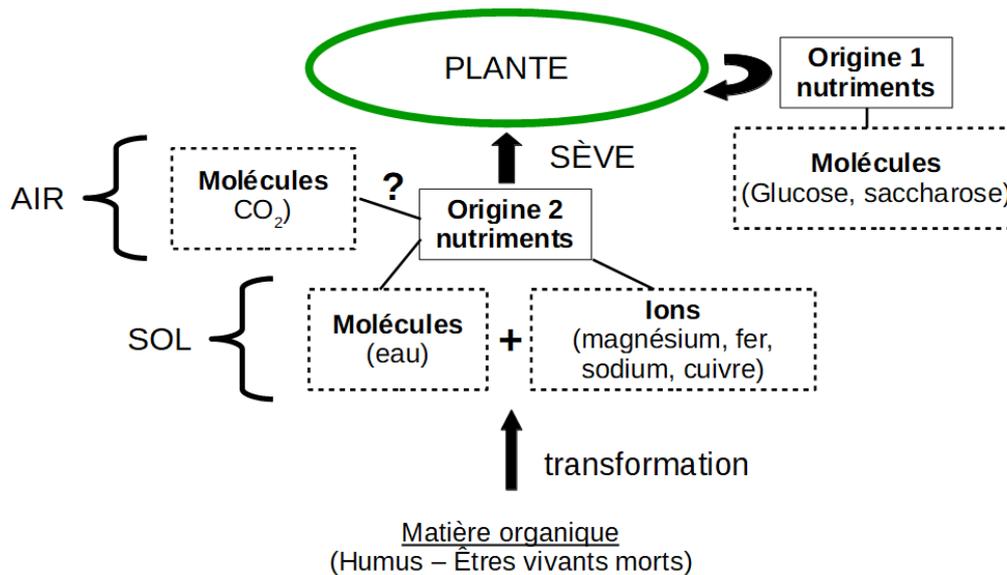


Figure 67 : schéma de synthèse de la définition de « nutriment » proposée dans les textes des groupes d'élèves

Le travail en binôme ou trinôme peut conduire à faire des concessions, c'est-à-dire à fissurer ou faire évoluer les connaissances individuelles. C'est un objectif majeur pour l'enseignant qui souhaite transformer les élèves. Les interactions entre élèves au sein de la classe sont nécessaires pour bouger conceptuellement. Cependant, nous gardons à l'esprit que même si une représentation peut bouger dans le déclaratif, elle peut disparaître tout aussi rapidement pour revenir à la représentation initiale. Nous notons, dans le groupe ED-AF-MM¹⁸¹, la notion de sève jusqu'alors absente des séances étudiées : « *on retrouve ces nutriments dans les sèves du végétal* ». Nous pensons alors qu'un ou plusieurs élèves du groupe a mobilisé les connaissances construites dans la séance 4 « TP Nutrition » où les vaisseaux conducteurs de sève sont étudiés. Ce nouvel argument des élèves, qui suggère un déplacement des nutriments, pourrait-il apparaître comme une nouvelle nécessité sous-jacente ? Une autre remarque concerne le CO₂ où nous avons placé un « ? » pour indiquer qu'il n'y a pas accord entre les élèves. En effet, le groupe RT-FB indique que : « *cependant le CO₂ n'est pas un nutriment car il a besoin d'être transformé en saccharose pour être consommé* », dans ce cas il n'est pas nutriment pour les élèves alors qu'il l'est pour le groupe LR-AP. Enfin, il nous est impossible de ne pas revenir à la théorie de l'humus et au registre vitaliste comme toile de fond dans les propos des élèves : les nutriments « *sont indispensables aux êtres vivants pour leur fonctionnement c'est à dire de la matière organique morte* » (AL-VD) et que « *ces apports sont nécessaires pour vivre* » (FC-PLP-RS).

181 Il s'agit donc trinôme composé de ED, AF et MM.

5.3.3. Analyse des textes relatifs à la définition de fonctionnement de la « nutrition des plantes »

L'analyse des textes en fin de séquence donne une photographie à un instant t des connaissances-représentations des élèves. Afin d'évaluer leur évolution lors de la séquence, nous avons comparé les productions initiales des élèves (séance 1) qui ont valeur, pour nous, de « textes initiaux » aux productions finales qui ont valeur de « textes finaux » (séance 5). Aussi, nous reprenons pour chaque production finale constituée par 2 ou 3 élèves, le lot des productions individuelles associées. Les critères retenus sont ceux qui font correspondre les éléments du discours à des nécessités dans le fonctionnement de la nutrition de la plante, elles sont *a priori* au nombre de 3 : absorption, circulation et transformation. Pour les identifier, nous avons considéré comme synonymie, autrement dit de même valeur sémantique, les mots qui, dans une phrase des élèves, pourraient correspondre dans le contexte de la phrase à une des nécessités : soit elle est exprimée comme telle, soit elle est une solution possible. Pour exprimer cette catégorisation, nous résumons dans le tableau 16 les synonymies retenues dans les phrases qui pourraient exprimer une nécessité. Il faut comprendre qu'une nécessité est identifiée comme un « cela ne peut pas être autrement », aussi nous l'identifions de la même façon, par exemple « transformation » ou « produit » pour « nécessité de transformation », ou s'il s'agit d'une synonymie, la valeur « 1 » est attribuée. La somme des « 1 » constitue alors le degré de nécessités atteint, l'échelle s'étale par conséquent de 0 à 3.

Tableau 16 : synonymies retenues dans les textes des élèves
que nous assimilons aux 3 nécessités attendues (« cela ne peut pas en être autrement »)

Nécessité de...	Synonymes retenus
absorption	<i>puisée(er) – absorbe(er) – assimile(ation) - captés(er)</i>
circulation	<i>circulent</i>
transformation	<i>synthétisé(er) – produit(s) – consommation – dégradation – fabriquée</i>

Ce travail de catégorisation nous permet alors de corréler les productions individuelles initiales de chaque groupe aux productions finales du groupe considéré. Nous rappelons avoir obtenu 12 productions et nous présentons les résultats dans la figure 68 :

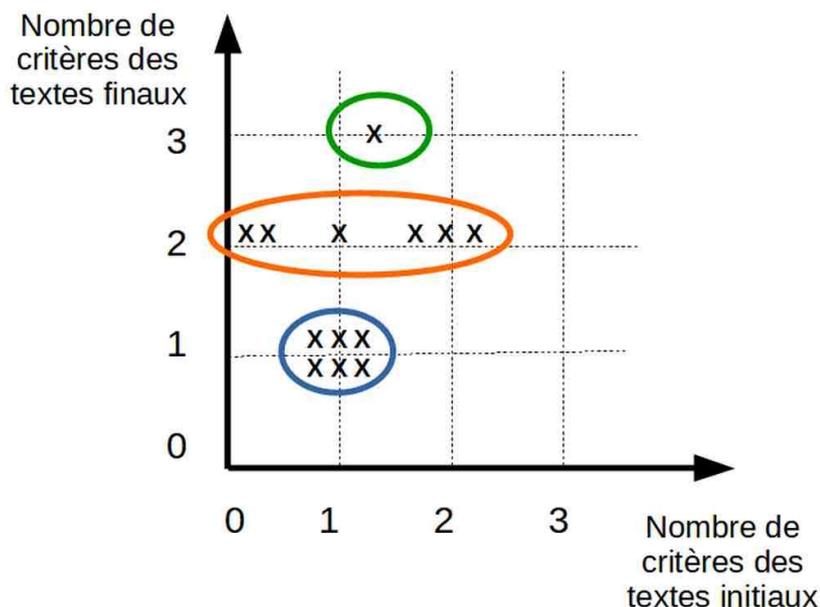


Figure 68 : recherche d'une relation possible entre le nombre de mots que l'on pourrait faire correspondre à des nécessités exprimées dans les textes finaux en fonction du nombre de nécessités exprimées dans les textes initiaux (Légendes : X correspond au positionnement d'un binôme ou d'un trinôme, les couleurs sont associées aux 3 groupes qui pourraient représenter une catégorie particulière)

Selon nous, 3 groupes se distinguent lors de la recherche d'une corrélation du nombre de mots, nous les faisons correspondre à des nécessités exprimées par des mots, entre les textes initiaux et finaux. Nous soulignons dans le texte pour faire émerger ces correspondances :

- **En bleu** : 6 groupes sur 12 expriment probablement une nécessité en terme de besoins, elle correspond le plus souvent à l'**absorption** des matières du sol et/ou de l'air pour le CO₂ voire l'énergie (lumière). Par un exemple AL-VB précise que « *La nutrition est l'assimilation de tous les éléments nécessaires au développement de la plante. Cela regroupe les nutriments, les gaz mais aussi les énergies telles que la lumière* ». Un seul groupe évoque la **circulation** : « *on retrouve ces nutriments dans les sèves du végétal* » (ED-AF-MM). Le trinôme a-t-il eu un effet mobilisateur de la séance 4 ? La photosynthèse est souvent évoquée sans être toutefois systématiquement associée à la nécessité de transformation de la matière. Par conséquent, pour ces deux nécessités (absorption et circulation), nous pouvons faire l'hypothèse que les élèves sont toujours dans un récit de connaissances scolaires avec, probablement, des difficultés à exprimer leurs explications. Peut-être s'agit-il aussi d'une forme scolaire habituelle où l'élève répond succinctement tant qu'il n'est pas « contraint » par l'enseignant ?

- **En orange** : 5 groupes sur 12 expriment ce qui pourrait correspondre à 2 nécessités dans la production finale de groupe alors que les productions initiales n'en possédaient pas ou une ou deux :

- **transformation** et **circulation** pour FC-PLP-RS : « [...] *les molécules et ces ions circulent dans la plante sous forme de sève dans des vaisseaux, le xylème et le phloème. Ils sont produits à partir des matière organique [...]*) et pour AM-SP-BN : « *La nutrition est un processus d'assimilation des nutriments lors de la photosynthèse. Ces nutriments semblent être déposés dans la sève des végétaux* ».

- **absorption** et **transformation** pour LR-AP : « *les végétaux assimile ces nutriments grâce à ses poils absorbants et au système de la photosynthèse qui consomme le CO₂ et l'H₂O pour produire du glucose* ».) ;

2 autres groupes en avaient déjà cité 2 :

- **absorption** et **transformation** pour EM-NM : « *La nutrition est le processus d'assimilation des nutriments par les racines, la photosynthèse permettant de synthétiser du glucose* » (notons ici qu'« assimiler » correspond à « absorber »); et pour TH-RZ : « *la nutrition est le phénomène d'assimilation de ces nutriments [...]. Ainsi, la photosynthèse fait partie de la nutrition car elle correspond à un phénomène d'assimilation et de dégradations du CO₂ et de l'eau pour en faire des nutriments (glucose)* » (notons ici qu'« assimiler » correspond à la fois « absorber » mais aussi « transformer »).

- **en vert** 1 groupe sur 12 exprime ce qui pourrait correspondre à 3 nécessités dans la production finale de groupe alors que les productions initiales n'en possédaient qu'une seule (**absorption** pour MC et BN) ou deux (**absorption** et **transformation** pour JC). Selon nous, **absorption**, **transformation** et **circulation** pourraient correspondre à des solutions possibles exprimées par MC-NB-JC : « *Chez la plante, les nutriments sont plus présent chez la sève élaborée que la sève brute. La plante peut produire ses nutriments grâce à la photosynthèse. [...] cette matière organique transforment en matière minérale assimilée par la plante grâce aux racines* ».

Pour l'ensemble de ces élèves, nous pouvons penser que la séquence a conforté les nécessités d'**absorption** et de **transformation**, le travail du problème pourrait être à l'origine de ce renforcement cognitif. Toutefois, notre analyse relève une nouvelle difficulté dans la communication de la pensée des élèves, elle est marquée par le mot « assimilation » : tantôt il est utilisé pour dire une **transformation** tantôt il l'est pour dire une **absorption** voire les deux.

L'hypothèse d'un registre explicatif fonctionnaliste de type mécaniste majoritaire pour les élèves pourrait l'expliquer. Le groupe LB-MS illustre notre propos : « *La nutrition est l'incorporation puis l'utilisation de ces nutriments. Cela permet d'assurer les fonctions essentielles de la plante (grandir)* ». Les élèves justifient leur argumentation par les verbes « incorporer », « utiliser », « assurer » et « grandir » comme une explication du fonctionnement de la nutrition des plantes par le mouvement. Or, dans cette forme de pensée « *l'homme est une machine vivante et pensante, tandis que l'animal est une machine vivante [...] quant au végétal, il n'est que machine et ne vit pas* » (Delaporte, 1979/2011, p.95-96). Autrement dit, peut-être pourrions-nous rapprocher cette pensée simplifiante « *qui se prend pour le reflet de ce qu'il y a de réel dans la réalité* » (Morin, 1990/2005, p. 11) d'un esprit préscientifique.

De plus, nous remarquons que si la nécessité de **circulation** n'est pas présente dans les productions initiales, elle apparaît de manière sous-entendue par le mot « sève » dans quatre productions finales, celles de MC-BN-JC, ED-AF-MM, FC-PLP-RS et AM-SP-BN. Nous pensons que les activités proposées dans la séance 4 (activités expérimentales) ont pu être bénéfiques pour aider à construire ou évoquer cette nécessité.

Au regard des résultats que nous présentons, la prudence entoure nos propos. En effet, s'attacher aux mots qui peuvent avoir des significations différentes selon le scripteur et le lecteur peut induire des biais dans notre analyse. Nous rappelons, en particulier, que les nécessités exprimées par les élèves devraient pouvoir être comprises par le chercheur et le lecteur par un « il ne peut en être autrement », ce que Orange (2012, p.38-39) formule ainsi en reprenant l'importance que nous attribuons aux échanges argumentatifs : « *ils permettent d'explorer et de délimiter le champ des possibles ; et de repérer ainsi des conditions de possibilité des solutions, ce que nous appelons des nécessités* ». Force est de reconnaître que les propos des élèves sont compris, en notre qualité de chercheur, comme des processus que l'analyse *a priori* a repéré comme une nécessité à construire, c'est-à-dire que nous inférons comme un « il ne doit pas en être autrement ». Par exemple quand LB-MS écrivent « *La nutrition est l'incorporation puis l'utilisation de ces nutriments* », nous comprenons que sans incorporation des nutriments, les élèves pensent que le fonctionnement de la nutrition des plantes pourrait être impossible. Nous accordons alors à notre analyse une nouvelle source de biais possibles.

5.4. Bilan de la séance 5

Pour notre étude de cas, le bilan de la séance 5 nous conduit à nous interroger sur 2 aspects de la langue comme moyen de communication. Le premier, repéré lors de l'analyse du débat, indique pour les 8 élèves concernés que pour un même signifiant « nutriment » mais aussi pour celui d'« assimilation », plusieurs signifiés sont révélés. Il y a donc un mélange de définitions alors même que les interlocuteurs s'attachent à discuter du même signifiant. S'agit-il d'une manifestation de la polyphonie du discours d'une personne qui a des acceptations différentes du signifiant ? Ou bien s'agit-il de différences de significations entre les élèves ? C'est ce que semble confirmer les textes finaux de groupes sans savoir toutefois à quel élève le mot est attribué. Les élèves indiquent que l'origine des nutriments est unique (exogène) ou double (exogène et endogène) selon les points de vue. Cela nous permet d'interroger les incompréhensions verbales lorsqu'un locuteur ou un scripteur s'exprime pour transmettre un message. Lors d'un débat, comment alors s'assurer que le message soit compris par tous ? Quels points de vigilance pourraient conduire l'enseignant à conserver son rôle de tiers ? Le second aspect que nous dévoile la comparaison des textes initiaux et finaux de la séquence est que le sens du message peut persister dans le temps, avec une prégnance de l'assertorique. Quelles sont les raisons de cette persistance des représentations observées lors de la séquence forcée?

Pour autant, nous nous sommes basés sur du déclaratif oral et verbal mais il n'est pas toujours aisé de décrypter le message car la force illocutoire¹⁸²¹⁸³ n'est pas toujours perçue par le chercheur. Il s'agit donc d'une limite à prendre en compte dans nos résultats. La conceptualisation dans les interactions entre élèves de la classe est donc complexe.

6. BILAN DU CHAPITRE 5

Ce chapitre a permis de développer une étude qualitative des interactions entre élèves induites dans les travaux de groupes, binôme ou trinôme, ou de la classe entière. La séquence forcée imaginée, *a priori*, a évolué à mesure que le travail du problème avançait. Les caricatures originales

182 Le concept de la force illocutoire est attribuée à John Langshaw Austin, philosophe analytique, qui a construit une théorie des actes de langage. Illocutoire s'accorde au message passé par l'usage de la parole.

183 Cela amène Vinatier (ibid, p.132) à noter l'importance de la « *force illocutoire qui restitue la valeur d'usage d'une énonciation et sa fonction dans la communication langagière, en relation avec l'engagement du sujet* ».

de la séance 2, le travail qui cherchait à faire exprimer des nécessités de la séance 3 et la focale sur le mot « nutriment » témoignent d'un travail qui ne peut reposer que sur une étude de cas. Celle-ci souligne l'importance de la prise en compte du langage dans les interactions entre interlocuteurs et autorise à dégager des inégalités cognitives pour un même objet de connaissance : ici la nutrition des plantes. De surcroît, si nous avons expérimenté le débat scientifique de classe dans la double perspective d'un enseignement et de la production de données pour la recherche, la conduite de celui-ci demande une certaine agilité pédagogique du professeur. Loin d'embrasser une coutume didactique qui consiste à attendre des réponses des élèves, il s'agit plutôt de favoriser l'argumentation, de les pousser à développer leurs idées, de les confronter aux autres pour les faire évoluer. Le jeu est donc plus périlleux pour l'enseignant et l'évolution des conceptions des élèves n'est pas généralisable. Celle-ci demande un temps différent selon les apprenants, nous y voyons tout l'intérêt du travail du problème lorsque la recherche de solutions est réifiée à l'école. Probablement parce que, nous l'avons mesurer lors de la mise en place de la séquence forcée, un temps suffisant est nécessaire pour faire conceptualiser les élèves et modifier leurs conceptions. Cela questionne à la fois la densité des programmes scolaires et le temps minuté de l'enseignant qui prépare à une classe à examen. De plus, à l'école, dans une perspective de construction de citoyen éclairé, « *le sens commun qui règne et de nombreuses notions faussement évidentes nécessitent une déconstruction critique* » (Astolfi , 2008/2014, p.55).

L'analyse de situations d'apprentissage permet également de comprendre comment les problèmes scientifiques sont travaillés en classe de SVT, notamment lorsque les obstacles sont identifiés *a priori*. Dans notre étude, nous mesurons davantage la puissance de ces obstacles dans la compréhension de la nutrition des plantes même si les conceptions des élèves sont finalement assez proches de celles des scientifiques. Comme l'activité cognitive de l'élève est reliée par essence au langage, les interactions entre élèves laissent penser que la compréhension du monde est modifiée lors des activités de classe : débat et productions écrites peuvent en témoigner d'où l'importance de leur analyse pour le chercheur. Aussi, lorsque du côté de l'enseignant il est question d'anticipation des difficultés des élèves, du côté du chercheur, il peut s'agir de repérer des obstacles épistémologiques. Ces derniers sont accessibles lorsque le travail de problématisation est mis en texte et nous rejoignons ici les conclusions de Lhoste (2017). C'est pourquoi, la prise en compte de l'évolution de ces productions au cours de la séquence renseigne de la construction des savoirs malgré une immersion collective génératrice de confusions.

Nous résumons ce chapitre dans la figure 69 ci-dessous.

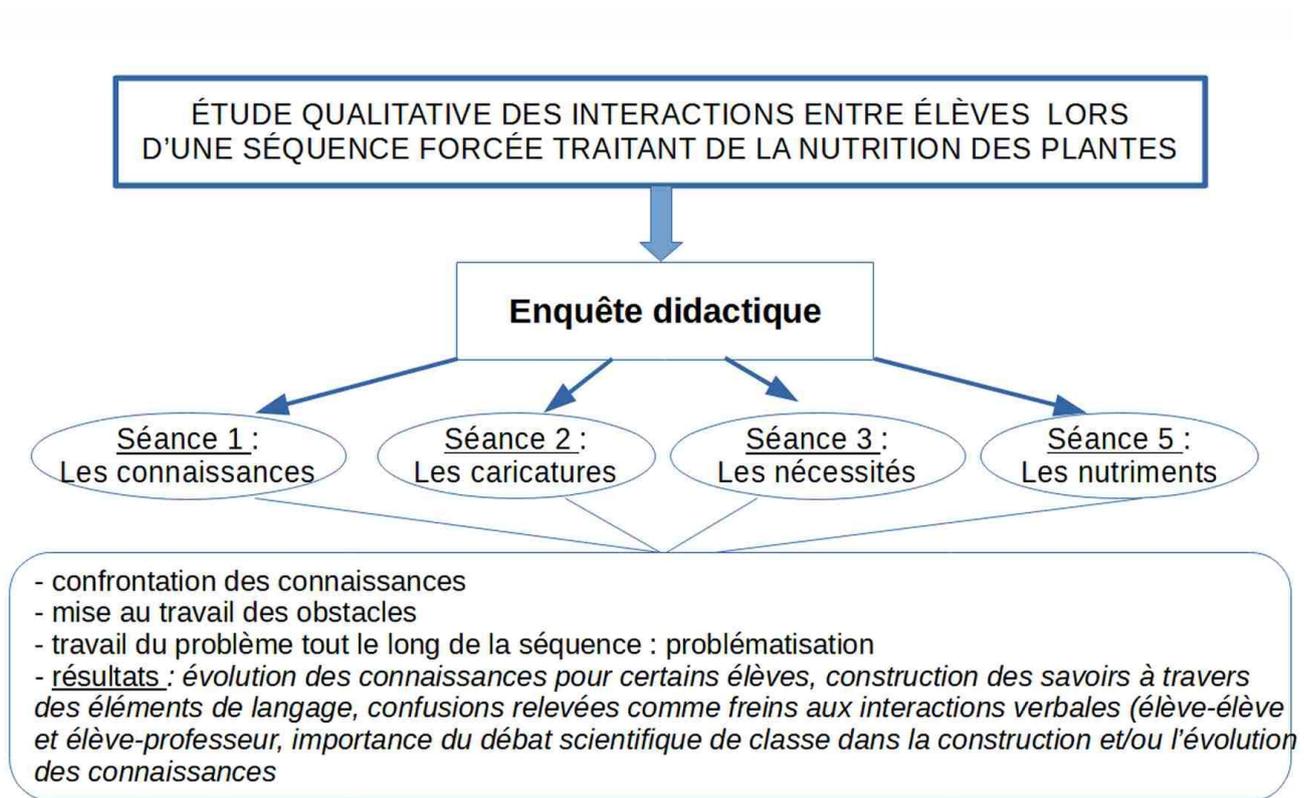


Figure 69 : bilan du chapitre 5

Fort de cette étude des interactions entre élèves, nous souhaitons désormais revenir à l'échelle individuelle pour comprendre comment les connaissances scolaires s'inscrivent dans le temps chez les élèves. La prise en compte des conceptions à propos de la nutrition des plantes à distance de la séquence forcée motive notre nouvelle et dernière enquête.

Chapitre 6 : étude qualitative des connaissances relatives à la nutrition des plantes des élèves de Terminale Scientifique et à distance de la séquence forcée

Introduction

1. CONTEXTUALISATION DE LA TROISIÈME ENQUÊTE

DIDACTIQUE

1.1 Une étude longitudinale pour la même classe de Terminale Scientifique

1.2 Le nouvel objet de la recherche

2. POSITIONNEMENT THÉORIQUE

2.1 La dimension didactique

2.2 La dimension curriculaire

3. MÉTHODOLOGIE DE L'ENQUÊTE

3.1 Une approche quantitative sur le lexique

3.2 Une approche qualitative lors des entretiens directifs

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Quelle est l'origine de tes connaissances sur les plantes ?

4.2 Que sais-tu de la croissance des plantes ? Que sais-tu de la nutrition des plantes ?

4.2.1 L'approche quantitative

4.2.2 L'approche qualitative du point de vue des connaissances scolaires

4.2.3 L'approche qualitative du point de vue des nécessités

5. BILAN DU CHAPITRE 6

Chapitre 6 : études quantitative et qualitative des connaissances relatives à la nutrition des plantes des élèves de Terminale Scientifique et à distance de la séquence forcée

« A notre avis, il faut accepter, pour l'épistémologie, le postulat suivant : l'objet ne saurait être désigné comme un 'objectif' immédiat ; autrement dit, une marche vers l'objet n'est pas initialement objective. Il faut donc accepter une véritable rupture entre la connaissance sensible et la connaissance scientifique »

Bachelard (1938/2011, p.286)

Introduction

Les programmes scolaires français des Sciences de la Vie de la Terre correspondent à un enseignement du second degré. Ils définissent 3 objectifs majeurs¹⁸⁴ que nous qualifions de cognitifs, d'épistémologiques et d'éducatifs. Concernant cette nouvelle enquête didactique, nous visons essentiellement un objectif cognitif, toujours celui de la nutrition des plantes, qui a une place importante dans l'étude du vivant (Dell'Angello-Sauvage et Gallezot, 2018). Puisque les élèves ont suivi une séquence forcée construite selon la problématisation (chapitre 5), dans ce nouveau chapitre, nous souhaitons désormais mesurer la pérennité de leurs connaissances et si elles relèvent d'un savoir raisonné.

La singularité de cette exploration didactique est donc qu'elle concerne un aspect des apprentissages scolaires : leur évanescence. Apprendre, c'est rajeunir contre les vieux schèmes de la pensée nous dit Bachelard (1938/2011), autrement dit par Develay (1992, p.79) cette fois, il s'agit de : « *la capacité pour le sujet à changer de système de représentations* ». Dans une approche didactique, la composante épistémologique est indissociable du versant psychologique de la conception (Orange et Orange-Ravachol, 2013). Aussi, nous comprenons pourquoi les élèves n'abandonnent pas facilement leurs modèles explicatifs et, pour les faire évoluer, il s'agit de réformer sa pensée (Bachelard, 1938/2011). Comment prendre en compte cette évolution lors des évaluations de classe ? Forts d'un métier¹⁸⁵ endossé durant de nombreuses années (Perrenoud, 2018), lors des évaluations sommatives, les élèves de Terminale Scientifique sont plutôt en réussite

184 Le B.O. spécial n°8 du 13 octobre 2011 précise p.1 « **aider à la construction d'une culture scientifique commune fondée sur des connaissances valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits [...]– participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation citoyenne par la prise de conscience du rôle des sciences dans la compréhension du monde [...] - préparer les futures études supérieures [...]** ».

185 Le « métier d'élève » pourrait avoir une connotation négative selon Perrenoud (1994/2010) puisqu'il relève de travaux forcés. Idéalement, ce métier l'invite à travailler pour apprendre des savoirs et des compétences dans un contexte social. Aussi affirme-t-il que « *l'école c'est la vie* ».

au niveau des connaissances à maîtriser. En revanche, dans un autre contexte ou à distance des apprentissages, les connaissances sont diminuées voire très affaiblies. L'objectif visé par les enseignants/l'institution est-il difficile à atteindre ? Comment expliquer cette amoindrissement des connaissances ?

Nous avons focalisé notre recherche sur la même classe d'élèves de TS parce qu'elle nous autorise à mesurer l'état des connaissances à plusieurs moments de l'année et, notamment, à distance de la séquence forcée. Afin de prolonger notre enquête relative aux difficultés de la construction de savoirs problématisés nous mettons en place un dernier recueil de données. L'objectif, cette fois, est d'évaluer la transformation des conceptions des élèves. Cela revient donc à questionner l'efficacité de la séquence forcée et son dispositif didactique. Nous réalisons à cet effet un corpus basé sur des entretiens directifs dans un contexte non ordinaire, ce que nous développerons dans la méthodologie. Dans une perspective épistémique, nous questionnons les connaissances des élèves et leurs origines possibles sans exhaustivité. L'objectif est donc double : développer une approche compréhensive de l'évanescence des savoirs scolaires et évaluer, à distance, le possible impact de la séquence forcée sur la construction de savoirs raisonnés.

1. CONTEXTUALISATION DE LA TROISIÈME ENQUÊTE DIDACTIQUE

Afin de réaliser un état des connaissances des élèves de la classe de Terminale Scientifique et à distance de la séquence forcée, un nouveau recueil de données est nécessaire. Il engage à un objet de recherche différent mais qui s'inscrit toujours dans une logique compréhensive des difficultés des élèves. L'apprentissage des connaissances relatives à la nutrition des plantes est toujours notre terrain.

1.1. Une étude longitudinale pour la même classe de Terminale Scientifique

Notre corpus a été construit en quatre étapes que nous rappelons chronologiquement (figure 64). L'étape 1 (octobre 2017 / chapitre 1) correspond aux productions individuelles des élèves, il s'agit de recueillir leurs connaissances initiales à propos de la nutrition des plantes pour en faire une analyse en termes d'obstacles (Bachelard, 1938/2011 ; Fabre et Orange, 1997). Au demeurant, elle

nous permet de faire des inférences pour en déduire les conceptions des élèves. Ensuite, dans le cadre de l'apprentissage par problématisation (Orange, 1997, 2002, 2007a ; Orange, Lhoste, Orange Ravachol, 2008 ; Fabre, 2006, 2009, 2017 ; Lhoste, 2017), l'étape 2 (octobre-novembre 2017 / chapitre 5) correspond à une séquence forcée (Orange, 2012). L'étape 3 (début février 2018), à distance de la séquence d'apprentissage, est associée au Baccalauréat blanc. L'évaluation sommative conduit à mesurer l'évolution des connaissances des élèves. Enfin, l'étape 4 (fin mars 2018 / chapitre 6), à laquelle se réfère ce nouveau chapitre, correspond à des entretiens directifs dont nous précisons l'intérêt. Cet enchaînement est résumé dans la figure 70 suivante.

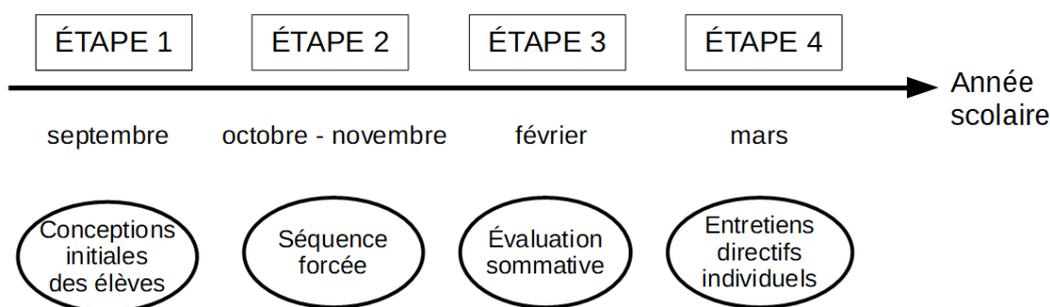


Figure 70 : les 4 étapes de l'étude longitudinale

1.2. Le nouvel objet de la recherche

L'étude quantitative a pour objet de mesurer l'état des connaissances des élèves à un instant t de l'année scolaire et d'évaluer les transformations possibles. C'est un préalable à l'étude qualitative qui vise à comprendre les processus d'apprentissages et les difficultés de leur assimilation par les élèves au terme du curriculum scolaire. Si nous cherchons à comprendre l'évolution des connaissances qui nourrissent les conceptions des élèves, ce sont les phénomènes de résistances/inhibitions que nous souhaitons également identifier. Selon notre thèse, ils sont des facteurs limitants pour la conservation des savoirs scolaires à long terme.

2. POSITIONNEMENT THÉORIQUE

Pour analyser les contenus relatifs aux déclarations des élèves, nous développons succinctement une double approche didactique. La première interroge la transmission des savoirs en

général. La deuxième questionne la dimension curriculaire du programme de SVT en Terminale Scientifique, au sujet des plantes, et l'approche proposée aux élèves. Ce nouvel éclairage permet d'appuyer notre analyse.

2.1. La dimension didactique

Entre nuages et horloges¹⁸⁶, nous reprenons à notre compte cette métaphore de Popper, (1972/1998, p.373) pour positionner les connaissances des élèves. Les nuages pourraient correspondre aux connaissances des élèves, une nébuleuse où se mêlent deux systèmes complémentaires mais parfois antagonistes : les connaissances du quotidien et les savoirs scolaires. Les horloges, mécaniques bien structurées, représenteraient les connaissances finales des élèves visées par les programmes, un point de vue académique. Nous avons déjà dit que dans tout apprentissage, des obstacles épistémologiques (Bachelard, 1938/2011, p.13-26) entrent en jeu et, s'ils ne sont pas pris en compte par l'enseignant, ils limitent l'accès au savoir. De plus, ces obstacles expliquent en partie les conceptions des élèves. Dans le cadre d'un apprentissage, certains affirment que ces dernières auraient même une fonction de nécessité et correspondraient à « *un -déjà là- conceptuel qui, même s'il est faux sur le plan scientifique, sert de systèmes d'explication efficace et fonctionnel pour l'apprenant* » (Astolfi et Develay, 1989, p.31). Apprendre revient donc « *à renoncer à ses explications premières et rompre avec les connaissances du quotidien et en déceler les insuffisances de par leurs incohérences et les contradictions qu'elles portent* » (Schneeberger, Orange, Orange-Ravachol et Lhoste, 2021, p.71). Dans le chapitre 1, nous avons eu force de rappeler qu'une caractéristique majeure des conceptions est leur stabilité puisqu'il y a nécessité d'une rupture avec les représentations initiales pour les faire évoluer. Astolfi (2008/2014) reprenant Houdé (1995) indique que pour les modifier, il est nécessaire d'inhiber ce qu'on sait déjà, de résister. Le chapitre 5 a dévoilé notre séquence forcée où il est question de comprendre ce qui se joue lors des apprentissages relatifs à la nutrition des plantes. Désormais, à distance de cette séquence forcée, nous souhaitons évaluer les connaissances des élèves pour estimer leur évolution. *A fortiori*, nous voulons comprendre les effets de cette séquence forcée sur les connaissances des élèves et leur persistance dans le temps.

2.2. La dimension curriculaire

186 « *Si nous revenons à notre bonne vieille frise de nuages et d'horloges, avec un nuage à gauche et une horloge à droite, nous pouvons dire alors que nous sommes à la recherche de quelque chose d'intermédiaire...* » Popper (1972/1998, p.373).

Le curriculum scolaire peut se définir comme un plan d'action qui « *s'inspire des valeurs qu'une société souhaite promouvoir ; ces valeurs s'expriment dans les finalités assignées à l'ensemble du système d'éducation. Le curriculum offre une vision d'ensemble, planifiée, structurée et cohérente des directives pédagogiques selon lesquelles organiser et gérer l'apprentissage en fonction des résultats attendus.* » (Demeuse et Strauven, 2006, p.16)¹⁸⁷. Cette production institutionnelle n'est donc pas attachée qu'à un programme d'enseignement tout au long de la scolarité où les connaissances, ou savoirs scolaires, et les compétences sont réifiées. Les programmes actuels de SVT se focalisent sur les savoirs en privilégiant les besoins socio-économiques, comme le précise déjà Fortin (2018) pour le premier degré. Ceux de Terminale Scientifique confirme cette tendance puisque si un chapitre est consacré à « *la vie fixée des plantes* », un autre lui est associé : « *la plante domestiquée* »(MEN, 2011). De plus, si nous prenons à notre compte ce que dit Bachelard (1938/2011), la connaissance unitaire et pragmatique est un obstacle à la connaissance scientifique. Or, le monde des plantes présenté dans les programmes a une fonction utilitariste, ce qui témoigne, selon nous, d'une vision anthropocentrée : « *le vivant non humain n'a pas de valeur intrinsèque, ce qui lui confère une dimension instrumentale au bénéfice de l'humanité* » (Fortin, 2018, p.40). Pour l'ensemble de ces considérations, nous faisons l'hypothèse que des savoirs scientifiques raisonnés sont difficiles à construire pour les élèves dans un contexte ordinaire¹⁸⁸ de classe et que les connaissances correspondent plus à un savoir à réciter.

3. MÉTHODOLOGIE DE L'ENQUÊTE

Le corpus utilisé pour la recherche provient toujours de la même classe de trente-deux élèves de Terminale Scientifique. Pour accéder aux connaissances des élèves, des données pertinentes sont recherchées. L'objectif est d'estimer l'évolution de leurs connaissances grâce à l'apprentissage scolaire pour ensuite, selon notre hypothèse, évaluer leur évanescence.

187 Pour ces auteurs, le curriculum comprend « *les composantes suivantes* :

- *les apprentissages à installer ;*
- *les stratégies pédagogiques et les processus didactiques à mettre en œuvre : processus d'enseignement ou de formation d'une part ; processus d'apprentissage d'autre part ;*
- *les supports didactiques ou les aides pédagogiques destinées d'une part, aux utilisateurs ; d'autre part, aux apprenants (les documents dont les manuels scolaires, le matériel didactique, l'outillage, ...) ainsi que les directives concernant leur utilisation ;*
- *les contenus-matières ou contenus disciplinaires ;*
- *les résultats effectivement attendus et les modalités d'évaluation auxquelles recourir afin de vérifier dans quelle mesure les apprentissages sont maîtrisés ;*
- *les modalités de gestion du curriculum.* » (ibid).

188 Ordinaire en comparaison d'un enseignement où l'apprentissage par problématisation serait dominant.

3.1. Une approche quantitative sur le lexique

La première mesure concerne les acquisitions des élèves en comparant les connaissances initiales de début d'année RI, les réponses RI' (connaissances initiales au moment de l'évaluation donc après la séquence forcée) et DS (pour les nouvelles connaissances mobilisées) lors de l'évaluation type Baccalauréat blanc (annexe 13). Nous attribuons certains termes à des connaissances lorsqu'ils sont utilisés en accord avec les savoirs scientifiques actuels (chapitre 2). C'est une limite à cette étude puisque les représentations ne peuvent se réduire à une somme de mots utilisés. Toutefois, nous considérons que cette méthode permet de faire une estimation de l'évolution des connaissances des élèves tout en mesurant que les contextes associés sont différents. Pour les connaissances initiales relatives à la nutrition des plantes, nous considérons sept éléments comme pré-acquis scolaires des niveaux précédents : le CO₂, les minéraux, l'eau, la lumière, la photosynthèse, les racines et les feuilles. A chaque élément repéré dans la production écrite de l'élève, nous attribuons « 1 », la somme des « 1 » correspond aux connaissances de l'élève. Celles-ci pourraient alors être assimilées au référentiel individuel utilisé pour élaborer sa propre représentation de la nutrition des plantes. Conformément au programme scolaire, pour les connaissances attendues en TS, nous retenons huit éléments : les poils absorbants, les stomates, le xylème, la sève brute, le phloème, la sève élaborée, grande surface d'échange, le transport des matières. Ici aussi nous attribuons « 1 » pour chaque élément cité. Le logiciel informatique d'analyse statistique JASP est utilisé pour calculer les moyennes et écarts types..

3.2. Une approche qualitative lors des entretiens directifs

La deuxième mesure s'attache à analyser les entretiens directifs individuels réalisés en classe lors de séances d'accompagnement personnalisé (étape 4). Le choix de l'entretien directif permet, selon nous, d'accorder aux élèves une plus grande possibilité d'expression. En effet, nous accordons à la parole une plus grande possibilité d'expression que par le passage à l'écrit qui, pour certains élèves, demeure une difficulté dans la traduction de leur pensée. A cet effet, nous avons proposé un entretien individuel confidentiel en proposant des conditions suffisantes pour que les autres élèves n'entendaient pas leur discours. Un autre avantage de l'entretien directif par rapport au questionnaire est de pouvoir relancer les élèves lorsque les mots peines à sortir. Deux séances ont été nécessaires (15 mars et 22 mars) pour recueillir les propos de 29 élèves (3 élèves absents). Les questions ouvertes (De Singly, 1992/2016) cherchent à apprécier l'origine des connaissances des

élèves pour comprendre comment les plantes se nourrissent, et les évaluer à distance des apprentissages pour les comparer aux données précédentes, elles sont au nombre de 4 :

- Q1 Quelle est l'origine de tes connaissances sur les plantes ?
- Q2 Comment caractériserais-tu une plante ?
- Q3 Que sais-tu de la croissance des plantes ?
- Q4 Que sais-tu de la nutrition des plantes ?

La formulation et l'ordre des questions sont respectés pour que tous les élèves soient interrogés dans des conditions similaires, ce qui augmente la validité de l'analyse des réponses. Les deux séances successives, prises lors de l'heure hebdomadaire « d'accompagnement personnalisé », ont été nécessaires pour réaliser les enregistrements individuels. Alors qu'ils réalisent des exercices d'entraînement au Baccalauréat, les élèves se présentent de façon spontanée face à nous lorsqu'ils sont disposés à répondre aux questions. Le dispositif de proximité élève-chercheur dans un coin de la salle de classe permet d'enregistrer la conversation sans gêner les autres élèves. La première question est utilisée pour connaître l'origine des connaissances des élèves. Si celle-ci n'est pas toujours consciente pour eux, et c'est une limite à leurs réponses, elle pourrait témoigner de leur résistance à de nouveaux systèmes explicatifs. Les entretiens révèlent quatre origines possibles : scolaire – scolaire et familiale - scolaire et médiatique – scolaire, familiale et médiatique. Bien que décontextualisée de tout problème scientifique, la deuxième question a l'intérêt de mettre l'élève en situation de mobilisation des connaissances concernant les plantes juste avant les questions 3 et 4 qui suscitent, pour notre recherche, un plus vif intérêt. En quelque sorte, celle-ci prépare aux questions suivantes, aussi, nous ne développons pas son analyse par la suite. Il faut dire que la séquence forcée est distante de 4 à 5 mois de cette étape 4. En définitive, seules les troisième et quatrième questions intéressent la poursuite de notre enquête consacrée aux connaissances des élèves et leur évanescence puisqu'il s'agit du problème scientifique étudié. Pourquoi deux questions ? Comme nous n'avons accès qu'au déclaratif des élèves et que le contexte de l'entretien d'un face à face élève-professeur est singulier, nous pensons que deux questions sont utiles pour forcer les élèves à rentrer dans une démarche de réponse explicative qui ne serait pas associée à une simple récitation de connaissances. La transcription des entretiens directifs individuels est consignée dans l'annexe 14. A travers ces questions, nous souhaitons donc mesurer les acquisitions possibles en fin de curriculum (RIFc) dans la perspective de construire un savoir raisonné. Nous conservons le même système de codage que précédemment (voir point 3.1.).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Quelle est l'origine de tes connaissances sur les plantes ?

Faisant l'hypothèse que l'érosion des connaissances serait liée à leur origine, nous avons croisé les résultats (RIFc) aux réponses des élèves à la première question de l'entretien directif : « Quelle est l'origine de tes connaissances sur les plantes ? ». Si le codage nous autorise à dégager quatre origines possibles (scolaire – scolaire et familiale - scolaire et médiatique – scolaire, familiale et médiatique), force est de reconnaître que nous n'avons pas mis en évidence de corrélation entre celles-ci et le nombre d'éléments validés dans leurs déclarations. En effet, lorsque nous avons croisé l'origine possible des connaissances des élèves et leurs résultats RIFc, aucun nuage de points ne s'est dessiné. Autrement dit, nous n'avons pas pu mettre en évidence un RIFc et une origine possible des connaissances. Nous en déduisons que, par rapport à nos données, l'érosion constatée pourrait donc ne pas être imputée directement à l'origine des connaissances des élèves. Toutefois, nous émettons plusieurs réserves à notre déduction dans la mesure où l'entretien se fait en contexte scolaire et face au professeur, ce qui pourrait conditionner les réponses. D'autre part, nous accordons aux connaissances des élèves des termes considérés valides scientifiquement, cela nous écarte des savoirs problématisés que nous souhaitons construire dans notre séquence forcée.

4.2. Que sais-tu de la croissance des plantes ? Que sais-tu de la nutrition des plantes ?

L'approche quantitative et qualitative ne correspondent pas à la même logique de recherche, mais elles se complètent (Pinard, Poitevin et Rousseau, 2004). Ainsi, selon ces auteurs, l'approche quantitative met l'accent sur l'expérience mesurée rendue objective à la mesure d'où l'importance du codage. L'approche qualitative, quant-à-elle, s'inscrit dans l'expérience subjective des individus, ce qui reflète le rapport au savoir. Toutefois, Larini et Barthes (2018) nous mettent en garde lors de la comparaison des méthodes. Certains facteurs sont à prendre en compte lors de l'analyse des données, citons par exemple l'influence du professeur lors des entretiens individuels mais aussi les possibles effets parasites. Nous pensons notamment aux conditions de récolte des données et celles-ci sont différentes pour notre recueil puisque RI correspond à un questionnaire, RI' à une évaluation sommative et RIFc à un entretien individuel oral. C'est pourquoi les résultats du tableau 16 ne

peuvent être confondus avec un pré-test et un post-test. Par ailleurs, comme l'analyse du contenu fait appel à l'interprétation d'un contenu explicite et implicite, les risques d'inférences sont présents (Richard, 2006). Afin de les limiter, il convient de surveiller son objectivité lors de l'analyse des données puisqu'un biais idéologique lié à la théorie *a priori* du chercheur peut surgir (Mucchielli, 1988 ; Van der Maren, 1996). C'est pourquoi, pour limiter nos inférences, nous avons eu à cœur de bien expliciter le codage des critères mobilisés pour augmenter la fiabilité et la validité de nos données. De plus, nous avons rendu transparent tous nos résultats consignés dans les annexes.

4.2.1. L'approche quantitative à l'échelle de la classe

Concernant le premier recueil, nous comparons les connaissances initiales (RI) des élèves à celles mobilisées lors du devoir (RI'), et nous évaluons la plus-value des apprentissages globaux (Somme = RI' + DS). Le RIFc est explicité dans le point 4.2.2., il est un élément de comparaison avec Somme. Les résultats sont consignés dans le tableau 16.

Les résultats indiquent que RI' est supérieur à RI, ce qui semble signifier une évolution des acquisitions ou une meilleure mobilisation des mots par les élèves. RI' se rapproche donc plus des pré-acquis visés par l'institution. Nous constatons également une augmentation globale des termes mobilisés (Somme = RI'+DS). Celles-ci pourraient correspondre à un apprentissage habituel d'élèves de Terminale Scientifique qui investissent pour une évaluation de type Baccalauréat blanc dans la mesure où elle est prise en compte dans le bulletin du second trimestre. L'intérêt de ces résultats est de confirmer que l'échantillon a progressé au niveau des termes utilisés et que nous faisons correspondre aux connaissances relatives à la nutrition des plantes. Ce résultat est conforme à nos attentes.

Tableau 16 : comparaison des résultats des élèves de la classe (logiciel JASP)

	RI	RI'	DS	Somme	RIFc
Élèves présents	32	32	32	32	30
Élèves absents	0	0	0	0	2
Moyenne des résultats	4,500	6,250	6,219	12,47	7,267
Minimum	2,000	3,000	2,000	9,000	0,000

Maximum	7,000	7,000	8,000	15,000	8,000
----------------	-------	-------	-------	--------	-------

4.2.2. L'approche qualitative du point de vue des connaissances scolaires

Si nous nous attachons maintenant à la réponse aux troisième et quatrième questions de l'entretien : « Que sais-tu de la croissance des plantes ? (Q3) Que sais-tu de la nutrition des plantes ? » (Q4), c'est que nous cherchons à repérer les explications possibles au problème scientifique étudié. Nous reconnaissons que le problème scientifique est sous-jacent puisque nous cherchons plus à savoir l'idée que ce font les élèves du fonctionnement de la nutrition des plantes. *A posteriori*, afin de mobiliser le cadre de l'apprentissage par problématisation, les questions 3 et 4 devaient devenir une seule et même question : comment peux-tu expliquer le fonctionnement de la nutrition des plantes ? Le RIFc correspond aux connaissances des élèves à distance des apprentissages. Bien que ne pouvant accéder qu'au déclaratif dans une situation peu ordinaire (face à face élève/enseignant dans un coin de la classe), les connaissances mobilisées témoignent d'un RIFc inférieur à Somme, ce que nous interprétons comme une diminution factuelle des connaissances. Qu'en est-il vraiment ? Lors des entretiens, certains élèves évoquent des difficultés à les mobiliser : « *souvent on oublie* » (Lilou) ; « *ce n'est pas resté* » (Nour) ; « *ça doit être erroné* » (Robin) ; « *c'est compliqué* » (Angelo). S'agit-il d'oublis en contexte d'entretien tout simplement ? Ou bien s'agit-il de résistance ou d'inhibition cognitive ? Et nous voyons ressurgir les obstacles que nous avons identifiés lors de l'analyse des connaissances initiales des élèves (RI). Pour l'essentiel : « *l'expérience première* » (Bachelard, 1938/2011, p.23) (« *du soleil, de l'eau, des feuilles et des racines* » Faustine), le substantialisme (« *plus ils absorbent plus ils grandissent* » Théo), et de l'anthropomorphisme (« *comme les êtres humains* » Jules ; « *sans se nourrir on ne grandit pas* » Anaïs). Cependant, nous devons mesurer nos propos car les conditions de mobilisation des connaissances (à l'oral, de façon individuelle, en face à face avec l'enseignant, non soumise à une note) ne sont pas celles d'une évaluation ordinaire de classe.

L'analyse langagière des entretiens directifs individuels nous conduit à penser que cette voie n'était pas pertinente puisque nous nous sommes plus attachés aux termes qu'à la construction des connaissances des élèves. Les limites sont nombreuses. De plus, dans le cadre de l'apprentissage par problématisation, le contenu du discours des élèves a plus d'importance : quels arguments mobilisent-ils ? C'est pourquoi une approche qualitative du point de vue des nécessités nous semble indispensable après cette approche statistique.

4.2.3. L'approche qualitative du point de vue des nécessités

S'il semble qu'une diminution des connaissances soit marquée à distance de la séquence forcée, que reste-t-il vraiment ? Et qu'en est-il au niveau du registre argumentatif des élèves ? Aussi, nous reprenons la transcription (annexe 14) pour identifier, pour chaque élève, les nécessités que nous pensons repérer dans leurs déclarations. Celles qui pourraient, par conséquent, être attribuées à un savoir raisonné même si cela relève parfois, nous en convenons, d'inférences. En effet, les propos des élèves ne s'inscrivent pas toujours dans une logique explicative, une connaissance mobilisée pouvant en faire émerger une autre sans qu'un lien les unisse. C'est un biais de notre entretien ou de son contexte : « *les nutriments qui vont dans la terre la partie aérienne et souterraine qui se mélangent* » (Marine), « *ben tout vient des racines et des feuilles les racines avec les sels minéraux donc heu... (silence) heu... pour les feuilles les stigmates ben mince c'est quoi déjà* » (Faustine). Lors de l'analyse de la séance 3 de la séquence forcée (chapitre 5, page 36), nous avons réalisé un espace de contraintes qui met en avant 2 nécessités : nécessité d'absorption et nécessité de transformation. *A priori*, elles sont au nombre de 3 puisque, d'un point de vue scientifique, il convient d'ajouter la nécessité de circulation de la matière : la plante ayant une alimentation aérienne et souterraine. Nous relevons, dans le discours des élèves, les arguments relatifs à ces nécessités. Les résultats sont illustrés par le tableau 17 suivant :

Tableau 17 : nombre d'élèves ayant mobilisé 1, 2 ou 3 nécessités dans la nutrition des plantes

Nombre d'élèves interrogés	Nécessité d'absorption	Nécessité de transformation	Nécessité de circulation
29	29	19	12

Le premier constat est que 12 élèves auraient développé un argumentaire par des affirmations que nous attribuons à la nécessité de circulation de la matière. Celle-ci apparaît probablement parce que leur registre empirique se transforme. En effet, si celui-ci « *peut accueillir à la fois des objets et des phénomènes, mais surtout des éléments très élaborés et déjà construits par ailleurs, comme des modèles factuels.* » (Schneeberger, Orange, Orange-Ravachol et Lhoste, 2021, p.68), nous avons fait l'hypothèse que la séquence forcée était un dispositif qui vise à faire évoluer les conceptions des élèves. Certains propos témoignent, selon nous, d'un enrichissement lexical qui permet aux élèves de mieux exprimer leur pensée et il s'inscrit dans un savoir raisonné : « *ça va faire de la sève brute [...] cette sève élaborée en fait c'est leur nourriture* » (Théo), « *avec le xylème je crois la sève*

brute » (Lilou), « *des vaisseaux à l'intérieur de la plante le phloème* » (Salma), « *ce glucose va revenir avec la sève et la sève élaborée qui va passer par le phloème [...] dans toutes les parties de la plante* » (Benoît). Pourquoi cela n'est-il pas généralisé à tous les élèves ? Nous pensons que, d'une part, l'explication repose sur les processus individuels d'apprentissage (méthodologie, motivation/appétence, projection...). De plus, dans un contexte de problème scientifique explicatif, si le collectif ajoute des interactions avec les pairs propres à confronter les représentations pour construire des explications raisonnées (ibid, 2021, p.71), nous savons que les représentations résistent. Enfin, nous basons notre analyse sur du déclaratif lors d'un entretien oral retranscrit, or nous n'avons jamais accès à la totalité de la pensée des élèves même à disposer de conditions optimales.

Le deuxième constat va dans le sens du premier. En effet, dans les propositions des élèves, nous notons des expressions qui annoncent le transport des éléments : « *circuit dans le végétal pour irriguer la plante* » (Jules) ; « *ils remontent dans la sève [...] sève élaborée qui est leur nourriture* » (Théo) ; « *jusqu'aux feuilles puis ça va faire un cycle* » (Lilou) ; « *communiquent entre l'air et le sol* » (Elise) ; « *minéraux vont remonter [...] remontent par le xylème [...] va revenir par la sève élaborée* » (Benoît) ; « *la sève transporte les nutriments* » (Eliott). Ainsi, puisque nous sommes à distance de la séquence forcée, la nécessité de circulation pourrait avoir été construite lors de celle-ci et apparaître comme nouvellement assimilée et potentiellement durable. Cela pourrait signifier qu'une partie des élèves (12/29) aurait progressé vers un registre argumentatif plus apodictique. Autrement dit, nous faisons l'hypothèse qu'il y a eu un enrichissement des connaissances vers un savoir scientifique raisonné qui pourrait se justifier, pour les élèves, comme une nécessité à construire quand il faut argumenter.

Cela en aurait-il été autrement dans une séquence ordinaire ? Cette construction d'une nouvelle nécessité relève-t-elle donc bien d'un apprentissage par problématisation ? Si nous ne pouvons être catégorique dans notre réponse, nous conjecturons que la mise au travail du problème fonctionnel de la nutrition des plantes engagée lors de la succession des séances de la séquence forcée favorise l'argumentation des élèves. Par exemple Lilou (36) explique le fonctionnement de la nutrition des plantes de la manière suivante : « 36- Lilou : *heu... avec ses interactions avec la partie souterraine et aérienne heu... donc la partie aérienne elle va avoir heu... de l'eau des minéraux du CO₂ qui enfin avec la partie souterraine va avoir des interactions pour qu'elles puissent se nourrir et la partie souterraine elle va donner heu... avec le xylème je crois la sève brute les minéraux et l'eau vont pouvoir aller jusqu'aux feuilles ça a faire un cycle comme ça (elle fait un geste avec son*

doigt). ». Son explication reprend les nécessités d'absorption et de circulation sans pour autant faire intervenir la nécessité de transformation des matières. Nous faisons le même constat pour Eliot (210) qui affirme qu' : « *ils se nourrissent grâce à leurs racines qui leur permet de faire de la sève enfin la sève permet de transporter les nutriments selon les besoins de l'eau qu'ils puisent aussi grâce à leurs racines.* ». Cet objectif que nous visons caractérise l'apprentissage par problématisation, un dispositif didactique non ordinaire basé sur les raisons et qui a été développé dans un contexte de débat scientifique de classe (chapitre 5). Lors d'un enseignement plus traditionnel, en témoigne la partie « la synthèse » du Baccalauréat, l'explication repose davantage sur une restitution de connaissances. Ainsi est-il prescrit dans le **B.O. spécial n°7 du 03 octobre 2011** : « **Partie 1** : Cette partie permet d'évaluer la maîtrise par le candidat des connaissances acquises. Le questionnement peut se présenter sous forme de question de synthèse et/ou de QCM. Il prend éventuellement appui sur un ou plusieurs documents. ». Même si celle-ci est attachée à un problème scientifique, il s'agit plutôt d'une récitation de connaissances organisées sans recherche explicite d'argumentation raisonnée. Nous constatons, en effet, que certains élèves ont des difficultés à argumenter et persistent à réciter leurs connaissances, c'est le cas par exemple de Benjamin (151) qui relève les besoins des plantes sans explication quant au fonctionnement de la nutrition : « *la nutrition ça se fait par l'air par le sol notamment les minéraux tout ça par le sol avec l'eau aussi et dans l'air on va avoir aussi l'H₂O surtout et ben de l'eau de l'oxygène (silence) et et heu ...l'énergie solaire en fait pour les végétaux chlorophylliens.* ». Cette difficulté qu'ont certains élèves à modifier leurs réponses pour sortir d'une logique scolaire traditionnelle tente à prouver qu'il est nécessaire que les enseignants pratiquent et ritualisent le travail argumentatif.

Nos résultats (12/29 élèves) interrogent le nombre restreint, mais non négligeable, d'élèves qui auraient progressé vers un savoir raisonné. Par exemple Théo (22) qui propose un modèle explicatif structuré, bien que marqué par des hésitations, sous la forme d'un récit : « *en fait je me rappelle un peu du cours en fait ils ont des poils absorbants dans les racines qui leurs permettent d'absorber des minéraux heu... et de l'eau qui... du coup ça va faire de la sève brute ils vont remonter y vont aller dans les feuilles en fait la photosynthèse ça va faire du glucose ça va faire de la sève élaborée cette sève élaborée en fait c'est leur nourriture.* ». Comment expliquer alors que certains arrivent à construire une nouvelle nécessité quand d'autres n'y arrivent pas ? Dans un contexte différent, celui du cadre de l'apprentissage par problématisation, les élèves ont-ils vécu la séquence forcée comme une expérimentation détachée du programme visé ? Par ailleurs, à distance de cet enseignement, les élèves ont-ils réellement fait un lien avec les questions posées lors de l'entretien individuel ? Nous reconnaissons que ces dernières n'étaient pas contextualisées comme

dans un enseignement traditionnel de classe, de plus, elles n'invitaient pas assez les élèves à problématiser dans le sens d'un modèle explicatif. Nous n'oublions pas non plus que l'objet d'apprentissage, la motivation et l'appétence pour la discipline scolaire sont à prendre en compte, elles sont donc à prendre dans nos inférences.

5. BILAN DU CHAPITRE 6

La définition de plante est plus complexe qu'il n'y paraît (Bosdeveix, 2016) et la compréhension de leur nutrition est également source de difficultés comme l'ont confirmé de nombreuses recherches en didactique des SVT (Peterfalvi, Rumelhard et Vérin, 1987; Campestrini, 1992 ; Orange, 1997 ; Lhoste et Peterfalvi, 2009). Si l'évolution des conceptions des élèves caractérise les apprentissages, celles-ci sont attestées lors des évaluations ordinaires, mais il pourrait s'agir de mémorisation à court terme où le métier d'élève entre en jeu (Perrenoud, 1984/1995). Pour autant, à distance de l'évaluation, les réponses fournies par les élèves lors des entretiens individuels tendent à montrer que, pour certains d'entre eux, l'apprentissage semble labile et les connaissances redeviennent des nuages. Pour certains, ces nuages sont différents mais ils sont assurément éloignés de l'horloge des savoirs scolaires et ce même pour les élèves en réussite scolaire¹⁸⁹. Comment alors expliquer cette évanescence des savoirs scolaires ?

Une première raison pourrait être que les obstacles épistémologiques et sémantiques (le mot « nutriments » voir chapitre 5) ont été contournés lors de la mémorisation pour l'évaluation mais ils reviennent inévitablement. Or, le savoir est « *conquis* » contre les obstacles (Bachelard, 1938/2011). Ensuite, le programme fortement anthropocentré, puisque inscrit dans une logique socio-économique qui présente les plantes comme une fonction utilitaire pour l'homme. Probablement faut-il redonner au savoir scolaire une dimension problématologique (Meyer, 1986). Il convient également d'interroger les concepts enseignés : « *les savoirs visés : une cible floue* » comme le précise Bucheton et Soulé (2009). Enfin, nous rappelons que lors de l'énonciation d'une question, il y a des malentendus qui peuvent perdurer, aussi les productions des élèves sont parfois maladroites car le concept ne serait pas encore stabilisé. Cela veut dire que les élèves conceptualisent à des niveaux et à des vitesses différentes. Pour conceptualiser, il y a nécessité de temps, temps pour « *inhiber ce qu'on sait déjà* » (Astolfi, 2008/2014, p.39) ou pour mettre en place une résistance cognitive indispensable à tout apprentissage (Houdé, 2014).

189 30/32 élèves de la classe concernée par l'étude ont eu le Baccalauréat en 2018.

D'un autre côté, l'assimilation de connaissances biologiques ne va pas de soi, probablement parce qu'il manque « *la dimension culturelle de l'enseignement de la biologie* » (Rumelhard, 2016, p.4). Cela rejoint les propos de Canguilhem (1968 ; 1977/2009) qui porte un regard sur la culture scientifique en biologie en indiquant qu'elle ne peut se construire uniquement sur l'enseignement de connaissances, au risque de correspondre à une accumulation d'informations. Selon nous, notre recherche permet de franchir une étape dans la compréhension des apprentissages scolaires, même si elle relève de l'étude de cas. En effet, le travail des nécessités que nous avons mis en place lors des débats scientifiques argumentés de la séquence forcée, et dans une situation de problématisation, pourrait être un levier pour faire évoluer les connaissances des élèves. Grâce à ce dernier, nous pensons qu'il pourrait, pour certains élèves, induire un enrichissement de leur registre des modèles en permettant d'augmenter le potentiel des nécessités lors de l'argumentation. Puisque le problème étudié est fonctionnel, l'évolution du modèle reconstruit par les élèves pourrait leur permettre de reconsidérer leur registre empirique, fruit d'une construction intellectuelle. Ainsi, pourrait-il se rapprocher davantage des savoirs scientifiques. Autrement dit, nous rejoignons les propos des auteurs qui affirment qu'« *accéder aux savoirs c'est co-construire le registre empirique et le registre des modèles spécifique du domaine abordé et les mettre en relation pour travailler les problèmes explicatifs en jeu et ainsi élaborer des explications raisonnées .* » (Schneeberger, Orange, Orange-Ravachol et Lhoste, 2021, p.72). En conséquence, ce levier conduirait à faire évoluer les connaissances des élèves vers une apodicticité et faciliterait les apprentissages pérennes. Nous résumons nos propos dans le schéma suivant (figure 71) :

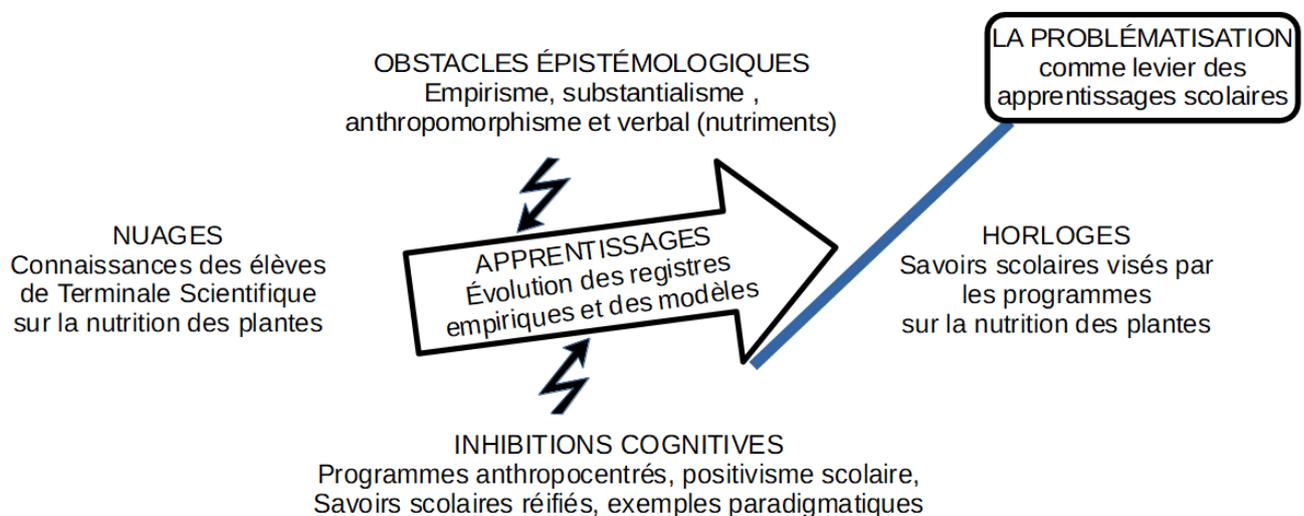


Figure 71 : la problématisation comme levier à l'évanescence des savoirs scolaires, l'exemple de la nutrition des plantes en Terminale Scientifique

Chapitre 7 : Discussion générale et mise en perspective

Introduction

1. DISCUSSION DES difficultés d'apprentissage des élèves Concernant LA NUTRITION DES PLANTES

1.1 Les divergences entre les savoirs scientifiques relatifs à la nutrition des plantes visés par l'enseignement des programmes scolaires de SVT et les connaissances des élèves de Terminale scientifique

1.2 Les connaissances des élèves : des enquêtes didactiques à la construction des conceptions qu'ils se font de la nutrition des plantes

1.2.1 Les représentations initiales des élèves

1.2.2 Les connaissances construites lors de la séquence forcée

1.2.3 Les connaissances à distance de la séquence forcée

1.3 L'histoire des sciences comme aide à la compréhension des difficultés des élèves

1.3.1 Les relations entre histoire des sciences et didactique

1.3.2 L'étude de la construction de la théorie de la nutrition des plantes

1.4 Bilan sur les origines possibles des difficultés d'apprentissage de la nutrition des plantes pour les élèves

2. DISCUSSION DE la problématisation et DU CADRE Théorique DE l'activité Langagière ET DE LA problématisation

2.1 L'activité langagière à analyser pour comprendre le processus de problématisation

2.2 Le cadre théorique de la problématisation pour faire émerger les relations entre les différents registres des élèves

2.3 Une dialectique problématisation et obstacles au cœur des difficultés d'apprentissage des élèves

2.4 Bilan de la discussion problématisation et cadre théorique de la problématisation et des activités langagières

3. MISE EN PERSPECTIVE POUR L'ENSEIGNEMENT des svt ET LA FORMATION des

ENSEIGNANTS

3.1 La portée de cette recherche pour d'autres thèmes des SVT

3.1.1 Des difficultés de généralisation à propos des plantes

3.1.2 Des connexions directes avec d'autres êtres vivants et d'autres fonctions

3.1.3 Des connexions indirectes

3.2 Les implications didactiques pour l'enseignement et la formation des professeurs de SVT

3.2.1 L'apprentissage par problématisation

3.2.2 La place du débat dans les apprentissages scientifiques

Chapitre 7 : Discussion générale et mise en perspective

« Toutes les fois que nous l'avons pu, nous avons indiqué par de brèves remarques, comment, d'après nous, l'esprit scientifique triomphait des divers obstacles épistémologiques, et comment l'esprit scientifique se constituait comme un ensemble d'erreurs rectifiées. ».

Bachelard (1938/2011, p.285)

Introduction

Notre thèse s'appuie sur 3 enquêtes didactiques que nous avons présentées dans les chapitres 4, 5 et 6. L'objectif du chapitre 7 est de réaliser une synthèse de nos travaux pour répondre à notre problématique initiale. Ainsi, nous avons comme volonté de mettre en relief les résultats majeurs que nous relevons avant de discuter de leurs limites. Trois parties vont structurer ce dernier chapitre.

D'abord, la discussion s'oriente vers les résultats obtenus concernant les difficultés des élèves de Terminale Scientifique lors de l'apprentissage de la nutrition des plantes. Ce thème, qui est la toile de fond de la problématique, est investigué par notre triple enquête. Celle-ci permet d'appréhender à la fois les représentations initiales des élèves, les apprentissages lors de la séquence forcée et l'évanescence de leurs connaissances à distance de l'enseignement.

Ensuite, la seconde partie débute autour d'une discussion de nature théorique de l'articulation de nos enquêtes. Elle se poursuit par une réflexion du cadre théorique où nous sollicitons à la fois l'activité langagière et la problématisation, mais aussi l'épistémologie et la didactique de la nutrition des plantes.

Enfin, la troisième et dernière partie est l'occasion de discuter de l'implication de cette recherche dans le champ de l'enseignement et celui de la formation des professeurs de SVT à laquelle nous sommes attachés¹⁹⁰.

1. DISCUSSION DES DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE DES ÉLÈVES CONCERNANT LA NUTRITION DES PLANTES

Ce premier point va nous permettre de discuter des connaissances des élèves et de leurs difficultés d'apprentissage en partant d'un double point de vue. D'abord, celui de l'analyse des résultats de nos enquêtes didactiques, ensuite celui de l'histoire des sciences qui résume la lente construction de la théorie de la nutrition des plantes. Un bilan des différents obstacles rencontrés sera l'occasion de faire un point sur l'état de notre recherche.

1.1. Les divergences entre les savoirs scientifiques relatifs à la nutrition des plantes visés par l'enseignement des programmes scolaires de SVT et les connaissances des élèves de Terminale scientifique

Notre question de recherche s'attache à comprendre : **comment expliquer les divergences entre les savoirs scientifiques scolaires et les connaissances des élèves de terminale scientifique à propos de la nutrition des plantes et quelles sont les difficultés de construction de ces savoirs problématisés lors d'une séquence forcée ?** Celle-ci est donc reprise partiellement dans le titre de ce paragraphe et elle s'intéresse à un objet d'apprentissage spécifique : la nutrition des plantes. Au demeurant, dans un cadre plus général, notre thèse s'est penchée sur les différences entre savoir et connaissance. D'ailleurs, faut-il chercher à savoir ou à connaître ? Lorsque le savoir est considéré

¹⁹⁰ Nous sommes responsable de la formation continue des professeurs stagiaires de SVT temps plein de l'académie de Nantes et nous contribuons à la formation de leurs tuteurs en appui des IPR.

comme un acquis culturel, une information à transmettre plus qu'à réciter, une certitude à partager comme espoir d'émancipation, la connaissance elle, est en chemin et nécessite compréhension et appropriation. Le voyage, en référence à Serre (1980), est par conséquent constellé de doute et de questionnement. Par conséquent, en réponse à notre question de recherche, nous affirmons qu'entre savoirs scientifiques et connaissances des élèves, il ne peut y avoir par essence que des divergences. Tout l'intérêt de notre travail a donc résidé dans la compréhension de deux manières d'apprendre différentes, voire opposées, et à chercher à les expliquer. En résumé, il pourrait s'agir de comprendre comment s'y connaître dans un objet d'apprentissage.

Une première difficulté relevée est que si le savoir peut s'acquérir ou se transmettre, la connaissance est plus difficilement exprimable dans une perspective de modèle explicatif. Elle relève des compétences de l'individu, en particulier pour passer de sa pensée à son expression compréhensible par autrui. D'où la difficulté de l'enquête pour le chercheur. De plus, sur le chemin de la connaissance, lorsque les savoirs sont compris comme des points d'appui, nous savons que des obstacles peuvent être rencontrés. Une seconde difficulté concerne l'apprenant car lorsqu'un sujet est persuadé de connaître, d'ailleurs n'est-il pas fréquent d'entendre communément en classe un « je le sais », l'élève abandonne sa posture de cherchant et se réfugie dans un monde à travers il croit : le tien, c'est-à-dire ses représentations. Or, toute certitude limite notre accès au savoir et renforce notre ignorance. C'est pourquoi, nous souscrivons aux mots de Bachelard (1938/2011, p.286) quand il écrit que « *les tendances normales de la connaissance sensible, tout animées qu'elles sont de pragmatisme et de réalisme immédiats, ne déterminaient qu'un faux départ, qu'une fausse direction.* ». Dans une quête existentielle de réponses à la compréhension du monde, l'auteur nous invite donc à rester éveillé et à réformer notre esprit.

Après avoir dépassé cette distinction générale du savoir et de la connaissance, quelles explications pouvons-nous alors faire émerger pour expliquer les divergences entre les savoirs scientifiques relatifs à la nutrition des plantes visés par l'enseignement des programmes scolaires de SVT et les connaissances des élèves de Terminale scientifique ?

1.2. Les connaissances des élèves : des enquêtes didactiques à la construction des conceptions qu'ils se font de la nutrition des plantes

Nous reprenons successivement et chronologiquement les 3 enquêtes didactiques en discutant de l'analyse de la méthodologie engagée avant de développer l'analyse didactique.

1.2.1. Les représentations initiales des élèves

- **Analyse de la méthodologie**

Le questionnaire de l'enquête exploratoire, sur lequel nous nous basons, a été distribué dans 6 lycées angevins. L'objectif que nous souhaitions atteindre était d'avoir un panel représentatif d'élèves pour faire paraître des régularités quant aux connaissances relatives aux plantes. Si la cohorte est de N = 453 réponses, elle ne correspond qu'à l'échantillon d'une seule ville. Toutefois, Angers est considérée comme « la ville du végétal¹⁹¹ », tant par sa politique de végétalisation¹⁹² que par l'implantation de nombreuses entreprises et de formations universitaires. Aussi, nous pouvons considérer que les élèves échantillonnés ont été sensibilisés au végétal dans leur scolarité ou à travers des manifestations urbaines *de facto*.

Nous rappelons que nous nous sommes intéressés aux deux premières questions de notre enquête exploratoire puisque nous avons fait le choix de limiter notre investigation à la nutrition des plantes (chapitre 4). Si nous avons cherché à obtenir un panel suffisamment large de réponses, c'est surtout l'aspect qualitatif, en termes de recherche de régularité des réponses des élèves, qui motivait notre investigation. Ainsi, nous considérons une relation dialectique entre le nombre de réponses obtenues et l'aspect qualitatif pour notre analyse didactique.

Le point suivant interroge l'ordre des questions. Nous constatons, comme l'affirme Grémy (1993), que celui-ci a un impact puisqu'à la première question « *Que sais-tu de la croissance des végétaux ?* » 14,3 % des élèves n'ont pas répondu alors qu'à la deuxième question « *Que sais-tu de la nutrition des végétaux ?* » ils n'étaient plus que 8,4 % . Nous avons vu dans l'analyse didactique qu'un biais analogique est révélé par les deux questions, ce que nous n'avions pas anticipé.

Le dernier aspect concerne la période choisie pour la passation du questionnaire : le début de l'année scolaire. Si nous avons décidé de questionner les élèves dès le mois de septembre, c'est parce que nous souhaitions nous attacher à leurs connaissances avant l'enseignement des 2 chapitres

191 Selon une étude réalisée par l'UNEP en 2014 auprès des 50 plus villes françaises de 85 000 habitants et plus.

192 Angers abrite le premier parc d'attraction consacré au végétal : Terra Botanica.

du programme de Terminale Scientifique relatifs aux plantes. Ainsi, nous considérons que leurs connaissances pouvaient être assimilées à leurs représentations initiales, autrement dit, avant la période d'enseignement. A défaut, le début d'année scolaire demande aux élèves de mobiliser leur métier d'élève et, dans notre situation, de participer « bénévolement » à une évaluation diagnostique par un inconnu (le chercheur, nous-même) et sans retour immédiat des réponses. Un contrat didactique, *a priori*, non académique donc périlleux.

- **Analyse didactique**

L'analyse des questions nous a conduit à montrer que la croissance des plantes est prioritairement considérée par les élèves comme une dialectique besoin/développement pour 50 % des réponses. Un raisonnement de type analogique qui se présente comme un obstacle à une explication avancée. Or, celui-ci semble récurrent dans le domaine des SVT comme le précisait déjà Lhoste (2008), ce qui ouvre des perspectives de recherche .

Dans les représentations des élèves, cette dialectique forte nutrition-croissance est une autre découverte de notre recherche. Elle permet d'envisager une double origine possible :

- Avant tout, l'empirisme. En effet, lorsque les élèves abordent les éléments nutritifs du point de vue de la croissance, ils citent le quadriptyque dans l'ordre suivant (en terme statistique décroissant) : soleil – eau – minéraux - CO₂. La priorisation du soleil et de l'eau sont probablement à attribuer à l'expérience première puisque le dogme « soleil + eau » suffirait à faire pousser les plantes. *A contrario*, la minoration des éléments minéraux et du CO₂ est associée à des obstacles épistémologiques qui voilent leur importance. Lorsque le point de vue est du côté de la nutrition, le quadriptyque change d'ordre : eau – minéraux – soleil - CO₂ . L'eau et les minéraux deviennent plus importants dans les représentations des élèves, probablement parce que leurs réponses indiquent que la nutrition est principalement réalisée par les racines à partir du liquide et du solide. En définitive, nous montrons que l'analogie nutrition-croissance masque en réalité un registre explicatif différent : certains pensent que la nutrition permet la croissance quand d'autres imaginent que les deux phénomènes sont indépendants. Nous confirmons ici les travaux de Lhoste (2008, p.412) lorsqu'il dit que « les élèves sont confrontés à la coexistence de différents réseaux de sens qui ont un ancrage dans des registres différents ».

- De plus, à la lecture des programmes de SVT du second degré, les plantes sont étudiées parce qu'elles ont directement ou indirectement des avantages pour l'Homme. Par un raisonnement de type inductif des élèves, nous pouvons penser qu'ils font de la nutrition le maillon essentiel de leur croissance qui elle-même satisfait les besoins humains. Les élèves expriment d'ailleurs cela par des réponses comme « *bon pour la santé* » (MC DA) ou « *sa se mange* » (NL DA) ou encore « *jardiner, faire pousser une plante* » (MS RE). Cette vision anthropomorphique que nous soulignons corroborent les constatations de Fortin (2018) qui stipule que les programmes abordent les plantes selon une vision socio-économique¹⁹³.

Notre recherche est centrée sur les difficultés des élèves. Quelles sont celles qui ressortent principalement de notre analyse ? La discussion permet d'envisager les difficultés attendues et celles que nous découvrons. En effet, dans les explications des élèves concernant la nutrition des plantes deux difficultés sont relevées : l'origine du O₂ qui est souvent associée au CO₂ (probablement parce que littéralement CO₂ = C + O₂) et la confusion respiration-photosynthèse puisque la photosynthèse est comprise comme une respiration inversée. Nous considérons ces difficultés constatées comme attendues puisqu'elles ont déjà été mentionnées par d'autres recherches en didactique (Rumelhard, 1985 ; Goix, 1997 ; Orange, 1997 ; Lhoste, et Peterfalvi, 2009). En plus de ces difficultés attendues, nous découvrons d'abord un obstacle sémantique qui conduit, selon nous, à des confusions : celui de nutriment. Lorsque nous considérons les éléments nutritifs des plantes, les élèves expriment des idées différentes pour « nutriment » : le mot est fortement polysémique. De surcroît, nous découvrons l'importance du raisonnement inductif dans les réponses des élèves probablement « *par répétition issue du sens commun* » car il donne de « *bonnes raisons (à) notre confiance dans les régularités* » (Popper, 1979/1998, p.73 et p.75). Ce biais nous semble aussi favorisé par le questionnaire qui demande une réponse « rapide » et sans interactions pour confronter les points de vue. Par conséquent, l'analyse des réponses pourrait perdre en qualité. Ces résultats ouvrent des possibilités de recherche d'autant que les élèves ont des connaissances qui sont parfois difficiles à mobiliser : 64 % des élèves en fin de scolarité n'ont pu citer qu'1 ou 2 critères du quadriptyque. C'est aussi pour cela que l'analyse du questionnaire est discutable qualitativement.

193 L'aspect socio-économique sous-jacent questionne, selon nous, une politique éducative qui présente notre rapport aux plantes comme un besoin. Or, celui-ci s'éloigne d'un rapport au vivant où les enjeux environnementaux sont secondarisés. Dans le cadre d'une émancipation citoyenne, une norme éthique et morale qui s'attache à la valeur de la vie sur Terre comme un absolu pourrait être une nouvelle perspective éducative : la « politique de Cassandra » (Mathias, 2009).

Désormais nous envisageons le regard à porter sur les connaissances construites lors de la séquence d'enseignement, c'est-à-dire avec une classe de référence.

1.2.2. Les connaissances construites lors de la séquence forcée

- **Analyse de la méthodologie**

Pour les productions écrites des élèves de la classe (schémas et textes) et les débats associés (chapitre 5), l'analyse est essentiellement du ressort qualitatif. Notre intérêt portait sur la construction des connaissances issues des programmes de SVT en s'appuyant sur les représentations initiales des élèves. En mobilisant le cadre de l'apprentissage par problématisation, notre intention est de dépasser ces objectifs en développant des compétences argumentatives. Nous verrons dans la section 2. l'importance accordée à la problématisation. Ainsi, la séquence forcée a débuté par le recueil des représentations des élèves (séance 1), d'abord individuellement puis par groupes de 4 élèves. L'effet mobilisateur recherché a été amplifié par la confrontation des points de vue lors des débats intragroupes (Orange, 2012). Ces derniers ont conduit à la réalisation de caricatures (séance 3), un dispositif didactique qui aspirait à développer l'argumentation des élèves individuellement, puis par groupes de 4 élèves. Le dispositif se répète donc pour faciliter le travail du problème. Celui-ci n'est qu'une étape pour que le débat de la séance 3 plonge les élèves dans le registre des modèles à la recherche des nécessités (Orange, 2001, 2002, 2005, 2010, 2012 ; Lhoste, 2007). Nous rappelons que la séquence forcée a un double objectif : celui de produire des données pour la recherche et de construire des apprentissages. La discussion que nous engageons interroge l'échelle visée : l'élève, la classe ou les deux ? En effet, lors de l'avancée des débats, les représentations initiales sont soit conservées tant que l'apprenant n'est pas disposé à « *une catharsis intellectuelle et affective* » (Bachelard, 1938/2011, p.21) soit elles sont fissurées. Dans ce second cas, les élèves se repositionnent face à leurs connaissances et pourraient faire évoluer leurs représentations. Pour autant, puisque tous les élèves ne se mobilisent pas de façon explicite, ceux qui le font sont-ils représentatifs de l'ensemble ? Par ailleurs, si l'analyse du discours se focalise sur les échanges argumentatifs et les fondements des arguments produits pour comprendre la dynamique du débat, comme le précise Orange (2012) dans un cadre de problématisation, nous considérons qu'il s'agit d'une photographie dans un espace temps. Si chaque discours est une étude de cas, comment générer des généralités à des fins d'enseignement ? A l'opposé, s'agit-il de généraliser ou de singulariser les études de cas dans une mécanique de compréhension adaptée à l'enseignement ? Le débat initié lors de la séance 5 est construit sur le même modèle que les précédents, aussi avons-nous créé un contrat didactique qui devient un modèle de fonctionnement

de la classe. Nous considérons que dans la mesure où l'exercice n'est pas systématique mais répétitif, il pourrait favoriser le travail de l'argumentation recherché, ce qui vise à une forme d'apodicticité des connaissances des élèves.

- **Analyse didactique**

Lors de la séance 2 de la séquence forcée, les caricatures ont permis de développer l'argumentation des élèves dans le débat scientifique de classe. La structure argumentative que nous avons proposée reprend un épisode fortement argumentatif pour lequel le CO₂ pose un problème conceptuel aux élèves. D'une part, l'absence du gaz est prise comme une tautologie pour justifier l'impossibilité de la réalisation de la photosynthèse, aussi elle n'est pas expliquée. Plus encore, cette absence glisse vers un problème énergétique selon le discours des élèves. Dans le même temps, la confusion nutrition-respiration émerge. Cela signifie que le problème du CO₂ est plus complexe qu'il n'y paraît et se présente comme un nœud de difficulté qui relève d'un champ conceptuel. Ce concept introduit par Vergnaud (1990) a été repris par Astolfi (2008/2014, p.140) comme : « *un espace de problèmes assez proches, mais qui sont très différemment réussis* ». Par ailleurs, l'espace de contraintes, qui correspond à un outil d'analyse du cadre théorique de la problématisation, à l'intérêt de mettre en lumière l'ensemble du débat. Lors de celui-ci, le travail des nécessités rejoint celui de la compréhension du problème au sens poppérien de la définition¹⁹⁴. Dans le discours des élèves, nous avons repéré deux points qui sont comme des aspérités dans la dynamique des échanges : le CO₂ et les nutriments. Or, « *comme les nécessités se propagent en s'appuyant sur le registre empirique et le registre explicatif* » des élèves (Orange, 2012, p.43), elles ne sont pas toujours exprimées comme telles et il s'agit pour le chercheur d'inférences. En effet, dans la mesure où un espace de contraintes est une image du processus de construction des nécessités et de la problématisation en jeu, lors de notre analyse, certaines données du registre empirique ont pu être valorisées et/ou elles ont pu être interprétées dans un sens différent de celui des élèves. Dans la polyphonie du discours, comment le chercheur peut-il atteindre l'objectivité ? Nous souscrivons alors aux propos de Bachelard (1938/2011, p.289) : « *puisque'il n'y a pas de démarche objective sans la conscience d'une erreur intime et première, nous devons commencer les leçons d'objectivité par une véritable confession de nos fautes intellectuelles* ».

194 Pour Popper « *comprendre un problème, cela veut dire comprendre ses difficultés, cela veut dire comprendre pourquoi il est difficile à résoudre – pourquoi les solutions les plus évidentes ne marchent pas* » (1979/1998, p.390).

Lors de la séance 3, le travail des nécessités se poursuit. Nous avons montré que, dans les productions écrites des élèves (chapitre 5), 3 niveaux d'argumentation se dessinaient : l'absence d'arguments correspondant, selon nous, davantage à un discours assertorique, la présence d'arguments avec soit uniquement la présence de nécessités exprimées, ou sous-jacentes, soit la présence de nécessités avec coexistence de la temporalité des événements. Ce dernier niveau engageant à une explication d'un ordre plus élevé. Cela signifie que les élèves ont des connaissances qu'ils mobilisent avec plus ou moins de succès ou d'efficacité. Dans la suite de la séance, le débat est le véritable déclencheur de la construction des savoirs que nous mettons en perspective d'un apprentissage par problématisation. Or, nous avons pu mettre en évidence dans un épisode du débat (structure argumentative associée) les 3 rôles argumentatifs décrits par Plantin (1996, 2005) : le proposant, l'opposant et le tiers. Nous avons relevé des changements de position énonciative d'élèves et la possible prise en charge du rôle du tiers, or, ce dernier rôle est considéré comme essentiel dans la problématisation¹⁹⁵ (Orange, 2012, p.53). L'espace de contraintes qui reprend le débat nous a permis, quant-à lui, de comprendre certaines difficultés des élèves qui relèvent d'obstacles épistémologiques dont les principaux sont le substantialisme, l'empirisme et l'anthropomorphisme. De surcroît, nous avons eu à cœur de montrer que l'obstacle sémantique « nutriment » persistait comme un bruit de fond cognitif. Nous considérons qu'il est comme un facteur limitant à la construction du savoir visé, c'est-à-dire à la reconstruction du savoir relatif à la nutrition des plantes. Dans le débat explicatif qui se joue, l'explication de la nutrition des plantes est donc parasitée par le mot « nutriment ». S'il nous paraît important de souligner la précision lexicale du point de vue du chercheur, c'est que du côté des enseignants, lorsque celle-ci apparaît, la raison de cette exigence n'est pas souvent explicitée comme l'ont montré les travaux de Weisser (2003) et de Lhoste (2008). Cela correspond pour nous à une autre découverte *a posteriori*, c'est pourquoi, face à ce nouveau nœud de difficultés incarné par l'obstacle sémantique « nutriment », nous avons fait évoluer la séquence forcée pour construire la séance 5.

Le débat produit lors de la séance 5 est donc centré sur le mot « nutriment ». Il a été précédé par une activité de production écrite autour du concept, par groupes de 2 ou 3 élèves, afin de les mobiliser pour confronter leurs idées. Nous avons relevé que pour le même signifiant, 4 signifiés différents émergeaient. Cela signifie, selon nous, que le discours polyphonique s'exerce comme une bande passante dans un espace cognitif où les protagonistes acceptent de petits accords pour faire avancer le débat. Cette instanciation est caractéristique d'une communauté discursive scolaire que

195 Selon Orange « l'intérêt de ce rôle du tiers dans la problématisation est de se détacher un moment de la dynamique argumentative pour faire le point sur le débat, faire ressortir les argumentations en présence et, dans la mesure du possible, les thématiser » (2012, p.63).

les travaux de Jaubert (2007) ont pu décrypter. Celle-ci se distingue de la communauté discursive scientifique où l'exigence lexicale est à sa plénitude. Aussi, lorsque nous cherchons des ponts entre les deux communautés discursives, l'intérêt porté au signifié des concepts peut-être une clé explicative des difficultés des élèves. Selon nous, celles-ci résulteraient alors de la transposition didactique en induisant un écueil dans les apprentissages. Cette thèse amène à une forme de vigilance déjà soulignée par Brousseau (1986, cité par Astolfi et al., 2008/2011, p.186), nous ne pouvons que rejoindre ses propos lorsqu'il écrit que la transposition didactique « *a son utilité, ses inconvénients et son rôle, même pour la construction de la science. Elle est à la fois inévitable, nécessaire et en un sens, regrettable. Elle doit être mise sous surveillance* ».

1.2.3. Les connaissances à distance de la séquence forcée

- **Analyse de la méthodologie**

Les mesures réalisées pour évaluer l'évolution des connaissances des élèves sont limitées à 3 moments : au début de l'apprentissage, à la fin de l'apprentissage et à distance de celui-ci. Il s'agit donc d'une approche quantitative basée sur des critères retenus que nous estimons comme pertinents. Si cette enquête s'éloigne du cadre de l'apprentissage par problématisation, nous pensons qu'elle est complémentaire à une compréhension des difficultés d'apprentissage des élèves, objectif qui anime notre question de recherche. Le codage réalisé permet donc « *de passer de la langue des personnes interrogées au langage numérique* » (De Singly, 1992/2016, p.88). En référence au chapitre 6, les 4 questions posées aux élèves sont fermées, cela réduit les variables.

Nous rappelons que les entretiens directifs menés à distance de la séquence forcée ont été proposés lors de deux séances d'accompagnement personnalisé. Si nous avons cherché à optimiser un contexte favorable pour recueillir les propos individuels des élèves, nous reconnaissons qu'il a pu y avoir des échanges entre les élèves après chaque passage. De plus, puisque les 2 séances sont séparées d'une semaine, cela a pu permettre à certains élèves d'échanger des propos. Les 4 questions posées sont fermées, c'est-à-dire qu'elles obligent l'élève à donner une réponse précise et comme elles sont peu nombreuses, l'effort cognitif est de courte durée : environ 3 minutes par élève. Ce temps était-il suffisant pour mobiliser les élèves ? Nous savions, par ailleurs, que la première question d'un questionnaire est moins mobilisante. Nous avons opté pour une sollicitation qui ne poserait pas de difficultés cognitives : « *quelle est l'origine de tes connaissances sur les plantes?* ». C'est la quatrième question qui allait principalement nourrir notre recherche. Elle

reprend la forme de la question posée pour les représentations initiales et une forme approchée de l'évaluation du Baccalauréat : « *que sais-tu de la nutrition des plantes ?* ». Si la question nous semble claire du point de vue du chercheur, elle peut être déstabilisante pour le questionné, ce que De Singly (1992/2016, p.21) a montré en expliquant que toute question « *repose sur une réduction de la réalité* ». Par conséquent, cette dernière question qui invite à davantage d'explications à l'oral, que dans une forme plus ordinaire de classe, a pu perturber certains élèves. De plus, si la question pose un problème, elle n'est pas problématisante car elle engage plus à une restitution de connaissance qu'une explication du fonctionnement de la nutrition des plantes. Nous avons conscience également que les connaissances demandées aux élèves relèvent, dans le cadre scolaire, d'une épreuve enseignant-enseignés au sein même du contrat didactique : elle ne peut donc pas être une « *mesure* » exacte des apprentissages comme l'indiquait Chevallard (1985).

- **Analyse didactique**

Nous avons proposé une double approche pour l'analyse des résultats : quantitative sur le lexique et qualitative lors des entretiens.

L'analyse quantitative des résultats à la quatrième question a confirmé notre projection *a priori* : les connaissances initiales (RI) des élèves étaient inférieures à celles mobilisées lors du devoir (RI'), elles-mêmes inférieures aux apprentissages globaux (Somme = RI' + DS). Les élèves sont ordinaires et généralement, en contexte scolaire, suite à un apprentissage les connaissances augmentent. De plus, le RIFc, qui correspond aux connaissances des élèves à distance des apprentissages, est inférieur à Somme : un résultat que nous avons également anticipé. En effet, selon la théorie piagétienne de l'assimilation, apprendre est assimilé à une adaptation de l'organisme. Pour notre recherche il s'agit donc de s'adapter au milieu scolaire comme le montre nos résultats (RI < RI' < Somme). De plus, nos derniers résultats (RiFc < Somme) pourraient s'expliquer par une résistance du modèle explicatif et/ou du contexte peu mobilisant pour certains élèves. D'autres facteurs seraient-ils responsables ? Les réponses des élèves ont révélé la présence d'obstacles qui resurgissent puisqu'ils avaient déjà été repérés au début et au cours de l'apprentissage. Pour les plus marquants : l'empirisme, le substantialisme et l'anthropomorphisme. Nos résultats illustrent donc les conséquences des obstacles épistémologiques qui sont « *causes de stagnation et même de régression* » sans vouloir « *incriminer des sens et de l'esprit humain : c'est dans l'acte même de connaître, intimement, qu'apparaissent, par une sorte de nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des troubles* » (Bachelard, 1938/2011, p.13). Tout l'intérêt pour les

enseignants est de les prendre en compte pour les mettre au travail. En effet, « *l'obstacle est en lien avec celui de représentation, mais l'obstacle présente un caractère plus général et plus transversal que celui de représentation : il est ce qui, en profondeur, explique et stabilise la représentation.* » (Schneeberger, Orange, Orange-Ravachol et Lhoste, 2021, p.35). Or, dans le chapitre 1 relatif à l'apprentissage, nous avons rappelé l'importance de faire évoluer les représentations des élèves pour qu'ils puissent accéder à de nouveaux modèles explicatifs raisonnés.

Si nous revenons à la première question, notre échantillon, même s'il est faible (N = 29), nous a permis de dégager 4 catégories pour l'origine possible des connaissances des élèves pour la nutrition des plantes. Contrairement à nos attentes, peu d'élèves de Terminale Scientifique consultent les médias, dont Internet, pour enrichir leurs connaissances. Comme nous n'avons pas trouvé de corrélation en croisant ces catégories et les scores obtenus à distance des apprentissages (RiFc), nous ne pouvons pas généraliser l'origine des connaissances relatives à la nutrition des plantes. Toutefois, les productions des élèves relèvent souvent de la récitation de cours de SVT qui eux-mêmes relèvent des contenus des programmes scolaires. Cela pourrait rejoindre la métaphore que nous avons empruntée à Popper (1979/1998, p.319) « *des Nuages et des Horloges* » où la mesure des scores en milieu scolaire est contestable. En effet, Chevallard (1986) précisait que la négociation du savoir scolaire définit les enjeux de la négociation didactique plus que de la négociation enseignant-enseignés. Si cela est vrai pour notre étude de cas de la nutrition des plantes, pouvons-nous généraliser notre thèse ? Des recherches didactiques similaires sur un autre sujet nous permettraient peut-être de l'envisager.

Notre séquence forcée a été inscrite dans l'apprentissage par problématisation. Le contrat didactique en est-il changé ? Comme notre choix a été de mobiliser le cadre théorique de la problématisation pour faire émerger les nécessités lors d'un problème fonctionnel, celui de la nutrition des plantes, nous cherchions à « *repérer ainsi des conditions de possibilité des solutions* » (Orange, 2012, p.38-39). Nos résultats ont montré, à distance des apprentissages, l'émergence d'une troisième nécessité : la nécessité de circulation de la matière. Celle-ci est significative puisqu'elle concerne 12 élèves sur 29. Nous faisons ainsi la thèse que la séquence forcée a non seulement permis de construire de nouveaux savoirs scientifiques mais que, de surcroît, ils s'inscrivent dans la durée pour certains élèves. Nous pourrions nous demander désormais s'il y a une typologie d'élève favorable à cette construction durable des connaissances, si la situation est déterminante et si le mécanisme est transférable à d'autres notions.

1.3. L'histoire des sciences comme aide à la compréhension des difficultés des élèves

Loin de se résumer à une mise en histoire, la lente construction de la théorie de la nutrition des plantes est un outil pour comprendre certaines difficultés des élèves. Nous abordons dans la section suivante la dialectique histoire des sciences et didactique avant de discuter des apports de l'étude de la construction de la théorie.

1.3.1. Les relations entre histoire des sciences et didactique

Si dans les programmes de SVT l'histoire des sciences est présentée comme un outil didactique au service des apprentissages, nous considérons que l'intérêt majeur est de comprendre comment s'est formé le concept qui intéresse notre recherche. Autrement dit, nous rejoignons les propos de Duris et Gohau (1997/2011, p.7) qui présentent l'histoire des sciences comme « *une science en train de se faire plutôt que de passer en revue les diverses étapes d'une science faite* ». Par ailleurs, nous avons montré dans le chapitre 2 que de nombreux scientifiques avaient participé à l'élaboration de la théorie de la nutrition des plantes. Certains nous étaient connus, d'autres non. C'est un point fondamental dans notre construction de chercheur : l'accès aux sources primaires nous rapproche de l'objectivité nécessaire de nos propos et nous préserve de l'approche hagiographique qui réifie quelques scientifiques passés dans les manuels de SVT ou dans ceux d'ouvrages de vulgarisation scientifique. Comment entrevoir alors la dialectique histoire des sciences et la didactique dans notre recherche ?

La relation sphère historique et sphère didactique est à envisager de deux manières. D'une part, la sphère historique peut être un objet d'étude didactique, c'est-à-dire qu'elle participe de l'apprentissage des élèves à travers des activités (textes, illustrations ou comptes rendus d'expériences historiques). Nous n'avons pas retenu cette option pour notre recherche. D'autre part, l'approche historique comme outil pour analyser les productions des élèves. En effet, cette option est associée à « *des repères épistémologiques permettant d'interpréter les raisonnements des (élèves)* » (Bosdeveix, 2016, p.445). En particulier, ils sont, selon nous, éclairants pour comprendre les difficultés et/ou les erreurs des élèves, notamment comme l'ont déjà indiqué Duris et Gohau (ibid) à propos de la construction des concepts fondamentaux de la biologie : « *il y a beaucoup à*

apprendre sur le rôle de l'erreur, de l'échec, dans la résolution d'un problème scientifique ». Nous pensons également aux nombreux travaux d'Astolfi (1997/1999) dont l'ouvrage « *l'erreur, un outil pour enseigner* » (1997/1999) éclaire quant au statut de l'erreur et permet de comprendre certaines erreurs des élèves.

1.3.2. L'étude de la construction de la théorie de la nutrition des plantes

Le chapitre 2, consacré à l'étude épistémologique et didactique du concept de la nutrition des plantes, a donné à voir un autre regard sur ce groupe d'êtres vivants. Nous discutons ici de 3 points essentiels : les singularités des plantes, leur fonction de nutrition et la lente construction de la théorie de leur nutrition.

Dans un premier temps, nous avons souligné succinctement les singularités qui nous semblent essentielles pour caractériser les plantes. Celles-ci concernent leur génotype évolutif, leur phénotype très adaptatif, leur systématique difficile, leur structure et fonctionnement particuliers et leur mobilité à première vue délicate à entrevoir. Pour l'ensemble de ces raisons, nous considérons que les plantes sont des êtres vivants qui sont associés à un concept beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît et qui ne peut être réduit à quelques généralités dans un principe unitaire. C'est probablement une première origine des difficultés à construire une théorie de leur nutrition.

Dans un second temps, nous avons montré que la fonction de nutrition qui caractérise les plantes est, selon nous, loin d'être comparable à celle des animaux. D'abord, parce que, à l'interface sol-air, elles ont un caractère amphibie vis-à-vis de la nourriture. De cette double entrée de matière et d'énergie, mais aussi en raison de leur structure et de leur relative inertie, la nécessité de circulation est plus difficile à comprendre et à expliquer. Peu d'ouvrages sur l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes ont été rédigés, et, selon Rumelhard¹⁹⁶, si nous retenons « *Le second règne de la nature* » comme une référence, nous constatons qu'il traite exclusivement des mouvements de la sève et que son auteur affirme que : « *dans la perspective d'une explication mécaniste de la nutrition végétale, la circulation apparaît comme une fonction de choix* »

196 Référence proposée par Guy Rumelhard lors d'un échange de mail en février 2020.

(Delaporte, 1979/2011, p.41) . C'est donc une deuxième origine possible des difficultés pour la construction de la théorie.

Dans un troisième et dernier temps, nous avons exposé, à partir de sources originales historiques issues de la Bibliothèque Nationale de France¹⁹⁷, les découvertes successives, mais aussi les théories erronées scientifiquement (théorie de l'humus, des spongioles, des valvules...), les périodes de stagnation ou les impasses scientifiques qui jalonnent la lente construction de la théorie de la nutrition des plantes. Il nous semble avoir montré les théories explicatives, qui s'inscrivent dans une temporalité, relevait de préférence empirique et pragmatique. Nous appuyons cette thèse sur les travaux de Popper (1979/1998, p.55) qui affirmait que, du point de vue du chercheur, le positionnement scientifique s'inscrit dans une logique de questions : « *quels principes de préférence devrions-nous adopter ? Certaines théories sont-elles « meilleures » que d'autres ?* ». A cet égard, nous avons par exemple indiqué comment Jung, Van Helmont, Malpighi, Mariotte, Ray, Wolff et Hales vont lutter contre les préjugés pour induire une théorie de la nutrition des plantes. Puisque nous avons abordé la nécessité de circulation de la matière dans la plante, force est de rappeler que les analogies avec la circulation sanguine ont vu naître des théories concurrentes qui se corrigent par « *la méthode critique* » (ibid,p.58). L'objectif est le même : se rapprocher de la vérité pour avoir une théorie explicative tenue pour vraie en fonction des données. Nos investigations ont également montré que certains paradigmes étaient très résistants, malgré les nouvelles données, et qu'ils nécessitent, selon Kuhn (1983, p.22) une véritable « *révolution scientifique* ». Le vitalisme est un exemple qui illustre le cadre de la construction de la théorie de la nutrition des plantes puisqu'il a été en vigueur jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle. Cette longue tradition philosophique qu'illustre le vitalisme a donc été un frein à l'évolution de la théorie. Pour autant, comme l'illustre Van Helmont, un chercheur pouvait être à la fois vitaliste et participer à améliorer la théorie de la nutrition : ces travaux n'ont-ils pas conduits à comprendre les mouvements de la sève ? Concernant le problème de l'origine des gaz dans la respiration des plantes, Duris et Gohau (1997/2011, p.188) rappellent que « *la théorie régnante du phlogistique rend malaisée, sinon impossible, leur synthèse* ». Force est de rappeler que les nouveaux éléments de savoir portés par les travaux de Lavoisier, à la fin du XVIII^{ème} siècle, ont permis de construire un nouveau registre explicatif pour franchir l'obstacle des échanges gazeux.

197 <https://www.bnf.fr/fr>

1.4. Bilan sur les origines possibles des difficultés d'apprentissage de la nutrition des plantes pour les élèves

Les difficultés d'apprentissage de la nutrition des plantes et de la construction lente de la théorie reposent, selon nous, à la fois sur le concept de plante lui-même et sur cette fonction qui est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît. Nous avons montré que si certaines raisons sont spécifiques à l'apprentissage scolaire, d'autres à la construction de la théorie elle-même, des difficultés similaires se retrouvent dans les deux domaines. Ainsi, la dialectique histoire des sciences et didactique est un outil majeur à prendre en compte pour le chercheur car il peut l'aider à analyser et comprendre les processus d'apprentissage qui se jouent en classe. Sans avoir la prétention d'une exhaustivité, notre recherche a permis de repérer des origines possibles des difficultés d'apprentissage des élèves pour le sujet travaillé. La figure 72 propose un résumé de notre investigation, notre intention est de faire le tour des difficultés que nous avons relevés tout au long de nos enquêtes à propos de l'apprentissage de la fonction de nutrition des plantes par les élèves et de la construction de sa théorie.

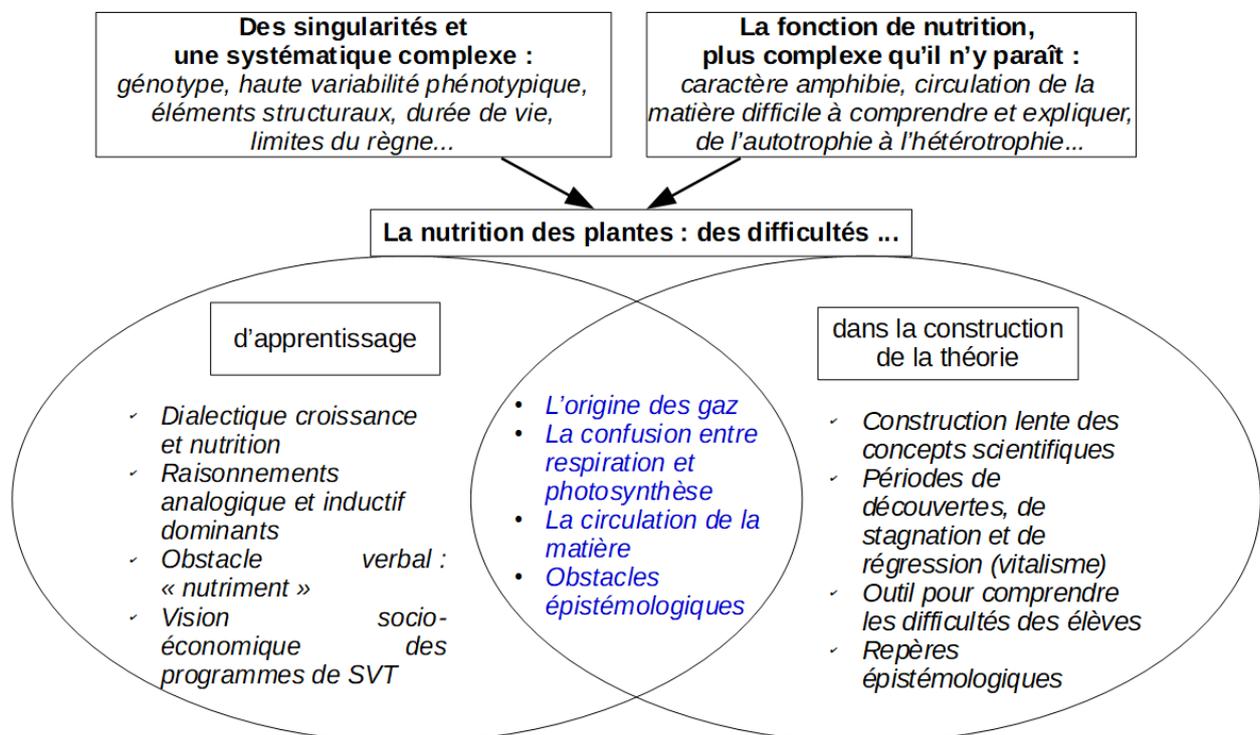


Figure 72 : la fonction de nutrition des plantes : aux origines possibles des difficultés d'apprentissage des élèves et de la construction de la théorie de leur nutrition

2. DISCUSSION DE LA PROBLÉMATISATION ET DU CADRE THÉORIQUE DE L'ACTIVITÉ LANGAGIÈRE ET DE LA PROBLÉMATISATION

Le deuxième axe de notre discussion générale concerne à la fois la problématisation comme cadre d'apprentissage et d'analyse, et la problématisation associée à l'activité langagière. En effet, les chapitres 1, 2 et 3 précisent notre cadre théorique, les chapitres 4, 5 et 6 le cadre méthodologique pour 3 enquêtes différentes. Nous souhaitons donc, dans cette section, montrer en quoi nos travaux ont permis d'avancer par rapport au processus de problématisation dans la compréhension des difficultés d'apprentissage des élèves et dans la découverte d'un potentiel levier. L'approche est théorique et nous permet de mettre en perspective nos questions de recherche. Avant de proposer un bilan, nous proposons de discuter autour de 3 aspects :

- l'activité langagière à analyser pour comprendre le processus de problématisation
- le cadre théorique de la problématisation pour faire émerger les relations entre les différents registres des élèves
- une dialectique problématisation et obstacles au cœur des difficultés d'apprentissage des élèves.

2.1. L'activité langagière à analyser pour comprendre le processus de problématisation

Le chapitre 3 a permis de délimiter notre approche de l'activité langagière comme un outil de communication interpersonnel qui permet de développer la pensée et de l'exprimer. D'un point de vue scolaire, cet outil est oral et écrit. Or, de façon spontanée, à l'oral, c'est le genre premier défini par Bakhtine (1984) qui prévaut. Une des missions de l'école est de développer le langage tant en nombre de mots, les signifiants, que dans leur correspondance à un sens, les signifiés. Les pratiques de signification vont participer à l'élaboration de genre second qui caractérise la construction des savoirs scientifiques. Aussi, en contexte scolaire, le langage oral cherche à se rapprocher du langage écrit plus réflexif. Cette condition est indispensable pour qu'il puisse y avoir un apprentissage par problématisation (Orange, 2012).

Du point de vue de l'analyse du chercheur, des indicateurs de mouvements langagiers sont donc à définir. Comment percevoir le passage d'un genre à l'autre ? Un point essentiel, selon nous, est l'argumentation de preuves développée par les élèves. Celle-ci se retrouve à la fois dans leur registre empirique, où des contraintes apparaissent, et dans le registre des modèles à la recherche des conditions de solutions possibles : les nécessités. En d'autres termes, leur mise en relation permet d'accéder aux savoirs d'un objet d'apprentissage. Toutefois, cette secondarisation n'est pas systématiquement associée à de la problématisation. Lhoste (2008) reprenant les travaux d'Orange (2003), a montré qu'à l'argumentation de preuves, il devait y avoir également une argumentation des possibles. Or, le débat scientifique autorise les interactions langagières propres à la construction de l'argumentation et des raisons. Ces dernières étant qualifiées de « *contraintes et nécessités portant sur des solutions possibles* » (orange, 2003, p.85). Les espaces de contraintes que nous avons proposés dans le chapitre 5 attestent à la fois d'un développement de l'attitude critique des élèves et de la construction des raisons. La problématisation est alors un niveau de difficulté supplémentaire pour les élèves, nous pensons que le débat est un levier possible. D'un point de vue épistémologique, il favorise la (re)construction du problème tout en conduisant à l'élaboration « *de modèles explicatifs par les élèves et à leur discussion critique.* » (Schneeberger, Orange, Orange-Ravachol et Lhoste, 2021, p.179). Ainsi, à l'opposé d'un enseignement transmissif, l'apprentissage par problématisation pourrait permettre de mieux répondre aux grandes finalités de l'école et celle des objectifs généraux des SVT, notamment celle qui permet de construire un citoyen éclairé usant de son esprit critique.

L'enquête du chapitre 5 repose sur plusieurs débats scientifiques de classe. Ces derniers sont proposés à la fois comme outil didactique pour construire des concepts scientifiques mais aussi pour apprendre à utiliser le langage. Cela se traduit dans les compétences scolaires (MEN, 2011) par la compétence générique : communiquer. Dans ce sens, communiquer signifie alors à la fois penser, parler, échanger, argumenter au sein d'une communauté discursive d'appartenance telle que la propose Jaubert (2007). Aussi, lorsque le débat de classe à une visée scientifique, il tente de se rapprocher de la communauté discursive scientifique où les débats, lieux d'argumentation et de controverses, sont essentiels. En regard des représentations des élèves que nous avons eu à cœur de mobiliser lors de l'apprentissage, distinguer les faits des croyances n'est-il pas une autre finalité de l'école ? En revanche, l'échelle de temps avec la recherche scientifique est différente, dans le contexte scolaire, quelques heures suffisent pour reconstruire le concept quand plusieurs siècles

peuvent être nécessaires pour élaborer une théorie. Il s'agit donc d'un obstacle que nous qualifierons dans la section 2.3.

Pour autant, le débat scientifique de classe permet d'offrir aux élèves un cadre structurant où ils vont pouvoir, implicitement ou explicitement (pour les parleurs), endosser des positions énonciatives lors de leur discours. La prise en charge énonciative est à relier, comme nous l'avons dit dans le chapitre 3, au modèle trilogal de Plantin (1996). Le jeu des mouvements de proposant, opposant et tiers incite les élèves à secondariser leur discours, ce que nous avons montré dans les structures argumentatives. Il permet aussi au chercheur de repérer les contraintes empiriques et les conditions des solutions au problème engagé. L'ancrage du discours dans le champ scientifique est marqué par le vocabulaire utilisé. Néanmoins, nous l'avons dit à plusieurs reprises déjà, le signifiant et le signifié peuvent être différents selon les auteurs (élève, professeur, chercheur). Par ailleurs, la polyphonie du discours entraîne des négociations rapides dans le temps du débat : quelques minutes en milieu scolaire lorsqu'il peut durer plusieurs années voire plusieurs siècles dans le champ scientifique. Ainsi, en classe, les impossibilités évoquées ou les nécessités construites sont finalement peu négociées, elles sont plutôt du ressort d'une « acceptation douce » pour faire consensus et pour continuer à appartenir à la communauté discursive. En effet, si un élève maintient une argumentation qui n'est pas partagée par le groupe classe, alors celui-ci s'isole dans le silence le plus souvent ou crée un point de tension qui peut conduire à un problème classique de gestion de classe. Les raisonnements analogiques et inductifs, qui sont dominants nous l'avons dit, utilisés lors du débat peuvent alors être partiels ou erronés : comment réaliser alors une mise en texte commune ? Ce questionnement a déjà été posé par les travaux de Lhoste (2008). De cette analyse nous découvrons que la séquence forcée permet d'infléchir sensiblement le poids de la variable temps puisque les séances s'enchaînent en reprenant les débats précédents et que le problème est creusé pour être davantage reconstruit : il se rapproche alors davantage d'un savoir scientifique construit. Le dispositif didactique présenté dans le chapitre 5 pour notre enquête illustre donc cette volonté de ne pas entrer dans une course du problème à la solution (Fabre et Orange, 1997) et de la solution à l'institutionnalisation rapide par le texte (Jaubert, 2007).

2.2. Le cadre théorique de la problématisation pour faire émerger les relations entre les différents registres des élèves

Le cadre théorique de la problématisation est un outil d'analyse pour le chercheur. Dans notre recherche, il est mobilisé comme une aide à la compréhension des explications des élèves et nous nous appuyons surtout sur leur discours lors du débat de classe. Le problème de la nutrition des plantes est de type fonctionnaliste aussi il invite les élèves à un raisonnement explicatif. Toutefois, il faut raison garder de croire que les explications des élèves sont systématiquement associées à un apprentissage par problématisation. Il existe donc une dissymétrie problématisation-explication déjà relevée par Lhoste (2008, p.376) : « *toutes les explications ne sont pas des savoirs problématisés* ». En effet, les propositions des élèves qui s'inscrivent dans un modèle explicatif peuvent être uniquement basés sur des faits et des observations sans être argumentés. Par ailleurs, en début de débat, les échanges correspondent souvent au genre premier par facilité cognitive, ainsi les explications « *sont généralement de forme simple et stéréotypées* » (Jaubert, 2000, p.251). C'est que le genre premier est probablement la source du développement de notre pensée, aussi n'est-il pas surprenant qu'il émerge de nos discours dans le quotidien. Néanmoins, cette initialisation du discours est un préalable au passage de l'assertorique vers l'apodictique, repérable dans les deux structures argumentatives que nous avons présentées. Il existe alors un mouvement qui est une caractéristique de la problématisation selon Orange (2000). Quels sont alors les registres mobilisés par les élèves ?

Dans les 3 débats que nous avons proposés, puisque les explications avancent au fur et à mesure du discours, elles conduisent inévitablement à une mise en tension entre le registre empirique, où les contraintes délimitent les possibles, et le registre des modèles où les conditions des solutions sont consciemment ou inconsciemment exprimées. Nous les avons représentées dans les espaces de contraintes des séances 2, 3 et 5. Quelle conséquence didactique ? Cette « *mise en tension* » est une condition nécessaire pour la construction des savoirs scientifiques (orange, 2000, p.27). Comme la séquence forcée permet d'enchaîner les débats autour du même problème central, les savoirs scientifiques construits ont, selon nous, une autre valeur représentative. En effet, la construction du problème est comprise comme un processus dans la problématisation (Orange et Fabre, 1997). Soumis à une investigation plus approfondie, l'enquête assure de mieux « *circonscrire le problème, ce qui permet, entre autres, de lui donner du sens* » (Lhoste, 2008, p.378). Autrement dit, pendant que les savoirs se construisent, ils conduisent à repenser les registres empiriques et explicatifs des élèves donnant plus de sens à la solution possible du problème. Cette dialectique construction/sens du problème est un avantage majeur de l'apprentissage par problématisation. Cette piste, ré-explorée par Fabre (2016) et, dont le titre éponyme de l'ouvrage est « *Le sens du problème* », invite à poursuivre la recherche.

2.3. Une dialectique problématisation et obstacles au cœur des difficultés d'apprentissage des élèves

Le troisième point de discussion de cette section concerne les relations entre problématisation et obstacles. Notre recherche pointe le concept de la nutrition des plantes qui est étudié par les élèves depuis le premier degré. En fin de curriculum, le niveau de complexité scolaire a augmenté : les programmes de SVT se rapprochent davantage des savoirs savants, sans pour autant les atteindre. Or, plus le niveau de l'élaboration des problèmes s'élève et plus les principes mobilisés sont abstraits (Lhoste, 2008). Quelles sont alors les conditions didactiques nécessaires pour avancer dans la problématisation ? Cette piste est, d'un point de vue de la recherche, une possibilité pour penser la problématisation dans sa dimension curriculaire. Mais, c'est sans compter que de nouvelles difficultés d'apprentissage apparaissent en formant les « *noeuds* » définis par Astolfi et al. (2008/2011). Cela signifie que les obstacles qui surgissent sont la substance même à travailler pour construire les savoirs comme l'ont déjà montré de nombreuses recherches en didactique des sciences.

Notre première enquête nous a permis de relever des obstacles épistémologiques dont nous rappelons qu'ils sont essentiellement pour notre sujet de l'ordre de l'empirisme, du substantialisme et de l'anthropomorphisme. Si la problématisation est un champ des possibles pour les mettre au travail, comment s'expriment-ils ? Nous proposons une nouvelle catégorisation : les obstacles externes et les obstacles internes à la problématisation. Ce que nous développons désormais :

- Les **obstacles externes** seraient ceux qui favorisent certaines problématizations et en empêchent d'autres. D'abord, pour les élèves de la classe, la méthodologie du débat et la nécessité de compétences langagières suffisantes. C'est que le débat scientifique de classe ne mobilise pas un discours ordinaire. De plus, selon les outils développés pour y parvenir, le processus de mise en tension des registres sera soit impossible ou possible plus ou moins rapidement. Or, nous avons indiqué dans la section précédente que la temporalité des explications, versus scolaire en opposition au versus scientifique, était déjà un obstacle. Ensuite, nous avons soulevé un obstacle sémantique : celui de « nutriment ». Relevant de l'opinion commune, l'obstacle est une impossibilité d'entrer dans une certaine activité de problématisation selon Lhoste (2008). En effet, la polyphonie du discours mêlée à des malentendus sur le sens des mots ne peut conduire qu'à des confusions lors des interactions

langagières. Elle interroge encore une fois le passage de l'oral à l'écrit et l'institutionnalisation des connaissances qui, de surcroît, seront celles évaluées pour mesurer le niveau d'acquisition des élèves.

- Les **obstacles internes**, d'ordre épistémologiques, apparaissent quant à eux, au cours du processus de problématisation. D'une part, ils sont marqués par les registres mobilisés par les élèves. Les référentiels cognitifs sont différents, les modèles explicatifs peuvent l'être également. Accrochés à nos certitudes, pour reprendre une pensée bergsonnienne, une difficulté majeure apparaît lors des débats : celle qui consiste, dans une forme d'immédiateté imposée par l'activité, à accepter des éléments différents dans les registres empiriques et explicatifs (contraintes et/ou solutions possibles et/ ou explications possibles). D'autre part, les obstacles peuvent apparaître du fait des raisonnements par analogie et/ou inductif des élèves qui donnent une bonne confiance dans les régularités¹⁹⁸. Nous pensons que le facteur temps facilite ce type de raisonnement. Ainsi, le chapitre 6 a eu l'intérêt de montrer que l'évanescence des connaissances était inévitable mais que dans le même temps, la construction de nouvelles nécessités permettait de les enrichir durablement. Notre thèse est donc de dire que, dans cette optique, l'apprentissage par la problématisation pourrait être un levier possible pour rendre les connaissances (re)construites par une argumentation raisonnée plus pérennes.

2.4. Bilan de la discussion problématisation et cadre théorique de la problématisation et des activités langagières

L'apprentissage par problématisation est une possibilité de faire construire des savoirs scientifiques aux élèves. Cependant, l'analyse des productions des élèves 5 chapitre, soumise au cadre de la problématisation, a fait émerger des obstacles externes et internes. En toile de fond, nous avons fait émerger une difficulté qui nous semble importante à prendre en compte pour comprendre les difficultés des élèves : le temps de l'apprentissage.

La question du recouvrement des obstacles est une nouvelle piste de recherche : sont-ils nécessairement coexistants ? Fonctionnent-ils en polarité ? De plus, en référence aux travaux d'Astolfi et Peterfalvi (1997), comment identifier ces obstacles dans un autre problème fonctionnel en biologie ?

198 Popper (1972/1998, p.75) justifie le raisonnement inductif comme un principe où « *le futur sera semblable au passé ou, peut-être, le prétendu principe de l'uniformité de la nature* ».

La figure 73 suivante résume nos propos en reprenant l'espace des contraintes et en faisant coexister les obstacles externes et internes à la problématisation, eux-mêmes sujets à l'obstacle du temps des apprentissages.

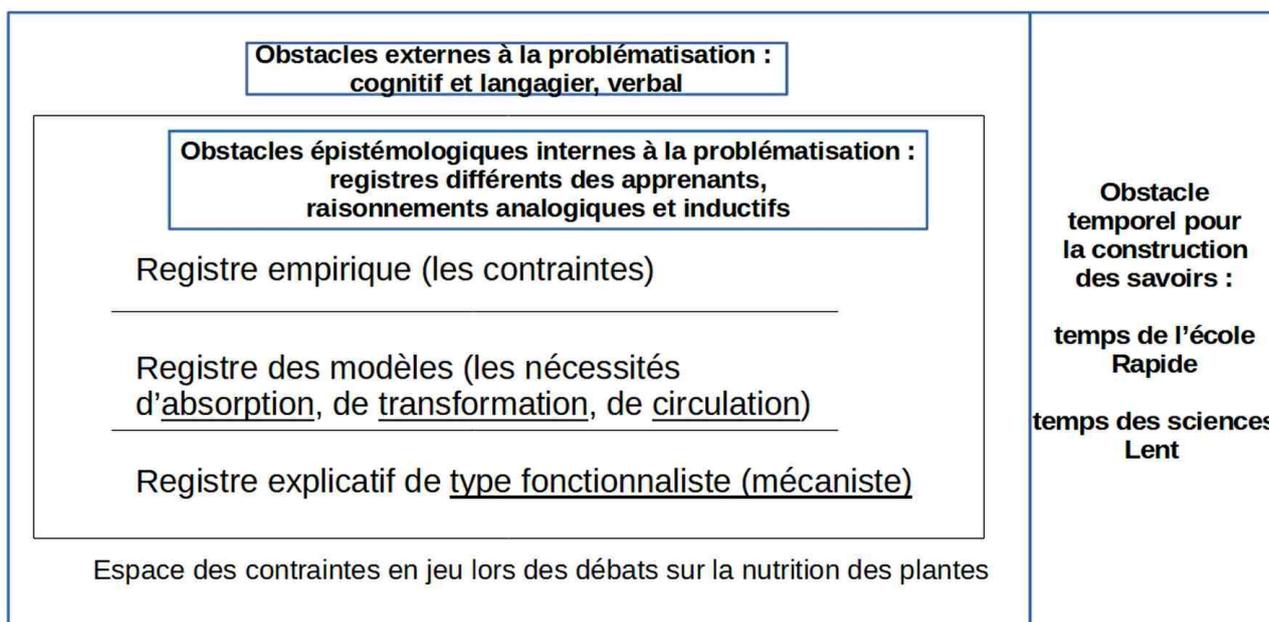


Figure 73 : les obstacles et la problématisation dans le cadre de l'apprentissage de la nutrition des plantes en Terminale scientifique

3. MISE EN PERSPECTIVE POUR L'ENSEIGNEMENT DES SVT ET LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

Notre recherche sur la nutrition des plantes visait à comprendre les difficultés d'apprentissage des élèves au terme du curriculum scolaire. Toutefois, nous pensons que nos résultats pourraient avoir une portée plus large dans le domaine de la biologie et des implications

didactiques pour l'enseignement et la formation des enseignants des SVT. C'est pourquoi, nous proposons deux sous-parties dans ce prolongement de la discussion générale.

3.1. La portée de cette recherche pour d'autres thèmes des SVT

Nos résultats relatifs à l'apprentissage de la nutrition des plantes peuvent avoir des connexions directes avec l'enseignement d'autres groupes d'êtres vivants et indirectes avec des thématiques transversales. Néanmoins, la connaissance objective nous amène également à questionner, avant tout, la pertinence des généralisations.

3.1.1. Des difficultés de généralisation à propos des plantes

Le chapitre 2 a montré des singularités du monde des plantes et toute leur complexité. Celui-ci apparaît très diversifié avec des espèces et des populations à haut potentiel adaptatif. Nous nous demandons si, désormais, nous pouvons alors réduire les plantes à de vastes principes généraux pour décrire un fonctionnement unique de leur nutrition. Ou bien s'agit-il d'entrer dans une logique de découverte de quelques exemples pour généraliser rapidement ? Bachelard (1938/2011, p.101) avait déjà mis en garde contre la séduction de facilité lorsqu'« *une douce léthargie immobilise l'expérience [...] (et que) les difficultés se résolvent devant une vision générale du monde, par simple référence à un principe général de la Nature* ». Comment conjuguer le local directement accessible aux apprenants et des exemples paradigmatiques délocalisés ? Comment donner du sens à l'apprentissage de la nutrition des plantes lorsque les exemples des manuels de SVT focalisent sur des espèces endémiques ou appartenant à d'autres climats ? Et quand les exemples sont éloignés du quotidien ou lorsque leur représentation est peu accessible au novice ? La figure 74 illustre nos propos pour des manuels de SVT en Terminale scientifique :



1 : Bordas SVT Term S, 2012, p.109
 2 : Belin SVT Term S, 2012, p.96-97
 3: Nathan SVT Term S, 2012, p.94

Figure 74 : 3 illustrations du début du thème consacré aux plantes en Terminale Scientifique

Commentaires :

- le livre de l'édition Bordas présente un « *Yucca sur une dune au Nouveau-Mexique (Etats-Unis)* » : une situation géographique et climatique singulières éloignées du quotidien des élèves. De plus, il existe une cinquantaine d'espèces de Yucca (Famille des Asparagacées) : « un » est un article indéfini, de quelle espèce s'agit-il ?
- Le livre de l'édition Belin présente une « *guêpe dans une fleur de capucine* ». L'espèce de la plante proposée présente de nombreuses variétés et elle n'est représentée ici que par la partie centrale de la fleur qu'il faudrait deviner pour comprendre le contexte. Celle-ci est difficilement identifiable par les élèves. A travers cet exemple, la suggestion d'un lien animal- plante peut induire de nombreuses hypothèses ou figurer un décor dans la nature sans problème à identifier.
- Le livre de l'édition Nathan présente des « *vaisseaux conducteurs de sève (MEB couleurs artificielles)* » : l'indication coupe transversale est absente, l'échelle est difficile à lire (en bas à droite), les fausses couleurs ajoutent une inconnue supplémentaire à l'espèce qui n'est pas citée.

Ainsi, nous pensons qu'un manque de précisions sur les illustrations, et partir d'exemples peu connus des élèves, pousse à des représentations synthétiques qui s'éloignent de la réalité et qui ne pose pas de problème scientifique. La conséquence pourrait être une perte de sens des apprentissages pour les élèves où le décorum supplante la démarche d'investigation recherchée.

3.1.2. Des connexions directes avec d'autres êtres vivants et d'autres fonctions

Les enquêtes que nous avons menées concernant la nutrition des plantes pourraient s'étendre à d'autres êtres vivants. En effet, à vouloir rentrer dans une logique d'opposition, le plus souvent avec les animaux, le risque n'est-il pas de complexifier la compréhension des phénomènes ? L'objectif scolaire, dans l'enseignement des SVT, est de comprendre le monde qui nous entoure. Ne serait-il pas plus profitable d'entrer dans une logique de spécificités des taxons pour valoriser la biodiversité ? Cela ouvre des perspectives de recherche comme celle proposée par Bosdeveix (2016) pour évaluer les conceptions qui découlent des programmes du MEN. : conceptions d'opposition, fonctionnelle, macrocentrée, phylogénétique...

Un autre point de vue est celui des autres fonctions du vivant. Si nous avons investi la fonction de nutrition, une recherche relative à la reproduction des plantes pourrait constituer un nouvel objectif scientifique. A ce sujet, notre première enquête (chapitre 4) nous a livré des pistes en constatant qu'en fin de curriculum scolaire les élèves ont : des connaissances très limitées, une surexpression de la reproduction sexuée, une connaissance de l'importance des insectes mais une méconnaissance des éléments structurels associés et les mécanismes fonctionnels. Concernant la fonction de relation, l'intérêt est grand puisqu'il est à l'origine, dans les médias, de nombreuses productions qui perdent parfois de leur scientificité ou du sens du message. Dans un but de formation des élèves à l'esprit scientifique, l'occasion serait d'envisager de développer leur critique et la culture aux médias, mais plutôt avec des exemples locaux. Ces derniers pourraient faciliter la mise en place d'une investigation avec des problèmes consistants conduisant à la construction de modèles explicatifs qui, soumis à la critique, participent à une véritable acculturation scientifique. Toutefois, ces investigations « *prennent bien plus de temps que les faux-semblants d'investigation que l'on propose parfois aux élèves.* » (Schneeberger, Orange, Orange-Ravachol et Lhoste, 2021, p.186). Face à une action didactique qui pourrait paraître chronophage pour certains enseignants, ne s'agit-il pas d'opérer des choix dans la programmation des notions à aborder pour que certaines se

traduisent par une enquête approfondie ? Celle-ci proposerait un problème scientifique à reconstruire (apprentissage par problématisation) et mettrait au travail les représentations des élèves, les obstacles et la pensée critique.

3.1.3. Des connexions indirectes

Les plantes sont à la fois très utilisées comme exemples ou objets d'études en SVT et à la fois, paradoxalement, mises au second plan dans des thématiques transversales. Nous nous appuyons sur les concepts de biodiversité et de développement durable pour justifier cette discussion. Le groupe des plantes est une composante majeure de la biosphère en témoigne les calculs de biomasse réalisés par Bar-On, Phillips, et Milo (2018), figure 75 :

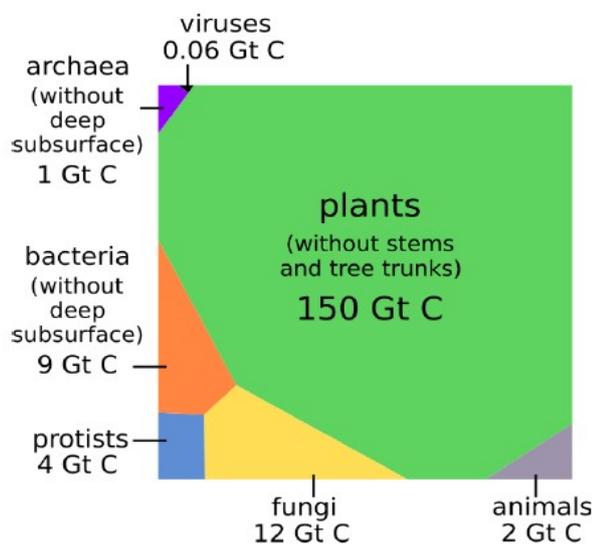


Fig. S1. A graphical representation of the global living biomass distribution. Absolute living biomass abundances of different taxa are represented in a Voronoi diagram, with the area of each cell being proportional to that taxa global biomass. The specific shape of each cell has no meaning. Values are based on the estimates presented in Table 1. For plants, we exclude the biomass of stems and tree-trunks, as it is mostly composed of non-living lignified tissue. For prokaryotes and viruses, we exclude deep subsurface biomass as the prokaryotes in those environments are metabolically "dormant".

Figure 75 : Répartition de la biomasse en fonction des groupes d'êtres vivants d'après Bar-On, Philipps et Milo (2018, p.84)

Aussi, dans les nouveaux programmes du lycée en SVT¹⁹⁹, les thématiques qui relèvent de questions socialement vives (Simonneaux, Simonneaux et Legardez, 2014) pourraient s'appuyer plus largement sur les plantes. Quel lien avec notre recherche ? Nous considérons que la compréhension de l'origine et du fonctionnement de la nutrition des plantes sont un axe à privilégier dans une compréhension globale des processus. Dans une perspective de lutte contre le

199 Ils sont publiés au B.O. spécial n°1 du 22 janvier 2019 et au B.O. spécial n°8 du 25 juillet 2019. Repéré à : <https://eduscol.education.fr/pid38708/lycee-general-et-technologique-bac-2021.html>

changement climatique, n'est-il pas important de prendre conscience du rôle des organismes qui réalisent la photosynthèse et qui, par conséquent, prélèvent du CO₂ pour se nourrir ? Cet aspect nous semble trop souvent passé sous le silence dans les médias. Pourtant, les tourbières et les forêts sont de puissants puits de carbone, et donc d'absorption de CO₂, pour lesquels s'ajoutent les océans (algues et phytoplancton) comme l'indique les études récentes de Bar-On, Phillips, et Milo (2018). Aussi, dans un contexte de changement climatique qui est venu renforcer l'ensemble des programmes du premier et du second degré, n'est-il pas question de pouvoir questionner l'amélioration de la séquestration naturelle du CO₂? Sa séquestration artificielle peut être également une piste de réflexion. Ainsi, le 5ème Rapport du GIEC²⁰⁰ offre un examen critique des possibilités actuelles et des techniques encore à l'expérimentation. Comme le précisent les différents B.O. dans l'item : « *Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement* » (MEN, 2019, p.2), les pistes évoquées pourraient répondre à un des objectifs général de formation en SVT. Nous y voyons donc des possibilités de problèmes consistants propres à mener des investigations et à développer la pensée critique, notamment par rapport à l'impact anthropique.

Nous venons de proposer les connexions possibles de nos travaux avec des perspectives pour d'autres thèmes de SVT. Quelles autres implications didactiques sont -elles envisageables ?

3.2. Les implications didactiques pour l'enseignement et la formation des professeurs de SVT

Un autre intérêt de notre recherche concerne les difficultés d'apprentissage des élèves dans un contexte plus général. Dans le cadre théorique, nous avons rappelé que les difficultés, qui sont ordinaires dans les classes, sont des points d'appui pour construire des séquences pédagogiques. Nous souhaitons souligner l'apport de l'apprentissage par problématisation et la place du débat.

3.2.1. L'apprentissage par problématisation

200 Office for Climate Education Rapport Spécial du GIEC « RéchauffEmEnt à 1,5°C » — RéSumé à dES tination dES Enseignants. Repéré à : https://www.oce.global/sites/default/files/2019-04/1.5degree_FR_final_LR.pdf

Nos travaux s'inscrivent dans ceux de l'axe 5 du CREN²⁰¹ où le cadre théorique de la problématisation et l'apprentissage par problématisation sont des préoccupations des chercheurs. De la question au problème scientifique puis du problème à sa construction par les élèves, la problématisation est une construction des savoirs à diffuser dans les INSPE. En effet, elle ne vise pas les savoirs vrais mais plutôt des savoirs raisonnés (Orange, 2012), une meilleure garantie d'émancipation des élèves selon nous. Nous avons montré que, lors de la construction des nécessités du problème fonctionnel de la nutrition des plantes, des difficultés et des obstacles émergeaient. Notre découverte a été de montrer (chapitre 6) que ce processus permettait, pour certains élèves, un apprentissage associé à une meilleure argumentation lorsque les savoirs sont raisonnés et critique. L'apprentissage par problématisation se révélant alors comme un levier possible aux difficultés d'apprentissage des élèves.

A l'opposé de En 2012, Orange indiquait déjà que « *les préconisations officielles survalorisent les investigations empiriques (observations et expériences* » (2012, p.12). Schneeberger, Orange, Orange-Ravachol et Lhotse (2021, p.171) confirment cette « *vision empiriste des instructions officielles des SVT alors que, fonctionnaliste ou historique, le travail scientifique donne autant d'importance à la construction de modèles explicatifs qu'à l'expérimentation.* ». Les nouveaux programmes de lycée de 2019 poursuivent pourtant cette logique empirique. Si liberté est donnée au professeur de réaliser sa démarche, pour les Savoir-faire, elle est surtout comprise comme une injonction à analyser et/ou à observer des faits et/ou à vérifier expérimentalement. Paradoxalement, l'enseignant est considéré comme un expert de l'apprentissage. Quelle est alors son expertise ? Fabre (2016, p.106) nous éclaire lorsqu'il dit que, dans un contexte de démocratie participative, le professeur est celui « *dont le savoir structure l'espace problème de la discussion démocratique, c'est à dire à la fois le rend possible et en pose les limites* ». L'apprentissage par problématisation est un enseignement qui tourne le dos à la recherche de la bonne solution prédéterminée et urgente à transmettre. Au contraire, elle cherche à élaborer des savoirs raisonnés dans une logique d'enquête où le problème explicatif est en construction voire en reconstruction. Cette vision rejoint celle amorcée par Dewey (1920/2003) il y a déjà un siècle dans une formation où les citoyens « *pouvant avoir accès à la construction des problèmes eux-mêmes et pas seulement au choix de solutions pensées par d'autres, permettrait l'émergence d'une véritable liberté démocratique* » (Fabre, 2016, p.113). Nous avons montré que si des difficultés inéluctables d'apprentissage apparaissaient chez les élèves, pour faciliter leur accès

201 Thème 5 : Savoir, apprentissages, valeurs en éducation. Repéré à : <http://cren.univ-nantes.fr/theme-de-recherche-5-savoirs-apprentissage-valeurs-en-education/>

dans une visée de liberté démocratique, le débat est une possibilité d'activité qui met au travail les différentes représentations des participants.

3.2.2. La place du débat dans les apprentissages scientifiques

La science se construit notamment dans le champ nécessaire de la controverse car « *elle remplace l'élimination de l'erreur dans la lutte violente pour la vie par la critique rationnelle non violente* » (Popper, 1979/1998, p.151). Depuis les années 1990, de nombreuses recherches en didactique des sciences étudient le débat scientifique de classe (Joshua et Dupin, 1989 ; Orange, 2003 ; Lhoste, 2008 ; Orange, 2012). Il s'agit ici d'envisager, collectivement, la discussion d'une explication dans une nouvelle modalité de construction du problème. La méthode est donc singulière mais elle rejoint, selon nous, les propos de Bachelard (1938/2011, p.295) qui s'inquiétait que « *les professeurs remplacent les découvertes par des leçons* » et qu'il est nécessaire « *d'apprendre aux élèves à inventer, il est bon de leur donner le sentiment qu'ils auraient pu découvrir* ».

Le chapitre 5, centré sur la séquence forcée, nous a permis d'orienter le dispositif didactique en une sorte de réification du débat comme instrument principal pour construire les savoirs. Cependant, le débat n'a d'intérêt que parce que la dynamique argumentative permet d'avancer dans le travail du problème pour en découvrir les raisons : « *par une curieuse accoutumance, l'apodictique vieilli prend le goût d'assertorique, le fait de raison demeure sans l'appareil de raisons* » (ibid, p.295). Le débat est donc stimulant pour mobiliser les connaissances des élèves dans une situation nouvelle et pour les confronter aux autres et apprécier leur degré de résistance à l'opinion commune. Il y a donc un double aspect à envisager dans la construction du problème et des raisons : les conditions et les nécessités. Une nouvelle fois, quelle expertise de l'enseignant ? Celui-ci endosse au mieux une posture de médiateur pour favoriser les échanges, s'assurer que les limites sont contenues dans le problème et que sa construction avance. Le rôle du tiers, nous l'avons dit, est essentiel. S'il est indispensable que l'enseignant l'incarne, il l'est tout autant par les élèves et le plus tôt possible (Orange, 2012).

Quelle importance accorde les nouveaux programmes du lycée au débat ? Nous avons comparé les différents programmes (MEN, 2019) pour analyser la place du débat dans la formation scientifique des élèves. Le tableau 18 suivant se propose comme une synthèse :

Tableau 18 : comparaison de la place du débat dans les différents niveaux de SVT au lycée

Niveau en SVT	Occurrence : débat(s)	Situation du débat dans le programme
Seconde	0	---
1ère enseignement scientifique	7	« Histoire, enjeux, débats »
1ère générale	2	« L'humanité et les services des écosystèmes et leur gestion »
Terminale enseignement scientifique	5	« Histoire, enjeux,débats »
Terminale générale	0	---

Nous constatons que, globalement, l'utilisation du débat comme outil de formation à l'esprit scientifique n'est pas une proposition privilégiée pour les enseignants. Il est même absent des nouveaux programmes de seconde et terminale générale. En première générale, il est recommandé pour une thématique qui implique la responsabilité humaine : ce que nous rattachons à une question socialement vive. En revanche, il est conseillé pour les programmes d'enseignement scientifique de première et terminale dans une logique historique de la construction des sciences. Aussi, d'un point de vue didactique, le débat est présenté dans les programmes comme un outil à mobiliser dans un contexte particulier quand nos recherches indiquent qu'il est indispensable dès que l'étude met au travail un problème explicatif en biologie. Ces différents points de vue sont donc une piste de recherche pour comprendre pourquoi le MEN privilégie d'autres modes de construction des savoirs quand la recherche en didactique souligne son potentiel fort.

Conclusion générale

Introduction

1. Les principaux apports de cette recherche
 - 1.1 L'épistémologie du concept de la nutrition des plantes
 - 1.2 Les difficultés d'apprentissage scolaire pour le concept de la nutrition des plantes
 - 1.3 Apprentissage par problématisation et débat scientifique de classe
 - 1.4 Bilan des apports de la recherche
2. Les limites et les perspectives de cette recherches
 - 2.1 Étude de la nutrition des plantes dans le second degré en SVT
 - 2.2 Étude des implications didactiques pour l'enseignement et la formation des enseignants en SVT

Conclusion générale

« Nous formulons l'hypothèse que donner du sens à une éthique des plantes en reconnaissant leur nature indifférenciée (ou non séparée) ne pourra progresser au-delà de quelques chercheurs avertis qu'à la condition de toucher le grand public. Nous escomptons que cette reconnaissance favorise un changement majeur dans nos schémas de pensée, un changement capable de nous amener à comprendre plus en profondeur pourquoi nous devrions attribuer une valeur aux plantes. Nous pourrions alors mieux adapter nos besoins humains, actuels et futurs, à leur ouverture ontologique illimitée et partager autrement avec elles les bénéfices de notre compagnonnage issu des origines de l'agriculture. ».

Hiernaux (2021, p.374)

Introduction

Pour notre thèse, nous sommes partis avec l'intention de trouver des réponses possibles au questionnement suivant : **Comment expliquer les divergences entre les savoirs scientifiques scolaires et les connaissances des élèves de terminale scientifique à propos de la nutrition des plantes et quelles sont les difficultés de construction de ces savoirs problématisés lors d'une séquence forcée ?** Nous arrivons à la conclusion que notre triple enquête a cheminé

progressivement en s'appuyant sur d'autres questions qui sont venues complétées ou ouvrir de nouvelles investigations. Toutefois, notre visée a toujours été de comprendre les difficultés des élèves de Terminale Scientifique à compléter et/ou consolider leurs connaissances de la nutrition des plantes. Cette finalité d'apprentissage pouvant conduire à une utilité quotidienne dans le cadre d'une culture scientifique partagée et émancipatrice du citoyen.

Nous rappelons que trois enquêtes majeures ont permis de conduire notre cheminement. D'abord une première enquête quantitative et qualitative (chapitre 4) nous a facilité l'accès aux connaissances des élèves ainsi qu'aux obstacles épistémologiques principaux. Ensuite, la séquence forcée (chapitre 5) portée par l'apprentissage par la problématisation nous a aidé à comprendre ce qui se joue lors des interactions langagières des élèves dans les débats scientifiques de classe. Il était également question d'y travailler les obstacles franchissables en quête de progrès intellectuel (Astolfi, 2008/2014). Enfin, la dernière enquête (chapitre 6) a été propice pour analyser l'évanescence des connaissances d'élèves ordinaires et pour proposer une hypothèse à la construction de connaissances plus pérennes dans une logique de savoirs raisonnés.

Cette conclusion générale est l'occasion de faire, avant tout, un bilan des apports de notre recherche. Nous présenterons également ses limites et les perspectives possibles.

1. LES PRINCIPAUX APPORTS DE CETTE RECHERCHE

Le bilan de notre thèse met en lumière 3 apports principaux qui relèvent :

- de l'épistémologie du concept de la nutrition des plantes
- des difficultés d'apprentissage scolaire pour le concept de la nutrition des plantes
- de l'apprentissage par problématisation et du débat scientifique de classe

1.1. L'épistémologie du concept de la nutrition des plantes

Le premier point que nous soulignons est épistémologique. Nous avons montré que le concept de nutrition des plantes, qui dans le sens commun et le quotidien apparaît comme relevant d'une forme d'évidence, est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît (chapitre 2). Ainsi, nous reprenons des caractères généraux non exhaustifs des plantes avant de souligner ceux qui sont plus spécifiques à leur nutrition.

Certains caractères généraux des plantes pourraient, selon nous, être à l'origine de difficultés de l'appréhension du groupe des plantes par les élèves : leur génotype évolutif, leur phénotype très adaptatif, leur systématique complexe, certains éléments structurels singuliers, leur relative mobilité. Aussi, en arrière-plan, ils pourraient limiter l'accès à la connaissance de la fonction de nutrition. Dans notre thèse, ce sont les caractères relatifs à leur nutrition qui ont focalisés encore plus notre attention, mais il faudrait les considérer à l'aune des éléments généraux. Nous en retenons 4 qui pourraient délimiter le champ des difficultés d'apprentissage des élèves :

- un même nom pour la fonction de « nutrition » mais des modalités très différentes avec le groupe des animaux (Métazoaires) d'où l'émergence d'obstacles épistémologiques ;
- le caractère amphibie pour l'origine de la matière et l'énergie, à l'interface sol-air ;
- de l'autotrophie à l'hétérotrophie avec des déclinaisons différentes selon les espèces et pour un même organisme ;
- des nécessités d'absorption et de transformation facilement accessibles au raisonnement des élèves, une difficulté d'explication et de compréhension pour la nécessité de circulation de la matière.

Ce premier point épistémologique s'accompagne d'une approche historique de la théorie de la nutrition des plantes. Puisque nous avons pu avoir recourt à certaines sources originales et historiques (chapitre 2), nous avons montré que certaines difficultés des élèves correspondaient également à des points de tension lors de la construction de la théorie de la nutrition des plantes : l'origine des gaz, la confusion respiration-photosynthèse, la circulation de la matière, certains obstacles épistémologiques que nous rappellerons dans la section suivante. Cette théorie illustre comment les sciences se construisent dans les progrès de la pensée humaine. Tantôt par des découvertes comme la photosynthèse, mais aussi par des stagnations dans l'élaboration du savoir, par exemple pour la circulation de la sève. Des régressions comme la théorie de l'humus et encore des erreurs scientifiques comme la théorie des spongioles. Le tout soumis à des dogmes parfois difficiles à remplacer, nous pensons notamment au vitalisme.

En conclusion, l'approche épistémologique permet de comprendre un premier niveau de difficultés d'apprentissage de la théorie de la nutrition des plantes pour les élèves. Nous le considérons comme le niveau macroscopique.

1.2. Les difficultés d'apprentissage scolaire pour le concept de la nutrition des plantes

Un deuxième niveau d'analyse a été rendu possible par l'étude des productions des élèves (chapitre 4 et chapitre 5). Ainsi, nous avons découvert que, dans la pensée des élèves, il existait une dialectique forte entre la nutrition et la croissance des plantes. Celle-ci pourrait être imputée à l'empirisme et induite par des programmes scolaires anthropocentrés et guidés par un modèle socio-économique sous-jacent.

Nos travaux ont également permis de confirmer les résultats d'études similaires concernant la nutrition des plantes, et nous pensons principalement à Rumelhard (1985), Goix (1997), Orange (1997), Lhoste et Peterfalvi (2009) : le problème de l'origine des gaz (O_2 et CO_2), la confusion des processus de la respiration et de la photosynthèse. Nous ajoutons à cela l'obstacle sémantique « nutriment » comme une limite à l'apprentissage car il relève de significations différentes chez les élèves et entraîne des malentendus lors des échanges ou des propositions dans des registres explicatifs différents.

En conclusion, cette approche analytique des productions des élèves permet de comprendre un deuxième niveau de difficultés d'apprentissage de la théorie de la nutrition des plantes. Nous le caractérisons de niveau mésoscopique.

1.3. Apprentissage par problématisation et débat scientifique de classe

Un troisième niveau d'analyse est spécifique au débat et l'apprentissage par problématisation. Celui-ci a mis à jour des nœuds de difficultés, principalement autour du problème du « CO_2 » et de la notion de « nutriment » déjà évoqué dans la section précédente.

Par ailleurs, nous avons noté que les principaux obstacles épistémologiques qui marquent le raisonnement des élèves pour l'étude de la nutrition des plantes sont l'empirisme, le substantialisme et l'anthropomorphisme. Si la question des obstacles épistémologiques est régulièrement annoncée dans les recherches qui mobilisent le cadre théorique de la problématisation (Orange, 1997, 2012 ; Peterfalvi, 1997 ; Lhoste, 2008 ; Orange-Ravachol et Beorchia, 2011 ; Bosdeveix, 2016) nous avons pu faire une distinction quant à leur façon d'impacter sur les apprentissages. Selon nous, certains obstacles, que nous qualifions d'externes, empêchent l'accès à un savoir problématisé : ils sont d'ordre cognitif et langagier. D'autres, que nous qualifions d'internes et qui sont de nature épistémologiques, perturbent le développement de la construction des savoirs scientifiques raisonnés. Ils expliquent certaines résistances dans les apprentissages des élèves qui, pour accéder au savoir de la nutrition des plantes, doivent reconsidérer leur registre empirique et explicatif. Il s'agit alors pour eux d'être en rupture avec leurs explications dans un contexte d'interactions dans la classe.

Si nous avons eu à cœur de mettre au travail les obstacles, épistémologiques ou non, dans la séquence forcée (chapitre 5) ainsi que ceux de la recherche des nécessités pour délimiter le champ des possibles des solutions au problème avancé, nous avons cherché à démontrer que les savoirs construits pouvaient être plus pérennes pour certains élèves. Cette perspective étant conditionnée par la construction de connaissances attachée à des savoirs raisonnés et dans un contexte favorable à mobiliser la pensée critique. Nous faisons l'hypothèse que, pour ces élèves, ils auraient pu inconsciemment franchir des obstacles.

Enfin, lorsque le débat est présenté dans les programmes scolaires comme un outil pédagogique occasionnel et pour des thèmes particuliers, nous avons montré que pour notre recherche, il pouvait être essentiel dans la construction des savoirs. Dans une perspective d'enseignement et de formation des professeurs de SVT, il serait pertinent d'apprendre à mettre en place des situations pédagogiques qui utilisent le débat scientifique de classe comme une modalité essentielle des apprentissages. En effet, en participant à « *rendre les élèves compétents dans un certain nombre de champs scientifiques* » (Orange, 2012, p.125), il offre une voie de formation scolaire du citoyen dans un monde problématique (Fabre, 2016).

En conclusion, le débat et l'apprentissage par problématisation permettent de comprendre un troisième niveau de difficultés d'apprentissage de la théorie pour les élèves. Il s'agit pour nous du

niveau microscopique. Il se présente comme leviers aux difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves.

1.4. Bilan des apports de la recherche

Nous étions à la recherche de l'origine possible des difficultés d'apprentissage des élèves en fin de curriculum scolaire à propos des connaissances relatives à la nutrition des plantes. Par connaissances, nous entendons des savoirs scientifiques construits et raisonnés, autrement dit des apprentissages qui s'inscrivent dans une démarche globale propre à développer un esprit scientifique rationnel.

Pour les difficultés identifiées des élèves, nous avons eu à cœur de présenter 3 niveaux distincts : un niveau macroscopique avec des références épistémologiques, un niveau mésoscopique davantage relié aux connaissances déjà construites, un niveau microscopique relevant des modèles explicatifs. De plus, si des difficultés apparaissent à chaque niveau, certaines sont comme ramifiées et expliquent les résistances à l'apprentissage que nous visons. Surplombant ces 3 niveaux, le temps de la construction des savoirs, court pour l'école et long pour les sciences, ajoute un paramètre supplémentaire à prendre en compte. Nous rejoignons pour ce dernier point les propos de Bachelard (1938/2011, p.301) pour qui « *une culture bloquée sur un temps scolaire est la négation même de la culture scientifique* ».

Enfin, nous avons montré que l'apprentissage par problématisation est un levier possible face aux difficultés amoncelées et cherché à montrer qu'il pourrait permettre de construire des connaissances plus pérennes pour certains élèves.

2. LES LIMITES ET LES PERSPECTIVES DE CETTE RECHERCHE

Les apports de cette recherche évoqués sont circonscrites à notre domaine d'étude de la nutrition des plantes et pour le second degré. Quelles limites et quelles perspectives envisager dans l'enseignement et la formation des professeurs de SVT ?

2.1. Étude de la nutrition des plantes dans le second degré en SVT

Le groupe des plantes est très utilisé comme support des programmes de SVT. D'abord parce qu'il correspond à un groupe facilement observable au quotidien dans le monde qui nous entoure, fût-ce t-il très minéralisé. Aussi parce que, d'un point de vue pragmatique, les plantes se prêtent facilement à l'expérimentation scolaire en termes manipulatoire, économique et législatif tout en limitant l'approche affective du vivant. La nutrition des plantes, quant à elle, est étudiée directement ou indirectement dans les 2 cycles du collège et à chaque niveau du lycée. Son enseignement semble donc traverser le curriculum des élèves sans qu'ils s'en imprègnent totalement. Pour notre objet d'étude, sauf à viser « *une vision utilitariste des connaissances* » (Orange, 2012, p.125), et dans une perspective de formation du citoyen, il nous semble que l'histoire des sciences donne des repères épistémologiques pour construire les savoirs autrement. Nous doublons cette piste par une nécessité d'étudier prioritairement la flore locale, voire endémique, pour donner plus de sens aux apprentissages. Ces deux raisons permettent, selon nous, de mieux appréhender les singularités des plantes et, par conséquent, leur réelle place au sein du monde vivant ce que Canguilhem (1965/2015, p.203) suggérait : « *affirmer que la vérité est dans le type mais la réalité hors du type, affirmer que la nature a des types mais qu'ils ne sont pas réalisés, n'est-ce pas faire de la connaissance une impuissance à atteindre le réel [...] ?* »

2.2. Étude des implications didactiques pour l'enseignement et la formation des enseignants en SVT

Notre étude de la nutrition des plantes en terminale scientifique portée par une analyse des difficultés des élèves lors d'une séquence forcée relève d'une étude de cas. Est-elle généralisable ? Comme pour toute étude de cas, le contexte, les acteurs et le contrat didactique sont originaux. Toutefois, nous avons montré que des niveaux de difficultés émergeaient, ces derniers pourraient apparaître comme des invariants à l'apprentissage. Par ailleurs, la mise en place plus fréquente de débats scientifiques de classe est un champ des possibles pour développer une formation scientifique à l'école. Si les débats s'ouvrent dans un contexte de problématisation, nous pensons que la formation scientifique est davantage approchée et qu'elle permet de construire des connaissances plus durables. Cette perspective semble donc pertinente pour l'enseignement des SVT et pour développer des compétences professionnelles pour les futurs enseignants. Nous osons penser qu'il s'agit aussi de revisiter les principes ontologiques naturalistes des professeurs de SVT,

ainsi nous caressons l'espoir de « *mettre au cœur de la réflexion le végétal, longtemps occulté et marginalisé dans l'histoire culturelle, (pour) décentre(r) ainsi d'emblée notre regard facilement enclin à l'anthropomorphisme* » (Brancher, 2018, p.125).

Au terme de cet écrit, nous embrassons la conclusion de Hiernaux (2021) reprise au début de cette conclusion générale. Nous espérons avoir contribué à faire comprendre les difficultés possibles de l'apprentissage de la nutrition des plantes par les élèves, ce travail intéresse principalement les enseignants et néo-enseignants de SVT, les chercheurs en didactique des sciences. Notre visée sous-jacente est de sensibiliser une communauté citoyenne la plus élargie possible. Au-delà de la prise en compte de leur fonction de nutrition et de leur importance dans le défi climatique, nous avons pour projet de donner un peu de sens à une éthique des plantes.

Bibliographie

- Astolfi, J-P. *et al.* (1985b). Le statut des représentations en didactique des sciences. Dans *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales* (p. 9-18). INRP.
- Astolfi, J-P. (1990). Les concepts de la didactique des sciences, des outils pour lire et construire les situations d'apprentissage. *Recherche & Formation*, 8, 19-31.
- Astolfi, J-P. (1992). *L'école pour apprendre. L'élève face aux savoirs*. ESF.
- Astolfi, J- P. (1997/1999). *L'erreur, un outil pour enseigner*. ESF.
- Astolfi, J-P. (2005). Prendre le parti des savoirs. Dans J-P. Astolfi (Dir.), *Savoirs en action et acteurs de la formation*. PURH.
- Astolfi, J-P., (2008/2011). Le concept d'objectif-obstacle. Dans J-P. Astolfi, E. Darot, Y. Ginsburger-Vogel, J. Toussaint, *Mots clés de la didactique des sciences* (p. 125-126). De Boeck Université.
- Astolfi, J-P. (2008/2014). *La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre*. ESF.
- Astolfi, J-P. (dir) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. INRP
- Astolfi, J-P. et Drouin, A-M. (1987). Milieu. *Aster*, 3, 73-109.

- Astolfi, J-P. et Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.
- Astolfi, J-P. et Peterfalvi, B. (1997). Stratégie de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster*, 25, 193-216.
- Astolfi, J-P., Darot, E., Guinsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (2008/2011). *Mots clés de la didactique des sciences*. De Boeck.
- Bachelard, G. (1938/2013). *Le nouvel esprit scientifique*. PUF.
- Bachelard, G. (1938/1985). *La psychanalyse du feu*. Gallimard. Version électronique (1992) : https://gastonbachelard.org/wp-content/uploads/2015/07/psychanalyse_du_feu.pdf.
- Bachelard, G. (1938/2011). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin.
- Bachelard, G. (1949/1998). *Le rationalisme appliqué*. PUF.
- Badir, S. (2001). *Saussure: la langue et sa représentation*. L'Harmattan.
- Bally, C. et Sechehaye, A. (1916/1995). *Cours de linguistique générale*. Payot.
- Bakhtine, M. (1978). *Esthétique et théorie du roman*. Gallimard.
- Bakhtine, M. (1984). *Esthétique de la création verbale*. Gallimard.
- Bandura, A. (1997/2007). *Auto-efficacité. Le sentiment d'efficacité personnelle* (P. Lecomte, trad.)
- Bar-On, Y., Phillips, R. et Milo, R. (2018). The biomass distribution on earth. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (25), 6506-6511. Repéré à <https://www.pnas.org/content/pnas/115/25/6506.full.pdf>
- Bautier, E. et Goigoux, R. (2004). Difficultés d'apprentissage, processus de secondarisation et pratiques enseignantes : une hypothèse relationnelle. *Revue Française de Pédagogie*, 148, 89-100.
- Bautier, E. et Rochex, J-Y. (1998). *L'expérience scolaire des nouveaux lycéens. Démocratisation ou massification*. Armand Colin.
- Bernié, J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de "communauté discursive" : un apport à la didactique comparée ? *Revue Française de Pédagogie*, 141, 77-88.
- Biagioli, N. et Legendre, J-J. (2010). Disciplines scolaires et construction identitaire. *Tréma*, 33-34, 23-33.
- Bolard, J. (2012). « L'osmose et la vie selon Dutochet », *Bibnum* [En ligne], Sciences de la vie. Repéré à : <http://journals.openedition.org/bibnum/508>
- Bosdeveix, R. (2016). *Entre classifications fonctionnelle et phylogénétique : le groupe des végétaux. Une reconstruction didactique fondée sur l'histoire des sciences dans le cadre de*

la formation des enseignants de sciences de la vie et de la Terre. (Thèse, Université Paris Diderot, Paris 7, France). Repéré à : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01372907>

- Brancher, D. (2018). Quand l'esprit vient aux plantes. Botanique sensible et subversion libertine (XVI^{ème} et XVII^{ème} siècle). *Cahiers philosophiques*, 153 (2), 125-130.
- Bronckart, J-P. (1985). *Le fonctionnement des discours. Un modèle psychologique et une méthode d'analyse*. Delachaux et Niestlé.
- Brossard, M. (1993). *Un cadre théorique pour aborder l'étude des élèves en situation scolaire*. Dans *Enfance*, tome 47, (2), 189-199.
- Brossard, M. (2008). Concepts quotidiens/ concepts scientifiques : réflexions sur une hypothèse de travail . *Carrefours de l'Éducation*, 2/26, 67-82.
- Brousseau, G. (1976). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. Willy Vanhamme et Jacqueline Vanhamme. La problématique et l'enseignement de la mathématique. Comptes rendus de la XXVIII^e rencontre organisée par la Commission Internationale pour l'Etude et l'Amélioration de l'Enseignement des Mathématiques, Comptes rendus de la XXVIII^e rencontre organisée par la Commission Internationale pour l'Etude, Louvain-la-neuve, 4(2), 101-117. Repéré à : https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/516569/filename/Obstacles_76.pdf
- Brousseau, G. (1978). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 4 (2), 165-198.
- Brousseau, G. (1986). *Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. Recherches en didactique des mathématiques*. La Pensée sauvage.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. La Pensée Sauvage.
- Bruner, J. (1986/2000). *Culture et modes de pensée*. Retz.
- Bucheton, D. (2009). Les gestes professionnels et le jeu des postures de l'enseignant dans la classe : un multi-agenda de préoccupations enchâssées. *Éducation et Didactique*, varia 3 (3), 29-48.
- Bucheton, D. et Soulé, Y. (2009). Les gestes professionnels et le jeu des postures de l'enseignant dans la classe : un multi-agenda de pré-occupations enchâssées. *Éducation et didactique*, 3, 29-48.
- Bungener, P. (2001). *Les rapports de Saussure avec la botanique*. Repéré à : https://www.ville-ge.ch/cjb/publications/publications_pdf/saussure2001.pdf
- Campestrini, P. (1992). Sortir de la logique de Van Helmont. *Aster*, 15, 85-100.
- Canal De Leon, P. (1992). Quel enseignement sur la nutrition des plantes en éducation de base ? : proposition didactique. *Aster*, 15, 7-32.
- Canguilhem, G. (1965/2015). *La connaissance de la vie*. Vrin.
- Canguilhem, G. (1968). *Etudes d'Histoire et de Philosophie des Sciences*. Vrin.

- Canguilhem, G. (1973). «Vie». *Encyclopædia Universalis*, 16, 764-769.
- Canguilhem, G. (1977/2009). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*. Vrin.
- Chalak, H. (2016). Outils d'aide à la problématisation : l'utilisation des caricatures autour du magmatisme des zones de subduction en terminale S. *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies*, 14, 63-94.
- Chalmers, A.F. (1976/1982). *Qu'est ce que la science ?* Éditions la Découverte.
- Charlot, B. (1997). *Du rapport au savoir*. Édition Economica..
- Charlot, B., Bautier, E. et Rochex, J-Y. (1992) . *École et savoirs dans les banlieues... et ailleurs*. Armand Colin.
- Charbonnier, S. (2017). Entretien avec Michel Fabre. *Recherches en didactiques*, 24, 105-118.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (1986). Vers une analyse didactique des faits d'évaluation. Dans J-M. De Ketele (dir.), *L'évaluation : approche descriptive ou prescriptive ?* (p. 31-59). De Boeck.
- Chevallard, Y. (1987). Quelques représentations touchant le concept de représentation. Dans F. Audigier et L. Marbeuf (dir.), *Actes de la seconde rencontre de didactique de l'histoire et de la géographie* (p. 111-137). INRP.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 12, 1, 73-112.
- Chevalley, C. (1998). Réponses sociologiques, questions philosophiques ? *Le débat*, 102, 69-81. Repéré à : <https://www.cairn.info/revue-le-debat-1998-5-page-69.htm>
- Clément, P. (2014). Recherches en didactique de la biologie sur les conceptions et obstacles. Dialogue avec Jean-Pierre Astolfi. *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies*, 4, 129-154.
- Coccia, E. (2016/2018). *La vie des plantes*. Payot-rivages.
- Coccia, E. (2018). La vie des arbres est devenue une question politique. *Pour la science*, 101, 10-12.
- Darwin C. (1859/2008). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favured Races in the Struggle for Life* (Traduit par : L'origine des espèces). Flammarion.
- Daunay, B. et Fluckiger, C. (2011). Enfant-élève-apprenant : une problématique didactique. *Recherches en didactiques*, 11, 7-15.

- De Saussure, F. (1964). *Cours de linguistique générale*. Fayot.
- De Singly, F. (1992/2016). *Le questionnaire*. Armand Colin.
- Decauwert, G. (2018). *L'épistémologie*. Ellipse.
- Delaporte, F. (1979/2011). *Le second règne de la nature. Essai sur les questions de végétalité au XVIII^{ème} siècle*. Éditions des archives contemporaines.
- Delaveau, P. (2003). *Expliquez-moi les plantes*. Pharmathèmes Édition Communication santé.
- Delbos, G. (1986). La Transmission des savoirs. *Revue française de pédagogie*, 76, 91-93.
- Deleuze, G. (1968). *Différence et répétition*. PUF.
- Dell'Angello-Sauvage, M. et Gallezot, M. (2018). Vie, vivant, biodiversité : quelles approches ? Quelles prises en charge scolaire ? *Recherche en didactique des sciences et des technologies*, 18, 9-34.
- Demeuse, M. et Strauven, C. (2006). Développer un curriculum d'enseignement ou de formation. De Boeck Supérieur.
- Develay, M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement : pour une épistémologie scolaire*. ESF.
- Develay, M. (dir) (1995). *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines*. ESF.
- Dewey J. (1967/1993). *Logique. La théorie de l'enquête* (ouvrage original publié en 1938 sous le titre : *Logic : The theory of inquiry*). PUF.
- Dewey, J. (1920/2003). *Le public et ses problèmes*. Publication de l'université de Pau. Edition Léo Sheer.
- Dittmer, H.J. (1937). A quantitative Study of the Roots and Root Hairs of a Winter Rye Plant (Secale cereale). *American Journal of Botany*, 24, 417-420.
- Doise, W. et Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Inter-éditions.
- Doise, W. et Palmonari, A. dir. (1986). *L'étude des représentations sociales*. Delachaux et Niestlé.
- Dolto, F. (1987). *Tout est langage*. Vertiges du Nord/Carrere.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490.
- Dumas, J-B. et Boussingault, J-B. (1842). *Essai de statique chimique des êtres organisés*. Fortin Masson et Cie.

- Duplessis, P. (2008). Les conceptions des élèves au centre de la didactique de l'information ? 2^{ème} Séminaire du GRCDI, Contextes et enjeux de la culture informationnelle, approches et questions de la didactique de l'information, Rennes, 12 septembre 2008.
- Duris, P. et Gohau, G. (1997/2011). *Histoire des sciences de la vie*. Belin.
- Dutrochet, H. (1827). Recherches sur l'Endosmose et l'Exosmose. *Annales de Chimie et de Physique*, 35, 393-400.
- Fabre, M. (1995). Bachelard éducateur. PUF.
- Fabre, M. (1999). *Situation-problème et savoir scolaire*. PUF.
- Fabre, M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les Sciences de l'éducation, Pour l'Ère nouvelle*, 38, 53-67.
- Fabre, M. (2007). Des savoirs scolaires sans problèmes et sans enjeux. La faute à qui ? *Revue française de pédagogie*, 161, 69-78.
- Fabre, M. (2009). Philosophie et pédagogie du problème. Vrin.
- Fabre, M. (2013). Rupture épistémologique et travail sur les représentations. *Recherches en Éducation*, -17, 62-71.
- Fabre, M. (2016). *Le sens du problème*. De Boeck Éducation.
- Fabre, M. (2017). *Qu'est ce que problématiser ?* Vrin.
- Fabre, M. et Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissement d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57.
- Fabre, M. et Musquer, A. (2009). Comment aider l'élève à problématiser ? Les inducteurs de problématisation. *Les Sciences de l'Éducation, pour l'Ère Nouvelle*, 42, 3, 111-128.
- Fillon, P., Orange, C., Peterfalvi, B., Rebière, M. et Schneeberger, P. (2004). *Argumentation et construction de connaissances en sciences*. Dans J. Douaire (éd.). *Argumentation et disciplines scolaires* (p. 203-247). INRP.
- Fortin, C. (2018). Le statut épistémique du vivant dans les nouveaux curriculums français de la scolarité obligatoire. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 18, 36-57.
- Geninet, A. (2015). *Faites-les réussir en maths : De l'école à l'entrée au lycée*. Chronique Sociale.
- Giordan, A., Raichvarg, D., Drouin, J-M., Gagliardi, R. et Canay, A.M. (1987/1989). *Histoire de la biologie. Tome 1*. Technique et Documentation. Lavoisier.
- Giordan, A. (1998/2016). *Apprendre*. Belin.
- Goix, M. (1997). Grandir : oui mais comment ? *Aster*, 24, 141-170.

- Goldstein, K. (1951/1983). *La structure de l'organisme*. Gallimard.
- Grémy, J-P. (1993). Questions et réponses : quelques résultats sur les effets de la formulation des questions dans les sondages. *Sociétés contemporaines*, 16, 165-176.
- Grize, J-B. (1992). Sur la nature du discours d'information scientifique. *Aster*, 14, 41-52.
- Grize, J-B. (1996). *Logique naturelle et communication*. PUF.
- Grize, J-B. (1997). *Logique et langage*. Ophrys.
- Gruhier, F. (2018). *Et Lamarck créa Darwin*. Staltkine et Cie.
- Hallé, F. (1999). *Éloge de la plante, pour une nouvelle biologie*. Le Seuil.
- Hallé, F. (dir.) (2008). *Aux origines des plantes : Avant-propos, pourquoi les plantes nous font-elles tant de bien ?* Fayard.
- Heller, R. (1977/1989). *Physiologie végétale. 1. nutrition*. Masson.
- Heller, R., Esnault, R. et Lance, C. (1998/2004). *Physiologie végétale. 1. Nutrition*. Dunod.
- Hervé, N., Venturini, P. et Albe, V. (2014). La construction du concept d'énergie en cours de physique : analyse d'une pratique ordinaire d'enseignement. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 10, 123-151.
- Hiernaux, Q. (2021). *Philosophie du végétal. Botanique, épistémologie, ontologie*. Vrin.
- Host, V. (1976). La nutrition des végétaux. Dans *Activités d'éveils scientifiques. IV. Initiation biologique. Recherches Pédagogiques*. INRP.
https://www.siv.archives-nationales.culture.gouv.fr/siv/IR/Fran_IR_055625
- Houdé, O. (2011). *La psychologie de l'enfant*. PUF.
- Houdé, O. (2014). *Le raisonnement*. PUF.
- Houssaye, J. (2014). *Le triangle pédagogique, Les différentes facettes de la pédagogie*. ESF.
- Ingen-Houss, J. (1796). Essai sur l'aliment des plantes et sur la rénovation des sols. *Annales d'agriculture française*, 6, 170-203 et 365-401.
- Jakobson, R. (1960). *Closing statements : Linguistics and Poetics, Style in language*. New-York T.A. Sebeok. Trad. Ruwet, N. (1963). *Linguistique et poétique. Essais de linguistique générale*. Éditions de minuit.
- Jalley, E. (2017). Actualité de la pensée d'Henri Wallon. *La pensée*, 3, 27-38.
- Jaubert, M. (2007). *Langage et construction de connaissance à l'école. Un exemple en sciences*. Presses Universitaires de Bordeaux.

- Jaubert, M., Rebière, M. et Bernier, J-P. (1992). *Communautés discursives disciplinaires scolaires et construction de savoirs : l'hypothèse énonciative*. Forumlecture.ch, plateforme internet sur la littérature. Repéré à :
https://www.leseforum.ch/myUploadData/files/2012_3_Jaubert_Rebiere_Bernier.pdf
- Jaubert, M. et Rebière, M. (2001). Pratiques de reformulation et construction de savoirs. *Aster*, 33, 81-110.
- Johsua, S. et Dupin J-J. (1989). *L'introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. PUF.
- Jonnaert, P. (1988). *Conflits de savoirs et didactique*. De Boeck Université.
- Kant, E. (1781/1975). (trad. Tremesaygues et Pacaud). *Critique de la raison pure*. PUF.
- Kerbrat-Orecchioni, C. (1990). *Les interactions verbales. Tome 1*. Armand Colin.
- Kerlan, A. (1999a). *La science n'éduquera pas. Comte, Durkheim, le modèle introuvable*. Peter Lang.
- Kerlan, A. (1999b). Les sciences pourront-elles éduquer ? Le paradoxe positiviste. *Penser l'éducation*, 1, 63-83.
- Lamy, D. (2012a). Aux racines de la botanique : de l'Antiquité au début du XVIIIème (1/2). [vidéo]. Repéré à :
https://www.canal-u.tv/video/mnhn/aux_racines_de_la_botanique_de_l_antiquite_au_debut_du_xviii_1_2.23188
- Lamy, D. (2012b). Aux racines de la botanique : le XIXème et le début du XXème (2/2). [vidéo]. Repéré à :
https://www.canal-u.tv/video/mnhn/aux_racines_de_la_botanique_le_xixe_et_le_debut_du_xxe_siecle_2_2.23190
- Larini, M. et Barthes, A. (2018). *Statistiques et traitement de données quantitatives en éducation : de la collecte au traitement des données*. ISTE Éditions.
- Latour, B. (1989/2005). *La science en action. Introduction à la sociologie des sciences*. La Découverte.
- Lecointre, G. (2010). Préface. Dans G. Guillot, *La planète fleurs*. Quae.
- Lecointre, G. et Le Guyader, H. (2001). *Classification phylogénétique du vivant*. Belin.
- Lecointre, G. et Le Guyader, H. (2007). *Tree of life. A Phylogenetic Classification*. États Unis, Harvard University Press.
- Lenne, C. (2014). *Dans la peau d'une plante*. Belin.
- Leontiev, A. (1976). *Le développement du psychisme*. Éditions Sociales.

- Leroy, G. (2017). Forme scolaire et travail de l'enfant-élève dans l'école maternelle contemporaine, *Penser l'éducation*, 41, 129-153.
- Lhoste, Y. (2005). Argumentation sur les possibles et construction du problème dans le débat scientifique de classe de 3ème sur le thème de la nutrition. *Aster*, 40, 153-176.
- Lhoste, Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques : nutrition et évolution. Thèse de doctorat.* Éducation. Université de Nantes. Repéré à : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00376892>
- Lhoste, Y. (2017). *Épistémologie et didactique des SVT. Langage, apprentissage enseignement des sciences de la vie et de la Terre.* Presses Universitaires de Bordeaux.
- Lhoste, Y., Peterfalvi, B. et Orange, C. (2007). Problématisation et perspective curriculaire en SVT : quelques questions théoriques et méthodologiques. *AREF*, Strasbourg, 2007.
- Lhoste, Y. et Peterfalvi, B. (2009). Problématisation et perspective curriculaire en SVT : l'exemple du concept de nutrition. *Aster*, 49, 79-108.
- Liebig, J. (1844). *Chimie appliquée à la physiologie et à l'agriculture.* Audin.
- Littré, E. (1874). Dictionnaire de la langue française. Tome troisième. Lahire. Repéré à : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5460034d/f7.image>
- Lopez-Garcia, P. et Moreira, D. (2008). Tracking microbial biodiversity through molecular and genomic ecology. In *Research in Microbiology*, 159, 1, 67–73. Repéré à : [doi:10.1016/j.resmic.2007.11.019](https://doi.org/10.1016/j.resmic.2007.11.019)
- Martinand, J-L. (1983). La référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires. Dans A. Tiberghien (ed.) *Recherches en didactique de la physique* (p. 227-249). Éditions du CNRS.
- Martinand, J-L. (1986). La référence et l'obstacle. *Itinéraires de recherche, Perspectives documentaires en éducation*, 34, 7-22.
- Martinand, J-L. (1987). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques. Dans *Actes du Congrès de l'AIPELF*.
- Martinand, J.-L. (1992). Présentation. Dans *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. INRP.
- Mathias, J-C. (2009). *La politique de Cassandre.* Le Sang de la terre.
- Maurel, C., Moreau, F., Prat, R., Sentenec, H. et Morot-Gaudry, J-F. (Dir.) (2017). *Biologie végétale. Nutrition et métabolisme.* Dunod.
- Meirieu, P. (1987/2017). *Apprendre...oui mais comment ?* ESF.

- MEN (2011). Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de SVT, Classe terminale de la série scientifique, Bulletin Officiel spécial, n°8, 13 octobre 2011 (disponible sur : http://media.education.gouv.fr/file/special_8_men/01/2/SVT_S_197012.pdf)
- MEN (2015). Programme d'enseignement de l'école maternelle, Bulletin Officiel spécial, n°2, du 26 mars 2015 (Disponible sur : https://www.education.gouv.fr/bo/15/Special2/MENE1504759A.htm?cid_bo=86940)
- Meyer, M. (1986). *De la problématique*. Mardaga.
- Meyer, M. (2017). *Qu'est ce que le questionnement ?* Vrin.
- Meyer, S., Reeb, C. et Bosdeveix, R. (2019). *Botanique. Biologie et physiologies végétales*. Maloine.
- Migne, J. (1969/1994). Les obstacles épistémologiques à la formation des concepts. *Éducation Permanente*, 119, 101-123.
- Migne, J. (1970). Représentation (ou conception). *Éducation permanente*, 8, 67-87.
- Morin, E. (1999/2000). *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*. Seuil.
- Mucchielli, R. (1988). *L'analyse de contenu des documents et des communications*. ESF Éditions.
- Numa-Bocage, L. (2009). Le débat, outil didactique pour le développement du jugement moral et la didactique professionnelle. *Carrefours de l'Éducation*, 2, 28, 37-52.
- Ochiaï, M. (1989). The role of knowledge in the development of the life concept. *Human Development*, 32 (2), 72-78.
- Opkins, G. (2003). (Trad de la 2ème édition américaine Rambour, S. et révision scientifique d'Evrad C-M.). *Physiologie végétale*. De Boeck Université.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie. Quels apprentissages pour le lycée ?* PUF.
- Orange C. (2001). *Idées et raisons. Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en Sciences de la vie et de la Terre*. Université de Nantes, Mémoire d'HDR, Nantes.
- Orange, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation, pour l'Ère Nouvelle*, 35, 1, 25-42.
- Orange, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster*, 37, 83-107.
- Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'Éducation, pour l'Ère Nouvelle*, 38 (3), 69-94.
- Orange, C. (2007a). Spécificité de la problématisation scientifique : le travail d'abstraction et de généralisation. *Recherches en Éducation*, 3, 8-13.

- Orange, C. (2007b). Quel milieu pour l'apprentissage par problématisation en Sciences de la vie et de la Terre ? *Éducation et didactique*, 1, 2, 37-56.
- Orange, C. (2009a). Organiser et mener un débat scientifique en classe. Dans P. Schneeberger et A. Vérin (Dir.), *Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences* (p. 343-352). INRP.
- Orange, C. (2009b). Comment les plantes font-elles penser les petits et les grands ? *Alliage*, 64 , 113-123. <http://revel.unice.fr/alliage/index.html?id=3410>
- Orange, C. (2010). Étude de situations « forcées » : quelles méthodes pour les recherches en didactiques s'appuyant fortement sur les productions des élèves en classe ? Dans Actes du congrès de l'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF), Université de Genève, septembre 2010. Genève : Université de Genève.
- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. De Boeck.
- Orange, C. et Orange Ravachol, D. (2005). Géologie et Biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, 21, 27-49.
- Orange, C. et Orange Ravachol, D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. *Actes des cinquièmes journées scientifiques de l'ARDIST*, La Grande Motte, octobre 2007.
- Orange, C., Lhoste, Y. et Orange-Ravachol, D. (2008). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. Dans C. Buty et C. Plantin (éd.). *Argumenter, en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage* (p. 75-116). INRP.
- Orange-Ravachol D. et Beorchia F. (2011). Principes structurants et savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Éducation et didactique*, 5 (1), 7-28.
- Orange, C. et Orange Ravachol, D. (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : Sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en Éducation*, 17, 46-61.
- Orrechioni, C. (1990/1995). *Les interactions verbales. Tome 1*. Armand Colin.
- Orrechioni, C. (1997). *L'énonciation de la subjectivité dans le langage*. Armand Colin.
- Perrenoud, P. (1984/1995). *La fabrication de l'excellence scolaire*. Droz.
- Perrenoud, P. (2018). *Métier d'élève et sens du travail scolaire*. ESF.
- Perrin-Schirmer, C., Auricchio, A. et Masseron, C. (2004). La polyphonie des discours argumentatifs : propositions didactiques. *Pratiques : linguistique, littérature, didactique*, 123-124, 171-211.
- Peterfalvi, B. (1997). Les obstacles et leur prise en compte didactique. *Aster*, 24, 3-11.

- Peterfalvi, B., Rumelhard, G. et Vérin, A. (1987). Relations alimentaires. *Aster*, 3, 111-189.
- Piaget, J. (1947). *Psychologie de l'intelligence*. Armand Colin.
- Piaget, J. (1950). *Introduction à l'épistémologie génétique. Tome III: La pensée biologique, la pensée psychologique et la pensée sociale*. PUF.
- Piaget, J. (1946/1976). *La formation du symbole chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé.
- Pinard, R., Poitevin, P. et Rousseau, R. (2004). Le choix d'une approche méthodologique mixte de recherche en éducation. *Recherches Qualitatives*, 24, 58-80.
- Plantin, C. (1996). Le trilogue argumentatif : Présentation de modèle, analyse de cas. *Langue Française*, 112 (1), 9-30.
- Plantin, C. (2005). *L'argumentation*. PUF, Que sais-je ?
- Popper, K. (1972/1998). *La connaissance objective*. Flammarion.
- Priestley, J. (1780). *Expériences et observations sur différentes espèces d'air*, vol 1. Cambridge library.
- Rabatel, A. (2012). Positions, positionnements et postures de l'énonciateur. *TRANEL. Travaux Neuchâtelois de Linguistique, Institut des sciences du langage et de la communication* (Neuchâtel, Suisse), 56, 23-42.
- Rancière, J. (1987). *Le maître ignorant. Cinq leçons sur l'émancipation intellectuelle*. Fayard.
- Reymond, M. et Jauzein, F. (2007). *Classification génétique de la Lignée verte*. Repéré à : https://www.tela-botanica.org/wp-content/uploads/2017/03/classification_phylogenetiqueligneevert e.pdf
- Richard, S. (2006). L'analyse de contenu pour la recherche en didactique de la littérature. Le traitement des données quantitatives pour une analyse qualitative : parcours d'une approche mixte. *Recherches Qualitatives*, 26, 187-207.
- Ricoeur, P. (1986). *De l'interprétation*. Seuil.
- Ricoeur, P. (1971/1991). Événement et sens. *Raisons et pratiques*, 2, 41-56.
- Ridao, C. (1993). Le concept de représentation en didactique de la biologie, un concept central et opératoire dans une didactique du problème. *Les Sciences de l'Éducation, pour l'Ère Nouvelle*, 4-5, 103-130.
- Roger, J. (1963/1993). *Les sciences de la vie dans la pensée française au XVIII^{ème} siècle*. Albin Michel.
- Rouquet, F. (2019). *Des caricatures inductrices de problématisation : l'exemple de la nutrition des plantes*. AREF, Bordeaux. <https://aref2019.sciencesconf.org>

- Rouquet, F. (2022). La nutrition des plantes en terminale scientifique. *Recherche en Didactique des Sciences et Technologie*, 25, 129-154.
- Rousseau, J-J. (1776-1778/1972). *Les rêveries du promeneur solitaire*. Gallimard.
- Rumelhard, G. (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *Aster*, 1, 37- 66.
- Rumelhard, G. (1992). Eau, air , terre, lumière et plantes vertes. *Aster*, 15, 3-5.
- Rumelhard, G. (2016). Le concept d'obstacle à l'assimilation des connaissances biologiques. Entre matérialisme, positivisme et anthropologie. *Association des Professeurs de Biologie et Géologie*, 4, 1-16.
- Sallabery, J-C. (2011). Mode projet et management des formes. *Projectics/Protyéctica/projectique*, 7, 75-88.
- Sallabery, J-C. et Vannereau, J. (2010). *L'émergence des formes d'organisation dans les groupes de formation*. L'Harmattan.
- Schneeberger, P., Orange, C., Orange-Ravachol, D. et Lhoste, Y. (2021). Précis de didactique des SVT pour enseigner au collège et au lycée. Presses universitaires de Bordeaux.
- Selosse, M-A. (2017). *Jamais seul. Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*. Actes Sud.
- Selosse, M-A. (2018). Des animaux comme les autres. Des plantes aux animaux et vice versa. *Pour la science*, 101, 42-47.
- Serres, M. (1980). *Le passage du Nord-Ouest*. Minuit.
- Serres, M. (1991). *Le Tiers Instruit*. Gallimard.
- Sochor, M. , Egertova, Z., Hrones, M. et Dancak, M. (2018). Rediscovery of *Thismia neptunis* (Thismiaceae) after 151 years. *Phytotaxa*, 340 (1), 71-78.
- Souchon, C. et Kassou, S. (1992). Utilisation des aspects historiques dans l'enseignement de la photosynthèse. *Aster*, 15, 55-73.
- Toulmin, S. (1950/ 1993 trad Fr.). *Les usages de l'argumentation*. PUF.
- Uroz, S., Deveau, A. et Cébron, A. (2018). Le charme discret... de la racine. *Pour la science*, 101, 24-29.
- Van der Keilen, M. et Roy, C. (1995). Développement du concept de vie à propos des animaux et des plantes. *Enfance*, 4, 435-442.
- Van der Maren, J-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Les Presses de l'Université de Montréal.
- Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie française*, 30, 314, 245-252.

- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10 (2-3), 133-170.
- Vergnaud, G. (2011). La pensée est un geste comment analyser la forme opératoire de la connaissance. *Enfance*, 1, 37-48.
- Vergnioux, A. (2003). *L'explication dans les sciences*. De Boeck.
- Vinatier, I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. PUR.
- Vygotski, L-S. (1934/1997). *Pensée et langage*. La Dispute.
- Weisser M. (2003). La gestion didactique des situations d'argumentation orale. *Les Sciences de l'Éducation, pour l'Ère Nouvelle*, 36 (3), 49-76.

Table des figure et des tableaux

1. Table des figures

Figure 1 : les élèves et le savoir en SVT

Figure 2 : l'école lieu d'apprentissages scolaires

Figure 3 : La façon d'inférer et d'interpréter les conceptions (d'après Astolfi et al., 1985, p. 12). En pointillés : inférences réalisées par l'observateur. La situation de production est scolaire ou non (réponse à une question; anticipation d'action; situation de débat, etc.).

Figure 4 : les origines possibles des conceptions des apprenants

Figure 5 : le concept de conceptions pour éclairer l'analyse de nos données dans les chapitres 4 et 5 (la croix rouge signifie : n'est pas à identifier comme une erreur au sens scolaire)

Figure 6 : le concept d'objectif-obstacle d'après Astolfi (2008/2011,p.126)

Figure 7 : faire apprendre en prenant en compte les obstacles

Figure 8 : le concept d'obstacle

Figure 9 : la connaissance scolaire au prisme des concepts de : apprentissage, conceptions et obstacles (* en référence à Bachelard)

Figure 10 : équation représentant l'ensemble de la photosynthèse pour les Embryophytes (en bleu : l'origine du dioxygène selon Hill – l'équation n'est pas équilibrée)

Figure 11 : équation représentant la photolyse de l'eau (potentiel normal d'oxydoréduction est + 0,81 V)

Figure 12 : l'autotrophie de la plante : un flux de matière et d'énergie. Figure modifiée selon nos besoins d'après la proposition de Meyer, Reeb et Bosdeveix (2019, p.185)

Figure 13 : les deux types de mycorhization

Figure 14 : des particularités de la nutrition des plantes

Figure 15 : couverture de l'ouvrage de référence pour connaître l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes (d'après <https://www.bnf.fr/fr>)

Figure 16 : les légendes utilisées pour le résumé de l'histoire de la théorie de la nutrition des plantes

Figure 17: les origines de la théorie de la nutrition des plantes

Figure 18 : évolution la théorie au XVII^{ème} siècle

Figure 19 : évolution de la théorie au XVIII^{ème} siècle

Figure 20 : évolution de la théorie au XIX^{ème} siècle

Figure 21 : histoire des plantes et évolution de la théorie de leur nutrition

Figure 22 : bilan du chapitre 2 pour un éclairage des difficultés possibles d'apprentissage des élèves avant l'étude didactique de la nutrition des plantes

Figure 23 : le schéma de la communication de Jakobson (1960) repris par Orecchioni (1990)

Figure 24 : schéma de la communication selon Grize (1996, p.68)

Figure 25 : champ argumentatif de Toulmin d'après Hoogaert (1995)

Figure 26 : l'activité langagière et la communauté discursive scolaire

Figure 27 : la dynamique de la problématisation d'après Lhoste (2017, p.62)

Figure 28 : schéma de l'activité scientifique prenant en compte les trois registres. D'après Orange (2012, p.27)

Figure 29 : représentation d'un espace des contraintes de la problématisation

Figure 30 : problématisation et cadre théorique (La figure 30 est une synthèse de notre représentation de la problématisation : les flèches sont les axes principaux, les traits simples les axes secondaires.)

Figure 31 : bilan du chapitre 3 « activité langagière et apprentissage par problématisation »

Figure 32 : production d'un élève de cycle 2 (7-8 ans) « les besoins des plantes » (c'est nous qui ajoutons le terme « nuage » car il est illisible sur l'original)

Figure 33 : répartition des lycées angevins ayant participé au recueil de données

Figure 34 : questionnaire distribué aux élèves de Terminale Scientifique

Figure 35 : réponse de l'élève JC RE à « Que sais-tu des végétaux concernant leur croissance ? » catégorie « développement »

Figure 36 : réponse de l'élève JC RE à « Que sais-tu des végétaux concernant leur nutrition ? » Dans cet exemple, 3 critères sont reconnus et un autre élément de réponse est attribué à la catégorie « autres »

Figure 37 : réponse de l'élève JC RE à « Autre(s) information(s) que tu souhaites apporter concernant les végétaux » (nous conservons la question précédente pour montrer qu'il s'agit du même élève)

Figure 38 : réponse de l'élève BA RE à « Autre(s) information(s) que tu souhaites apporter concernant les végétaux »

Figure 39 : réponse de l'élève MS RE à « Autre(s) information(s) que tu souhaites apporter concernant les végétaux »

Figure 40 : importance des éléments nutritifs selon le point de vue de la croissance ou de la nutrition

Figure 41 : les conceptions des élèves de Terminale Scientifique (TS) à propos de la nutrition des plantes après analyse des questionnaires des 453 élèves

Figure 42 : visée scientifique de l'enquête didactique

Figure 43 : caractéristiques de la séquence forcée

Figure 44 : bilan de la présentation de l'enquête didactique

Figure 45 : entête du document A4 (à gauche) – un élève complétant le document (à droite)

Figure 46 : dispositif de la classe pour le second temps de la séance 1

Figure 47 : production de l'élève AG (sans plante au sens figuré)

Figure 48 : production de l'élève BN (sans lumière)

Figure 49 : affiche n°8 – niveau 1

Figure 50 : affiche n°5 – niveau 2

Figure 51 : affiche n°1 – niveau 3

Figure 52 : silhouette utilisée pour les caricatures pour la nutrition des plantes

Figure 53 : document distribué aux élèves pour débiter la séance 2 (format A4)

Figure 54 : structure argumentative associée à un épisode du débat « Caricature n°2 : la nutrition de la plante nécessite de la lumière, des minéraux, de l'eau et des nutriments» (**En rouge** : position énonciative de l'élève / **En bleu** : éléments de la thèse / **en vert** : nouvelle thèse)

Figure 55 : Espace de contraintes pour l'épisode du débat des tours de paroles 34 à 66 (caricatures 3 et 4) où il est question de faire émerger la source du carbone

Figure 56 : espace de contraintes convoquant les trois registres lors de la séance relative à la totalité du « débat concernant les quatre caricatures (hypothèses) »

Figure 57 : comparaison de deux productions d'élève qui répondent à la question : comment une plante se nourrit-elle ? (à gauche : un élève de cycle 2 – à droite : un élève de Terminale scientifique)

Figure 58 : présentation du document remis aux binômes de la classe

Figure 59 : la disposition des élèves et du professeur pendant l'enregistrement (photographies extraits de l'enregistrement vidéo)

Figure 60 : tableau de classement proposé par PC-RG : **niveau 1**

Figure 61 : tableau de classement proposé par JC-MC : **niveau 2**

Figure 62 : tableau de classement proposé par CB-LB : **niveau 3**

Figure 63 : 3 textes d'élèves qui résument leur idée de la nutrition des plantes (c'est nous qui soulignons en jaune)

Figure 64 : structure argumentative d'un épisode du débat relatif à l'affirmation 4 « *car le CO₂ relève de la respiration et non de la nutrition* »

Figure 65 : espace de contraintes convoquant les 3 registres lors de la séance 3

Figure 66 : activité distribuée aux élèves pour rédiger un texte relatif à la définition de « nutriment » puis de « nutrition des plantes » (format A4)

Figure 67 : schéma de synthèse de la définition de « nutriment » proposée dans les textes des groupes d'élève

Figure 68 : recherche d'une relation possible entre le nombre de mots que l'on pourrait faire correspondre à des nécessités exprimées dans les textes finaux en fonction du nombre de nécessités exprimées dans les textes initiaux (Légendes : **X** correspond au positionnement d'un binôme ou d'un trinôme, les couleurs sont associées aux 3 groupes qui pourraient représenter une catégorie particulière)

Figure 69 : bilan du chapitre 5

Figure 70 : les 4 étapes de l'étude longitudinale

Figure 71 : la problématisation comme levier à l'évanescence des savoirs scolaires, l'exemple de la nutrition des plantes en Terminale Scientifique

Figure 72 : la fonction de nutrition des plantes : aux origines possibles des difficultés d'apprentissage des élèves et de la construction de la théorie de leur nutrition

Figure 73 : les obstacles et la problématisation dans le cadre de l'apprentissage de la nutrition des plantes en Terminale scientifique

Figure 74 : 3 illustrations du début du thème consacré aux plantes en Terminale Scientifique

Figure 75 : Répartition de la biomasse en fonction des groupes d'êtres vivants d'après Bar-On, Philipps et Milo (2018, p.84)

2. Table des tableaux

Tableau 1 : 3 éléments essentiels puisés dans le sol et symptômes associés sur une Angiosperme en cas de carence d'après Meyer, Reeb et Bosdeveix (2019, p.154-155)

Tableau 2 : le contexte de la chimie au XVIII^{ème} siècle juste avant Lavoisier

Tableau 3 : concept et concept scientifique d'après Astolfi (1992, p.101-102)

Tableau 4 : les fonctions du travail du langage en sciences (Jaubert, 2000 ; cité par Lhoste, 2017, p.123)

Tableau 5 : le problème scientifique et la problématisation, cinq critères pour les apprécier (d'après Fabre, 2016, 18-29)

Tableau 6 : analyse comparative des programmes des cycles 1, 2 et 3 pour le concept de plante

Tableau 7 : répartition du nombre de réponses par lycée

Tableau 8 : résultats de la catégorisation des réponses des élèves pour l'item « croissance »

Tableau 9 : résultats de la catégorisation des réponses des élèves pour l'item « nutrition »

Tableau 10 : déroulement de la séquence forcée

Tableau 11 : analyse liminaire du débat de classe

Tableau 12 : comparaison des deux productions d'élèves cycle 2/Terminale scientifique

Tableau 13 : typologie et niveau de classement des 13 affirmations selon les titres des propositions des binômes

Tableau 14 : caractéristiques du débat de la séance 3

Tableau 15 : analyse des propos des élèves relative au mot « nutriment » lors du débat de la séance

Tableau 16 : comparaison des résultats des élèves de la classe (logiciel JASP)

Tableau 17 : nombre d'élèves ayant mobilisé 1, 2 ou 3 nécessités dans la nutrition des plantes

Tableau 18 : comparaison de la place du débat dans les différents niveaux de SVT au lycée

Annexes

Le « poids » des annexes dépasse les 57 MO, aussi nous avons été conduit à créer un deuxième fichier dont la table des matières correspond au sommaire suivant :

Table des matières

1. Productions des représentations initiales des élèves de cycle 2 (chapitre 4)	3
2. Document pour récupérer les représentations initiales des élèves de terminale scientifique (chapitre 4).....	8
3. Productions des élèves de terminale scientifique (chapitre 4)..... ;.....	9
4. Productions individuelles des représentations initiales pour les élèves de la classe (chapitre 5)	328
5. Productions de groupe des représentations initiales pour les élèves de la classe (chapitre 5) ...	367
6. Transcription du débat de la séance 1 (chapitre 5).....	377
7. Document « les caricatures » (chapitre 5).....	380
8. Productions individuelles « les caricatures » pour les élèves de la classe (chapitre 5)	382
9. Transcription du débat de la séance 3 « les caricatures » (chapitre 5)	415
10. Transcription du débat de la séance 3 « les raisons » (chapitre 5).....	420
11. Productions des élèves (binômes ou trinômes) avant le débat sur les nutriments (chapitre 5) .	428
12. Transcription du débat « les nutriments » (chapitre 5).....	437
13. Photocopies des productions des élèves lors de l'évaluation type « Baccalauréat » (chapitre 6)	445
14. Transcription des entretiens directifs individuels (chapitre 6).....	462

Mots clés : nutrition, plante, problématisation, difficultés d'apprentissages, débat

Résumé : Les plantes sont des éléments du quotidien souvent considérées pour leurs caractéristiques socio-économiques, leurs singularités sont donc secondaires pour les initiés. Les programmes scolaires, de la maternelle à la terminale, abordent ce groupe vivant et nous focalisons notre attention sur leur fonction de nutrition. Au demeurant, nous constatons que les connaissances des élèves sont assez éloignées des savoirs partagés par la communauté scientifique. Quelles sont les raisons qui pourraient expliquer cette divergence ? Quelles difficultés d'apprentissages se cachent dans l'enseignement des SVT ? Notre thèse cherche des réponses possibles à ce questionnement. Notre investigation nous conduit alors à explorer les difficultés scolaires d'élèves ordinaires puis à comprendre la lente construction de la théorie de la nutrition des plantes avant de s'attacher à la nutrition des plantes et la problématisation. Dans une perspective d'enquête, trois recueils de données sont au service de notre réflexion. D'abord une enquête sur 453 élèves de terminale scientifique de 6 lycées, puis une enquête qualitative lors d'une séquence forcée élaborée pour une classe et une autre à distance de celle-ci. Nos résultats relèvent des obstacles aux apprentissages, certains que nous qualifions d'externes à la problématisation, d'autres internes. De plus, nous montrons que le débat scientifique de classe pourrait être un levier aux apprentissages.

Keywords: nutrition, plant, problematization, learning difficulties, debate

Abstract: Plants are elements of everyday life often considered for their socio-economic characteristics, their singularities are therefore secondary for the uninitiated. The school curricula, from kindergarten to grade 12, approach this group of living beings and we focus our attention on their nutritional function. Moreover, we find that the students' knowledge is quite far from the knowledge shared by the scientific community. What are the reasons that could explain this divergence? What learning difficulties are hidden in the teaching of SVT? Our thesis seeks possible answers to this question. Our investigation then leads us to explore the academic difficulties of ordinary students and then to understand the slow construction of the theory of plant nutrition before focusing on language and problematization. From a survey perspective, three collections of data are at the service of our reflection. First a survey on 453 scientific students of 6 high schools, then a qualitative survey during a forced sequence developed for one class and another at a distance from it. Our results identify barriers to learning, some of which we describe as external to problematization, others internal. In addition, we show that class-based scientific debate could be a lever for learning.