



HAL
open science

Etude d'activités d'exploration de pratiques de recherche de scientifiques dans le cadre d'un partenariat

Vincent Voisin

► **To cite this version:**

Vincent Voisin. Etude d'activités d'exploration de pratiques de recherche de scientifiques dans le cadre d'un partenariat. Education. Université Paris Saclay (COMUE), 2017. Français. NNT : 2017SACLN035 . tel-01633898

HAL Id: tel-01633898

<https://theses.hal.science/tel-01633898>

Submitted on 13 Nov 2017

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.

Étude d'activités d'exploration de pratiques de recherche de scientifiques dans le cadre d'un partenariat

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay
préparée à l'École normale supérieure de Cachan
(École normale supérieure Paris-Saclay)

École doctorale n°578 : Sciences de l'homme et de la société (SHS)
Spécialité de doctorat : Didactique des sciences

Thèse présentée et soutenue à Cachan, le 17 octobre 2017, par

Vincent Voisin

Composition du Jury :

Laurence Maurines Professeur des universités, Université Paris-Saclay	Président
Éric Bruillard Professeur des universités, Université Paris Descartes	Examineur
Maryline Coquidé Professeur des universités émérite, ENS de Lyon, Ifé	Directrice de thèse
Joël Lebeaume Professeur des universités, Université Paris Descartes	Rapporteur
Nathalie Magneron Maître de conférences, Université Orléans	Encadrante de thèse
Christian Orange Professeur des universités, Université libre de Bruxelles	Rapporteur

REMERCIEMENTS

Ce travail de cinq années a bénéficié du soutien de nombreuses personnes qui, chacune dans leur champ d'action respectif, ont su contribuer à sa réalisation et permis son aboutissement. En premier lieu, je tiens à remercier Madame Maryline Coquidé d'avoir accepté de diriger cette thèse, puis de m'avoir laissé le temps de l'exploration, tout en proposant les grandes orientations. Cette recherche a également bénéficié du suivi et des conseils réguliers de Madame Nathalie Magneron. En cours de route, le travail collaboratif d'écriture d'un article scientifique fut un défi relevé, malgré la rigueur du processus de validation par les pairs.

Aujourd'hui, le temps de l'évaluation m'amène à exprimer toute ma reconnaissance envers Monsieur Christian Orange et Monsieur Joël Lebeaume qui ont accepté d'être rapporteurs, afin de composer le jury de cette thèse. Je remercie, par ailleurs, Madame Laurence Maurines de me faire l'honneur d'examiner mon travail, ainsi que Monsieur Eric Bruillard, pour m'avoir aussi permis de vivre l'expérience exceptionnelle d'une participation à un colloque international, en Finlande. Mes pensées vont également à Mesdames Corinne Fortin, Michèle Dell'Angelo, Magali Gallezot-Fuchs, Camille Roux, Sylvie Zucha, et Messieurs Guy Rumelhard, Jean-Louis Martinand, Jean-Marc Lange, Frédéric Lalevée, Michaël Huchette, pour les conseils et échanges, lors des rencontres au laboratoire STEF de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan.

Je tiens également à souligner qu'une aide organisationnelle m'a été apportée par Monsieur Bernard Plasse, proviseur, et par Messieurs Laurent Jolivet et David Brown, qui ont successivement été les proviseurs-adjoints du lycée où j'enseigne. Enthousiastes vis-à-vis de cette thèse, ils ont permis une répartition hebdomadaire optimale de mes heures d'enseignements, en libérant les demi-journées indispensables à sa réalisation en l'absence d'une décharge horaire. Cette recherche n'aurait pu être réalisée, non plus, sans la participation des différents acteurs du dispositif EDIFICE : enseignants accompagnateurs, élèves, doctorants, ainsi que les autres personnels des laboratoires qui ont accepté de me rencontrer, afin de répondre à mes questions. Je n'oublie pas non plus le rôle indispensable des personnes intermédiaires : enseignants, conseiller principaux d'éducation et personnes administratives, dont Martine Bodusseau, qui m'ont permis d'entrer en contact avec des acteurs ciblés par les entretiens. Un grand merci au Dr Jenna Stephenson-Abetz, pour ses relectures des travaux en anglais.

D'un point de vue plus personnel, merci à Albin pour son expérience, ses relectures bienveillantes et ses conseils d'ami. Evidemment, je n'aurais pu réaliser tout ce travail sans l'atmosphère familiale propice à sa continuité créée par Juliane qui, outre son aide pour les traductions anglaises, m'a apporté un soutien sans faille et constant. L'arrivée d'Harry, puis de Stanislas, dans nos vies, n'a fait que raffermir ma motivation. Pour finir, cette recherche n'aurait pu être entreprise sans la ténacité et le courage transmis par mes parents. Cette thèse leur est, par conséquent, naturellement dédiée.

SOMMAIRE

Table des matières	4
Table des figures	11
Table des tableaux	13
Introduction	15

❖ PREMIERE PARTIE. LE BESOIN D'EXPLORATION POUR L'EDUCATION AUX SCIENCES.....	19
--	-----------

Chapitre 1. L'exploration est une notion polymorphe	23
Chapitre 2. L'exploration dans le cadre d'un dispositif d'enseignement face aux enjeux de l'éducation scientifique	49
Chapitre 3. Mise en œuvre de l'enseignement d'exploration de méthodes et pratiques scientifiques dans un partenariat.....	69

❖ DEUXIEME PARTIE. DES ITINERAIRES D'EXPLORATION CONSTRUITS EN CORRESPONDANCE AVEC LES SCIENCES EN ACTION	90
--	-----------

Chapitre 4. Questionnement pour la construction de l'exploration des sciences en action dans un cadre curriculaire.....	91
Chapitre 5. Méthodologie pour l'élaboration des représentations de recherche sur les itinéraires d'exploration vécus.....	114

❖ TROISIEME PARTIE. DES ITINERAIRES D'EXPLORATION VECUS DANS LES LABORATOIRES	145
--	------------

Chapitre 6. Des explorations pour des représentations sur les sciences et les pratiques sociales des chercheurs scientifiques	146
Chapitre 7. Des explorations de pratiques de recherches doctorales pour des représentations dépendantes de l'épistémologie de la discipline scientifique	181
Chapitre 8. Des explorations évoluant dans une dynamique de partenariat en interaction avec les acteurs en présence	241
Chapitre 9. Discussion générale	269
Conclusion	282
Références bibliographiques	284
Résumés	305
Annexes	Volume annexe

TABLE DES MATIERES

Remerciements	2
Sommaire	3
Table des matières	4
Table des figures	11
Table des tableaux	13
Introduction	15

PREMIERE PARTIE

LE BESOIN D'EXPLORATION POUR L'EDUCATION AUX SCIENCES

Préambule	20
Chapitre 1. L'exploration est une notion polymorphe	23
1. L'exploration de scientifiques et autres professionnels	25
1.1. Des explorations scientifiques de sens communs	25
1.2. Des explorations chez d'autres professionnels	26
1.3. L'exploration en tant que méthodologie de recherche	27
2. L'exploration du sujet en psychologie	31
2.1. Exploration et attachements	31
2.2. L'exploration comme processus intégré à la construction de l'identité	32
2.3. L'exploration en psychologie du travail	34
3. L'exploration de l'élève en éducation	36
3.1. Louis D'Hainaut et la psychologie cognitive	36
3.2. Exploration et ingénierie pédagogique	36
3.2.1. <i>L'exploration en tant qu'élément d'un processus d'apprentissage</i> <i>normatif conceptualisé</i>	37
3.2.2. <i>L'exploration théorique</i>	38
3.2.3. <i>L'exploration explicitée sur une base empirique</i>	38
3.3. L'exploration en didactique des sciences	40
3.3.1. <i>Des individualités d'emploi du terme</i>	40
3.3.2. <i>Une expérientiation</i>	41
3.3.3. <i>Une contribution à la construction du référent empirique</i>	41
3.3.4. <i>Une réponse à une démarche expérimentale stéréotypée et</i> <i>survalorisée</i>	42
3.4. L'exploration en didactique de l'éducation physique et sportive	43
4. Synthèse de l'exploration	45

5. Bilan du premier chapitre.....	47
-----------------------------------	----

Chapitre 2. L’exploration dans le cadre d’un dispositif d’enseignement face aux enjeux de l’éducation scientifique.....49

1. L’exploration face aux enjeux de l’éducation scientifique.....	49
1.1. Premier enjeu : développer la culture scientifique.....	50
1.2. Deuxième enjeu : améliorer l’attitude des jeunes envers les sciences.....	51
1.3. Troisième enjeu : susciter des vocations professionnelles de scientifiques et d’ingénieurs.....	53
1.4. Quatrième enjeu : favoriser l’orientation active.....	55
1.5. L’exploration face à ces enjeux.....	56
2. Le dispositif des enseignements d’exploration.....	58
2.1. Une nouveauté dans le curriculum français.....	59
2.2. Un espace de liberté et d’innovation à exploiter.....	62
2.3. L’enseignement de méthodes et pratiques scientifiques.....	63
2.4. Un cadre curriculaire face aux enjeux de l’éducation scientifique.....	66
3. Bilan du deuxième chapitre.....	68

Chapitre 3. Mise en œuvre de l’enseignement d’exploration de méthodes et pratiques scientifiques dans un partenariat.....69

1. Une intégration dans un projet IDEFI : EDIFICE.....	70
2. Une volonté de faire découvrir les sciences en action.....	71
3. EDIFICE pour quelle exploration dans le cadre des enseignements d’exploration ?.....	73
3.1. Des éventails différents de pratiques de métiers ou de corporations professionnelles.....	73
3.2. Confusion sur la notion de sciences.....	75
3.3. ...mais des explorations visées cohérentes.....	76
4. EDIFICE pour des explorations dans le cadre d’un partenariat.....	76
5. Aperçu de la variété des associations avec des scientifiques.....	79
6. Un dispositif conçu comme une innovation.....	80
7. Les dispositifs homologues sont considérés profitables aux élèves.....	84
8. Les objectifs initiaux de recherche.....	87
9. Bilan du troisième chapitre.....	88

DEUXIEME PARTIE

DES ITINERAIRES D'EXPLORATION CONSTRUITS

EN CORRESPONDANCE AVEC LES SCIENCES EN ACTION

Chapitre 4. Questionnement pour la construction de l'exploration des sciences en action dans un cadre curriculaire..... 91

1. Un cadre curriculaire pour l'étude des explorations effectives.....	91
2. La notion de pratique sociale de référence	96
2.1. Genèse du concept.....	96
2.2. L'exploration en correspondance avec les sciences en action	96
2.3. L'exploration de pratiques sociales	97
2.4. L'exploration de pratiques doctorales	97
2.4.1. <i>Par l'intermédiaire de caractéristiques</i>	98
2.4.2. <i>...Dont il faut préciser les significations et appellations</i>	101
2.4.2.1. <i>Question d'étude ou problème scientifique ?</i>	101
2.4.2.2. <i>Les activités ou les tâches ?</i>	101
2.4.2.3. <i>Des instruments de différentes natures</i>	103
2.4.2.4. <i>Système ou représentation symbolique ?</i>	104
2.4.2.5. <i>Les savoirs</i>	105
3. Les explorations sont des itinéraires de moments en laboratoire	106
3.1. La notion d'itinéraire	107
3.2. La notion de moment.....	108
4. Formulation des questions de recherche	109
4.1. Des explorations pour des représentations sur les sciences et les pratiques sociales des laboratoires	109
4.2. Des explorations pour des représentations sur les pratiques de recherches doctorales	109
4.3. Des explorations évoluant dans une dynamique de partenariat en interaction avec les partenaires en présence.....	110
5. Bilan du quatrième chapitre	112

Chapitre 5. Méthodologie pour l'élaboration des représentations de recherche sur les itinéraires d'exploration vécus..... 114

1. Présentation du cadre de l'étude.....	114
1.1. Le terrain de la recherche correspond à la première cohorte du dispositif ...	114
1.2. Les lycées concernés.....	115
1.3. L'élève-type a un intérêt pour les sciences	116

1.4. Les laboratoires et les institutions impliqués	118
1.5. La population des doctorants	119
2. Méthode de recueil de données	123
2.1. Conception d'une méthodologie basée sur une approche globale	123
2.1.1. Une variété de cas est privilégiée.....	123
2.1.2. Une constitution du corpus par diversification des supports	124
2.1.3. Les types de données recueillis en fonction des questions de recherche	127
2.1.4. Les thèmes spécifiques d'étude	129
2.2. Mise en œuvre de la récolte de données auprès des acteurs	130
2.2.1. Les questions ouvertes à destination des élèves	130
2.2.2. Les guides d'entretien.....	130
2.2.2.1. Pour les doctorants.....	131
2.2.2.2. Pour les élèves.....	132
2.2.2.3. Pour les enseignants accompagnateurs.....	133
2.3. Présentation du codage employé pour construire nos représentations de recherche	138
2.3.1. Les critères d'analyse utilisés	138
2.3.1.1. Pour répondre à la première question de recherche.....	138
2.3.1.2. Pour répondre à la deuxième question de recherche	140
2.3.1.3. Pour répondre à la troisième question de recherche	140
2.3.2. La grille d'analyse.....	141
2.3.3. Le codage du corpus.....	141
3. Bilan du cinquième chapitre	144

TROISIEME PARTIE

DES ITINERAIRES D'EXPLORATION VECUS DANS LES LABORATOIRES

Chapitre 6. Des explorations pour des représentations sur les sciences et les pratiques sociales des chercheurs scientifiques	146
1. Des élèves globalement peu informés des sciences en action	147
2. Un « ébranlement » des représentations stéréotypées	148
3. Un décloisonnement entre les sciences, les technologies et la société.....	150
3.1. Les sciences reconnues omniprésentes dans la culture.....	150
3.2. Le chercheur vu comme un professionnel aux multiples compétences.....	152
4. Une confrontation à la résistance du réel.....	153
5. Une rencontre avec la phénoménotechnique	155
6. L'importance des écrits dans les sciences à travers les activités.....	159

6.1. Compléter un cahier de laboratoire	159
6.2. Lire des articles, réaliser un « état de l'art »	159
6.3. Ecrire des articles	160
6.4. Rédiger son manuscrit de thèse	160
6.5. La bibliothèque : un lieu inséparable du laboratoire	160
7. Entrevoir le laboratoire comme un espace de collaboration	161
8. Imaginer le flux des informations en réseau	163
8.1. La dimension internationale	163
8.2. La validation par les pairs	164
8.3. Les partenariats avec des industriels	165
8.4. Les événements de communications orales	165
9. Les sciences en action vues comme imaginées et inventées.....	166
10. Un élargissement des possibilités d'orientation	169
11. Discussion	170
12. Bilan du sixième chapitre.....	176
Extrait du corpus de photographies	177

Chapitre 7. Des explorations de pratiques de recherches doctorales pour des représentations reliées à l'épistémologie de la discipline scientifique...
..... **181**

1. Le cadre analytique de l'exploration	181
1.1. Les pratiques de recherche de chaque doctorant	184
1.2. Les itinéraires de moments en laboratoire	187
2. Les modes d'exploration des itinéraires de moments en laboratoire	190
2.1. L'exploration par l'intermédiaire de concepts généraux de la discipline de recherche de la thèse.....	190
2.2. L'exploration par l'intermédiaire d'une démarche de la thèse	192
2.3. L'exploration par l'intermédiaire d'une démarche et de concepts généraux de la thèse	195
2.4. L'exploration par l'intermédiaire d'une démarche personnelle de problématisation	197
2.5. L'exploration ethnographique	199
2.6. L'exploration d'une démarche de pratiques réelles.....	207
3. Des itinéraires d'exploration organisés en périodes successives de moments.....	214
3.1. Correspondance des périodes de moments	215
3.2. Correspondance de la temporalité	215
3.3. Caractérisation des modes expérimentaux.....	216
4. Résumé de la notion d'exploration dans nos études de cas	219

5. Discussion	224
5.1. Des modes d'exploration révélateurs de représentations sur les sciences	224
5.1.1. <i>Sciences ensemble de savoirs versus sciences en train de se faire</i> ..	224
5.1.2. <i>Recherche d'instantanéité ou recherche de rationalité</i>	224
5.1.3. <i>Faire l'expérience de sa propre recherche ou celle du doctorant</i> ...	225
5.1.4. <i>Une visée prescrite diversement interprétée</i>	225
5.2. Les spécificités des domaines de recherche influenceraient les explorations des élèves	226
5.2.1. <i>La préparation des échantillons et la reproduction de phénomènes : des facteurs d'influence du travail avec les élèves</i>	226
5.2.2. <i>Le délai d'utilisation des instruments matériels varie selon la discipline de recherche</i>	228
5.2.3. <i>La prospection de terrain est considérée indispensable au commencement d'une recherche par les doctorants géologues</i>	231
5.2.4. <i>...Les instruments matériels sophistiqués sont imposés par des industriels chez les cas physiciens</i>	233
5.2.5. <i>Des raisonnements différents ?</i>	234
6. Bilan du septième chapitre	239

Chapitre 8. Des explorations évoluant dans une dynamique de partenariat en interaction avec les acteurs en présence..... 241

1. Des ajustements jugés nécessaires aux premières rencontres	242
2. Des changements induits par les élèves conduisent à des moments expérimentaux de scolarisation	244
2.1. Par des demandes verbalisées	244
2.2. Lors d'une prise de conscience du doctorant	246
3. Des enseignants accompagnateurs négocient pour des moments expérimentaux « extraordinaires »	248
3.1. Avec l'apparition de tensions.....	248
3.2. Avec la survenue d'un conflit	249
4. Les itinéraires de participation aux pratiques de recherche sans inflexion débutent par une approche théorique générale.....	250
4.1. Les facteurs de « réussite » évoqués sont associés à une approche centrée sur des savoirs généraux.....	251
4.2. Les difficultés rencontrées sont associées à des savoirs spécifiques de la thèse	253
5. S'éloigner de la thèse dans un premier temps permet de mieux y revenir dans un second temps	254
6. Des itinéraires d'exploration majoritairement influencés par les acteurs.....	256

7. Une convergence expérimentale	257
8. Les itinéraires avec inflexion en relation avec le mode d'exploration	258
9. Bilan des changements opérés entre les périodes de moments	259
10. Les enseignants accompagnateurs mettent en œuvre des rôles divers	261
11. Des explorations multiples riches d'enseignements pour chacun des acteurs	265
12. Bilan du huitième chapitre	267
Chapitre 9. Discussion générale	269
1. Correspondance des notions d'exploration	269
1.1. Face à l'exploration en didactique des sciences	269
1.2. Face à l'exploration de Stebbins	270
1.3. La nature des moments est le fruit d'un compromis	271
1.4. Les recherches doctorales proposent un expérimental diversifié	272
2. Face aux enjeux de l'éducation scientifique	273
2.1. Les sciences perçues comme utiles et bénéfiques à la société	273
2.2. Un élargissement du cadre de référence des filières et carrières potentielles pour l'orientation	275
2.3. Une cohérence forte par rapport aux visées prescrites	275
2.4. Une incitation des élèves à la réflexion sur la question de leur orientation ..	276
3. Le curriculum se caractérise par une diversification des conceptions et des mises en œuvre	277
3.1. Des visées personnelles	277
3.2. Des représentations du concept de sciences	277
3.3. Interrelations des niveaux curriculaires	278
3.4. Les médias de l'exploration	278
3.5. La continuité de l'évolution des explorations	279
4. Perspectives	281
Conclusion	282
Références bibliographiques	284
Résumé en français	305
Résumé en anglais	305
Annexes	Volume annexe

TABLE DES FIGURES

Figure 1.	Les cinq tranches du projet EDIFICE	71
Figure 2.	Interactions entre les différents curriculums (d’après Martinand, 2000 ; adapté par Dorey, 2012)	93
Figure 3.	Interactions entre les différents niveaux curriculaires de questionnements possibles prenant en compte EDIFICE (modifié d’après Martinand, 2000 ; adapté par Dorey, 2012, puis par Voisin, 2017)	95
Figure 4.	Modes didactiques des pratiques expérimentales (Coquidé, 1998)	182
Figure 5.	Tableau synthétique esquissé par un élève lors de la séance de cristallographie	193
Figure 6.	Photographie et dessin d’observation légendé de la lame mince de granite	193
Figure 7.	Echantillon de granite et partie dessinée	194
Figure 8.	Dessin au niveau macroscopique du granite	194
Figure 9.	Extrait du document d’explication des mesures de linéation au moyen de la boussole clinomètre.....	194
Figure 10.	Carte géologique de l’île grecque de <i>Serifos</i> avec les symboles des mesures de foliation	194
Figure 11.	Contrôle du banc moteur via une interface informatique avec les élèves au premier plan.....	196
Figure 12.	Exemple de graphique représentant la pression du cylindre en fonction de l’angle du vilebrequin, obtenu à partir des mesures sur banc moteur	196
Figure 13.	Extraits du support de présentation du colloque avec un dispositif de mesure adapté aux embases de carottes de tourbe	199
Figure 14.	Photographie légendée du montage Marguerite prise par les élèves avec un plasma généré	201
Figure 15.	Photographie légendée de la carte d’acquisition	201
Figure 16.	Photographie légendée de l’interface du générateur plasma	202
Figure 17.	Photographie de l’écran de l’oscilloscope d’un diagnostic optique avec interprétation.....	202
Figure 18.	Photographie de la représentation temporelle du courant et de la tension	202
Figure 19.	Récit d’élève des manipulations et de la survenue d’une panne matérielle	204
Figure 20.	Dessin légendé de l’observation microscope du basalte	208

Figure 21.	Photographie du basalte	208
Figure 22.	Etape 1 : le broyage.....	209
Figure 23.	Etape 2 : le tamisage	209
Figure 24.	Etape 3 : la séparation par liqueur dense.....	209
Figure 25.	Etape 4 : la récupération des cristaux d’olivine puis l’inclusion dans de la résine.....	209
Figure 26.	Extrait du cahier de laboratoire avec photographies annotées de la microsonde électronique et de ses écrans de contrôle à l’Institut des sciences de la Terre de Paris.....	211
Figure 27.	Les modes didactiques fondamentaux d’exploration de recherche doctorale en laboratoire.....	223
Figure 28.	Démarche d’ensemble pour les recherches doctorales, en sciences physiques d’Olga, Marie par traitement de données et de Kévin, Yann, Jean, Nicolas sur la régulation d’un phénomène	236
Figure 29.	Démarche d’ensemble pour les recherches des cas de Benjamin et de Thomas : régulation par l’objet	237
Figure 30.	Démarche générale de recherche pour les six cas géologues de Benoît, Julie, Yann-Aurélien, Giulia, Aurélien et Armel : reconstitution du phénomène à partir des objets naturels	237

TABLE DES TABLEAUX

Tableau	1. Thèmes des notions d'exploration, selon les auteurs, en ingénierie pédagogique, en didactique des sciences et en didactique de l'EPS.....	44
Tableau	2. Comparaison des résultats et thématiques abordées des recherches consacrées à des dispositifs utilisant des laboratoires comme lieux pour l'éducation aux sciences d'élèves du secondaire	86
Tableau	3. Les caractéristiques de la notion de PSR au fil des écrits	100
Tableau	4. Caractérisation des instruments utilisés dans EDIFICE.....	104
Tableau	5-A. Données générales sur la population des doctorants	120
Tableau	5-B. Données générales sur la population des doctorants	121
Tableau	5-C. Données générales sur la population des doctorants	122
Tableau	6. Les questions du guide d'entretien doctorant et les domaines explorés qui s'y rapportent	131
Tableau	7. Les questions du guide d'entretien élève et les domaines explorés qui s'y rapportent.....	132
Tableau	8. Les questions du guide d'entretien enseignant accompagnateur et les domaines explorés qui s'y rapportent.....	133
Tableau	9. Les éléments du corpus selon les domaines renseignés pour chacun des axes de la recherche	134
Tableau	10-A. Synthèse de l'ensemble du corpus pour dix des cas	135
Tableau	10-B. Synthèse de l'ensemble du corpus pour huit des cas	136
Tableau	10-C. Synthèse de l'ensemble du corpus pour huit des cas	137
Tableau	11. Les éléments codés, répartis en neuf domaines dans la grille d'analyse, pour les réponses à la deuxième question ouverte et les trois types d'entretien du corpus	143
Tableau	12. Exemples d'instruments matériels ou de techniques des laboratoires utilisés par les élèves et leur doctorant (aux exceptions près des accélérateurs de particules du CEMHTI et du four à haute température de l'ISTO)	157-158
Tableau	13. Ensemble des éléments du corpus référencés en fonction des domaines analysés.....	174-175
Tableau	14-A. Caractéristiques des recherches des doctorants physiciens	185
Tableau	14-B. Caractéristiques des recherches des doctorants géologues.....	186

Tableau 15-A.	Caractéristiques des itinéraires de moments en laboratoire pour chaque cas des doctorants physiciens	188
Tableau 15-B.	Caractéristiques des itinéraires de moments en laboratoire pour chaque cas des doctorants géologues	189
Tableau 16.	Les cinq modes expérimentaux inférés des 14 cas du dispositif d'exploration en laboratoire (inspiré de Coquidé, 1998, 2000).....	217
Tableau 17.	Ensemble des itinéraires et mode de l'exploration des élèves selon les cas	218
Tableau 18.	Synthèse des modes de l'exploration	222
Tableau 19.	Comparaison des disciplines de recherche selon les objets ou tâches des premiers moments expérimentaux, la durée de préparation des échantillons et le délai d'utilisation d'un instrument sophistiqué	231
Tableau 20.	Correspondance entre l'entame de la démarche de la thèse transposée dans les moments et le mode d'exploration.....	238
Tableau 21.	Les itinéraires organisés en périodes distinctes de moments en laboratoire	260
Tableau 22.	Récapitulatif des rôles possibles de l'enseignant accompagnateur et des cas concernés	264
Tableau 23.	Comparaison des modes d'exploration entre la première et deuxième année de mise en œuvre d'EDIFICE pour les 14 cas	280

INTRODUCTION

Un rapide coup d'œil aux objets usuels de notre bureau, nous fait prendre conscience de l'omniprésence des technologies et des sciences dans nos vies quotidiennes. Le clavier et la souris sans fil font face à l'écran plat de l'ordinateur, sur lequel s'affiche le suivi hebdomadaire des mesures de la pression artérielle effectuées par une montre connectée. Des ondes *wifi* alimentent l'ensemble des pièces de la maison. Même la vigne, aperçue par la fenêtre, est résistante aux maladies et aux parasites, en tant que variété développée par un grand organisme de recherche. Il n'y a pas si longtemps, tous ces « objets » n'existaient pas. De la même manière que la question de l'apparition de la poule et de l'œuf n'appelle aucune réponse, est-il possible de dissocier l'activité scientifique et technologique de l'histoire de l'humanité ? Aussi loin que les paléontologues retracent la lignée des hommes, des outils, si rudimentaires furent-ils, témoignent d'une science des pratiques et d'activités techniques, ponctuées d'inventions et imposent qu'on les considère comme indissociables de la nature humaine. Au fur et à mesure que les savoirs, les savoir-faire scientifiques et technologiques s'approfondissent et se perfectionnent, en conséquence et à cause d'elle-même, c'est la société tout entière qui, de façon concomitante et en interactions permanentes, évolue.

L'éducation scientifique est sous la pression de l'avancée des sciences et des technologies

Aujourd'hui, le téléphone portable, par exemple, est utilisé, quotidiennement, par plusieurs milliards de personnes dans le monde, mais quelles sont celles qui, parmi elles, peuvent se faire valoir de connaître les principes de fonctionnement et les concepts scientifiques des ondes hertziennes ou de la matière molle qui ont présidé à son apparition, en tant qu'objet technologique ? Un jeune, qui est né dans les années 2000 avec le téléphone portable, est contraint d'assimiler, s'il veut en comprendre le fonctionnement, des savoirs qui ont mis des dizaines d'années à émerger, par l'intermédiaire de recherches de haut niveau, effectuées par des personnes possédant une culture professionnelle hyperspécialisée et qu'elles ont, elles-mêmes, contribué à développer. Par conséquent, les jeunes générations ne sont-elles pas inéluctablement destinées à être confrontées à un corpus de savoirs de plus en plus important et pointu, afin de comprendre le monde dans lequel elles évoluent, façonnées par les sciences et les technologies ? L'éducation scientifique n'est-elle pas, elle-même, contrainte à maintenir un haut niveau d'acculturation, dans cette course sans fin aux progrès et aux découvertes scientifiques ? Sinon, n'existe-t-il pas un risque de voir se creuser un écart, de plus en plus grand, entre une poignée d'individus détenant une culture hyperspécialisée, et une écrasante majorité d'utilisateurs n'ayant pas la possibilité de se représenter l'omniprésence des sciences et des technologies dans leur vie, voire n'en ayant même pas conscience ? Ainsi, comment parvenir à ce que l'éducation scientifique joue pleinement son rôle et soit à la hauteur des avancées scientifiques et technologiques ?

Une manière originale, pensée pour favoriser l'éducation scientifique

L'esprit humain fait preuve d'une ingéniosité sans pareil en développant des technologies de pointe. Il est également capable, en éducation, de faire preuve d'un esprit d'invention, dépassant le cadre habituel de référence. Depuis 2012, est mis en œuvre un dispositif d'éducation aux sciences, regroupant des laboratoires de recherches scientifiques et des lycées, sous la forme d'un partenariat. Ce dispositif, baptisé EDIFICE, est une initiative des Investissements d'Avenir (IDEFI) conçu par l'université d'Orléans qui devient, de cette manière, force de proposition pour le curriculum potentiel du lycée, dans le cadre de l'enseignement d'exploration de Méthodes et Pratiques Scientifiques pour la classe de seconde. Il repose, notamment, sur la prise en charge d'élèves de lycées, par des doctorants, au sein même de leur laboratoire, afin de participer aux sciences qui se font, dans le cadre de la recherche doctorale. Sont également présents dans le laboratoire, des enseignants accompagnateurs qui n'ont pas de rôle déterminé institutionnellement dans le partenariat. Dans notre recherche, nous souhaitons questionner les potentialités du dispositif à contribuer à l'éducation scientifique. Mais, comment la didactique peut-elle appréhender cette nouvelle forme d'éducation aux sciences ?

Un cadre de pensée didactique nécessaire au contexte du laboratoire

Nous considérons que l'éducation scientifique, dans le contexte des laboratoires, requière un cadre théorique adapté, car bien que contribuant indéniablement à la formation scientifique, cette « expérience », vécue par chacun des trois types d'acteurs, ne peut guère être envisagée comme un enseignement ordinaire. D'abord, en dépit de leur présence dans le laboratoire, ce n'est pas un enseignant qui est, officiellement, à la mise en œuvre éducative, mais un doctorant, ayant pour mission de faire vivre et participer les élèves à sa recherche. D'un côté, l'enseignant ne saurait remplacer le doctorant dans cette tâche prescrite et, de l'autre côté, le doctorant est bien souvent un néophyte en matière d'encadrement d'élèves de lycée. Du point de vue des élèves, cette forme singulière d'éducation aux sciences n'est pas régie, dans son fonctionnement, par des savoirs ou des savoir-faire déterminés à acquérir. D'ailleurs, aucune évaluation ne vient sanctionner les apprentissages. En revanche, l'« expérience » vécue, semble propice à la survenue de questionnements spontanés chez les acteurs, portant sur la « vie » d'un laboratoire de recherche, sur les sciences qui se font ou sur les manières de réaliser l'encadrement des élèves. Il s'agit donc, pour eux, de domaines nouveaux à explorer.

Problématique

Ce contexte original d'une découverte culturelle pour l'éducation aux sciences, nous conduit, par conséquent, en tant que fondement théorique de notre recherche, à **penser un cadre didactique nouveau basé sur l'exploration**. Nous proposons de mettre en évidence l'implication que revêt cette activité pour l'éducation scientifique, après avoir construit une signification du terme. Nous nous positionnons ensuite dans un cadre curriculaire, afin

d'étudier comment les élèves explorent les sciences en train de se faire, éventuellement sous l'influence des interactions réalisées entre le doctorant, les élèves et l'enseignant accompagnateur, qui sont partenaires dans le laboratoire.

Plan du mémoire

Neuf chapitres, regroupés en trois grandes parties, composent ce mémoire de recherche.

Une première partie, centrée sur le besoin d'exploration pour l'éducation aux sciences, rassemble les trois premiers chapitres.

- Le premier chapitre nous permet de déterminer comment l'exploration est définie parmi les différentes notions de la littérature, afin de construire une signification pour l'éducation scientifique. Le terme constitue le libellé du dispositif des enseignements d'exploration en classe de seconde, depuis la dernière réforme du lycée général et technologique (Ministère de l'Éducation Nationale, 2010d). Par conséquent, ce premier objectif de travail permet de mettre en évidence tout l'intérêt de l'activité d'exploration dans les sciences qui se font et dans l'éducation scientifique. De plus, il constitue une aide à destination de la communauté enseignante afin qu'elle puisse mieux se représenter l'action d'explorer.
- Le deuxième chapitre nous permet de mettre en évidence les façons dont l'exploration peut contribuer à l'éducation scientifique. Pour cela, nous proposons d'identifier, au moyen de la littérature scientifique et institutionnelle, les enjeux actuels et les sources d'inquiétudes, auxquels l'éducation scientifique est confrontée. Puis, nous expliquons en quoi l'exploration est une solution potentielle, qui peut être apportée face à ces enjeux. Une deuxième partie, dans ce deuxième chapitre, permet également de mettre en exergue l'intérêt du dispositif des enseignements d'exploration qui, par rapport à la manière dont il est pensé au niveau du curriculum prescrit, s'avère être un cadre particulièrement adapté, pour favoriser l'exploration des élèves face aux enjeux de l'éducation scientifique.
- Le troisième chapitre présente le partenariat EDIFICE, en tant que forme du curriculum potentiel de l'enseignement d'exploration de Méthodes et Pratiques Scientifiques (MPS) au lycée. Du point de vue des prescriptions ministérielles, nous étudions comment le dispositif orléanais apparaît être en cohérence ou bien, au contraire, comment il se démarque des enseignements d'exploration MPS, dont il est une forme innovante possible.

Une deuxième partie, des itinéraires d'exploration construits en correspondance avec les sciences en action, rassemble deux chapitres.

- Le quatrième chapitre explicite les questionnements de notre recherche, qui résultent d'une problématique curriculaire (Martinand, 2000) et de la notion de pratique sociale de référence (Martinand, 2001, 2003a, 2003b). Nous associons, par ailleurs, l'exploration aux notions de moment et d'itinéraire (Lebeaume *et al.*, 2000, 2003), plus adaptées au contexte de laboratoire, d'un point de vue éducatif. Nous étudions le curriculum co-

produit par l'intermédiaire de la correspondance des itinéraires d'exploration des élèves avec les sciences en action. Deux axes sont privilégiés, selon que l'on envisage les sciences qui se font d'une part par l'intermédiaire des pratiques sociales des professions du laboratoire, d'autre part par le biais des pratiques de la recherche doctorale. Cela nous conduit donc à proposer les deux questions de recherche suivantes :

- **Comment les élèves construisent-ils des représentations sur les pratiques sociales des professionnels du laboratoire au cours des itinéraires d'exploration ?**
- **Comment les itinéraires d'exploration des élèves dans les laboratoires sont-ils en correspondance avec la recherche doctorale de référence ?**

De plus, les explorations évoluent dans une dynamique de partenariat, en interaction avec les partenaires en présence. Par conséquent, une troisième question de recherche se centre sur les modifications et les ajustements existant entre le curriculum coproduit et le curriculum potentiel. Elle est formulée de la manière suivante :

- **Comment les différents partenaires influencent-ils l'élaboration des itinéraires d'exploration des élèves et leur correspondance avec la recherche doctorale ?**

- Le cinquième chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie utilisée, afin de constituer notre recueil de données et de réaliser les analyses, conformément aux questions de recherche posées. Ce recueil des données est effectué par le biais d'une approche globale, privilégiant une variété de cas dans le dispositif, ainsi qu'une diversité de ressources et de supports émanant des acteurs impliqués. Cette diversité d'éléments constituant le corpus permet de croiser et de compléter les données, afin d'étudier la correspondance de l'exploration avec les sciences qui se font et son évolution dans le temps, sous l'influence des acteurs en présence.

Une troisième partie de ce mémoire, des itinéraires d'exploration vécus dans les laboratoires, se compose des sixième, septième et huitième chapitres de résultats, permettant d'apporter, respectivement, les réponses aux questions de recherche une, deux et trois. Chacun de ces chapitres se termine par une discussion spécifique à l'axe de recherche. Le neuvième et dernier chapitre se consacre à une discussion générale sur l'ensemble de la recherche.

PREMIERE PARTIE

LE BESOIN D'EXPLORATION POUR L'EDUCATION AUX SCIENCES

PREAMBULE

En 1831, Charles Darwin n'a que vingt-deux ans lorsqu'il s'apprête à embarquer sur le *Beagle* en tant que géologue, pour un périple prévu pour deux années autour du monde. Le naturaliste va, cinq années durant et conformément à son objectif initial, étudier les formations géologiques, observer et récolter des échantillons de la faune et de la flore rencontrées. Au cours de ses multiples escales, en libre penseur et curieux, il va reporter sur ses carnets de voyage aussi bien les mœurs autochtones, les fossiles, les parois rocheuses des paysages, que les nombreuses espèces du spectacle naturel de chaque localité visitée. Une expédition dans l'archipel des Galápagos lui permet notamment de contempler, sur chacune des îles où il fait escale, plusieurs mondes vivants étonnamment singuliers et ressemblants. Dans une société anglaise encore très inspirée des faits religieux et sans que les discours scientifiques de l'époque n'aient évoqué le moindre indice pour expliquer la filiation des espèces, il ressortira, néanmoins, de cette exploration exceptionnelle, un bouleversement majeur de l'histoire des sciences. Le naturaliste aboutit à la formulation de la théorie de la sélection naturelle, expliquant l'évolution des espèces au moyen d'un texte dont le contenu originel, même s'il a subi quelques adaptations et compléments, demeure, encore aujourd'hui, un fondement majeur de la biologie moderne. Charles Darwin, de son propre aveu, a élaboré cette théorie grâce à son exploration du monde qui lui a permis d'initier puis de nourrir une réflexion sur la non-fixité des espèces. Elle a finalement déterminé l'ensemble de son œuvre scientifique.¹

Cet exemple emblématique, extrait de l'histoire des sciences, met en exergue l'importance de l'action d'exploration à l'intérieur du processus d'élaboration des savoirs scientifiques. A ce titre, une qualité indispensable à un scientifique s'avère être une attitude fortement encline à explorer. Mais, d'un point de vue plus général, l'action d'explorer n'est-elle pas indissociable des activités des recherches scientifiques ? Sans se fonder nécessairement sur une expédition, les sciences en train de se faire, quelles qu'elles soient, peuvent-elles se passer d'explorations ?

Dans le domaine des sciences de l'éducation, Jean-Pierre Astolfi (1991) écrivait que l'enseignement des sciences devait faire l'objet d'une réflexion plus approfondie, dans le but de diversifier les approches pédagogiques et pour rendre plus efficaces les apprentissages. Il proposait de caractériser l'enseignement en modes didactiques distincts, incluant notamment un mode basé sur des explorations. Dans cette optique, il considérait que l'éducation aux sciences ne devait pas se satisfaire d'une seule façon intentionnelle de procéder en contexte scolaire. Coquidé (1998) reprit et développa cette idée d'une diversification des approches en en appelant, elle-aussi, à la prise en compte de plusieurs modes didactiques majeurs dans l'éducation aux sciences devant concourir à offrir une éducation scientifique complète, plutôt

¹ D'après CNRS/Sagascience. (2009) et Pour la science (2004)

que de consacrer une seule approche comme étant « la » manière d'enseigner les sciences. Parmi ces approches, l'exploration des élèves représentait une activité du temps scolaire pouvant contribuer à l'investigation.

L'exploration constitue une activité fondamentale des sciences en train de se faire et les didacticiens Astolfi (1991) et Coquidé (1998) ont milité, dans les années 1990, pour l'instauration de moments d'exploration dans les activités scolaires. Si l'on se réfère aux programmes actuels de l'Éducation Nationale, en dehors du dispositif des enseignements d'exploration, qui occupe une place minoritaire en temps, aucune mention de l'exploration n'est prescrite dans le secondaire. Dans les enseignements communs, un accent est mis, dans toutes les disciplines scientifiques, mathématiques comprises ainsi qu'en technologies, sur l'investigation, qui consacre sept moments, sans qu'il ne soit explicitement laissé aux élèves la possibilité d'une exploration (Ministère de l'Éducation Nationale, 2005, 2008). Alors qu'on la considère inséparable de toute recherche scientifique et que l'histoire des sciences nous enseigne, avec Darwin, qu'elle a permis d'aboutir à une théorie majeure de la biologie, l'exploration n'est pas indiquée à l'intérieur de l'investigation telle qu'elle est prescrite. Le premier moment correspond, en effet, à une situation-problème choisie par l'enseignant. Officiellement, une question est dévolue aux élèves qui sont alors engagés dans une démarche conduisant à tester la validité d'une hypothèse.

Pourtant, l'investigation serait, pour certains auteurs, la démarche la plus apparentée à celle du chercheur. Par exemple, une allusion aux « *élèves chercheurs* » est retrouvée dans une innovation axée sur une démarche d'investigation (Pastori, 2014, p. 51). Calmettes et Matheron (2015) indiquent : « *Il s'agit toujours, dans une démarche d'investigation, de conduire les élèves vers les savoirs visés, qui restent à étudier, mais à travers une activité qui tendrait à les faire se comporter d'une certaine manière comme des scientifiques* » (p. 8). Pour Cariou (2009), un esprit de découverte, d'exploration et de questionnement collabore avec un esprit de contrôle, de rigueur et de logique dans l'investigation, qui contribue à « *former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences* » (p. 253). Mais, comme l'indique Boilevin (2014, p. 29), l'investigation est, avant tout, voire exclusivement, caractérisée en tant que démarche hypothético-déductive. Par conséquent, alors qu'il est reconnu que c'est d'abord par une exploration que Darwin a apporté une contribution majeure aux sciences, l'école se doit-elle de concentrer toute son attention sur une seule démarche expérimentale, caractérisée hypothético-déductive, comme l'activité prépondérante des scientifiques ? L'éducation aux sciences peut-elle se satisfaire d'une seule manière d'entrevoir les activités des recherches scientifiques ? L'exploration n'est-elle pas également une activité fondamentale des sciences en train de se faire ?

Certains espaces du temps scolaire sont néanmoins organisés pour des explorations, sous la forme de dispositifs. Celui des itinéraires de découverte, mis en place au collège en 2002, proposait notamment l'exploration de différents domaines d'étude. Les enseignements d'exploration (EE) de la réforme du lycée général et technologique de 2010, correspondent officiellement à un temps aménagé à l'intérieur de la classe de seconde, pour explorer les filières d'études scientifiques et les professions auxquelles elles conduisent. Ces dispositifs possèdent une visée commune, pour l'orientation des élèves et non la réalisation d'une recherche de sciences scolaires. Mais, pour chacun des dispositifs, ce sont des explorations qui sont préconisées permettant l'expérience de cette activité fondamentale pour les sciences, si ce n'est pour en forger une attitude.

Dans les faits, il n'est pas certain que les élèves puissent réellement explorer. D'après Richit (2014), à qui l'on doit l'une des rares études sur la mise en œuvre effective d'un enseignement d'exploration, peu d'éléments sont exprimés dans les textes prescrits quant aux moyens de parvenir aux visées affichées. L'idée d'exploration, bien qu'elle soit mentionnée, n'est pas théorisée dans les documents prescrits par le ministère. Au contraire, des ambiguïtés et des imprécisions sont constatées, selon les documents auxquels on se réfère. Par exemple, un « *concept d'exploration* », au nom duquel serait théoriquement fondé le dispositif des EE, est évoqué à plusieurs reprises dans le rapport de février 2011 de l'Education Nationale sur l'évaluation de la réforme des lycées². Mais celui-ci n'apporte aucune explication sur la notion en question, ni de précision sur son origine. Ceci est valable pour tous les autres documents ministériels dédiés aux EE, excepté un qui, de manière contradictoire, emploie une définition de sens commun en mentionnant qu'« *explorer signifie partir à la découverte d'un territoire inconnu* » (Ministère de l'Education Nationale, 2010a)³.

Une clarification de la notion est par conséquent souhaitable, d'autant plus que cette activité, demeurant le plus souvent cachée, non verbalisée dans les domaines scientifiques et non relatée dans les articles scientifiques, représente une difficulté supplémentaire. Pourtant l'évocation d'une définition pourrait, *a priori*, contribuer à mieux se représenter les sciences en train de se faire, ainsi qu'à aider les enseignants à cerner les attentes institutionnelles.

Donc, que signifie « explorer » ?

² Le rapport de l'Inspection générale de l'éducation nationale (2011) évoque un « *concept d'exploration* » à trois reprises : « *La prise en compte du concept d'exploration dans le choix des élèves* » (p. 5), « *Les poursuites d'études: de la difficulté d'assumer le concept d'exploration* » (p. 10), « *s'approprier le concept d'exploration* » (p. 38), mais aucun contenu n'est associé à ce « concept » sur http://media.education.gouv.fr/file/La_reforme_du_lycee/89/4/Mise-en-oeuvre-de-la-reforme-des-lycees-d-enseignement-general-et-technologique_170894.pdf.

³ http://media.eduscol.education.fr/file/PFEG/86/0/LyceegT_Ressources_2_Exploration_Eco-Gest_148860.pdf

CHAPITRE 1

L'EXPLORATION EST UNE NOTION POLYMORPHE

Le terme d'exploration admet une diversité d'emplois dans le langage courant et dans la littérature scientifique, si bien qu'il n'est pas une tâche aisée de le définir, sans avoir au préalable étudié l'ensemble des contextes et envisagé les domaines scientifiques où il revêt une signification particulière pour les utilisateurs. L'emploi du mot est très fréquent dans la littérature scientifique française et anglaise, en se référant, la plupart du temps, à une définition de sens commun. Ce sont souvent les chercheurs qui explorent, au sens littéral du terme et c'est la raison pour laquelle une stratégie a été de rechercher les articles qui possèdent le terme « exploration » dans leurs mots-clefs ou dans leur résumé. Pour ce dernier cas, la détermination du sujet grammatical de l'exploration est systématiquement nécessaire, pour filtrer les écrits.

- La recherche du terme « exploration » dans les mots-clefs de toute la littérature scientifique en éducation, sur les sites de *Wiley* et *Taylor & Francis*, ne permet pas de recueillir des articles (pas d'information à partir du site de *Springer* car il ne propose pas les recherches lexicales dans le champ des mots-clefs des articles).
- A partir du site de la revue *RDST*, la recherche du terme d'exploration, spécifiquement dans le résumé et dans le titre, permet d'afficher trois articles mais aucun, finalement, n'apporte de précision scientifique sur la notion d'exploration.
- A partir du site de la revue *Aster*, aucun article de recherche ne comporte le terme « exploration » dans le sujet ou dans son titre.
- A partir du portail *ERIC*, l'emploi du terme « exploration » dans le *thesaurus* nous informe que le mot-clef « *career exploration* » est institutionnalisé. La recherche, avec ce

mot-clef⁴, aboutit à une liste de 662 articles en *peer review*, dont seulement 3 sont mentionnés comme étant à destination des chercheurs. Au final, un seul a été considéré comme approprié au recueil⁵.

- A partir du portail *Wiley Education* et *Taylor & Francis Education*, l'emploi du mot-clef institutionnalisé de « *career exploration* » dans le formulaire des mots-clefs et de « scien* » dans le résumé n'apporte pas d'article concernant l'enseignement secondaire.
- Le portail *SpringerLink*, en recentrant sur *Science Education*, inventorie 17 articles d'ingénierie pédagogique ou didactique avec le mot-clef « *career exploration* » dans le formulaire général.

En complément de cette recherche bibliographique des notions d'exploration par des opérations précises réalisées à partir de l'emploi du mot-clef de « *career exploration* », nous avons employé une méthode par tâtonnements, à partir des portails anglo-saxons *Taylor & Francis*, *Wiley*, *Springer*, *ERIC*, sur les sites des revues *Didaskalia*, *Aster*, *RDST*, ainsi que sur les portails francophones du champ général des disciplines en éducation : *Isidore*, *Persée*, *Erudit* et *OpenEdition*, ainsi que le portail de *Google Scholar*. Nous avons aussi recherché dans la littérature scientifique francophone qui traite des questions d'orientation. Sur le portail « *OpenEdition* »⁶, la recherche de revues spécialisées dans l'orientation des élèves par l'utilisation du mot-clef « *orientation* » affiche les références de plusieurs revues, dont une seule convient⁷ : la revue *L'orientation scolaire et professionnelle (OSP)*. Le portail du Centre National de Ressources Textuelles et Lexical (CNRTL) a également été consulté, ainsi que plusieurs dictionnaires.

Cette recherche aboutit à la détermination de notions d'exploration présentes à l'intérieur de disciplines de recherche, telles la didactique des sciences, l'ingénierie pédagogique, les psychologies comportementale, sociale et cognitive, les recherches en psychologie de l'orientation scolaire et professionnelle, etc. Nous caractérisons cependant **trois grands champs distincts**, dans lesquels des définitions ou concepts d'exploration existent.

Le premier champ correspond aux emplois du terme dans des domaines scientifiques ou d'autres domaines professionnels. Nous retrouvons également le mot d'exploration construits en psychologie et dans le développement des individus. Enfin, le terme a aussi été employé en éducation pour représenter des activités d'élèves. Par rapport à ce large ensemble hétérogène, nous proposons d'extraire un cœur de définition commun et d'étudier en quoi cette action

⁴ Avec l'expression « *descriptor:"career exploration"* » dans le formulaire de recherche, selon la méthode de discrimination décrite sur le site.

⁵ Ces articles non récoltés portent sur : les jeunes handicapés (Carter, Trainor, Cakiroglu, Swedeen, & Owens, 2010), l'impact d'une vidéo à l'université (Davey, Bright, Pryor, & Levin, 2005). L'article de Nauta (2007) relate une étude empirique, avec une revue de littérature centrée sur la notion d'exploration utilisée dans les recherches en psychologie de l'éducation, pour orientation scolaire et professionnelle.

⁶ Ce portail est accessible à partir du site de la revue *RDST*.

⁷ La revue *OSP* est la première revue de la liste affichée et la seule qui traite du thème de l'orientation dans le sens que nous utilisons.

d'exploration contribue à l'éducation scientifique. Enfin, ce questionnement nous conduit à imaginer comment favoriser l'action d'explorer chez les jeunes.

1. L'EXPLORATION DE SCIENTIFIQUES ET AUTRES PROFESSIONNELS

1.1. Des explorations scientifiques de sens commun

D'un point de vue étymologique, dans le langage commun, « explorer » vient du latin *explorare* qui signifiait « *battre le terrain, reconnaître en parcourant* », puis est devenu « *faire l'essai ou l'épreuve de quelque-chose* » par rapprochement avec *experiri* « *éprouver, faire l'expérience* »⁸. Actuellement, dans les dictionnaires, le fait d'explorer s'applique à un lieu ou à une question : il correspond aux actions d'étudier ou d'examiner, auxquelles s'ajoute l'idée d'un approfondissement⁹. Ainsi défini, comme étant l'examen ou l'étude approfondie d'une question, le terme d'exploration pourrait finalement désigner, dans cette signification fondamentale, la démarche du chercheur, quelle que soit la discipline scientifique envisagée. D'ailleurs, ce fait explique en partie le caractère ubiquiste du terme, retrouvé dans un nombre considérable d'écrits scientifiques. Les sciences, quelque-elles soient, apparaissent, sous cet angle, particulièrement propices à l'action d'exploration. Cependant, plusieurs autres définitions sont répertoriées par le CNRTL, qui s'appliquent également à des domaines scientifiques et sont spécifiques dans leur emploi¹⁰. Premièrement, une définition signifie : « *réaliser un parcours afin de recueillir des informations d'ordre scientifique, économique ou ethnographique, etc.* », en étant dédiée aux expéditions scientifiques entreprises dans les domaines divers de la botanique, l'ornithologie, l'entomologie, la minéralogie, etc. Cette exploration « scientifique » d'un territoire géographique, dans le but d'une récolte de données correspond aux expéditions scientifiques qui sont relatées dans les récits sur les explorateurs qui voyagent à travers le monde. Deuxièmement, une action d'exploration a la particularité de s'appliquer à un environnement physique en trois dimensions, pour lequel elle implique toujours l'idée d'une récolte de données, mais requiert également l'utilisation d'instruments ou de procédés techniques de recueil d'informations. Ce deuxième sens se rapproche ainsi de l'action d'une prospection. L'environnement physique caractérisé de manière tridimensionnelle est, le plus souvent, envisagé dans une grande dimension et peut correspondre à des « objets » célestes éloignés dans l'espace, comme dans le cas de l'astronomie, aux mers et aux océans en océanographie, au sous-sol en géologie et en spéléologie. La consultation d'articles de la revue *Science* utilisant le terme d'exploration

⁸ D'après le dictionnaire étymologique de la langue

⁹ D'après le dictionnaire *Lexis* de Larousse (Dubois, 1989) et Le Robert (Rey, 1995)

¹⁰ Quatre autres définitions n'ont pas été incorporées à ce texte et correspondent aux actions de/d' « *parcourir et/ou d'examiner de fond en comble un lieu pour y découvrir quelqu'un ou quelque chose* », « *appréhender quelque chose par les sens pour en connaître les qualités* », à l'« *étude d'une réalité psychologique cachée* », à l'« *étude systématique d'une réalité ou d'un objet peu connus ou peu étudiés* », d'après la page <http://www.cnrtl.fr/definition/exploration>

permet d'illustrer son emploi, selon cette définition relative aux milieux physiques examinés par l'intermédiaire de procédés techniques. Par exemple, l'exploration est indiquée pour désigner l'analyse de la surface d'un satellite naturel par une sonde spatiale (Russell *et al.*, 2016), la récolte de données sur la physique, chimie, biologie et géologie des océans (McNutt, 2013), l'obtention d'une imagerie par des ondes sismiques dans le cadre d'un sondage du sous-sol en géophysique (Kerr, 2013). Cette acception de la notion d'exploration peut aussi s'appliquer, *a contrario*, à des molécules, comme c'est le cas, par exemple, dans le cadre d'une étude sur la composition protéomique de milliers de cellules et de virus (Nasir & Caetano-Anollés, 2015). Dans ce cas particulier, la quantité et la précision des données extraites au niveau moléculaire, justifient l'emploi du terme d'exploration. Un troisième sens est défini dans le domaine médical comme représentant un « *acte de diagnostic par lequel on cherche à connaître l'état d'un organe ou d'un tissu interne du corps* ». En association lexicale, l'exploration fonctionnelle est l' « *ensemble des examens mis en œuvre pour l'étude du fonctionnement d'un organe ou d'un appareil* » et illustre le fait que, dans ce cadre-là, ce sont les corps d'organismes vivants qui sont le « terrain » de l'exploration. D'un point de vue global, nous répertorions donc quatre types d'explorations différentes particulièrement adaptées aux domaines scientifiques, parmi lesquelles trois leur sont strictement dédiées. Une définition fondamentale commune à cet ensemble identifie **l'exploration en tant que récolte de données ou d'informations afin de construire des savoirs répondant à un questionnement**. Cependant, nous constatons que malgré leur emploi systématique dans des écrits scientifiques et leur assignation à des domaines scientifiques particuliers, ces définitions ne sont pas des conceptualisations scientifiques, mais appartiennent au langage commun des dictionnaires.

1.2. Des explorations chez d'autres professionnels

Or, plusieurs concepts d'exploration sont construits dans certaines disciplines de recherche qui dépassent le cadre des actions des scientifiques. Nous proposons d'élargir ainsi le champ d'investigation, afin d'apporter un éclairage sur d'éventuelles définitions distinctes. Par exemple, dans le cadre des sciences de la gestion et du management, l'exploration de professionnels, à l'échelle de l'entreprise, est vue comme une stratégie tournée vers l'avenir qui consiste à s'interroger sur le devenir de l'organisation, sur ses métiers, ses marchés et ses technologies, etc. Elle permet de déterminer ce vers quoi l'entreprise doit s'orienter, afin de s'adapter aux évolutions sociétales (Aurégan, Joffre, Loilier, & Tellier, 2008). L'exploration est envisagée comme une stratégie complémentaire et opposée à celle de l'exploitation, dans laquelle l'entreprise mise sur ses atouts existants, en exploitant au maximum les possibilités offertes. Au contraire, lorsque l'entreprise explore, elle expérimente, favorise l'innovation et prend des risques, afin de se développer et conquérir des marchés. Alors que l'exploitation est une stratégie prédictible et relativement sûre à courts et moyens termes, l'exploration est basée sur une projection dans l'avenir nécessairement incertaine et dont les bénéfices

s'acquièrent sur le long terme. L'exploration est néanmoins une stratégie indispensable aux entreprises pour évoluer et exister dans le futur (March, 1991 ; Farjaudon & Soulerot, 2011). Une conceptualisation du terme existe également en sciences de l'information, par opposition au comportement d'oblitération qui caractérise une démarche professionnelle des journalistes lorsqu'ils sont à la recherche d'informations. Voirol (2011) définit l'oblitération pour désigner l'impact de la « *réification* » des faits lorsqu'ils sont mis à jour par les médias. Dans ce cadre-là, le journaliste recherche des informations de manière orientée, puisqu'il tente d'appuyer des faits déjà avérés. Dans la démarche d'exploration, au contraire, il reconsidère les faits établis en recoupant différentes versions d'entretiens, en interprétant différemment les situations. Ce processus permet de générer des informations originales susceptibles d'apporter un éclairage nouveau sur une quelconque affaire. Nous remarquons que ces concepts, exposés dans des domaines professionnels distincts, apparaissent cohérents sur le fond avec les définitions exposées précédemment. A l'exception du contexte qui est différent, l'action envisagée ici est toujours initiée par un questionnement qui porte sur les évolutions souhaitables pour l'entreprise dans le premier cas et sur l'exigence d'informer sur un fait dans le deuxième cas. Dans tous les cas, y compris ceux du langage courant, l'action d'explorer est une recherche de données, d'informations qui ne sont pas prédéterminées ; elle est incertaine, non dirigée par une règle ou une trajectoire précise, mais elle peut être à l'origine d'une découverte inattendue.

1.3. L'exploration en tant que méthodologie de recherche

Par rapport au constat réalisé initialement, sur l'importance de l'utilisation du terme dans les écrits scientifiques, celui-ci est également très employé par les chercheurs, lorsqu'ils évoquent les premiers moments de leur recherche ou quand cette dernière cible un « terrain » neuf. Cet emploi fréquent n'est cependant pas associé à une discussion sur les contributions théoriques apportées dans le domaine des méthodologies de recherche relativement à l'activité d'explorer. Pour une majorité de chercheurs, il n'apparaît pas utile de questionner le terme en lui-même parce que la définition de « recherche exploratoire », par exemple, suffit aux critères de validation scientifique. Pour Stebbins (2001), le caractère intuitif, voire désorganisé, de l'exploration des recherches scientifiques n'a effectivement pas droit de cité dans le processus de réarrangement des idées et la rhétorique employée dans les publications scientifiques. Nous proposons de caractériser les deux façons d'envisager l'exploration dans le cadre des méthodologies de recherche scientifique, selon qu'elle est perçue comme une étape facultative dépendant du contexte scientifique ou bien envisagée comme une « démarche », non nécessairement verbalisée mais systématiquement réalisée, quelle que soit la nature de la recherche scientifique entreprise. Dans cette dernière signification, l'exploration est considérée comme une attitude favorisant les découvertes scientifiques, voire comme un processus fondamental des sciences qui se font.

Tout d'abord, dans l'acception majoritairement retrouvée, **l'exploration est admise comme étant une analyse inductive, portant sur des objets de recherche pour lesquels il n'existe pas ou peu de données accessibles au travers de la littérature préexistante**. Les auteurs emploient donc l'expression de « recherche exploratoire » pour figurer la nouveauté d'un contexte d'étude qui, pour générer des questionnements ou des généralisations, s'appuie sur un raisonnement inductif, à partir d'un corpus de données restreints (Blais & Martineau, 2006). L'exploration, en tant que type de recherche spécifique d'un contexte nouveau, est également retrouvée chez Trudel et Vonarx (2007), pour lesquels la recherche exploratoire peut aider, par exemple, à clarifier un problème plus ou moins défini initialement, ou bien à déterminer le devis adéquat, avant de mener une étude de plus grande envergure. Enfin, c'est un préalable à des recherches qui, pour se déployer, doivent s'appuyer sur un minimum de savoirs mis à jour au cours de cette étape. De ce point de vue, l'exploration permet la production de savoirs sur des phénomènes inconnus, pour circonscrire un objet de recherche, pour définir de nouvelles pistes de recherche, pour choisir des « théories » ou identifier une méthode appropriée à l'objet d'intérêt. C'est un type de méthodologie de recherche de nature empirico-inductive, parmi un ensemble plus vaste, comprenant aussi des études descriptive, explicative, diagnostic, prédictive et évaluative. Nous considérons la notion d'exploration associée à cette première phase de recherches inédites comme n'étant pas de sens commun, mais peu théorisée. Les éléments conceptuels majeurs retrouvés sont la nouveauté du « terrain » de recherche et le raisonnement inductif s'appliquant à la genèse d'hypothèses.

Ce résultat est à mettre en correspondance avec la conceptualisation de l'exploration réalisée par le sociologue Stebbins (2001), qui nous apparaît avoir été pensée de manière approfondie et de façon large, puisqu'il intègre toutes les disciplines de recherche scientifique. L'auteur initie son développement à partir de définitions courantes de la langue anglaise, à partir desquelles il conceptualise l'exploration, en tant que méthodologie de recherche à part entière, indissociable de toute recherche. Il écrit que, dans le langage courant, l'exploration est fondamentale dans quatre domaines : l'art, l'espace (aux sens de ciel, territoire, mers ou océans), les sciences, et « la vie quotidienne ». Tout d'abord, l'exploration est définie de manière générale, en tant que processus caractérisé par l'action d'examiner, d'enquêter ou d'étudier. Ce type d'exploration est appelé **exploration d'enquête** (*investigative exploration*) et correspond au premier sens commun de la langue française que nous avons défini comme étant l'étude approfondie d'une question. Le second sens commun défini par Stebbins correspond à l'exploration des artistes, des inventeurs, ou des cuisiniers, etc. d'une expérimentation créatrice par tâtonnement, afin d'obtenir l'« effet » ou le « produit » souhaité, sans que cet « effet » ou cette « production » ait été précisément définis *a priori*. Dans ce cas, l'exploration est un **acte de création** à partir d'une recherche de l'inventeur (*innovative exploration*). Un troisième sens au terme d'exploration s'oppose à celui exposé précédemment parce qu'il ne vise pas la création d'un effet souhaité, qui peut être relativement précis dans l'intention, mais requiert, au contraire, une ouverture la plus large

possible du processus d'exploration, afin de déterminer et comprendre la zone d'étude. Le but n'est donc pas fixé à l'avance. Par conséquent, dans ce type **d'exploration pour la découverte** (*exploration for discovery*), la recherche n'est pas terminée après la phase d'exploration, alors que l'exploration d'innovation se suffit à elle-même en termes de « recherche », une fois l'effet souhaité obtenu. Le quatrième sens est nommé **exploration limitée** (*limited exploration*), parce que l'explorateur sait précisément ce qu'il recherche. Pour Stebbins, l'exploration en sciences est fondée sur le troisième sens d'une exploration pour la découverte, à laquelle des éléments conceptuels sont ajoutés. Par exemple, dans ce concept, Vogt (1999) écrit que l'exploration est une démarche systématique, prédisposée, intentionnelle et étendue, entreprise pour favoriser la découverte de généralisations menant à la description et à la compréhension d'un domaine de la vie sociale ou psychologique. Cette exploration est, en fonction du point de vue adopté, une manière à part entière de pratiquer les sciences, une approche méthodologique particulière et une attitude omniprésente chez l'explorateur. Les généralisations qui émergent de l'exploration sont nombreuses et variées, tels que des faits descriptifs, des concepts originaux, des effets culturels, des processus sociaux, etc. Alors que pour Blais et Martineau (2006) ou pour Trudel et Vonarx (2007), l'expression de recherche exploratoire s'applique, par défaut, à des recherches nouvelles pour lesquelles le chercheur n'a pas accès à des données dans la littérature, pour Stebbins, le processus exploratoire est nécessairement mis en œuvre. Seulement, les chercheurs à l'œuvre n'explicitent pas cette étape lorsqu'ils rédigent leurs articles de recherche et elle n'entre pas dans les comptes-rendus sur la méthodologie. C'est un processus « caché » qui s'opère de manière implicite, sans qu'il soit nécessaire de mettre en œuvre un protocole dédié. L'on retrouve des conceptualisations émergentes dans ce sens chez le sociologue Blumer (1986), pour qui les deux modes successifs de la recherche, c'est-à-dire, celui de l'exploration puis celui mettant en œuvre une méthodologie rigoureuse, constituent les deux phases d'une recherche aboutie. Pour Glaser et Strauss (1967), l'exploration correspond à la première tâche du sociologue qui est de générer des théories. Pour Van Der Maren (1996), c'est l'une des phases des recherches hypothético-déductives ou empiriques dans lesquelles deux étapes sont distinguées : une première, inductive ou exploratoire, qui permet d'énoncer des hypothèses à la suite d'observation de plusieurs séries d'événements et une seconde, déductive ou vérificatrice, tentant de mettre à l'épreuve des faits les hypothèses énoncées. Pour Dépelteau (2010), le contexte de nouveauté n'est pas discriminant puisque, quelle que soit la recherche entreprise, le chercheur en passe par une étape d'exploration au cours de laquelle il récolte et intègre des données, afin de formuler une question en relation avec son vécu, avec sa formation théorique, ses intérêts, et son utilité au regard des savoirs préétablis. De même, De Ketele et Roegiers (2009) décrivent la recherche exploratoire comme une phase ouverte, au cours de laquelle le chercheur découvre un contexte, puis fait émerger une hypothèse grâce à un raisonnement inductif et de nombreux autres facteurs inconscients ou occasionnels. Pour ces auteurs, l'expérimentation planifiée qui suit tente de mettre à l'épreuve les hypothèses. Pour Stebbins, il s'agit de découvrir de nouvelles idées, en exploitant systématiquement les

premières données. Pour ce faire, le chercheur doit adopter intentionnellement une tournure d'esprit propice à la découverte. Stebbins oppose l'exploration à la sérendipité¹¹ (*serendipity*), en les regroupant néanmoins comme étant deux formes distinctes de découvertes. Dans un cas, c'est un phénomène passif dont tout le monde peut faire l'expérience (la découverte fortuite), dans l'autre cas, la découverte est favorisée par l'exploration, réservée à ceux qui ont une attitude tournée vers ce processus mental. Cette phase initiale est détachée de la recherche proprement dite, qui serait focalisée sur l'application d'une méthodologie rigoureuse, dans l'esprit de bon nombre de chercheurs. Ces derniers disent, par ailleurs, que les théories sont uniquement élaborées lors de l'aboutissement de leur recherche. Mais, au contraire, pour Stebbins, le développement des théories aurait lieu au cours de la première phase, celle d'exploration. Ensuite, la continuité de la recherche correspondrait à la mise en œuvre d'une méthodologie rigoureuse, scientifiquement acceptable par les pairs, afin de faire approuver la théorie, qui aurait été construite de façon désorganisée lors de l'exploration initiale. Donc, pour Stebbins, l'exploration est un processus scientifique fondamental qu'il faut considérer à sa juste valeur. Selon lui, les chercheurs doivent avoir une attitude caractérisée par une flexibilité (*flexibility*) lors de l'examen des données et une ouverture d'esprit (*open-mindedness*) pour trouver les occasions de récolte de ces données. L'objectif d'une telle attitude est de produire des généralisations par induction. L'exploration permet ainsi une émergence ou une mobilisation de théories qui vont conduire à la formulation de questions de recherche. Mais, contrairement à l'acceptation précédente, le raisonnement inductif doit persister : même si l'objet d'étude a déjà été abondamment étudié, l'exploration permet de porter un regard différent, qui pourrait conduire à de nouvelles découvertes ; de même, concernant un contexte déjà largement étudié qui aurait évolué. Stebbins défend donc l'exploration, premièrement, en tant que méthodologie de recherche à part entière, et deuxièmement, en tant qu'attitude, qu'il considère comme une qualité indispensable aux chercheurs. Ce point de vue conforte l'idée que les pratiques des sciences sont autrement plus diversifiées et désorganisées que celles qui transparaissent dans les articles de recherche, lesquels étant le résultat d'un travail de reconstruction voire d'un « *art de la persuasion* » (Latour & Woolgar, 1996, p. 65-66).

Dans l'ensemble du domaine concernant des professionnels et des scientifiques, l'exploration est perçue comme une activité essentielle, voire indispensable, aux personnes dans leurs rôles respectifs. C'est une activité qui peut apparaître implicite lorsque le scientifique n'organise pas, ni ne dirige la trajectoire suivie dans le « terrain » exploré. Par conséquent, ce caractère de sous-entendu, non verbalisé et non ordonné, semble l'avoir subordonné dans les représentations au rang des activités facultatives, alors qu'elle est fondamentale pour une

¹¹ Le mot « sérendipité » n'est pas présent dans les dictionnaires français, bien qu'il soit l'objet d'ouvrages, d'une émission de radio, voir par exemple : <https://www.franceculture.fr/emissions/science-publique/la-serendipite-quel-role-joue-le-hasard-dans-la-science>, ou d'articles de presse, voir par exemple : http://www.scienceshumaines.com/serendipite-mot-de-l-annee_fr_24741.html

progression sur le long terme. Dans toutes les acceptions évoquées précédemment, l'exploration est pensée en tant que recherche de données et d'informations, sur un « territoire » d'étude donné, pour l'élaboration de savoirs nouveaux, voire inattendus, sources d'avancées.

2. L'EXPLORATION DU SUJET EN PSYCHOLOGIE

Une notion d'exploration est également construite dans le champ des recherches en psychologie et présente des prolongements dans les recherches sur l'orientation scolaire et professionnelle. Nous mettons en évidence deux cadres théoriques principaux d'emploi de la notion : d'une part, la notion d'exploration est associée au concept de l'attachement (par exemple Bowlby, 1988), d'autre part, elle est associée au concept de construction de l'identité (par exemple Grotevant, 1987).

2.1. Exploration et attachements

L'exploration a été définie, initialement, en psychologie développementale, comme l'action d'investigation de l'environnement dans le but de collecter des informations, par l'intermédiaire de recherches étudiant les effets parentaux sur l'exploration des enfants qui est interprétée comme une composante fondamentale du comportement naturel permettant de découvrir et de s'adapter à l'environnement.

Ainsworth, Blehar, Waters et Wall (1979) ont mis en évidence différents types d'exploration chez le jeune enfant, en fonction du style d'attachement, c'est-à-dire les relations procurant un soutien réconfortant avec des personnes qui sont pour nous significatives (Palladino Schultheiss, 2005). Lorsque l'enfant se sent en sécurité, le comportement exploratoire est plus affirmé. Au contraire, s'il est préoccupé par l'incertitude de la disponibilité des soins, son anxiété altère l'exploration. Un attachement sécurisé et sûr favorise le comportement exploratoire chez l'enfant, parce que l'attachement incite l'enfant à rester à proximité de son « fournisseur » de soin qui lui confère un sentiment de sécurité.

La notion d'exploration a été prolongée par sa « transposition » aux sujets de tous âges, dans des recherches en psychologie de l'orientation professionnelle, toujours en relation avec les attachements (Bowlby, 1988). L'exploration y est définie comme le processus par lequel les individus recherchent des informations sur eux-mêmes et sur l'environnement, pour prévoir et construire au mieux leur future carrière. Ainsi, la notion intègre-t-elle deux sous-processus d'une exploration de soi-même et de son environnement. Dans cette théorie, le sujet est envisagé comme composante d'un système familial multifactoriel qui influence l'exploration des perspectives d'orientation scolaire et professionnelle (Palladino Schultheiss, 2005).

Ces résultats, non-exhaustifs, développés en psychologie illustrent l'importance de l'exploration chez les jeunes enfants dans leur développement, ainsi que chez les adolescents et adultes du point de vue de leur carrière. Le comportement d'exploration, dépendant du contexte familial au sens large, est influencé par de nombreux facteurs, tels que les attitudes et les attentes des parents vis-à-vis de l'adolescent, son identification à ceux-ci, la communication ouverte parents-adolescent, les styles éducatifs parentaux, etc. Les recherches se focalisent principalement sur les effets des attachements et/ou d'autres effets de la famille, expliquant les différences dans la manière d'explorer l'environnement. Le nombre de ces facteurs illustrent l'influence que peut exercer le contexte sur le comportement d'exploration, dont le terme revêt une signification similaire à celle définie précédemment en tant qu'une activité de scientifiques ou d'autres professionnels. Dans le cas de jeunes enfants, ces derniers sont naturellement curieux et animés par une propension naturelle à explorer : cette activité revêt une importance capitale pour leur développement et leur adaptation au monde.

2.2. L'exploration comme processus intégré à la construction de l'identité

Le second cadre théorique mobilisant la notion d'exploration en fonction de facteurs contextuels, dont l'environnement scolaire, est le champ de la psychologie sociale. Grotevant (1987) a recherché quels éléments contextuels ou intrinsèques à la personne influencent l'exploration, considérée comme un des processus fondamentaux de la construction identitaire du sujet. Nous avons retrouvé des articles de la littérature francophone de recherche sur l'orientation scolaire et professionnelle qui décrivent ce concept de construction de l'identité. Ils accomplissent, par conséquent, un trait d'union entre la psychologie sociale et les recherches en éducation. Nous proposons, dans le texte qui suit, de décrire, sans exhaustivité, des conclusions significatives, en relation avec le contexte éducatif et notre intention d'apporter une contribution afin de se représenter l'action d'explorer.

L'exploration, chez Erikson (1968) et Marcia (1993), est associée à la notion d'engagement pour la construction de l'identité du jeune enfant et de l'adolescent. Dans ce concept de la construction identitaire, l'exploration y est définie de manière identique à celle inhérente à la théorie de l'attachement. Par exemple, Barbot (2008) la formule comme un comportement de résolution de problème, visant à mettre à jour de l'information, à propos de soi ou de son environnement, de façon à prendre une décision concernant des choix de vie importants. L'autre notion jumelle d'engagement, présente dans ce concept de construction de l'identité, est décrite comme l'adhésion à un ensemble spécifique de buts, de valeurs et de croyances. Les deux notions d'exploration et d'engagement sont les deux processus de la construction identitaire du sujet (Cohen-Scali & Guichard, 2008).

Ce concept de construction identitaire permet d'expliquer les différentes typologies de sujets

face aux questions de leur orientation¹², grâce notamment à la caractérisation des statuts d'identité de Marcia (1993). Ces quatre styles de construction identitaire identifiés sont :

- l'identité réalisée : les engagements de la personne ont été pris après une phase d'exploration d'alternatives significatives ;
- le moratoire : la personne se trouve activement engagée dans un processus d'exploration ;
- l'identité prescrite : les engagements sont pris sans qu'il y ait eu exploration d'alternatives ;
- l'identité diffuse dans laquelle la personne n'a pas d'engagements (Marcia, 1980 : cité par Kunnen & Bosma, 2006 ; Cohen-Scali & Guichard, 2008 ; Lannegrand-Willems, 2008 ; Barbot, 2008).

Ces quatre types d'identité étant définis spécifiquement chez les adolescents, nous nous demandons quels sont les facteurs susceptibles de favoriser l'achèvement identitaire des adolescents, de leur faire atteindre le statut le plus mature : celui d'une personne qui n'est plus en quête identitaire mais qui a défini les éléments identitaires auxquels elle adhère, qui prend ses engagements en matière d'orientation, après avoir suffisamment exploré les différentes possibilités.

Pour Grotevant (1987), l'exploration correspond au travail de la construction identitaire (cités par Cohen-Scali & Guichard, 2008 ; Barbot, 2008). Selon le chercheur, la construction identitaire est tributaire d'éléments intrinsèques au sujet, comme sa volonté d'exploration ou sa satisfaction identitaire. Celui-ci se construit progressivement par une mise en cohérence, à partir des interactions entre l'environnement social et certaines autres dispositions de l'individu, comme sa capacité à résoudre des problèmes ou sa capacité de distanciation, etc. (cité par Cohen-Scali & Guichard, 2008 ; Lannegrand-Willems, 2008). Par conséquent, le contexte influence continuellement la personne en développement et l'école ou l'environnement de travail font partie de ces facteurs contextuels, offrant des modèles, de la diversité et des opportunités (Grotevant, cité par Kunnen & Bosma, 2006).

Le concept d'exploration de Grotevant (1987), envisagé en tant que processus intégré dans la formation de l'identité du sujet, a reçu plusieurs prolongements dont, notamment, ceux de Waterman (1993) et Luyckx, Goossens, Soenens, Beyers et Vansteenkiste (2005), mais nous ne développerons pas ici ces compléments. Nous avons évoqué l'approche de Grotevant (1987) car ce chercheur est considéré comme le premier à avoir identifié les différents contextes dans lesquels le sujet évolue, qui jouent un rôle dans le développement identitaire à l'adolescence (Lannegrand-Willems, 2008).

Il nous faut cependant faire remarquer que l'exploration d'un contexte particulier doit également se doubler d'une volonté d'exploration, tournée vers « soi-même », ses attentes, comme l'indiquent Flum et Kaplan (2006) qui définissent l'exploration, dans une visée

¹² Cf. le n°37/4 de la revue OSP portant exclusivement sur ces questions.

d'orientation scolaire, comme une action volontaire et personnelle, interne ou externe, de recherche et de traitement d'informations, permettant la fabrication de significations, de sens en cohésion avec l'identité du sujet qui les intègre et favorise, par conséquent, son développement.

Pour ces psychologues de l'éducation, l'exploration pour l'orientation doit relever un double défi réciproque :

- au niveau curriculaire et structurel, favoriser l'intention exploratoire des élèves par la multiplication des choix d'options d'enseignement ;
- au niveau des élèves, s'accompagner d'une attitude d'analyse intentionnelle de la signification des contenus et des démarches en lien avec leur personnalité.

2.3. L'exploration en psychologie du travail

Une adaptation de ce concept d'exploration est utilisée en psychologie du travail, en tant qu'activité visant à améliorer la connaissance de soi et de l'environnement extérieur, afin que l'individu puisse s'engager à faire progresser sa carrière (Blustein, 1992 ; p. 175). A ce titre, elle est utilisée en tant que composante majeure des théories du développement de carrière dans le monde anglo-saxon (Nauta, 2007 ; Super, 1990 ; Holland, 1997). Par exemple, pour Super (1990, 1980 ; cité par Corff & Gingras, 2011), la carrière doit être envisagée dans une perspective développementale selon cinq stades : la croissance, l'exploration, l'établissement, le maintien et le désengagement. Au stade de croissance, « *l'enfant s'éveille au monde du travail, commence à se projeter dans l'avenir, acquiert une certaine emprise sur sa vie et développe ses attitudes personnelles face à l'école et au travail. Il développe une image de lui-même et intègre le travail comme une partie de son moi-idéal* ». Au stade d'exploration, « *l'individu recherche ses informations sur soi et sur le monde du travail pour amorcer sa carrière ou explorer de nouveaux domaines de travail* » (p. 3). La théorie de Super intègre le comportement exploratoire d'un individu jeune, dans une théorie qui envisage le sujet, de son enfance à sa retraite (Corff & Gingras, 2011). Elle est centrée sur le domaine de l'orientation professionnelle, en restreignant l'environnement au contexte familial et professionnel. Mais Super a initialement évoqué l'importance de l'exploration chez les adolescents en orientation scolaire (Super, 1960 ; Super & Overstreet, 1968). Il écrit que le niveau de troisième de collège conditionne la réussite sociale éventuelle des élèves, car ils ne sont pas aptes à choisir leur futur domaine professionnel, en étant psychologiquement à un stade d'exploration et non de choix. Super milite pour l'exploration en postulant que les élèves doivent percevoir leurs intérêts, aptitudes et valeurs. Pour Super (1964), l'exploration est un comportement qui consiste à interroger ses aspirations et sa personnalité lors d'essais dans différentes activités, à

évaluer l'adéquation des essais à ses aspirations, afin de prendre une décision d'orientation¹³. Ce dualisme de l'acte d'explorer à la fois l'environnement et soi-même est également présent, dans des publications encore plus anciennes (par exemple Davis, 1924) qui distinguent une exploration externe qui concerne l'environnement, le contexte et une exploration interne qui conduit à la connaissance de soi. Dès les années 60, Super (1964) écrit que le concept d'exploration en éducation et orientation scolaire et professionnelle est très courant, largement discuté, très complexe et que de nombreuses activités sont décrites dans des manuels, sans définir ce qu'est l'exploration.

La théorie développementale de Super (1990, 1980 ; cité par Corff & Gingras, 2011) est centrée sur la recherche d'informations, sur soi et sur le monde du travail, et appartient au domaine de la psychologie sociale appliquée à l'orientation professionnelle. Par conséquent, sa notion d'exploration est celle du concept de la construction identitaire (Grotevant, 1987), avec néanmoins une largeur de champ réduite au domaine de la carrière des individus¹⁴. Cependant, ce constat ne doit pas conduire à conclure sur l'existence d'un seul construit désigné par le terme d'exploration à l'intérieur du champ psychologique. Par exemple, il est aussi utilisé par Jean Piaget pour caractériser le stade sensori-moteur du développement cognitif de l'enfant qui, animé d'un comportement inné et aléatoire, coordonne les informations sensorielles et motrices, afin de résoudre des problèmes simples (Papalia, Olds & Feldman, 2010). Rappelons aussi que l'exploration de l'inconscient est une spécificité de la psychanalyse, correspondant à l'étude d'une réalité psychologique cachée (par exemple Godfrind-Haber, 2006). De plus, en psychologie cognitive, d'autres chercheurs proposent d'explorer l'expérience vécue par le sujet lui-même pour progresser dans la compréhension de l'esprit humain, en prenant en compte la dimension subjective (Varela, Thompson & Rosch, 1993).

Parmi tout cet ensemble hétérogène du champ des recherches en psychologie, notre étude nous permet néanmoins de distinguer une cohérence entre les définitions du terme d'exploration qui correspond systématiquement à **une recherche d'informations initiée par un questionnement ou un comportement inné**. Par rapport à l'ensemble du champ psychologique, nous inférons que l'exploration est un comportement naturel et spontané, pour la connaissance de soi et du monde, qui permet la construction de l'identité du sujet.

¹³ « *Exploratory behavior at its best involves asking self-relevant questions about something while trying it, evaluating the outcomes of trial, and basing subsequent decisions on this and other evaluations* » (Super, 1964, p. 129).

¹⁴ Pour une revue de littérature des théories du développement de carrière intégrant le concept d'exploration, voir l'article de Nauta (2007).

3. L'EXPLORATION DE L'ÉLÈVE EN ÉDUCATION

3.1. Louis D'Hainaut et la psychologie cognitive

Une notion d'exploration a également été définie en éducation, sur la base de travaux en psychologie cognitive sous l'impulsion de Louis D'Hainaut (1929-2012). Dans cette acception, l'exploration fait partie des cinq opérations cognitives élémentaires avec la répétition, la conceptualisation, l'application, et la mobilisation (D'Hainaut, 1977, p. 165). La caractérisation provient de recherches, entre autres, d'Herman Witkin en psychologie cognitive ou de Jerome Kagan, en psychologie développementale. L'objectif de D'Hainaut est de concevoir un modèle des « actes intellectuels »¹⁵ qui pourrait servir de base à l'élaboration d'activités scolaires. Pour D'Hainaut, ces « actes intellectuels » élémentaires doivent, en effet, représenter des objectifs pédagogiques dans l'enseignement.

Au sein de ces actes intellectuels, pour D'Hainaut (1977, p. 182 ; 1979, p. 156), et D'Hainaut, Noël et Deroulaix (1980, p. 34), l'exploration consiste à extraire d'une situation, un élément, un contenu ou une information déterminée. D'Hainaut, dans ces différents écrits, propose une conceptualisation approfondie de l'exploration axée, dans les exemples qu'il propose ou les études psychologiques entreprises, sur des tests imagés ou textuels précis dans lesquels l'exploration est toujours motivée par une consigne extérieure au sujet. Par exemple, le jeu des sept erreurs qui consiste à trouver sept détails dans deux dessins en apparence semblables ou bien la recherche de la relation entre les nombres 2, 5 et 8, etc. sont des activités dédiées à l'exploration (D'Hainaut, 1977).

Les recherches de D'Hainaut *et al.* (1980) se concentrent sur l'exploration parce que l'enseignement accorderait une préférence aux activités comportant les opérations cognitives de reproduction et d'application, alors que la conceptualisation ou l'exploration n'ont pas reçu l'attention qu'elles méritent. Notamment, l'exploration fait rarement l'objet d'une action éducative systématique, bien qu'elle soit fondamentale dans la réalisation d'activités complexes telle que la résolution de problèmes ou la synthèse (p. 36).

3.2. Exploration et ingénierie pédagogique

Dans une large part du domaine de l'éducation anglo-saxon, le terme est employé relativement à la préoccupation d'offrir aux élèves une gamme diversifiée d'enseignements pour les choix d'orientation. Rappelons, à ce propos, que l'organisation du temps scolaire, notamment aux États-Unis, intègre des enseignements choisis par les élèves. Dans cette large

¹⁵ D'Hainaut (1977) appelle « acte intellectuel » élémentaire de l'élève, l'objectif de l'enseignement comprenant l'opération cognitive de l'élève, l'objet sur lequel cette activité s'exerce et le produit de l'activité, lorsque l'opération cognitive qu'il inclut est élémentaire (p. 158).

littérature dédiée à des études sur les cours au choix, l'exploration est considérée importante, mais elle est évoquée sans conceptualisation ni fondement empirique.

Des éléments de définition sont néanmoins retrouvés lorsque le terme s'applique à une phase d'une méthode d'apprentissage héritée de Karplus et Thier (1967) : Westbrook et Rogers (1994) évoquent l'exploration comme la première phase durant laquelle les élèves recueillent des données utiles à l'investigation scientifique, et Lavoie (1999) emploie le terme pour désigner une démarche hypothético-déductive dans laquelle les élèves formulent des hypothèses puis font des expériences et concluent. Wright (1978, 1981) étudie l'impact d'un enseignement sur ce qu'il nomme le comportement d'exploration, caractérisé par la curiosité et la recherche d'information. Le nombre de détails observés, le nombre et la qualité des hypothèses, le nombre et la diversité des questions sont analysés. Des notions d'exploration sont donc utilisées dans le cadre de méthodes d'apprentissages basées sur l'investigation scientifique, mais celles-ci ne sont pas unifiées et ne font pas, non plus, l'objet d'un approfondissement théorique ni d'explicitation des bases empiriques.

En ingénierie pédagogique francophone, les auteurs définissent également rarement leur définition de l'action d'explorer, si bien que l'on peut avoir des difficultés à se la représenter. Des indications peuvent être données mais l'exploration correspond moins à un concept établi et référencé, qu'à une signification personnelle. Trois catégories se distinguent en fonction du degré d'explicitation ou d'approfondissement scientifique conféré à la notion. D'abord, l'exploration peut correspondre à une étape à l'intérieur d'un modèle d'apprentissage : en général, dans ce type d'emploi, la notion d'exploration n'est pas définie. Ensuite, elle peut être définie d'un point de vue uniquement théorique, sans que des éléments empiriques lui soit associés. Enfin, l'exploration peut être explicitée sur la base d'une étude empirique.

3.2.1. L'exploration en tant qu'élément d'un processus d'apprentissage normatif conceptualisé

Des auteurs mentionnent la présence d'une action d'exploration à l'intérieur d'une description d'une méthode d'apprentissage cognitiviste. Le mot « explorer » est alors listé à l'intérieur des attitudes générales face à l'apprentissage (Loarer, 1998) ou alors l'action d'« explorer des questions d'intérêt » est mentionnée comme correspondant à la première étape d'un modèle (Cassie & Haché, 1998). Green, Tones et Manderscheid (1996) emploient le terme en référence à l'éducation à la santé et, là encore, l'exploration n'est pas définie mais correspond à une des étapes de la méthode d'apprentissage présentée. Même si ces méthodes d'apprentissage sont clairement définies par un enchaînement d'étapes précises dans un processus normatif d'apprentissage, le terme d'exploration, lui, n'est pas défini.

Bissonnette, Richard et Gauthier (2005) écrivent que l'apprentissage des habiletés cognitives

primaires s'effectue dans un environnement pédagogique centré sur le développement de l'enfant et dans des situations de manipulations, de jeux, d'explorations, de découverte, qu'il expérimente au contact de son environnement. Mais ces approches ne développeraient pas le second type d'habiletés cognitives qui nécessitent, au contraire, un enseignement direct, explicite et dirigé par l'enseignant. La phase comprenant l'exploration est considérée comme fondamentale, mais non suffisante car elle doit s'accompagner d'un enseignement plus dirigé. Les auteurs reconnaissent tout de même son utilité dans le développement des enfants.

Alemanì (1986) emploie le terme d'exploration pour évoquer la phase de « *tâtonnement aléatoire* » lors de la découverte d'un objet technique. L'exploration est ici associée à un contexte d'initiation à la technologie.

Legendre (1995) décrit une méthode d'apprentissage, médiée par l'informatique, dans laquelle les élèves sont amenés à explorer librement, puis de façon guidée. L'exploration libre correspond à une démarche de l'élève non influencée par un tiers, alors que l'exploration guidée comporte des questionnements avec des suggestions.

3.2.2. L'exploration théorique

D'autres auteurs définissent l'exploration, sans qu'elle soit rattachée à des travaux empiriques. Ainsi, dans la méthode d'apprentissage décrite par Doudin et Martin (1999), la phase dite d' « exploration » est une première étape. Elle correspond à l'analyse d'une consigne pour comprendre la tâche prescrite, puis l'élaboration d'une ou plusieurs procédures permettant d'inventer une solution au problème imposé.

Une définition de la notion d'exploration est apportée par Brougère (1997), qui compare les activités de jeu et d'exploration en lien avec l'utilisation d'un objet. « Explorer » signifie ici questionner les différentes utilisations de l'objet sans finalité précise, alors que le jeu questionnerait les différentes utilisations possibles de l'objet dans un objectif déterminé.

Giordan (1977) propose une définition à l'action d'explorer qu'il considère comme un élément majeur et premier dans l'apprentissage. « Explorer » signifie ici multiplier les possibilités d'observations actives et comparées. L'auteur associe le vécu, les pratiques tâtonnantes, l'information par des médias, à l'exploration.

3.2.3. L'exploration explicitée sur une base empirique

D'autres auteurs rattachent l'exploration à des travaux empiriques. Ainsi, Vivier (1988) décrit une situation considérée comme favorisant l'activité d'exploration, en se basant sur son observation directe : les élèves sont libres de manipuler, ou non, des matériaux de

consistances variées, de les utiliser, de les transformer et de les composer de façon à fabriquer des objets. L'exploration, associée ici à la découverte, est indiquée comme ne se suffisant pas à elle-même, mais devant être poursuivie par une situation davantage guidée.

Lahanier-Reuter (2005) emploie le terme en décrivant des séances d'apprentissage mathématiques par la pédagogie Freinet qui se focalisent sur le vécu des élèves, la création, l'exploration et le tâtonnement. Dans ce cadre, « explorer » signifie, pour l'élève, s'auto-prescrire des tâches, dans le but d'une réponse à une question originale choisie et sous la tutelle de l'enseignant.

Il apparaît qu'en ingénierie pédagogique, le terme d'exploration est polysémique et employé pour tous les niveaux scolaires de la maternelle (Vivier, 1988 ; Brougère, 1997) à la formation pour adultes (Loarer, 1998) et étudiante (Cassie & Haché, 1998), en passant par l'école primaire (Alemani, 1986 ; Bissonnette & *al.*, 2005 ; Lahanier-Reuter, 2005) et le secondaire (Giordan, 1977, 1978).

Un des aspects des notions d'exploration, souvent retrouvé, est qu'elle initie les phases d'enseignement (Cassie & Haché, 1998 ; Doudin & Martin, 1999 ; Giordan, 1977) ou bien se situe relativement au début de celui-ci (Lahanier-Reuter, 2005). D'autres auteurs considèrent, dans leur acception, que l'exploration ne se suffit pas à elle-même mais qu'elle doit être poursuivie par des situations davantage contrôlées par l'enseignant (Vivier, 1988 ; Bissonnette *et al.*, 2005). Pour Brougère (1998), les activités d'exploration sont un préalable aux activités de jeux. Deux articles (Vivier, 1988 ; Lahanier-Reuter, 2005) sur les onze se réfèrent à une base empirique d'observations de séances, mais seul Vivier (1988) établit la notion d'exploration *a posteriori* des observations.

Pour conclure, la notion d'exploration, en ingénierie pédagogique, ne renvoie pas, en général, à un concept construit et référencé, mais plutôt à différentes acceptions personnelles et confidentielles, propres à un mode de pensée sur l'organisation d'une pédagogie d'apprentissage. Quelle que soit la définition, la notion est systématiquement focalisée sur une activité des élèves. La seule définition de l'exploration référencée est celle de Brougère (1997), qui reprend les définitions de Cheyne (1982) sur les activités d'exploration et celles de jeux : l'exploration des enfants est théorisée dans un courant de recherche publiant en langue anglaise, au niveau préscolaire (et de la maternelle française) (Zubrowski, 1982 ; Hutt, 1990 ; Bruce, 1992 ; Van Schijndel & Raijmakers, 2016) et au niveau de l'école primaire (Tytler & Peterson, 2004 ; Zubrowski, 2009). Nous ne développerons pas ces références dans le cadre de cette thèse.

3.3. L'exploration en didactique des sciences

3.3.1. Des individualités d'emploi du terme

De même que dans les articles d'ingénierie pédagogique francophone, le terme d'exploration est peu utilisé pour désigner une notion scientifique en didactique des sciences, compte tenu de la quantité des articles et des thématiques abordées. Il est associé à l'initiation et à la nouveauté au niveau de la maternelle (Ravanis, 2000). Pour l'école primaire, Pierrard (1993) expose le modèle d'enseignement de Britt-Mari Barth (Barth & Peretti, 2013) qui permet de repérer trois phases dans la construction de concepts scientifiques en classe. Dans ce modèle, au cours de la première phase d'observation-exploration, les élèves ont droit à l'erreur et l'enseignant est un guide qui donne des exemples et questionne.

Laugier et Padeloup (1994) décrivent un dispositif didactique sur la combustion et les transformations de la matière, au niveau de l'école primaire. La première phase de ce dispositif est mentionnée comme étant une phase d'exploration, pendant laquelle les élèves réalisent des manipulations expérimentales libres pour découvrir des faits nouveaux. Les auteurs qualifient cette étape d'« expérience-découverte », sans élaboration de protocole, ni d'hypothèse préalable. Les élèves utilisent le matériel librement, à l'intérieur d'une consigne ouverte, pour permettre ultérieurement la dévolution d'un problème par l'enseignant.

Schneeberger et Rodriguez (1999) emploient le terme d'exploration lors d'une caractérisation des stratégies de formulation de problème, par des élèves de première S, dans le cadre d'une investigation scientifique. Ils identifient des stratégies : exploratoire, sécuritaire, adaptative, défaitiste et celle pilotée par la manipulation. Dans la stratégie exploratoire, l'élève pose un problème dont il ne connaît ni la réponse, ni le mode de résolution.

Des notions d'exploration sont également mentionnées dans le cadre de la formation des maîtres à l'utilisation scolaire de l'informatique et de l'électronique (Vignes, 1993) ou dans l'utilisation de logiciels dans les activités expérimentales (Beaufils & Salamé, 1989).

Astolfi (1991) et Coquidé (1998) ont fait part de la nécessité de diversifier la nature des activités expérimentales, compte tenu de la survalorisation d'un seul mode didactique. Ils montrent l'importance de diversifier l'expérimental scolaire au moyen d'une alternative didactique fondée sur une notion d'exploration. Le terme d'exploration est alors utilisé relativement à une pratique expérimentale. Ainsi, Coquidé (1998) évoque l'exploration à l'intérieur d'une caractérisation des pratiques expérimentales. Se servant d'exemples de séances extraits de la littérature scolaire comme fondement empirique, elle explicite trois modes didactiques différents de pratiques expérimentales, dont l'articulation raisonnée soutient une formation scientifique (Coquidé, 2000) :

- Le mode de familiarisation pratique, axé sur l'activité de l'élève au cours d'une initiation scientifique ou bien à l'abord d'un nouveau sujet d'étude a pour buts, entre autres, de familiariser l'élève avec les objets, des phénomènes, de développer un questionnement scientifique et de constituer un référent empirique. Ce mode correspond à une exploration dans le sens d'une expérientiation.
- Le mode d'investigation empirique est axé sur la démarche de l'élève. Il a pour but d'initier à des démarches scientifiques. C'est le mode de l'investigation mettant en œuvre des éléments comme la problématisation, l'expérimentation, la conception puis la réalisation de protocoles, la communication, etc. Ce mode est celui de l'expérimentation.
- Le mode d'élaboration théorique ou « expérience-validation » contribue à la construction de concepts et à l'élargissement d'un référent empirique.

L'exploration est, par conséquent, reliée ici à deux concepts : le référent empirique et l'expérientiation.

3.3.2. Une expérientiation

Pour Coquidé (2000, p. 17), l'expérientiation est une des acceptions que revêt le terme polysémique d'expérience. L'expérientiation renvoie à l'expérience vécue alors que l'expérimentation est l'action de « *soumettre une hypothèse à l'épreuve de sa réalisation pratique* ». Ce concept d'expérientiation provient de la pensée de John Dewey et de la philosophie pragmatique (Coquidé, 2003). Labelle (2004) distingue l'expérimentation, qui consiste à recourir à des expériences méthodiques pour en tirer des leçons, apporter une preuve, etc., et l'expérientiation. Il définit l'approche expérientiée en éducation comme : « *la mise en œuvre d'une initiative pédagogique et didactique suggérée par l'intuition de la vie comme siège de l'existence qui la déborde* » puis « *l'étude rigoureuse et minutieuse d'un acte de la vie quotidienne pour expliciter cette intuition et transformer l'agir d'apprenance en pensée* » (p. 6).

3.3.3. Une contribution à la construction du référent empirique

La notion de registre de référent empirique a été construite dans le cadre d'une recherche sur la modélisation, afin de conceptualiser le registre de l'ensemble des éléments pouvant servir à l'élaboration d'un modèle (Martinand, 1986). Ce registre du référent empirique représente l'ensemble des objets, des phénomènes et des procédés pris en compte, par expérience directe ou par évocation, et des premières connaissances d'ordre pratique qui leur sont associées (Martinand, cité par Coquidé, 1998).

Ce concept de référent empirique est cohérent avec l'idée que l'élève doit se constituer une culture technique, matérielle, scientifique pour la mise en œuvre des modes d'expérimentation

ou d'expérience-validation. Tous les modes caractérisés par Coquidé (1998, 2000, 2003) n'ont pas le même statut ou la même place dans un itinéraire de formation scientifique. Le mode de familiarisation pratique est approprié à une initiation scientifique ou quand est abordé un nouveau sujet d'étude car il permet d'appivoiser un domaine pour initier un questionnement scientifique ou favoriser un apprentissage de techniques ou de savoir-faire au préalable de leur utilisation à l'intérieur d'une autre pratique expérimentale (Coquidé, 1998). Les modes des pratiques expérimentales sont reliés aux registres de rapport au monde et aux savoirs (Martinand, 1986 ; cité par Coquidé, Bourgeois-Victor & Desbeaux-Salviat, 1999).

En résumé, pour Coquidé, la notion d'exploration est associée à un mode didactique des sciences expérimentales axé sur l'expérimentation de l'élève. Il lui permet de se constituer ou de développer un référent empirique pour des apprentissages scientifiques.

3.3.4. Une réponse à une démarche expérimentale stéréotypée et survalorisée

La notion d'exploration est également construite en réaction au constat d'une survalorisation de démarches expérimentales stéréotypées et surreprésentées dans les pratiques expérimentales scolaires. C'est un objectif affiché chez Astolfi (1991), qui explique qu'il y a nécessité de caractériser différentes démarches pédagogiques en fonction de l'objectif fixé. Il propose, par conséquent, une caractérisation en quatre types, en se basant, d'un point de vue empirique, sur une analyse de séquences à l'école primaire, en géologie. Il distingue ces démarches en fonction de l'objectif didactique principal : exploiter une situation, maîtriser une méthode, acquérir des connaissances ou franchir un obstacle. Pour la séquence de découverte de quelques propriétés des roches, dont l'objectif est l'acquisition de démarches scientifiques (maîtriser une méthode), les élèves font d'abord une « *exploration sensorielle* » des roches. Les observations des échantillons, les discussions à propos de leurs sensations conduisent à un premier classement. L'étape suivante correspond à une « *exploration avec outils* », elle aboutit à une synthèse des comparaisons avec nouveau classement.

Chez Astolfi (1991), l'exploration est clairement une action faisant partie intégrante des démarches pédagogiques. Nous sommes au primaire, mais le référent empirique évolue aussi au fur et à mesure du cursus scolaire et l'exploration reste valable. Coquidé (2000) écrit que le mode de familiarisation pratique, essentiel à l'école primaire, l'est encore au secondaire, quand on aborde un nouveau sujet d'étude ou quand on propose du matériel, dont l'utilisation efficace nécessite la maîtrise de savoirs complexes (p. 152).

Coquidé (1998) montre aussi que les enseignants de biologie survalorisent l'expérimentation au détriment de situations d'exploration. En outre, les textes officiels concilient tout à la fois et amalgament différents types de démarches, ce qui n'est pas opératoire d'un point de vue pédagogique et renforce les conceptions enseignantes. Johsua (1989) fait le même constat

pour l'enseignement des sciences physiques. Ces résultats sont aussi cohérents avec ceux de Galiana (1999) qui met en évidence les pratiques expérimentales, ritualisées et stéréotypées, présentées dans les manuels.

Pour conclure sur les notions d'exploration en didactique des sciences, aucune ne correspond à un concept largement référencé et employé. La majorité des auteurs emploie le terme spécifiquement à leur recherche, pour un contexte bien particulier. A noter qu'Astolfi (1991) et Coquidé (1998) préconisent que l'expérimental ne se limite pas à l'application d'une démarche unique. Tous les articles, à l'exclusion de celui de Beaufils et Salamé (1989), évoquent des éléments concrets empiriques. Pour certains, la notion d'exploration est évoquée *a priori*, alors que chez Astolfi, Coquidé, Schneeberger et Rodriguez, les caractérisations dans lesquelles l'exploration est mentionnées sont établies *a posteriori* des études empiriques. Astolfi, Schneeberger et Rodriguez se basent sur des observations de séances en classe, Coquidé sur une analyse d'activités présentées dans des manuels scolaires.

3.4. L'exploration en didactique de l'éducation physique et sportive

En didactique de l'éducation physique et sportive, l'exploration est définie par Gaillard (2010) en tant qu'expérience corporelle libre pour amener l'élève à décentrer son attention sur le souci de performance, en se mettant à l'écoute des effets sensoriels de chaque mouvement. Pour Jay (2014), c'est vivre sa propre expérience en s'attachant au ressenti, au vécu et non au résultat et à la forme produite. En revanche, c'est le corps en mouvement et en relation qui est le lieu de l'expérience. Les élèves changent d'attitude par rapport à eux-mêmes : ils s'écoulent en agissant et se décentrent sur l'exigence de performance et la peur de l'échec. Cette attitude peut permettre un apprentissage progressif et harmonieux, non altéré par les tensions ou incoordinations qui sont révélatrices d'une attention désordonnée. De son côté, l'enseignant doit également se détacher du souci de voir les élèves rapidement efficaces, pour s'intéresser pleinement à leur expérience présente et aux informations rapportées. L'objectif est l'expérience pour elle-même. C'est une expérientiation pour apprendre à se tourner vers le présent, visant éventuellement sur le long terme la capacité sportive d'être en état de « *flow* », c'est-à-dire maintenir une attention particulière à son expérience corporelle, mais sans intention de contrôle, pour la réalisation de performances exceptionnelles.

Cinq thèmes sont très souvent associés aux notions d'exploration en ingénierie pédagogique et dans les champs de la didactiques des sciences et technologies et de la didactique de l'éducation physique et sportive : la liberté, la nouveauté / la découverte, l'expérimental / la technique, l'idée que l'exploration est essentielle mais qu'elle doit s'articuler ou être prolongée par une approche distincte.

Le tableau suivant (Tableau 1) représente les thèmes associés aux notions d'exploration selon

les différents auteurs.

	Auteurs	Thèmes relatifs aux notions d'exploration			
		Liberté d'apprentissage	Nouveauté, Découverte	Expérimental, Technique	Essentielle, importante mais pas suffisante
Ingénierie pédagogique	(Vivier, 1988)	x	x	x	x
	(Brogère, 1997)	x	x	x	x
	(Alemani, 1986)	x	x	x	x
	(Lahanier-Reuter, 2005)	x			
	(Bissonnette, Richard, & Gauthier, 2005)	x	x	x	x
	(Giordan, 1977)	x	x		x
	(Legendre, 1995)	x	x		
	(Doudin & Martin, 1999)			x	x
	(Green, Tones, & Manderscheid, 1996)				
	(Loarer, 1998)				
	(Cassie & Haché, 1998)				
Didactique des sciences et technologies	(Pierrard, 1993)		x		x
	(Vignes, 1993)	x	x	x	x
	(Beaufils & Salame, 1989)	x	x	x	x
	(Laugier & Padeloup, 1994)	x	x	x	x
	(Schneeberger & Rodriguez, 1999)			x	
	(Astolfi, 1991)	x	x	x	x
	(Coquidé, 1998)	x	x	x	x
	(Ravanis, 2000)		x		
Didactique de l'EPS	(Gaillard, 2010)	x	x		x
	(Jay, 2014)	x	x		x
	/21	14	15	11	14

Tableau 1. Thèmes des notions d'exploration, selon les auteurs, en ingénierie pédagogique en didactique des sciences et en didactique de l'EPS (x : présence du thème dans la notion d'exploration)

Les manières d'employer le terme d'exploration en éducation sont variées et nous considérons qu'il n'existe pas, actuellement, pour les niveaux du secondaire, d'appellation d'un concept unique d'exploration. Du moins, aucune présence d'un « construit » pluri-référencé n'est identifié dans les publications de moins de 30 ans. En revanche, le terme est employé à plusieurs reprises, en référence à des acceptions théoriques particulières. En règle générale, les auteurs emploient le terme sans interroger la possibilité de l'utiliser. Celui-ci fait alors figure ni d'un concept clef, ni d'un terme complètement propre au langage courant, par rapport auquel il conserve néanmoins nettement sa signification d'origine voire étymologique. Tout d'abord, certaines caractéristiques relativement communes sont associées à l'exploration dans les écrits francophones, comme la liberté, la nouveauté et la découverte, l'expérimental ou le technique. L'exploration est fondamentale mais pas suffisante pour une formation complète. Par rapport aux premiers sens communs que nous avons formulés au début de cette étude, les caractéristiques du questionnement ou du « chemin » exploré non organisé à l'avance, sont toujours présents. Enfin, l'on retrouve également l'idée que l'exploration constitue une expérience en elle-même et qu'elle est à la fois l'activité de l'apprentissage mais également la capacité à se développer dans cet apprentissage. L'exploration se retrouve toujours associée à la notion latine d'*experiri*, c'est-à-dire « éprouver, faire l'expérience de », également présente dans la terminologie de l'expérientiation. En ce sens, l'enjeu devient l'expérience en elle-même et il faut faire l'expérience de l'exploration afin d'acquérir et faire progresser la capacité à explorer. Par conséquent, de manière générale en éducation, nous définissons l'exploration comme un **apprentissage en soi par l'intermédiaire d'un espace libre d'expression corporelle ou de découverte.**

4. SYNTHÈSE DE L'EXPLORATION

Parmi l'ensemble des écrits de la littérature analysés, nous avons précédemment considéré :

- Le domaine des professionnels et scientifiques : l'exploration se définit comme une recherche de données sur un territoire donné pour l'élaboration de savoirs nouveaux, voire inattendus, sources d'avancées.
- La psychologie : nous avons constaté qu'il s'agit d'un comportement naturel et spontané pour la connaissance de soi et du monde qui permet la construction identitaire du sujet.
- L'éducation : nous l'avons caractérisée comme étant un apprentissage en soi par l'intermédiaire d'un espace libre, d'expression corporelle ou de découverte.

Cependant, une transversalité des domaines, que nous avons précédemment établie, est rapportée par Grotevant (1987), pour qui les explorations de la construction identitaire concernent tous les champs de la vie d'un individu, dont l'école fait partie. De plus, pour Stebbins (2001), l'exploration des sciences qui se font est avant tout mue par une disposition d'esprit empreinte d'une flexibilité et d'ouverture, plutôt qu'une méthodologie spécifique aux domaines des sciences. Par rapport à ces considérations, nous pensons qu'il existe des

contextes particuliers, des environnements différents (scientifique, professionnel, scolaire, « vie de tous les jours »), des cadres théoriques d'études, mais un cœur des notions commun. Tout d'abord, l'on ne peut pas réduire l'exploration à des champs d'action spécifiques. Celle-ci concerne aussi bien un territoire géographique ou moléculaire, des expériences quelles qu'elles soient, l'inconscient, des objets, des représentations scripturales, etc. De même, l'on ne peut la caractériser par rapport à des résultats spécifiques, compte tenu des « terrains » possiblement explorés, mais aussi parce que les acquis de l'exploration peuvent être fortuits.

L'ensemble de cette étude nous conduit à nous représenter **l'exploration comme étant associée à trois caractéristiques fondamentales :**

- **Elle revêt la caractéristique d'une ouverture sur le monde, ou tente de repousser les limites de la perception du sujet par rapport à lui-même.**
- **L'exploration en elle-même « transforme » l'individu.**
- **Elle est non contrainte et spontanée, associée à la liberté.**

Par rapport à ces caractéristiques fondamentales, nous proposons de formuler que **l'exploration est une expérience d'ouverture sur le monde qui questionne, instruit et construit l'individu mu par sa curiosité.**

5. BILAN DU PREMIER CHAPITRE

Le but de ce chapitre est d'apporter une définition à l'action d'explorer, étant donnée l'absence d'indications dans les textes prescrits dédiés au dispositif des enseignements d'exploration et la nécessité, pour les enseignants, de pouvoir se la représenter, lorsqu'ils élaborent leurs séquences dans le cadre de ce dispositif.

Nous constatons qu'actuellement, pour les niveaux du secondaire, il n'existe pas, à proprement parler, de concept d'exploration en éducation pluri-référencé dans les publications de moins de 30 ans. La très grande majorité des articles anglo-saxons, en ingénierie pédagogique, font référence au terme lorsqu'ils évoquent des cours choisis par les élèves mais, dans ce cas, l'exploration est considérée importante, sans toutefois être reliée à des fondements empiriques ou des définitions théoriques. Dans la littérature francophone, plusieurs notions présentent chacune leur spécificité tout en étant construites sur la base du langage courant, dont elles héritent une large part de leur signification. Ainsi, sont associées à l'exploration : la liberté d'apprentissage, la nouveauté et la découverte, l'expérimental ou le technique, le caractère essentiel mais non suffisant pour une phase d'enseignement particulière.

L'exploration est associée à l'expression de recherche exploratoire en sciences humaines et sociales. Sous ce vocable, elle désigne un type de recherche conceptualisé sur la base de deux éléments : d'une part, une recherche dont le contexte ou l'objet d'étude est suffisamment inédit pour qu'il ne présente que peu ou pas de données disponibles, d'autre part, elle implique un raisonnement inductif aboutissant à des généralisations sur la base des données limitées. Cependant, pour d'autres auteurs, l'exploration initie le déroulement de toute recherche, mais celle-ci demeure cachée, en n'étant pas relatée dans la littérature scientifique.

Une notion d'exploration existe en tant qu'activité cognitive élémentaire et a été construite sur la base de travaux en psychologie cognitive. Elle a fait l'objet d'une unique série d'importants travaux empiriques en sciences de l'éducation, pour l'enseignement secondaire, par D'Hainaut dans les années 1970 et 1980. Quelques travaux montrent que ces études sont poursuivies (Strebelle, Depover & Noël, 2001).

Des notions d'exploration sont associées à la théorie de l'attachement (Bowlby, 1988 ; cité par Palladino Schultheiss, 2005) et au concept de construction de l'identité, inventé par Erikson dans les années 50. Une des particularités de l'exploration, qui ne doit pas faciliter son emploi ou son adaptation, est que le terme est rattaché à plusieurs notions « jumelles », comme l'attachement ou celle de l'engagement. Il apparaît que ces concepts du champ de la psychologie, avec les notions d'exploration attenantes, sont utilisés dans le courant francophone et anglo-saxon des recherches en psychologie de l'orientation scolaire et

professionnelle.

Actuellement, avec l'évolution de la société dans une perspective postmoderniste, la multiplication des choix à faire dans les parcours scolaires et professionnels et l'allongement de la période exploratoire entre la période d'adolescence et adulte semblent mettre en avant la notion d'exploration en orientation, toujours en alliance fidèle avec la psychologie (Jacquin & Juhel, 2013 ; Savickas *et al.*, 2010 ; Palladino Schultheiss, 2005 ; Kracke & Schmitt-Rodermund, 2001, p. 141).

L'ensemble de cette étude nous conduit à envisager l'exploration, non pas de manière polysémique, mais plutôt comme pouvant admettre une définition fondamentale pour l'ensemble des notions évoquées et quels que soient les domaines où elles sont utilisées : **l'exploration est une expérience d'ouverture sur le monde qui questionne, instruit et construit l'individu mu par sa curiosité.**

CHAPITRE 2

L'EXPLORATION DANS LE CADRE D'UN DISPOSITIF D'ENSEIGNEMENT FACE AUX ENJEUX DE L'EDUCATION SCIENTIFIQUE

1. L'EXPLORATION FACE AUX ENJEUX DE L'EDUCATION SCIENTIFIQUE

L'exploration joue un rôle capital dans le développement des individus et c'est une composante nécessaire des apprentissages. Mais pour quelle raison favoriserait-on aujourd'hui en éducation cette activité, alors qu'elle n'a jamais vraiment été une priorité pour les politiques éducatives ? Pourquoi l'exploration se démarque-t-elle aujourd'hui, parmi l'ensemble des apprentissages jugés indispensables, afin de contribuer à l'éducation scientifique ? Répondre à ces questions exige avant tout de déterminer quels sont les enjeux de l'éducation scientifique. En quoi l'exploration peut-elle contribuer à l'éducation scientifique face à ces enjeux ? Les politiques éducatives ou la littérature scientifique, aux niveaux national et international, distinguent quatre enjeux principaux de l'éducation scientifique.

Un premier enjeu est de favoriser le développement d'une culture scientifique face à l'omniprésence croissante des sciences et des technologies dans nos vies de tous les jours, l'interrelation avec le développement économique et de rapprocher les élèves et le public des sciences qui se font. Pour cela, un deuxième défi à relever est de favoriser l'attitude des jeunes envers les sciences scolaires et le troisième enjeu est de susciter des vocations professionnelles de scientifiques ou d'ingénieurs. Enfin, un quatrième enjeu a trait à la gestion de l'orientation scolaire et professionnelle qui, sous sa forme traditionnelle, n'apparaît plus en

phase avec le monde actuel. Après la présentation de ces quatre enjeux d'éducation scientifique, nous proposons de discuter en quoi l'exploration peut contribuer à les « travailler ».

1.1. Premier enjeu : développer la culture scientifique

La transmission et le développement satisfaisant d'une culture scientifique auprès de l'ensemble des jeunes générations est une visée éducative régaliennne des organismes politiques aux échelles internationale, européenne et nationale, parce qu'elle est intimement reliée aux aspirations de développement économique. Par exemple, l'OCDE¹⁶ s'est donnée la mission de « *réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays membres, tout en maintenant la stabilité financière, et contribuer ainsi au développement de l'économie* » (OCDE, 1999, p. 2). Pour ce faire, elle milite pour un développement soutenu des technologies et des sciences, parce qu'il serait bénéfique à nos sociétés, en tant que générateur de développement économique (OCDE, 1998, 1999). Au niveau international, ce « modèle » impose donc de maintenir, voire d'accélérer les progrès des sciences et des technologies, afin de favoriser l'expansion économique et réciproquement. D'ailleurs, ces interactions entre les sciences, les technologies et la société provoquent, depuis plusieurs dizaines d'années, de nombreuses mutations, auxquelles nous assistons et qui n'auraient même jamais été aussi fortes qu'aujourd'hui (Wolton, 2012). C'est dans ce paradigme pour une économie prospère et dynamique, que l'OCDE met en avant l'exigence d'une éducation aux sciences et aux technologies qui soit en mesure de préparer à vivre dans une société moderne, dans laquelle les futures générations pourront prendre une part active (OCDE, 2014).

De plus, pour Brandt-Pomarès et Lhoste (2013), il y a lieu non seulement de favoriser les processus d'acculturation aux sciences et aux technologies, mais aussi de rapprocher les élèves et le public des sciences qui se font. Ainsi, les connaissances des savoirs institués des disciplines académiques doivent se doubler de savoirs sur la nature des sciences, en tant que domaine également fondamental relevant de la culture scientifique que chaque citoyen doit posséder (Maurines & Beaufils, 2011 ; Maurines, Gallezot, Ramage & Beaufils, 2013).

Il s'avère, néanmoins, que cette mission de déployer une culture scientifique auprès des jeunes générations apparaît d'autant plus périlleuse et impérieuse aujourd'hui, compte tenu du contexte sociétal préoccupant à l'international, comme le soulignent ces mêmes institutions politiques. Les nouvelles générations semblent se détourner des filières et des carrières scientifiques. Par exemple, dans le rapport de Rocard *et al.* (2007), il est mentionné, comme conséquences à ce désintérêt pour les sciences et les technologies, que « *si des mesures plus efficaces ne sont pas adoptées, la capacité d'innovation à long terme de l'Europe, ainsi que*

¹⁶ Organisation de Coopération et de Développement Economique

la qualité de sa recherche, sont également appelées à décliner (...) l'acquisition de compétences désormais essentielles aux activités quotidiennes dans une société de plus en plus dépendante de l'utilisation des connaissances, est également soumise à une menace grandissante » (p. 2). Autre exemple, en France, cette question a fait l'objet, en 2006, d'un rapport d'information déposé par la commission des affaires culturelles, familiales et sociales sur l'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire de l'Assemblée Nationale (article 145)¹⁷. Dans ce document, la première partie dresse un « portrait », sans aucune nuance, en titrant : « *La désaffection des jeunes pour les études scientifiques : un problème mondial* » (p. 11)¹⁸. Mais alors que des politiques, à tous les niveaux, se sont emparés de la question et sont animés par une forme d'inquiétude, que disent les résultats des recherches scientifiques sur ce point ? Les intentions qui iraient de paire avec une prospérité économique dans notre société (OCDE, 1998, 1999) sont-elles menacées par une disposition contraire des jeunes à s'investir dans les apprentissages scientifiques et à embrasser des carrières scientifiques ?

1.2. Deuxième enjeu : améliorer l'attitude des jeunes envers les sciences

Le concept scientifique d'attitude envers les sciences peut être utilisé pour apprécier la légitimité des inquiétudes constatées précédemment par les organismes politiques. Celui-ci admet deux sous-ensembles distincts, selon que soient considérées les sciences qui se font ou les sciences des enseignements scolaires. Il intègre, selon les méthodologies des recherches, une variété d'indicateurs dans chacun de ces deux sous domaines précédemment cités¹⁹. Ainsi, les résultats des études sur les relations qu'entretiennent les jeunes avec les sciences et les technologies ne vont, effectivement, pas dans le sens préconisé et espéré par des organismes internationaux, tels l'OCDE (1998, 1999, 2014) ou la Commission Européenne (2015)²⁰. Ces études mettent en avant une contradiction alarmante sur l'attitude des jeunes envers les sciences. Pour Plumelle (2008), qui se base sur l'enquête PISA de 2006, réalisée auprès de plus de quatre-cent mille élèves dans cinquante-sept pays, dont les trente pays membres de l'OCDE, la majorité des élèves déclare accorder une « *grande valeur* » aux

¹⁷ Le rapport de l'Assemblée Nationale (2006) est accessible sur <http://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3061.asp>

¹⁸ Le rapport de l'assemblée nationale s'inspire du rapport européen : « *L'Europe a besoin de scientifiques : un plan d'action communautaire* » de la Commission européenne (2004) sur http://europa.eu/rapid/press-release_IP-04-444_fr.htm

¹⁹ Venturini (2004) cite parmi les indicateurs relatifs aux sciences : l'intérêt pour les sciences ou certains domaines scientifiques, la notion de valeur ou d'importance relative aux sciences, l'image des sciences ou de la communauté scientifique, la perception de l'utilité des sciences dans le futur, etc. Parmi les indicateurs relatifs aux sciences à l'école, il énumère : l'intérêt pour l'étude des sciences, ou pour certains sujets, la motivation en cours de sciences, la difficulté à étudier les sciences, l'anxiété générée par cette étude, la confiance en soi vis-à-vis des études scientifiques, la perception des enseignants scientifiques, etc. (p. 98).

²⁰ Lire, par exemple, la traduction partielle en français du rapport du groupe d'experts de la commission européenne (Grangeat, 2015). Le rapport complet est disponible sur : http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_science_education/KI-NA-26-893-EN-N.pdf

sciences²¹. Mais, pour une proportion importante d'entre eux, dans des pays comme la France et le Royaume-Unis, ils ne considèrent pas que les avancées des sciences et des technologies soient porteuses de progrès sociaux. Pour Plumelle, les résultats de l'enquête PISA apportent des éléments de réflexion en pointant un paradoxe : alors que les élèves ont une attitude positive vis-à-vis des sciences qui se font, ils sont moins nombreux à les considérer comme importantes pour eux, et une minorité d'entre eux envisage de s'engager dans une filière scientifique, même si leurs résultats dans ces matières sont bons. Sur la base de nombreuses recherches empiriques, publiées entre les années 1990 et le milieu des années 2000, Venturini (2004) estime que, malgré la variété des méthodologies employées dans les différentes recherches, existe une tendance de fond partagée : les jeunes auraient une attitude plutôt positive envers les sciences dans la société en général, mais une attitude plutôt négative envers les sciences à l'école. C'est-à-dire qu'ils accordent de la valeur aux sciences et pensent que c'est un sujet important pour l'école, sans qu'ils soient pour autant désireux d'en étudier davantage. L'enseignement des sciences et des technologies serait ainsi jugé peu attrayant et trop difficile. Le Hebel, Montpied et Fontanieu (2014) font un constat un peu plus mitigé sur les représentations de l'utilité des sciences dans la société, car les élèves de quinze ans en France (ce constat est valable aussi pour quarante-quatre autres pays développés) reconnaissent l'importance des sciences et des technologies dans la société, mais expriment un certain scepticisme vis-à-vis des sciences et des technologies sur trois points : les effets nuisibles, la dimension sociale et la confiance envers les scientifiques. Du point de vue des sciences à l'école, ils rejoignent Venturini, sur le fait que les disciplines scolaires, qui les représentent, sont mal-aimées et perçues comme les disciplines les plus difficiles. Selon Montpied, Hiolle, Gras et Tiberghien (2011), les affects vécus et exprimés dans les attitudes des élèves, à l'égard des sciences enseignées, sembleraient même avoir des conséquences négatives sur les attitudes envers les sciences dans la société. Néanmoins, subsiste toujours cette contradiction apparente notée par Plumelle (2008) : les élèves ont globalement une attitude positive vis-à-vis des sciences dans la société, mais sont moins nombreux à les considérer importants pour eux. D'après Venturini (2009), qui développe deux autres champs en plus des attitudes, le rapport aux savoirs et la motivation à apprendre les sciences en milieu éducatif, les études analysées n'évoquent pas de crise idéologique à l'égard des sciences, mais le principal facteur à incriminer serait la nature de l'enseignement dispensé. Les élèves n'auraient qu'une perception scolaire des savoirs enseignés, sans possibilité qu'ils puissent se représenter leur fonction sociale, les aspects applicatifs et les relations avec leur vie quotidienne. Les sciences en classe, et de façon plus prononcée les sciences physiques, seraient trop théoriques et non contextualisées.

Cette explication, mettant en cause les enseignements dispensés, serait à mettre en perspective avec le concept de *conscience disciplinaire* de Reuter (2007) et Cohen-Azria (2008). Néanmoins, ces auteurs envisagent plutôt les spécificités propres à chacune des disciplines

²¹ Pourcentage des élèves qui valorisent les sciences (Plumelle, 2008 ; p.2)

scolaires et pensent que le vécu des élèves à l'école et les émotions ressenties sont fondamentales pour expliquer leur implication dans telle ou telle discipline. Montpied *et al.* (2011) ont mis en évidence six profils d'élèves, parmi lesquels un regroupe des élèves ayant des vécus scolaires qui induisent des états de l'affect négatifs, déstabilisants et laissant ces élèves en proie à des frustrations au niveau des besoins psychologiques. Le vécu scolaire expliquerait principalement la perception négative des élèves à l'égard des sciences scolaires. Pour être convaincu de l'importance de la nature des enseignements et/ou de la pédagogie dispensée, il suffirait de se rendre compte que les élèves apprécient beaucoup plus les activités expérimentales ou de terrain que les activités écrites ou celles de formalisation théoriques. En première approximation vis-à-vis de ces écrits, il n'y aurait qu'un lien simple de causalité entre l'attitude négative envers les sciences scolaires et l'enseignement reçu et les élèves feraient des sciences pas nécessairement par goût mais de façon utilitariste, en vue de l'obtention du diplôme convoité (Venturini, 2009).

D'après ces travaux, les systèmes éducatifs sensés donner à chaque jeune une culture scientifique, à la hauteur des enjeux économiques espérés, se heurtent, dans le monde occidental, à une dégradation de l'attitude, de la motivation envers les sciences et des technologies, au fur et à mesure que les élèves gravissent les niveaux du cursus scolaire, notamment après l'entrée dans le secondaire et, de façon plus prononcée, pour les sciences physiques et la chimie (Venturini, 2004). Les études sur les attitudes, les rapports aux savoirs ou la motivation sont relayées par d'autres recherches, portant sur les choix d'orientation : l'attitude envers la discipline et la motivation seraient les deux valeurs fondamentales qui concourraient à la prise de décision de l'orientation (Montpied *et al.*, 2011). Est-il possible d'admettre que seule l'attitude envers les sciences à l'école et la motivation à s'investir dans les apprentissages soient à l'origine de cette désertion constatée par les politiques ? Nous considérons qu'évoquer une désaffection pour les filières et carrières scientifiques, sur la seule base des résultats des recherches en éducation, conduit à des conclusions qui peuvent apparaître réductrices au regard d'un phénomène susceptible d'être impacté par d'autres causes que celles inhérentes au contexte scolaire exclusivement. De même, les politiques qui ont fondé leur discours sur des données quantitatives, en valeur absolue et sans discernements des différentes filières scientifiques, ont été amenées à des conclusions elles-aussi simplificatrices et partiellement erronées. Nous proposons d'ouvrir le champ à d'autres disciplines scientifiques. La désaffection des jeunes pour les sciences est-elle avérée ? Est-il raisonnable de penser que la nature des enseignements dispensés en est le principal facteur ?

1.3. Troisième enjeu : susciter des vocations professionnelles de scientifiques et d'ingénieurs

Ces conclusions sont controversées dans une autre partie de la littérature qui inclue, entre autres, des écrits de la sociologie de l'éducation, parce qu'elles ne prennent pas en compte

l'ensemble des données sociétales. Des chercheurs proposent des conclusions minimisant, plus ou moins, l'influence de l'expérientiel scolaire et des attitudes sur les choix d'orientation. Par exemple, pour Boilevin et Ravanis (2007), il n'existe pas, à proprement parler, en France, de désaffection pour les sciences, mais plutôt une désaffection pour les disciplines académiques traditionnelles, au profit des filières supérieures professionnalisées. Il existe, effectivement depuis 1995, une diminution, en valeur relative, des effectifs d'étudiants en sciences avec une tendance plus accentuée en sciences physiques et chimie, et en mathématiques. Mais cette tendance n'est pas observée dans les filières de médecine et de santé, ni dans les Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles scientifiques ou écoles d'ingénieurs, ni dans les Instituts Universitaires de Technologie. Une diversité de facteurs concourrait à la désaffection des sciences des disciplines traditionnelles académiques, parmi lesquels, entre autres, des facteurs idéologiques tels l'image dégradée des sciences ou celle des scientifiques qui serait désuète et éloignée de la réalité, des facteurs socio-économiques comme la méconnaissance des débouchés et carrières possibles, la difficulté de la carrière de chercheur, la mauvaise image des professions scientifiques et technologiques et la faible attractivité ou rémunération des carrières scientifiques. Par conséquent, Boilevin et Ravanis soutiennent implicitement la thèse selon laquelle les facteurs pédagogiques ne seraient qu'un élément d'une prétendue désaffection qui ne serait pas complète, mais réservée aux filières théoriques universitaires de sciences physiques, chimie et mathématiques.

Le sociologue Convert (2005a) n'est pas non plus d'accord avec l'idée d'une désaffection pour les sciences, puisqu'au niveau du lycée d'enseignement général, la série scientifique continue à bien se porter mais, au contraire, l'hémorragie porte sur la filière littéraire. Par ailleurs, au niveau supérieur, les inscriptions sur les bancs de l'université dans les filières de sciences physiques et chimie chutent (Convert & Gugenheim, 2005) car les bacheliers scientifiques optent massivement vers les études d'ingénieurs, d'informaticiens, de financiers, de techniciens, de médecins, de kinésithérapeutes, d'infirmiers ou d'autres professions paramédicales (Convert, 2005b). Selon le sociologue, la prétendue désaffection pour les études scientifiques n'est pas majoritairement reliée à l'image qu'auraient des sciences les jeunes générations, mais serait la conséquence du contexte socio-démographique (Convert, 2003). Cette tendance serait un mouvement de fond ancien, qui aurait été masqué par la très forte croissance du nombre de bacheliers scientifiques (Convert, 2006). En effet, entre 1985 et 1995, les filles, les élèves scolairement moyens et ceux d'origine modeste ont été sans cesse plus nombreux à préparer un bac scientifique (Convert, 2003). Or ces élèves ont une propension moindre à opter pour les études supérieures scientifiques longues (Durut-Bellat & Kieffer, 2000, cités par Convert, 2003). Ce phénomène a été associé aussi à une multiplication de filières courtes et professionnalisantes à l'université. Quand, à partir de 1995, on a assisté à une diminution générale de la population des étudiants accompagnant celle du vivier des candidats aux concours d'enseignement des disciplines scientifiques, ceux-ci ont continué à s'inscrire dans les nombreuses filières sélectives et professionnalisantes à caractère

technologique, considérées moins difficiles et plus rentables que les filières supérieures universitaires qui se sont vues alors désaffectées (Convert & Gugenheim, 2005). Les professions de chercheur ou de médecin conservent une très bonne image auprès des jeunes. Si les bacheliers scientifiques s'engagent de moins en moins dans les études scientifiques universitaires, c'est qu'elles paraissent trop difficiles, trop longues et que le ratio effort consenti / rémunération espérée est trop faible (Convert, 2005b). Ce phénomène de chute des effectifs, dans certaines des filières scientifiques universitaires, est aussi à relier au fait que les bacheliers se replient sur les universités parfois par défaut, après les filières sélectives des Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles, des Instituts Universitaires de Technologie ou d'autres formations professionnalisantes à caractère technologique (Convert & Gugenheim, 2005). Les sociologues Béduwé, Fourcade, Giret, et Moullet (2007) partagent les analyses de Convert, selon lesquelles il existe de nombreuses possibilités de s'orienter vers des formations spécialisées sélectives (licences professionnelles, masters spécialisés, etc.) pour les étudiants qui ne souhaitent pas s'inscrire en licence de sciences physiques ou de chimie à l'université. La désaffectation toucherait bien, en France, le premier cycle universitaire scientifique, que les meilleurs bacheliers contournent. Par conséquent, ce sont de moins bons étudiants qui vont, par défaut, se retrouver dans les filières théoriques scientifiques les plus longues. Pour ces auteurs, la question est moins celle d'agir sur l'attitude des jeunes envers les sciences, que de valoriser les premiers niveaux universitaires scientifiques. Comment attirer les jeunes vers les sciences fondamentales et augmenter la qualité du vivier d'étudiants ?

1.4. Quatrième enjeu : favoriser l'orientation active

L'orientation est une préoccupation ancienne des politiques éducatives, puisqu'à la fin des années 1960 et dans les années 1970, sont mis en place, en France, des services publics comme par exemple les Centres d'Information et d'Orientation (CIO), l'Office National d'Information sur les Enseignements et les Professions (ONISEP), destinés à l'accompagnement des élèves et des étudiants. Néanmoins, les années 2000 ouvrent la voie à des transformations significatives de cette action publique de l'orientation, sous l'influence de diverses initiatives de l'Union Européenne et de l'OCDE, visant à instaurer une formation puis une orientation tout au long de la vie (Borras & Romani, 2010). En 2004, l'OCDE publie un rapport spécialement dédié à la question de l'orientation et intitulé : « *Orientation professionnelle et politique publique : comment combler l'écart* »²². Celui-ci présente les résultats d'un examen des politiques d'orientation professionnelle. Traditionnellement, l'aide à l'orientation scolaire est apportée aux jeunes, au moment où ils quittent le système scolaire et lorsqu'ils sont contraints de prendre des décisions pour le choix d'une profession ou d'une formation. Ces modalités d'aide se matérialisent, en général, par des entretiens ponctuels, réalisés en face à face, avec un professionnel de l'orientation scolaire, qui ajuste les informations et conseils au « profil » pressenti du sujet. Cependant, aujourd'hui, d'après le

²² <https://www.oecd.org/fr/edu/innovation-education/34050180.pdf>

rapport, cette manière d'envisager l'orientation comporterait des « lacunes » (p. 26) puisqu'elle ne viserait pas à favoriser chez les jeunes le développement de compétences pour la gestion de leur carrière. Ces derniers étant, dans ces entretiens, plutôt en situation de receveur d'informations. Aujourd'hui, au contraire, il est préconisé que les jeunes soient encouragés à acquérir un comportement exploratoire vis-à-vis des questions relatives à leur orientation, à entreprendre eux-mêmes une démarche de recherche d'informations, à rechercher par eux-mêmes les filières possibles et vers lesquelles se diriger. Plusieurs arguments étayaient cette volonté de favoriser, chez les jeunes, une attitude tournée vers la prise en charge des questions relatives à leur avenir scolaire et/ou étudiantin puis professionnel et que nous qualifions d'orientation active. Par exemple, le Conseil de l'Union Européenne du 21 novembre 2008 estime que l'allongement de la durée de la vie active requière une adaptation des compétences individuelles, afin de mieux anticiper les évolutions prévisibles ou nécessaires des contextes professionnels. En outre, le rapport stipule que les citoyens doivent pouvoir également développer leur parcours d'apprentissage et leur parcours professionnel dans un cadre géographique élargi. Autre élément de l'argumentaire européen : les citoyens sont susceptibles d'être de plus en plus impactés par des phases de transitions qui interviennent dans leur vie, entre l'enseignement scolaire et l'enseignement supérieur, entre deux emplois, ou à cause d'une période de chômage, etc. Dans le cadre institutionnel européen, une nouvelle définition de l'orientation est, par conséquent, arborée en tant que « *processus continu qui permet aux citoyens, à tout âge et tout au long de leur vie, de déterminer leurs capacités, leurs compétences et leurs intérêts, de prendre des décisions en matière d'éducation, de formation et d'emploi et de gérer leurs parcours de vie personnelle dans l'éducation et la formation, au travail et dans d'autres cadres où il est possible d'acquérir et d'utiliser ces capacités et compétences. L'orientation comprend des activités individuelles ou collectives d'information, de conseil, de bilan de compétences, d'accompagnement ainsi que d'enseignement des compétences nécessaires à la prise de décision et à la gestion de carrière* » (Journal officiel de l'Union européenne, 2008)²³. Dans le cadre français, l'avis présenté à l'Assemblée nationale, au nom de la commission des affaires culturelles, familiales et sociales sur le projet de loi de finances pour 2008 (n° 189)²⁴, réaffirme le rôle des enseignants, au côté des conseillers d'orientation psychologues, dans la préparation des élèves à leur poursuite des études.

1.5. L'exploration face à ces enjeux

Mais que peut l'exploration face à ces enjeux ? Tout d'abord, pour Stebbins (2001), l'exploration est un processus fondamental des sciences qui se font, en étant l'activité du chercheur au cours de la première phase non codifiée et désorganisée de la recherche scientifique. Plus qu'une méthodologie de recherche, l'exploration est la conséquence d'une

²³ [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:42008X1213\(02\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:42008X1213(02))

²⁴ <http://www.assemblee-nationale.fr/13/budget/plf2008/a0277-tIV.asp>

disposition d'esprit du chercheur et le comportement exploratoire fait donc figure de pilier de l'esprit scientifique. L'exploration étant indissociable des sciences qui se font, il pourrait en être de même dans l'éducation scientifique. Elle fait partie des caractéristiques fondamentales des sciences qui doivent intégrer les représentations sur la nature des sciences des chercheurs en éducation et des élèves. Mais, d'un point de vue différent, nous pensons aussi que l'exploration est une attitude à acquérir et qu'elle doit donc entrer dans le cadre d'une « éducation à... ». Comment favoriser cette attitude d'exploration chez les jeunes si ce n'est en leur permettant d'explorer ? Astolfi (1991) considère que l'exploration améliore les apprentissages, lorsqu'elle est mise en place pour les élèves et considérée au sein d'une diversité d'approches pédagogiques différentes. De même, pour Coquidé (1998, 2000), l'exploration concourt à l'éducation scientifique, en articulation raisonnée avec les modes de l'élaboration théorique et de l'investigation empirique. Pour ces chercheurs, l'exploration est trop souvent négligée.

Mettre en œuvre des activités d'exploration favoriserait l'acquisition des savoirs scientifiques et nous considérons que, dans le même temps, ces expériences d'exploration permettraient aux élèves de se forger une attitude d'explorateur. Cette attitude dépasserait les clivages disciplinaires et s'appliquerait dans la transversalité à tous les domaines, y compris en dehors de l'école. Par conséquent, elle présente une importance de premier plan du point de vue de l'orientation, en donnant aux élèves l'attitude qu'il convient afin de prendre une part active dans la gestion de leur orientation, vis-à-vis de la masse des informations sur les filières disponibles, du cadre géographique élargi, etc. De plus, d'un point de vue psychologique, la prise d'engagements chez les personnes est tributaire du statut identitaire, pour Marcia (1993) qui caractérise quatre profils entre l'identité diffuse, prescrite, le moratoire et l'identité réalisée. Par conséquent, l'orientation est davantage susceptible de réussir au sujet, si celui-ci est au stade du statut réalisé caractérisant une personne qui prend ses engagements de manière suffisamment mature, pour que ceux-ci correspondent à sa personnalité. Cette construction identitaire est, selon Grotevant, (1987) le fruit de nos explorations. Donc favoriser l'exploration permet de forger l'attitude qui convient, afin de construire son identité et pouvoir prendre les engagements les plus cohérents.

D'après Reuter (2007) et Cohen-Azria (2008), le vécu des élèves à l'école et les émotions ressenties sont des éléments qui permettent d'expliquer leur implication dans telle ou telle discipline. De même, pour Montpied *et al.* (2011), des élèves ont des vécus scolaires qui induisent des états de l'affect négatifs et ce vécu scolaire expliquerait la perception négative à l'égard des sciences scolaires. Face à ce constat, concernant une partie des élèves dans le cadre scolaire, l'exploration, telle qu'elle est définie en didactique, présente des avantages parce qu'elle peut contribuer à produire un vécu scolaire et un affect plus positif. Celle-ci fait appel à la kinesthésie intuitive et spontanée, dont l'objectif est l'expérience vécue chez Gaillard (2010). Dans cette expérimentation, nulle idée de performance, ni de résultats pour eux-mêmes pouvant générer des tensions et être contreproductifs. L'attitude envers les

sciences serait alors favorisée par des explorations dans le cadre des disciplines scientifiques.

Par ailleurs, en relation avec l'enjeu de susciter des vocations professionnelles scientifiques, contrairement à la situation actuelle où les sciences sont plébiscitées avec notamment un remplissage des filières courtes professionnalisantes (Convert & Gugenheim, 2005), l'exploration peut contribuer à l'engagement vers les filières longues, dont celles délaissées actuellement. Nous proposons deux piliers pour former des profils affirmés de scientifiques qui souhaiteront s'engager de manière durable dans les sciences, en choisissant des filières longues menant à des carrières de scientifiques et d'ingénieurs de haut niveau : d'une part, travailler sur l'affect, sur l'attitude des élèves, afin qu'ils se représentent les sciences en tant qu'activité positive au moyen des modes didactiques dont l'exploration. D'autre part, permettre des explorations dans des contextes scientifiques professionnels, pour informer et intéresser sur les filières et les carrières. Cette proposition est en phase avec le dispositif des enseignements d'exploration, qui offre de nombreuses possibilités dont on peut tirer parti. Nous proposons, dans la partie qui suit, de présenter ce dispositif. La description qui en est faite au niveau des textes prescrits est-elle cohérente avec son objectif affiché d'exploration ? Est-il un cadre propice à l'exploration, telle que nous l'avons définie, afin de présenter une solution face aux enjeux de l'éducation scientifique ?

2. LE DISPOSITIF DES ENSEIGNEMENTS D'EXPLORATION

Un cadre curriculaire pour l'exploration existe en France depuis l'instauration, en 2010, du « nouveau lycée », caractérisé par une volonté affichée de mieux orienter, mieux accompagner et favoriser la responsabilité des lycéens²⁵ (Ministère de l'éducation nationale, 2010c). Ainsi, la classe de seconde générale et technologique est conçue comme une classe de détermination. Elle est accompagnée, en cela, par l'instauration de nouveaux dispositifs²⁶ qui sont mis en œuvre par les enseignants, mais se différencient des enseignements « classiques ». Parmi ces dispositifs, celui des enseignements d'exploration (EE) vise à faire découvrir de nouvelles disciplines, ainsi que les études supérieures et les domaines professionnels vers lesquels elles ouvrent. Les élèves suivent, au minimum, deux enseignements d'exploration, dont un qui a trait obligatoirement à l'économie, mais ils choisissent le deuxième parmi les EE proposés au sein de leur lycée²⁷. Ce dispositif n'explicité pas la notion d'exploration, par

²⁵ Les expressions : « Mieux orienter », « Mieux accompagner chaque lycéen » et « Mieux s'adapter à son époque » sont les trois points clef mentionnés dans le document explicatif du ministère de l'éducation nationale : http://media.education.gouv.fr/file/reforme_lycee/91/8/Nouveau-lycee-Reperes-pour-la-rentree-2010_133918.pdf

²⁶ Parmi ces dispositifs, celui d'accompagnement personnalisé ambitionne que chaque élève puisse disposer d'un temps consacré à l'élaboration de son projet d'orientation. Le dispositif de tutorat permet d'accompagner l'élève dans son choix d'orientation.

²⁷ Il y a 16 EE mentionnés sur le lien : <http://www.education.gouv.fr/cid52692/les-enseignements-nouvelle-seconde.html>. Cette offre globale est sans doute exhaustive, car le nombre des EE dépend en fait de l'offre éducative au sein de chacun des lycées.

conséquent, nous nous demandons : permet-il vraiment aux élèves d'explorer ?

2.1. Une nouveauté dans le curriculum français

Trois visées institutionnelles sont associées aux EE :

- « *faire découvrir des champs disciplinaires de connaissances et les méthodes associées* »²⁸,
- « *informer sur les cursus possibles au cycle terminal et dans le supérieur* »,
- « *permettre l'identification des activités professionnelles auxquelles ces cursus peuvent conduire* »²⁹.

Une particularité des textes prescrits de ce dispositif est qu'il ne préconise pas un centrage particulier sur des contenus d'enseignement relatifs à une discipline universitaire ou même à l'orientation. L'accent est mis sur les « démarches » et/ou « les méthodes », comme l'atteste les extraits des textes suivants : « *Les élèves explorent les démarches, les méthodes, les exigences des domaines concernés, à travers des activités, des thématiques ou des questionnements concrets* » (Encart du Bulletin officiel spécial n°4 du 29 avril 2010)³⁰, « *Les enseignements d'exploration visent à faire découvrir aux élèves des enseignements caractéristiques des séries qu'ils seront amenés à choisir à l'issue de la classe de seconde générale et technologique, ainsi que les études supérieures auxquelles ces séries peuvent conduire* » (Ministère de l'Education Nationale, 2016a)³¹. Ces instructions ministérielles préconisent une découverte des filières d'études et des activités professionnelles pour le choix de carrières. C'est-à-dire que les élèves n'abordent pas directement des contenus d'enseignement portant sur l'orientation et les carrières, mais cette exploration se ferait par l'intermédiaire, entre autres, de « démarches » spécifiques afin que les élèves puissent avoir la possibilité de se représenter des filières de l'enseignement supérieur et/ou des activités caractéristiques de professions.

Une ambiguïté est constatée dans l'expression « *faire découvrir des champs disciplinaires de connaissances* », exprimée dans la première des visées formulées, parce que le terme de connaissances semble avoir été usurpé à celui de savoirs si nous nous référons, par exemple, au dictionnaire des concepts fondamentaux en didactique (Reuter *et al.*, 2010). Alors que les savoirs sont dépersonnalisés, décontextualisés et, dans une certaine mesure, « objectivés », les connaissances sont construites par le sujet et correspondent donc à un « point de vue » intériorisé. En référence à cette précision apportée aux significations des notions de connaissances et de savoirs, il apparaît que soit le verbe d'action de découverte de

²⁸ D'après <http://www.education.gouv.fr/cid52692/les-enseignements-nouvelle-seconde.html>

²⁹ *Ibid.*

³⁰ Ministère de l'Education Nationale (2010d) sur <http://www.education.gouv.fr/cid51337/mene1000408x.html>

³¹ Arrêté du 27 janvier 2010 relatif à l'organisation et aux horaires de la classe de seconde des lycées d'enseignement général et technologique et des lycées d'enseignement général et technologique agricole - Article 4 - accessible sur le site : <https://www.legifrance.gouv.fr/>

l'expression « *découvrir des connaissances* » de cette visée des EE est peu adapté, soit c'est le terme de connaissances qui n'est pas à sa place ; l'élève ne découvrant pas des connaissances extérieures à lui-même, mais les construisant. Nous pensons que les termes de savoirs et de contenus - même s'ils sont employables avec l'idée d'une découverte par le sujet - apparaissent néanmoins réducteurs, eut égard à un dispositif qui a été spécialement conçu avec une finalité d'orientation pour les élèves.

En outre, qu'est-ce qu'un « *champ disciplinaire* » mentionné dans la première visée et associé à des savoirs et méthodes ? Le terme de champ semble figurer un élargissement relatif à une discipline académique, qui serait elle-même en lien à certains domaines professionnels. Il est possible que l'enseignant doive cibler, pour la classe, des savoirs et des méthodes spécifiques de professions choisies, parmi un spectre diversifié et large. Cependant, alors que les enseignements traditionnels comportent des contenus, parmi lesquels des savoirs, des savoir-faire, et qu'ils visent la construction de connaissances et de compétences chez les élèves, nous pensons également que le dispositif des EE pourrait, de manière explicite, ajouter à ces objets d'enseignements, l'ensemble des éléments imaginés qui composent la culture d'une profession, telles que les habitudes, les activités sociales, les attitudes et les valeurs.

Cet élargissement des visées apparaît nécessaire à la lumière des constats sur la mise en œuvre du dispositif et les représentations qu'en ont les enseignants, habitués à des contenus plus formels. Par exemple, l'étude qualitative de Richit (2014), entreprise dans le cadre de l'EE des principes fondamentaux de l'économie et de la gestion, remarque qu'une enseignante se sent incompétente, car elle aborde bien des métiers et professions dans le cadre de son enseignement, mais elle ne parle pas de l'orientation des élèves et de leurs propres compétences. Selon Richit, plusieurs difficultés expliquent les ressentis, plutôt négatifs, lors de la mise en pratique du dispositif, lorsqu'on interroge l'enseignante sur son aide apportée à l'orientation des élèves. Tout d'abord, la présence de la conscience disciplinaire (Reuter, 2007 ; cité par Richit) favoriserait l'amalgame entre les savoirs disciplinaires et les compétences professionnelles pour enseigner l'orientation. L'enseignante ne se considère pas formée et dit ne pas savoir comment faire pour traiter de l'orientation. En outre, l'expression « enseignement d'exploration » des instructions officielles serait peu cohérente avec ses visées d'une éducation à l'orientation, relevant finalement plus du champ des attitudes que des savoirs formels, implicitement sous-entendus dans le terme d'enseignement. Pour Richit, peu d'éléments sont exprimés dans les textes prescrits quant aux moyens de parvenir aux visées affichées, concernant l'orientation des élèves et permettant aux enseignants de mieux cibler les attentes. Nous pensons que, dans le cadre spécifique de ce dispositif dédié à l'orientation, une prescription exprimant une ouverture du champ des possibles qui ne se limite pas aux « objets » d'enseignement traditionnels, mais l'étend à l'ensemble de la culture d'une profession en question, correspondrait à un objectif plus en phase avec les objectifs institutionnels des EE.

Cependant, du point de vue des intentions, le dispositif des enseignements d'exploration apparaît particulièrement en phase avec les enjeux de l'éducation scientifique et ce constat est cohérent avec celui de Rey (2014), qui évoque une « prise de conscience », au niveau décisionnel, conduisant à diversifier le curriculum, en y incorporant des contenus de l'éducation qui ne font pas directement référence à des savoirs tels qu'ils sont consacrés à l'université. Du point de vue de la sociologie du curriculum, ces modifications dans la manière de percevoir l'éducation des jeunes générations contrastent fortement avec la culture de notre pays au vu de caractérisations effectuées des curricula existant à l'international. Pour Forquin (2008), qui développe l'approche de Holmes et McLean (1989), le curriculum français s'oppose historiquement au curriculum anglais de par l'enracinement respectif dans une tradition encyclopédique d'un côté et humaniste de l'autre. En France, ce qui compte c'est « *de ne laisser personne dans l'ignorance de certains aspects essentiels de la culture commune, une culture qui apporte à tout le monde les mêmes lumières et propose à tous le même chemin* », alors qu'en Angleterre, l'on privilégie une « *formation en profondeur des individus* », plutôt qu'à large spectre de savoirs, qui vise à développer « *la sensibilité morale, le sens du devoir, l'esprit de décision* » (p. 103). Mons, Duru-Bellat et Savina (2012) identifient plusieurs grands modèles curriculaires, dont celui de systèmes éducatifs fondés sur une éducation diversifiées et à large spectre des contenus d'enseignement, ou bien celui de systèmes éducatifs fondés sur une hiérarchie rigide des disciplines tournées vers les matières académiques. Du point de vue de cette caractérisation, le dispositif des EE peut être considéré comme une manière d'instiller dans le curriculum français, typique du deuxième modèle, un élément propre au premier modèle définie par Mons, Duru-Bellat et Savina, sans toutefois déroger à la tradition culturelle de notre pays dans la majorité du curriculum.

Dans les enseignements d'exploration, la référence curriculaire n'est plus un ensemble de savoirs académiques basés sur ceux de l'université, mais des contenus diversifiés, thématiques, proche de préoccupations quotidiennes, exigeant l'intégration de plusieurs disciplines et imposant également la prise en compte de la dimension d'une éducation à l'orientation. L'on s'éloigne donc de la tradition encyclopédique française, vers une « *formation en profondeur de l'individu* », comme dans le modèle anglais défini par Forquin. Mais dans quelle mesure un dispositif scolaire peut-il parvenir à la construction, chez les élèves, de représentations fidèles et précises de domaines professionnels, sans entrer en contact avec les professions envisagées, tout en faisant appel à des enseignants spécialistes des savoirs d'une discipline académique ? Il y a un risque que le but institutionnel affiché soit peu conciliable avec les prérogatives des enseignants, en dépit du fait que l'arrêté du 19 décembre 2006 prévoit que tout enseignant ait « *une connaissance de la réalité économique, du marché de l'emploi et de la diversité des métiers* » et, qu'à cette fin, la titularisation des futurs maîtres soit conditionnée à l'accomplissement d'un stage en entreprise d'au moins trois semaines (Ministère de l'Education Nationale, 2016b). Nous pensons qu'un tel changement dans le monde de l'éducation ne peut s'opérer sans impacter les routines indispensables à un

enseignement jugé expert (Tochon, 1989, 2003). Le dispositif des EE offre pourtant un cadre aux possibilités nombreuses qu'il conviendrait d'exploiter.

2.2. Un espace de liberté et d'innovation à exploiter

Pour parvenir à ses objectifs de favoriser la prise en main par les jeunes des questions de leur orientation, un déploiement d'une diversité d'EE a été réalisé. Aujourd'hui, nous en comptabilisons seize³², répartis sur l'ensemble des établissements scolaires dans les domaines artistiques, littéraires, économiques, scientifiques ou technologiques³³. A noter que l'offre globale est évolutive, puisqu'un EE d'informatique et de création numérique a été mis en place, récemment, depuis la rentrée 2015³⁴. La liberté qui imprègne l'esprit des EE s'exprime au niveau structurel de l'établissement, ainsi qu'à l'échelle des élèves et des enseignants.

- Les établissements scolaires jouissent d'une liberté structurelle et organisationnelle, parce que chaque lycée est libre de constituer son panel. Par conséquent, il apparaît que certains établissements mettent en place plus de dix EE, alors que d'autres en proposent moins de cinq ; la majorité offrant un éventail de cinq EE différents à leurs élèves, parmi lesquels l'on retrouve presque toujours les EE de Sciences Economiques et Sociales, Principes Fondamentaux de l'Economie et de la Gestion, Méthodes et Pratiques Scientifiques et Littérature et Société (Inspection Générale de l'Éducation Nationale, 2011)³⁵. Cette offre peut être cohérente avec l'identité des établissements, puisque, par exemple, ceux qui sont à vocation industrielle ou artistique misent davantage sur des EE qui sont affiliés à leur profil (p. 12-15).
- Les élèves bénéficient également d'un espace d'autonomie en choisissant, eux-mêmes, leurs deux enseignements d'exploration, dont un a trait obligatoirement à l'économie. Mais des dérogations existent, selon les EE choisis et les filières pressentis, afin que des élèves puissent suivre un seul ou bien une variété de trois EE. Cette possibilité de choix qui permet aux élèves de constituer eux-mêmes une partie des enseignements est guidée

³² Le site de l'éducation Nationale sur le lien <http://www.education.gouv.fr/cid52692/les-enseignements-nouvelle-seconde.html>, répertorie la variété des EE intitulés : Arts du cirque, Biotechnologies, Création et activité artistiques : Arts visuels ou Arts du son ou Arts du spectacle ou Patrimoines, Création et culture design, Création et innovation technologiques, Éducation physique et sportive, Informatique et création numérique, Langue vivante 3, Langues et cultures de l'Antiquité : latin ou grec, Littérature et société, Méthodes et pratiques scientifiques, Principes fondamentaux de l'économie et de la gestion, Santé et social, Sciences de l'ingénieur, Sciences économiques et sociales, Sciences et laboratoire

³³ Rapport de l'Inspection générale de l'éducation nationale (2012) sur la mise en œuvre de la réforme du lycée, consultable sur http://media.education.gouv.fr/file/03_mars/22/9/Mise-en-oeuvre-de-la-reforme-du-lycee_212229.pdf.

³⁴ <http://www.education.gouv.fr/cid89179/projet-de-programme-pour-un-enseignement-d-exploration-d-informatique-et-de-creation-numerique.html>

³⁵ Rapport n°2011-010 (p. 10), consultable sur http://media.education.gouv.fr/file/La_reforme_du_lycee/89/4/Mise-en-oeuvre-de-la-reforme-des-lycees-d-enseignement-general-et-technologique_170894.pdf

par plusieurs stratégies. Pour certains, l'EE est choisi en fonction de leur projet d'orientation. Pour d'autres, le choix est fait dans le but de découvrir un champ disciplinaire, sans avoir d'orientation prédéterminée (Inspection Générale de l'Education Nationale, 2012)³⁶. Même si, dans les faits, ces enseignements sont habituellement dispensés à raison d'une heure trente par semaine, le dispositif prévoit un volant d'heures annualisé de 54 heures par EE, pouvant être répartis librement au cours de l'année scolaire, selon les besoins spécifiques, en fonction des activités et contenus abordés.

- Cette autonomie et cette diversification, au niveau structurel du dispositif, est également présente et voulue, du point de vue des prescriptions pour l'enseignant. Le dispositif constitue un espace où la liberté de contenu des enseignants peut s'exercer, parce qu'il n'y a pas de programme préétabli et aucun examen ne sanctionne les acquisitions et la progression des élèves. Comme l'indique Richit (2014), l'enseignement d'exploration peut être considéré à la fois en tant qu'enseignement au sens classique du terme, ou bien envisagé en tant qu'une « éducation à... » (p. 116). En outre, alors que dans certaines académies, l'évaluation est proscrite, pour d'autres, elle est laissée à la discrétion des chefs d'établissement ou des enseignants. Comme l'indique le rapport de l'Inspection Générale de l'Education Nationale (2011) : « *très peu de choses sont prédéfinies* » (p. 15)³⁷.

Par conséquent, nous considérons que ce dispositif constitue l'un des changements phares de la réforme des lycées de 2010, parce qu'il fait figure d'une fenêtre potentielle pour l'innovation, en laissant une marge de manœuvre importante aux acteurs des différents établissements. Différemment des enseignements « classiques », il apparaît, de par son degré de souplesse et d'ouverture, spécialement conçu pour l'innovation, dans une prise en main par les acteurs (Inspection Générale de l'Education Nationale, 2011 ; p. 15)³⁸. C'est un cadre qui non seulement permet l'innovation, mais souhaite la susciter en accordant pleinement sa confiance aux acteurs de terrain.

2.3. L'enseignement de méthodes et pratiques scientifiques

Parmi les enseignements d'exploration, celui de méthodes et pratiques scientifiques (MPS) correspond, d'après l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public (APMEP), à la continuité de l'option sciences, initiée à Strasbourg en 1997, puis généralisée, à partir de 2004, dans des lycées de l'académie de Montpellier, sous l'appellation

³⁶ Rapport sur le suivi de la mise en œuvre de la réforme du lycée d'enseignement général et technologique de 2012 (p. 18), consultable sur http://media.education.gouv.fr/file/2012/96/8/Rapport-IG-Suivi-de-la-mise-en-oeuvre-de-la-reforme-du-lycee-d-enseignement-general-et-technologique_209968.pdf

³⁷ *Op. cit.* (Rapport n°2011-010 ; p. 15)

³⁸ Le rapport mentionne que certains enseignants ont profité de cet espace institutionnel afin de construire des « *projets et démarches* » faisant preuve d'une « *réelle créativité pédagogique* » (p. 15).

de l'option « Démarche et culture scientifique ». Ces deux options successives auraient servi de prototype à l'instauration de l'enseignement de MPS (Bulletin n°495 de l'APMEP, 2011). Dans le cadre des EE, la volonté de faire découvrir aux élèves des métiers et des voies de formation a été ajoutée. Comme l'indique le document d'accompagnement, « *les activités proposées aux élèves (...) doivent contribuer à enrichir leurs représentations des métiers, des activités professionnelles et des voies de formation scientifiques, et leur donner l'envie de s'engager dans des études scientifiques passionnantes, menant à des carrières recherchées et reconnues, accessibles à différents niveaux de formation* » (Ministère de l'Education Nationale, 2010b, p. 6)³⁹. La juxtaposition du terme « métiers » avec l'expression « *activités professionnelles* » nous conduit à considérer que les prescriptions institutionnelles visent plus une découverte des métiers que celle des professions. La distinction apportée par Descolonges (1996, cité par Tourmen, 2007) entre les notions de métier et de profession, nous amène à penser que la construction des représentations ciblée porte sur des gestes et des savoir-faire spécifiques également présents dans l'expression « *activité professionnelle* ». Cette visée n'est donc pas centrée sur des représentations des formes historiques d'organisation sociale et des corporations de personnes exerçant la même activité, inhérents dans la notion de profession.

En plus de cet aspect majeur du dispositif des EE d'une contribution pour l'orientation portant sur les métiers et carrières scientifiques, nous déterminons quatre autres grandes caractéristiques de l'EE de MPS, qui le situent, de fait, en pleine cohérence avec les reconfigurations curriculaires des systèmes éducatifs occidentaux depuis les années 2000 et sous l'influence des organismes supranationaux tels que l'OCDE ou l'Union Européenne (Mangez, 2008, p. 26 ; Gauthier, 2011, p. 36). Ces caractéristiques correspondent, tout d'abord, à la volonté d'un décloisonnement disciplinaire (Barma & Guilbert, 2006 ; Hasni, 2006 ; Fourez, Maingain, et Dufour, 2002), à une contextualisation des savoirs et à la mise en œuvre d'une pédagogie par projet (Hasni, 2006 ; Lebrun J., 2005), à l'approche par compétences en remplacement de la pédagogie par objectifs (Mangez, 2008 ; Coquidé, 2011 ; Operti, 2011). Le Bulletin Officiel spécial n°4 du 29 avril de 2010 mentionne que cet enseignement permet aux élèves de découvrir différents domaines des mathématiques, des sciences physiques et chimiques, des sciences de la vie et de la Terre et des sciences de l'ingénieur, et qu'il est l'occasion de montrer l'apport et la synergie de ces disciplines. L'une de ses particularités fondamentales est donc qu'il requiert un décloisonnement des disciplines scientifiques, en incitant les enseignants à collaborer. Il est d'ailleurs précisé que « *la relation entre les champs disciplinaires ne doit pas rester au stade d'une simple juxtaposition de plusieurs disciplines sur une même thématique, mais au contraire de faire apparaître tout l'intérêt d'apports croisés* » (Ministère de l'Education nationale, 2010b, p. 4-5). Cette incitation milite donc pour une intégration des apports des différentes disciplines. L'instauration d'une démarche de projet est également un point important cité dans les textes

³⁹ Document d'accompagnement (p. 6), consultable sur http://cache.media.eduscol.education.fr/file/MPS/21/3/LyceesGT_Ressources_2_Exploration_MPS_0-1_introduction_152213.pdf

prescrits et, à ce titre, il est précisé que « *le travail proposé aux élèves doit laisser une large place à leur initiative et permettre de développer leur autonomie : il leur revient d'organiser leur temps, de planifier leur travail, de prendre des notes, de consulter des ressources, d'élaborer un dossier, d'exposer leurs recherches* » (p. 4). La contextualisation des « sujets » est préconisée, de par les thèmes qui sont présentés dans les documents d'accompagnement à destination des enseignants. Par exemple, ceux-ci ont trait à la cosmétologie, l'investigation policière, les œuvres d'art, la prévention des risques routiers ou ferroviaires, etc. et ancrent plus les savoirs dans la vie quotidienne, que dans des notions disciplinaires traditionnelles (p. 6). Le dernier aspect, que nous considérons être en cohérence avec les changements des systèmes éducatifs, correspond à la mise en œuvre d'une approche par compétences plébiscitée dans les documents prescrits. Par exemple, l'on peut lire que « *le rôle de l'enseignant n'est pas seulement de transmettre un savoir disciplinaire, mais de répondre aux demandes des élèves afin de les aider à développer des compétences à travers la structuration progressive d'apports variés permettant l'aboutissement du projet* » (p. 5).

Nous considérons donc que l'enseignement de MPS s'organise en intégrant les caractéristiques majeures des modifications curriculaires des systèmes éducatifs à l'international. Conformément aux prescriptions générales des EE, aucun contenu n'est mentionné. Les documents d'accompagnement proposent des thématiques et progressions précises, mais réaffirment nettement aussi le principe de liberté pédagogique, en application de la loi n°2005-380 du 23 avril 2005 d'orientation et de programme pour l'avenir de l'école (Assemblée Nationale, 2005). Par conséquent, « *il revient à chaque enseignant de s'approprier les programmes dont il a la charge, d'organiser le travail de ses élèves et de choisir les méthodes qui lui semblent les plus adaptées en fonction des objectifs à atteindre* »⁴⁰. Comme constaté précédemment, du point de vue de la sociologie du curriculum, les nouvelles directives de l'enseignement de MPS témoignent d'un changement de l'approche curriculaire. Par exemple, Ross (2000) distingue trois types de curriculum selon une centration sur les contenus disciplinaires (*Content Driven*), l'apprentissage fonctionnel et l'acquisition de compétences (*Objectives Driven*) ou la découverte d'activités sociales (*Process Driven*). Cette caractérisation permet d'apprécier que l'enseignement de MPS ferait figure d'un dispositif axé sur l'apprentissage de compétence et la découverte d'activités sociales, juxtaposé à un cadre majoritaire plutôt basé sur des contenus disciplinaires. De ce point de vue, le curriculum français concilie, dans un même dispositif, deux modes distincts, dont l'un est basé sur la découverte d'activités sociales, et l'autre sur l'apprentissage fonctionnel de compétences. Les prescriptions de l'enseignement de MPS affichent clairement la volonté d'une acquisition de compétences par les élèves (Ministère de l'Education Nationale, 2010b)⁴¹. Par conséquent, la cohabitation, à l'intérieur d'un même

⁴⁰ Lire la page : « Ressources pour la seconde générale et technologique » sur <http://eduscol.education.fr/cid52256/ressources-methodes-pratiques-scientifiques.html>

⁴¹ Le document d'accompagnement comporte un paragraphe intitulé : « *Les compétences développées* ». Le terme de compétences, en plus d'être explicité, revient 8 fois entre les pages 3 à 6.

dispositif, de visées d'un apprentissage de compétences et d'une découverte d'activités sociales peut apparaître, sous certains aspects, contradictoire. Si l'on considère, en première analyse, que la découverte de filières d'étude correspondrait à une phase préalable, précédant un approfondissement, et que l'acquisition de compétences, *a contrario*, nécessiterait de dépasser le stade de la découverte, les deux « modes » semblent conciliables non sans difficultés. Ceci dit, cette association mêlant découverte et compétence pourrait s'entendre si les compétences à développer comprenaient l'attitude d'exploration des filières d'étude, conformément aux intentions du dispositif des EE et l'importance qu'elle revêt pour l'éducation aux sciences. Mais ces compétences portent spécifiquement sur des domaines des sciences et techniques, tel que le mentionne le document d'accompagnement : « *compétences spécifiques au champ des sciences et des techniques* » (p. 2)⁴² qui, par ailleurs, sépare cette approche de l'aspect de découverte dans un autre point indépendant : « *Permettre la découverte de métiers, d'activités professionnelles et de voies de formation du domaine des sciences et des technologies* » (p. 2)⁴³. Par conséquent, la classe de seconde générale et technologique de la réforme du lycée de 2010, comportant l'enseignement de MPS, vise à intégrer deux approches dans le contexte curriculaire français de la découverte d'activités sociales et des compétences.

2.4. Un cadre curriculaire face aux enjeux de l'éducation scientifique

Nous considérons néanmoins que l'enseignement d'exploration de MPS est adapté pour réussir à développer, en même temps, quatre points essentiels pour l'éducation scientifique, à savoir : consolider la culture scientifique des jeunes, améliorer leur attitude envers les sciences, leur permettre d'élaborer des représentations des carrières scientifiques englobant, en plus de contenus, les activités sociales et les méthodes, tout en favorisant l'orientation active vers ces filières. Pourquoi ? Comme l'exploration est l'objectif affiché du dispositif des EE qui demande, à travers l'enseignement de MPS, une acquisition de compétences par les élèves, pour nous, une compétence première à développer est celle d'une attitude d'exploration. Or, en la développant, l'on agit de manière transversale sur l'ensemble des enjeux de l'éducation aux sciences. Cet objectif premier de développer une attitude d'exploration est cohérent avec la visée de l'enseignement de MPS portant sur les méthodes scientifiques : pour Stebbins (2001), les sciences sont mises en action⁴⁴ par l'exploration du chercheur, en tant que processus caché mais fondamental. Par conséquent, l'exploration doit intégrer les représentations sur les sciences qui se font, au même titre que les méthodes

Consultable sur
http://cache.media.eduscol.education.fr/file/MPS/21/3/LyceesGT_Ressources_2_Exploration_MPS_0-1_introduction_152213.pdf

⁴² *Ibid.* (p. 2)

⁴³ *Ibid.* (p. 2)

⁴⁴ Expression de Latour (2005) selon qui les sciences et technologies doivent être étudiées « *en action* », c'est-à-dire au moment où elles se font pour comprendre les découvertes scientifiques, les suivre dans la pratique et leur déploiement.

organisées protocolaires. De plus, l'absence de contenu pré-établi et d'évaluation (ou à discrétion des acteurs de terrain) est propice à des expériences d'exploration sans contrainte, ni exigence de performance, comme dans l'exploration en didactique des sciences favorisant les apprentissages (Astolfi, 1991 ; Coquidé, 1998, 2000), et susceptible d'améliorer l'attitude des jeunes envers les sciences. En outre, nous avons fait remarquer l'importance des explorations en tant que travail de la construction identitaire pour des choix éclairés et réussis en matière d'orientation (Grotevant, 1987 ; Marcia, 1993). L'exploration et son attitude contribuent à former des individus matures à s'engager et donc, de ce point de vue, l'association dans les intentions ministérielles d'une volonté d'exploration par les jeunes dans une visée d'orientation apparaît particulièrement en cohérence avec les écrits dans le champ de la psychologie.

Pour conclure, nous considérons que les textes prescrits demeurent imprécis sur les moyens de mise en œuvre des ambitions affichées en ne donnant, par exemple, aucune définition à l'action d'explorer. Mais, dans son organisation générale et sa souplesse, le dispositif apparaît propice à une mise en œuvre d'activités d'exploration à destination des élèves. En ce sens, c'est un cadre à exploiter pour faire face aux enjeux de l'éducation scientifique.

3. BILAN DU DEUXIEME CHAPITRE

Le contexte sociétal contemporain conduit les jeunes à évoluer dans un espace géographique agrandi, tout en étant soumis à la discontinuité des carrières professionnelles et leur allongement, exigeant le renouvellement des compétences (Journal officiel de l'Union européenne, 2008). Cette prise de conscience conduit à l'incitation d'un changement au niveau éducatif en France, avec l'instauration du dispositif des enseignements d'exploration, à la fois peu défini mais aux potentialités nombreuses.

Cet élément curriculaire est davantage apparenté à une éducation à l'orientation, par l'intermédiaire d'une découverte des métiers et activités professionnelles. Par conséquent, il contraste avec les enseignements disciplinaires traditionnels. C'est la raison pour laquelle une première étude constate des difficultés de positionnement des enseignants ou relativement à leurs expériences d'enseignement, afin de faire se représenter les filières et les métiers (Richit, 2014). En outre, nous avons vu que, dans le cadre des enseignements d'exploration, celui de Méthodes et Pratiques Scientifiques est ambitieux, visant à la fois des compétences spécifiques des sciences et des techniques et la découverte d'activités professionnelles et de filières des sciences et des technologies.

Cependant, malgré des préconisations prescrites imprécises par rapport à sa volonté d'incarner une éducation à l'orientation, l'enseignement de Méthodes et Pratiques Scientifiques constitue une réponse adaptée, en étant propice à l'exploration des élèves. Celle-ci est une activité fondamentale pour réussir à développer dans le même temps, quatre points essentiels pour l'éducation scientifique : consolider la culture scientifique des jeunes, améliorer leur attitude envers les sciences, en leur permettant d'élaborer des représentations des carrières scientifiques embrassant, en plus de contenus, les activités sociales, attitudes et méthodes, tout en favorisant l'orientation active vers ces filières.

Nous pensons qu'il est possible d'agir sur chacune de ces préoccupations par l'exploration des élèves de contextes professionnels et scientifiques de haut niveau, afin qu'ils puissent acquérir une culture scientifique élargie et approfondie, en se représentant les pratiques scientifiques comme positives, tout en développant chez eux la prise d'engagement et le souhait d'envisager à leur tour une carrière dans les sciences.

CHAPITRE 3

MISE EN ŒUVRE DE L'ENSEIGNEMENT D'EXPLORATION DE METHODES ET PRATIQUES SCIENTIFIQUES DANS UN PARTENARIAT

En réponse au constat d'une méfiance des jeunes envers les sciences et de la diminution des effectifs dans certaines filières⁴⁵, une initiative originale a vu le jour, en 2012 à Orléans, regroupant, sous couvert de l'Université d'Orléans, des lycées et des centres de recherche. C'est un cas singulier de mise en œuvre de l'enseignement de méthodes et pratiques scientifiques, tirant parti des potentialités de souplesse permises par le cadre institutionnel des EE. Par exemple, dans la première tranche de ce projet, il est proposé à des élèves de lycée d'explorer une recherche doctorale. En première approximation, cette exploration des sciences en action dans des laboratoires de recherche fait figure de solution face aux enjeux de l'éducation scientifique que nous avons précédemment évoqués. Mais dans quelle mesure l'organisation proposée permet-elle l'exploration ? Quelles sont les particularités de ce dispositif qui lui permettrait d'incarner une solution face aux enjeux de l'éducation scientifique ? Nous proposons, dans un premier temps, de présenter ce dispositif du point de vue du cadre institutionnel dans lequel il a émergé, par rapport à ses visées et son organisation générale, avant une comparaison avec les prescriptions institutionnelles de l'enseignement d'exploration de méthodes et pratiques scientifiques. Nous expliquons ensuite les raisons scientifiques pour lesquelles EDIFICE répond à la définition d'un partenariat. Cette incursion

⁴⁵ Contexte évoqué dans le document de l'université d'Orléans répondant à l'appel à projets des investissements d'avenir « initiatives d'excellence en formations innovantes » ; accessible au lien : https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/Université/documents/projet_edifice.pdf, 2012, p. 3

dans le registre des définitions scientifiques nous amène à relater ensuite d'autres associations existant avec des scientifiques et d'autres dispositifs considérés homologues, après avoir expliqué pourquoi nous considérons qu'EDIFICE est construit comme une innovation. Enfin, par rapport à ce dispositif, nous évoquerons les axes de questionnement pour la continuité de ce travail de recherche.

1. UNE INTEGRATION DANS UN PROJET IDEFI : EDIFICE

Le dispositif orléanais EDIFICE a été conçu, défendu, puis porté par l'Université d'Orléans, en réponse à un appel d'offres, auprès d'experts internationaux et relativement à l'obtention de son financement. Ce projet a reçu le label d'initiative d'excellence en formations innovantes (projet IDEFI)⁴⁶. Par conséquent, il est financé par le programme des Investissements d'avenir⁴⁷ qui vient en soutien à l'enseignement supérieur et la recherche, exclusivement sous la forme d'un appel à projets. L'action IDEFI a pour objectif de susciter des innovations ambitieuses dans le domaine de la formation, de préfigurer l'offre universitaire de demain, tout en assurant le rayonnement scientifique de la France sur le plan international. Les IDEFI réunissent, selon une logique territoriale, des établissements d'enseignement supérieur, des universités, des écoles, des organismes de recherche et des entreprises. En 2015, 36 IDEFI ont été labellisées avec une dotation globale de 184 millions d'euros. Pour EDIFICE, cinq millions trois cents mille euros de dotation ont été octroyés.

Les missions⁴⁸ dévolues au projet *EDIFICE* sont :

- une contribution à la construction d'une cohérence et d'une homogénéité à l'ensemble du *continuum* de formation, de bac-3 jusqu'au bac+8, en termes d'employabilité et de reconnaissance des diplômés. Cet enjeu s'appréhende par la considération du contexte spécifique à la France, où les lycéens qui obtiennent les meilleurs résultats se dirigent, après le Baccalauréat, majoritairement vers les classes préparatoires aux grandes écoles, dans des cursus qui seraient davantage pourvoyeurs d'emplois.
- un appui aux démarches d'orientation : suite au constat d'une diminution, en valeur relative, du nombre d'étudiants dans certaines filières scientifiques universitaires depuis plusieurs années, notamment en sciences physiques et chimie (Boilevin & Ravanis, 2007 ; Convert & Gugenheim, 2005), le dispositif ambitionne de favoriser, chez les lycéens, une orientation dans des cursus scientifiques universitaires ou mixtes, il vise à assurer une réussite

⁴⁶ Pour davantage d'informations sur les projets IDEFI, nous renvoyons le lecteur aux liens : <http://www.agence-nationale-recherche.fr/investissements-d-avenir/appels-a-projets/2011/initiatives-dexcellence-en-formations-innovantes-idefi/>

⁴⁷ Appelé aussi « Grand Emprunt ». Pour davantage d'informations sur les Investissements d'Avenir, nous renvoyons le lecteur aux liens : <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid55892/comprendre-le-programme-investissements-d-avenir.html>

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid51351/initiatives-d-excellence.html>

<http://www.agence-nationale-recherche.fr/informations/actualites/detail/initiatives-dexcellence-en-formations-innovantes-point-detape-2015/>

⁴⁸ *Ibid.* p. 4

scientifique et une employabilité accrue.

- une construction d'un réseau de masters à visibilité internationale et au bénéfice de la mobilité des étudiants, sur des thématiques prioritaires et d'excellence, en associant l'université aux organismes de recherche, notamment le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

Le projet est structuré en cinq tranches (figure 1⁴⁹), qui peuvent apparaître comme successives par la représentation de la figure 1, en réalité, celles-ci sont simultanées. La durée totale du projet est de huit années et la recherche que nous avons menée porte sur la première tranche du programme, soit de baccalauréat -3 (niveau seconde de lycée général) jusqu'au baccalauréat. Les autres tranches du projet concernent des étudiants des premiers niveaux universitaires ou des classes préparatoires, puis des étudiants de master.

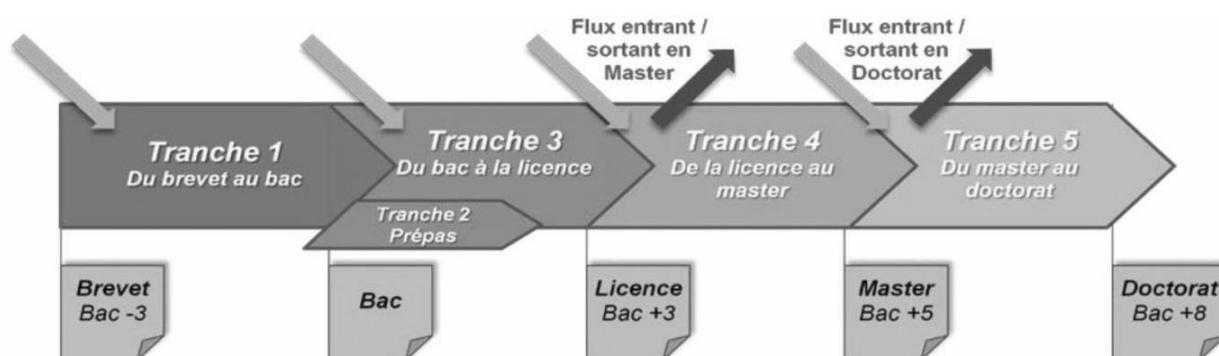


Figure 1. Les cinq tranches du projet EDIFICE

Les trois premières phases sont pour le moment en cours de réalisations, après des démarrages qui se sont faits successivement de la tranche 1 à 3. Concernant la première tranche, depuis 2012, cinq cohortes d'environ une centaine d'élèves chacune, avec une centaine de doctorants au total sont, ou ont été, impliquées dans le dispositif. Chaque cohorte est constituée d'une classe de seconde par lycée (pour trois lycées impliquées, soit trois classes chaque année, dont les effectifs varient quelque peu).

2. UNE VOLONTE DE FAIRE DECOUVRIR LES SCIENCES EN ACTION

Les objectifs de la tranche 1 du projet sont doubles : d'une part, donner aux lycéens une ouverture culturelle « *vers le domaine scientifique avec une vision positive* »⁵⁰, d'autre part, faire découvrir « *le large champ professionnel qui s'ouvre à eux* »⁵¹, s'ils embrassent les cursus scientifiques.

⁴⁹ *Ibid.* p. 9

⁵⁰ *Ibid.* p. 4

⁵¹ *Ibid.*

Le projet EDIFICE souhaite également, par ces missions, outre les visées de l'ouverture culturelle et de la découverte des filières et des carrières, valoriser tous les niveaux scolaires et universitaires jusqu'au doctorat, dès la seconde. Un des défis est de faire en sorte que les élèves et étudiants s'approprient pleinement leur orientation, qu'ils la maîtrisent, qu'ils visent « plus haut » et puissent anticiper leur employabilité future.

Pour que les lycéens puissent approfondir leur culture du domaine scientifique et se représenter les filières et carrières affiliées, le choix a été fait, en cohérence avec les atouts et dispositions relatives à l'université, de placer des élèves dans des laboratoires scientifiques et sous la tutelle de doctorants. Cette organisation nécessite donc la réunion de trois types d'institutions partenaires :

- l'université d'Orléans en est l'instigatrice, la conceptrice et s'est chargée de l'organisation et de la coordination du projet ;
- des laboratoires de l'université d'Orléans, du CNRS et du BRGM ont accueilli les élèves dans leurs locaux ;
- trois lycées d'Orléans.

Ces institutions des domaines de l'éducation et/ou de la recherche ont, de façon diachronique, en charge les « mêmes » sujets, élèves puis étudiants. Alors que d'ordinaire, elles ont chacune leurs missions spécifiques et se côtoient peu, voire pas du tout, la logique légitime « trans-institutionnelle » d'EDIFICE, centrée sur l'élève et son cursus, requiert dans le cadre du partenariat, une mise en relation, dans la durée, d'acteurs issus de chacune de ces institutions. EDIFICE offre un cadre institutionnel qui regroupe, sur un territoire donné, des élèves, des enseignants, des chefs d'établissement de lycée général, des chercheurs, des enseignants-chercheurs et des doctorants. De cette « proximité »⁵², EDIFICE possède, conformément à la symbolique de son appellation, la volonté de « *construire sur le long terme, en utilisant le temps et l'excellence scientifique comme ciments* »⁵³.

Chaque doctorant encadre 2 à 6 élèves (selon les cohortes), une trentaine d'heures par an, au cours de chacune des trois années que dure la thèse. La première tranche du projet permet à des cohortes de lycéens de découvrir le travail de son doctorant dans son laboratoire, durant 3 années, qui correspondent à la durée durant laquelle les doctorants et les élèves s'engagent mutuellement pour des relations éducatives. EDIFICE s'intègre pleinement dans le curriculum scolaire, en utilisant les dispositifs d'enseignement, comme l'EE de MPS pour les classes de seconde et celui des TPE pour les classes de première, qui correspondent à des espaces institutionnels avec un volume horaire dévolu pendant lesquels les lycéens sont pris en charge et suivis par les doctorants dans les laboratoires de recherche. Ainsi, le temps passé dans les laboratoires s'organise en onze à douze séances de trois heures pour les années

⁵² *Ibid.* p. 7

⁵³ *Ibid.* p. 4

scolaires de seconde et de première, et en cinq journées consécutives d’immersion de 6 heures chacune pour l’année de terminale. Ces aménagements permettent aux élèves de suivre l’évolution du travail de thèse du doctorant, d’acquérir des connaissances, des habiletés manipulatoires, d’être informé des méthodes propres, etc., de la recherche de référence. Le doctorant, en retour, acquerrait, par exemple, une expérience dans l’encadrement scientifique d’élèves de lycée.

Sont également présents des enseignants de sciences des lycées (sciences physiques et chimie, sciences de la vie et de la Terre et mathématiques) qui conduisent les élèves et les accompagnent dans le laboratoire. Le nombre de groupes doctorant – élèves étant plus important que celui des enseignants, ces derniers sont soit continuellement, soit en alternance dans les laboratoires auprès des élèves et de leur doctorant, selon une organisation interne propre à chaque équipe éducative des lycées. Par conséquent, chaque groupe est susceptible de comporter trois types d’acteurs : un doctorant, un enseignant accompagnateur et des élèves. Aucun rôle précis n’a été assigné aux enseignants dans les préconisations du dispositif. Officiellement, seuls les doctorants sont chargés d’encadrer les élèves. Cette organisation, conçue par l’Université d’Orléans, est une forme singulière de l’enseignement d’exploration de MPS, dont elle utilise de façon poussée les potentialités d’ouverture et de souplesse. Mais, sous sa forme voulue, nous constatons qu’EDIFICE présente quelques différences par rapport à l’enseignement de MPS, dont il épouse néanmoins la grande majorité des caractéristiques.

3. EDIFICE POUR QUELLE EXPLORATION DANS LE CADRE DES ENSEIGNEMENTS D’EXPLORATION ?

3.1. Des éventails différents de pratiques de métiers ou de corporations professionnelles

Nous mettons en évidence des éventails de possibilités offertes différents, pour les explorations entre les deux dispositifs. Tout d’abord, les objectifs d’EDIFICE diminuent la portée générale des EE, parce que les activités professionnelles présentes dans le prototype orléanais correspondent exclusivement à celles exercées à l’intérieur d’un laboratoire de recherche, avec une focalisation sur des pratiques de recherche de chercheurs scientifiques débutants (des doctorants), alors que les visées ministérielles des EE ne privilégient pas spécifiquement un choix d’orientation vers les filières de recherche. De même, en cohérence avec les instructions des EE, les intentions prescrites de l’enseignement d’exploration de MPS ne favorisent pas plus une ouverture culturelle sur les filières conduisant aux carrières de la recherche scientifique, que vers les autres filières scientifiques. Bien au contraire, l’intention affichée dans le document d’accompagnement est plutôt d’ « *enrichir leurs représentations*

des métiers, des activités professionnelles et des voies de formation scientifiques »⁵⁴. A ce titre, il encourage la diversité en stipulant que « *Les mathématiques, les sciences et les technologies sont omniprésentes dans les secteurs de l'industrie-aérospatiale, imagerie, télécommunications, biotechnologies- et des services - banques, assurances - et contribuent à la résolution de problématiques actuelles : énergie, santé, environnement, climatologie, développement durable* »⁵⁵. Le projet de l'université d'Orléans vise explicitement à favoriser le choix de filières scientifiques en mentionnant qu'il s'agit « *d'un dispositif de formation en sciences exactes* » et qu'il vise « *une meilleure attractivité des domaines scientifiques* »⁵⁶. Mais une intention portée sur les sciences « exactes » réduit forcément le champ des possibles, en donnant concrètement à voir des recherches scientifiques telles qu'elles se pratiquent au sein des laboratoires. Par conséquent, par rapport aux intentions des EE, le dispositif EDIFICE se montre exclusivement centré vers les activités professionnelles de la recherche scientifique, laissant de côté l'ouverture vers toutes les autres en relation avec les sciences, qui seraient également peut-être plus promptes à une approche scientifique contextualisée, proche des préoccupations quotidiennes, telle que l'EE de MPS le recommande. Ces représentations des élèves sur une diversification des activités des métiers scientifiques sont un objectif fondamental du dispositif des EE, mais elles sont limitées à celles de laboratoires de recherches scientifiques dans le cadre d'EDIFICE.

En revanche, les visées du dispositif EDIFICE comportent la volonté d'une découverte du « *large champ professionnel qui s'ouvre à eux* »⁵⁷ et cette expression nous apparaît s'appliquer davantage à la notion de profession qu'à celle de métier ; contrairement à l'expression d'activité professionnelle des textes prescrits des EE qui, selon nous, évoque, sous le terme d'activité, les tâches et les gestes des métiers. Le dispositif vise une participation aux activités du doctorant. Nous considérons, par rapport à cette expression de large champ professionnel qu'il n'a pas pour vocation à se concentrer uniquement sur le statut de doctorant, voire sur la seule profession de chercheur, mais souhaite également que les élèves puissent se représenter l'ensemble des professions à l'œuvre dans les laboratoires de recherche. Cette ouverture vers les différentes corporations sociales et statuts, constatée dans EDIFICE nous paraît importante à mentionner si l'on considère que certains gestes ou tâches de deux métiers différents peuvent être relativement similaires à un moment donné. Par exemple, dans un laboratoire, le chercheur et le technicien peuvent parfois réaliser les mêmes tâches. Dans le cadre d'une éducation à l'orientation, il nous paraît fondamental que ces deux statuts socioprofessionnels soient distincts dans les représentations des élèves.

⁵⁴ D'après le document d'accompagnement de l'EE de MPS accessible au lien http://cache.media.eduscol.education.fr/file/MPS/21/3/LyceesGT_Ressources_2_Exploration_MPS_0-1_introduction_152213.pdf, p. 5

⁵⁵ *Ibid.*

⁵⁶ D'après le document de l'université d'Orléans répondant à l'appel à projets des investissements d'avenir « initiatives d'excellence en formations innovantes » ; accessible au lien : https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/Université/documents/projet_edifice.pdf, 2012, p. 2

⁵⁷ *Ibid.* p. 4

3.2. Confusion sur la notion de sciences

Outre cet aspect d'éventails différents de possibilités, nous considérons que l'expérimentation orléanaise opère une limitation à propos de la définition donnée à la notion de sciences. Par exemple, le document de référence du projet orléanais se concentre sur trois ensembles pluridisciplinaires de recherche qui correspondraient au capital scientifique présent sur le campus universitaire orléanais. Il regroupe ces thématiques sous l'appellation de « sciences exactes » qui correspondent, dans le cadre du projet orléanais, aux ensembles : géosciences environnement espace, énergie et matériaux, chimie et sciences du vivant⁵⁸. Mais, pour Bryon-Portet (2010), l'expression de « sciences exactes » qui correspond aux mathématiques, sciences physiques et chimie, biosciences et géosciences, symbolise implicitement une différenciation critiquable avec les sciences humaines et sociales (SHS). Cette précision des disciplines scientifiques concernées par le projet, sous l'appellation de « sciences exactes » utilisée dans le document d'appel à projet de l'université, apparaît réducteur eu égard à l'expression généraliste de « méthodes et pratiques scientifiques » employée dans le cadre des EE. EDIFICE, forme de l'enseignement de MPS dans le cadre des EE, réduit l'éventail de ses possibilités. Sur le plan des disciplines scientifiques impliquées, il concentre son action presque exclusivement sur certaines disciplines scientifiques que ses concepteurs nomment « sciences exactes », alors que des laboratoires de SHS existent sur le campus orléanais. Mais leur participation au projet apparaît, pour le moment, très minoritaire. Force est de constater que notre constat va bien au-delà du contexte orléanais et que cette réduction du concept de sciences semble exister également au niveau des institutions politiques, jusqu'à l'échelle internationale. Sans même envisager les SHS, la confusion semble régner autour de l'expression de « désaffectation pour les filières scientifiques »⁵⁹ qui, comme nous l'avons vu, n'est pas recevable (Boilevin & Ravanis, 2007 ; Convert & Gugenheim, 2005), étant donné le « remplissage », par exemple, de filières scientifiques telles que celles de médecine, des CPGE ou des filières courtes professionnalisantes. Il nous semble que ce flou est dû à des représentations concernant la notion de sciences, focalisées principalement sur les disciplines de recherche des sciences physiques, chimie, bio- et géosciences.

3.3. ...mais des explorations visées cohérentes

⁵⁸ *Ibid.* p. 7

⁵⁹ Lire, par exemple, au niveau international : le communiqué de presse de la conférence mondiale de la science de l'OCDE « La désaffectation des jeunes pour les études scientifiques et technologiques : réalité, causes et solutions » (2005), dans lequel il est écrit : « *un certain nombre de tendances préoccupantes dans des disciplines telles que les mathématiques, la physique et la chimie, comme l'illustre la diminution du nombre de diplômés supérieurs* », sur <http://www.oecd.org/fr/sti/sci-tech/conferencesurleducation.htm>, au niveau européen : le rapport de Rocard *et al.* (2007) sur http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_fr.pdf, au niveau national : le rapport d'information déposé en 2008 par la commission des affaires culturelles, familiales et sociales sur l'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire (article 145) sur http://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3061.asp#P181_17070

Les intentions du comité de pilotage d'EDIFICE ont légitimement été accompagnées de recommandations pour la prise en charge des élèves, transmises en amont aux doctorants, de ne pas vulgariser leur recherche mais d'initier les élèves à leur travail quotidien de chercheur. L'accent est davantage mis sur les démarches ou méthodes, que sur les savoirs. Il est donc attendu que les élèves soient initiés aux pratiques du doctorant et qu'ils soient mis en contact directement avec les sciences en train de se faire. Il s'agit donc dans ce cas d'une focalisation sur les sciences en train de se faire et cette visée est cohérente avec celle des EE de « *faire découvrir des champs disciplinaires de connaissances [sic] et les méthodes associées*⁶⁰ », explorer « *les démarches, les méthodes, les exigences des domaines concernés* » (Encart Bulletin officiel spécial n°4 du 29 avril 2010)⁶¹. En ce sens, l'entreprise EDIFICE apparaît tout à fait cohérente avec le dispositif des EE, sur l'aspect des éléments culturels qu'il tente de transmettre aux élèves pour construire leurs représentations des pratiques et savoir-faire affiliées au laboratoire. Par exemple, assister à une recherche en marche en participant aux activités de la recherche doctorale n'est-il pas un moyen sûr, pour un élève de lycée, afin de se représenter, un aspect majeur de la formation universitaire doctorale et le métier de chercheur ? Par conséquent, les objectifs d'EDIFICE et son organisation apparaissent cohérentes avec les visées du dispositif des EE qui souhaitent favoriser une orientation active par la découverte des filières d'étude et d'activités caractéristiques de professions, faire découvrir les méthodes et démarches de champs disciplinaires, tout en ne proposant pas de contenu précis explicite. De plus, EDIFICE est particulièrement « en phase » avec le dispositif des EE, par la diversification et l'ouverture du spectre éducatif au-delà des contenus disciplinaires traditionnels d'enseignement et par l'instauration d'un cadre pour la découverte d'activités sociales. Par conséquent, de ce point de vue, le cas particulier de mise en œuvre de l'EE de MPS dans trois lycées orléanais sous la forme EDIFICE apparaît particulièrement adapté au cadre institutionnel, en étant susceptible d'enrichir, de par son organisation et ses visées, la culture scientifique de jeunes et de leur enseignants, en leur permettant d'élaborer des représentations sur certaines méthodes et pratiques scientifiques de laboratoires scientifiques, tout en favorisant l'orientation active vers ces filières. Ces visées sont notamment permises grâce à l'association entre organisations différentes qui conçoivent ensemble et mettent en œuvre le dispositif orléanais. Ce cadre qui réunit des acteurs hétérogènes peut être mis en relation avec la notion de partenariat.

4. EDIFICE POUR DES EXPLORATIONS DANS LE CADRE D'UN PARTENARIAT

Le terme de partenariat est apparu dans les années 1980 et vient de l'anglais *partner*, lui-même issu de l'ancien français *parçonier*, propriétaire indivis, copartageant, de *parcion*,

⁶⁰ D'après <http://www.education.gouv.fr/cid52692/les-enseignements-nouvelle-seconde.html>

⁶¹ Ministère de l'Éducation Nationale (2010d) sur <http://www.education.gouv.fr/cid51337/mene1000408x.html>

partage, butin, du latin *partitio, partitionis* (partage, séparation, division). Étymologiquement, sont présents dans le terme à la fois l'avec et le contre, l'association et la division (Merini, 1993 ; citée par Zay, 1994 ; p. 72). La notion de partenariat est un concept flou et/ou polysémique (Zay, 1994 ; Ferrand, 1997 ; Landry, Serre, & Congrès, 2000 ; Landry & Mazalon, 1997 ; Pelletier, 1997) ou un terme parapluie (Crinon, 1996 ; cité par Landry & Gagnon, 1999). Pour Berger (cité par Zay, 1994), c'est un objet d'étude à théoriser aux références nombreuses. Kaddouri (1997) évoque la nature élastique et empirique du concept, et non théorique, en tant que construction sociale, pas définitivement figée (p. 103). Mérini (1999, p. 21) parle d'un concept pragmatique.

La littérature de recherche nous permet d'identifier, néanmoins, quatre caractéristiques essentielles, auxquelles le concept semble associé : tout d'abord, le partenariat peut être envisagé à plusieurs niveaux de participation selon que l'on considère soit les institutions, soit les personnes. Ensuite, il possède un caractère dynamique d'évolution, parce que différents types d'acteurs sont engagés dans des négociations, qui impliquent des ajustements des rôles respectifs de chacun des partenaires.

EDIFICE est un partenariat, parce qu'il est organisé en deux ensembles distincts. Tout d'abord, il y a le niveau décisionnel ou organisationnel, représenté par les institutions, les organismes engagés et les structures de coordination et qui se traduit par des signatures de conventions et d'accords. Puis, il existe le niveau personnel ou interactoriel (entre les acteurs) qui se traduit par des actions communes. Ce niveau prend en compte les caractéristiques socioprofessionnelles et personnelles des principales catégories d'acteurs (Maroy, 1997 ; Clénet & Gérard, 1994, cités par Kaddouri, 1997 ; Landry, 1993 ; cité par Mérini, 1999). Dans EDIFICE, l'espace institutionnel réunit l'université d'Orléans, les lycées et les centres de recherche, alors que l'espace des personnes regroupe des dirigeants de l'université, les proviseurs, les directeurs des laboratoires, les doctorants, les enseignants accompagnateurs et les élèves. Pour notre recherche, qui s'appuie, notamment, sur des discours de personnes, nous privilégions une représentation axée sur les différents types d'acteurs. Nous séparons donc l'ensemble des acteurs en deux groupes :

- d'une part, les acteurs décisionnels qui représentent les institutions, participent au comité de pilotage et ont un pouvoir de décision majeur (les dirigeants de l'université d'Orléans, les proviseurs et les directeurs de recherche) ;
- sont réunis dans les laboratoires d'autre part, les acteurs qui appartiennent aux institutions, mais n'interviennent pas dans la prise de décision organisationnelle (les doctorants, les enseignants accompagnateurs et les élèves). Ces acteurs interagissent et interviennent à des degrés divers dans les explorations des élèves au sein des laboratoires de recherche.

En plus de cet aspect structurel, EDIFICE possède également les caractéristiques propres du concept de partenariat, basées sur l'idée de négociations entre les identités en présence. Il est

défini comme étant une action commune négociée (Zay, 1994 ; p. 73) entre des parties hétérogènes qui construisent un compromis et reconnaissent la possibilité d'un conflit (Berger ; cité par Zay, 1994 ; p. 73). Pour Mérini (1999), la négociation permet à chacun la construction de sa propre identité et cette hétérogénéité des acteurs est également fondamentale au partenariat qui « *travaille avec les différences* ». Pour Clénet et Gérard (1994), l'hétérogénéité des parties est à la fois la source des tensions et des conflits mais aussi la source de la créativité. Caillouette (2001) parle également d'un espace à la fois de conflit, de négociation et de médiation qui implique une recherche d'identité de la part des partenaires.

Par conséquent, de manière indissociable au concept, le caractère dynamique du partenariat est souligné par Savoie-Zajc et Dolbec (1999), pour lesquels il implique l'émergence d'une « *symbiose graduelle* » (...) dans laquelle « *il se crée une sensibilité à l'autre et une meilleure capacité de communication entre les deux : le vocabulaire se modifie, une culture propre aux partenaires s'élabore* » (p. 9). La construction du partenariat n'est ni neutre, ni définitivement figée. Elle constitue des repères qui, à leur tour, se construisent et se déconstruisent en fonction de l'expérience et des rapports de force, touchant aux représentations des acteurs et à leurs identités (Kaddouri, 1997 ; p. 103). Pour St-Pierre et Brunet (2004 ; p. 132), le partenariat n'est pas une réalité statique, mais davantage un lieu de consensus et d'évolution organisationnelle. Pelletier (1997) écrit que le partenariat est une relation privilégiée, basée sur un projet partagé entre des organisations et se manifestant par l'échange formalisé de personnes, d'informations ou de ressources. Il établit cinq principes de base à l'action partenariale : l'intérêt mutuel, l'égalité, l'autonomie, la coopération et l'évolution. Cette définition nous semble allier les deux niveaux du partenariat, entre institutions et acteurs, en évoquant le transfert de personnes et la coopération, dans un esprit dynamique de durée réuni dans le terme d'évolution. Pour Mérini (2001), il ne se situe pas dans le projet, mais authentiquement dans l'action, dans une action commune.

EDIFICE est donc un dispositif construit dans le cadre d'un partenariat, parce qu'il établit une relation suivie, durable et évolutive, né d'un constat, entre des organisations différentes dans leur fonctionnement, leurs objectifs et leurs personnels mais réunis par leurs intérêts convergents, qui implique des associations entre élèves, doctorants et enseignants, dont les recherches des rôles respectifs peut être la source de négociations, de tensions voire de conflits.

Dans le dispositif orléanais, des interactions entre doctorant, élèves et enseignant accompagnateur donnent lieu à des négociations, des tensions, voire des conflits relatifs, entre autres, aux façons d'envisager l'encadrement des élèves et sur le rôle à jouer par les acteurs. Par conséquent, les explorations dans les laboratoires font l'objet d'influences exercées par les acteurs en situation et sont, par conséquent, susceptibles d'évolution au cours du temps.

Ce constat nous amène à la nécessité de mettre en évidence, dans le cadre de notre recherche, les interactions entre les acteurs. Comment ces influences s'exercent-elles sur les explorations des élèves dans les laboratoires ? Dans quelle mesure les acteurs, réunis dans le laboratoire, ont-ils eu une influence sur la participation des élèves aux travaux du doctorant-encadrant et donc sur la nature et les types d'explorations ? Avant d'aborder ces questions, nous proposons de présenter d'autres projets ayant déjà tenté de tirer des bénéfices d'un rapprochement entre le monde des sciences et celui de l'école, selon différentes modalités d'association relatées notamment dans des articles scientifiques à l'international.

5. APERÇU DE LA VARIÉTÉ DES ASSOCIATIONS AVEC DES SCIENTIFIQUES

Pour l'éducation scientifique⁶², les associations impliquant des enseignants, des élèves et des scientifiques sont fréquentes depuis les années 1980 où, notamment aux États-Unis, ces projets sont nommés *Student-Scientist Partnerships* (SSP)⁶³ (Falloon & Trewern, 2012). Tinker (1997) caractérise les associations avec des scientifiques en quatre modèles différents : 1) les projets dirigés par les scientifiques (*Scientists Led*), 2) ceux, non pas dirigés, mais plutôt guidés par les chercheurs (*Scientist Guided*), 3) ceux fondés sur les équipements (*Instrument Based*) et enfin 4) d'autres davantage centrés sur les élèves (*Student Originated*). Dans la première catégorie, le scientifique définit lui-même le programme de recherche et les protocoles. Des élèves mesurent la température de l'air, de l'eau et évaluent la couverture nuageuse (Means, 1998). D'autres, répartis sur de nombreuses îles du Pacifique, mesurent les précipitations (Lawless & Rock, 1998) ou étudient le développement de la glace dans différents lacs d'Alaska (Abbott & Swanson, 2006). Les SSP ont généralement le soutien d'administrations importantes et permettent de recueillir des données, qui sont disséminées sur un territoire géographique important, mais néanmoins « couvert » par un réseau d'établissements scolaires (Lawless & Rock). Dans les projets guidés, le scientifique définit le sujet de recherche, mais les élèves sont impliqués dans la création et la conduite de l'étude (Spencer, Huczek, & Muir, 1998). Par exemple, des protocoles de mesures de la qualité de l'eau sont publiés et les élèves peuvent décider des sites et des tests spécifiques pour mener à

⁶² Pour une présentation, dans un cadre français, de certaines de ces associations avec des scientifiques et/ou leurs matériels, lire, par exemple, les pages aux liens : <http://www.sciencesalecole.org/>, <http://www.ballonscosmiques.fr/que-fait-un-ballon-sonde/>, <http://education.telethon.fr/pedagogie/article/1-operation-1-000-chercheurs-dans>, http://www.ac-orleans-tours.fr/fileadmin/user_upload/saio/Affectation_au_lycée/Cordees_de_la_reussite_2013-2014.pdf

⁶³ L'expression de *Student-Teacher-Scientist Partnerships* (STSP) est également retrouvée dans la littérature de recherche (par exemple Houseal, Abd-El-Khalick, & Destefano, 2014). Dans le sens commun, la traduction française de l'expression de *Student-Scientist Partnerships* nécessiterait l'utilisation du terme de partenariat. Mais, d'un point de vue scientifique et dans son acception française, beaucoup de SSP ne pourraient pas être qualifiés de partenariat dans le sens où ils ne s'accordent pas avec la définition d'une action commune négociée (Zay, 1994 ; p. 73, Mérini, 1999) entre des parties hétérogènes qui construisent un compromis et reconnaissent la possibilité d'un conflit (Berger, 1993 ; cité par Zay, 1994 ; p. 73).

bien leur étude (Tinker). Ces SSP dirigés et guidés permettent aux élèves de participer à une recherche professionnelle, sous le contrôle d'un scientifique qui élabore, de son côté, des savoirs scientifiques (Becker, Congalton, Budd, & Fried, 1998 ; Lawless & Rock). Dans les projets basés sur les instruments de mesure, des matériels de scientifiques sont placés dans des écoles, tels des détecteurs de rayons cosmiques (Shell, Snow, & Claes, 2010) ou des appareils pour mesurer le taux de dioxyde de carbone (Dijkstra & Goedhart, 2011). Dans le dernier modèle de SSP, le scientifique apporte son expertise à l'élaboration par les élèves d'une recherche scientifique originale à leur portée (Peker & Dolan, 2012 ; Gengarelly & Abrams, 2008 ; Dolan, Lally, Brooks, & Tax, 2008 ; Berenfeld, 1994, cité par Tinker). Des critiques ont été adressées aux SSP dirigés et guidés, parce qu'ils impliquent les élèves de manière « technicienne », sans leur permettre d'acquérir des représentations sur le processus d'élaboration d'une recherche (Moss, Abrams, & Kull, 1998 ; Donahue, Lewis, Price, & Schmidt, 1998 ; Houseal, Abd-El-Khalick, & Destefano, 2014). Dans le cas du modèle centré sur les élèves, ces derniers élaborent leur propre recherche, mais ne sont pas dans le cadre d'une recherche professionnelle. Pour Tinker, une tension existe entre le modèle dirigé par les chercheurs, qui a le plus de valeur sur le plan de la recherche scientifique, et le modèle d'élaboration d'une recherche par les élèves eux-mêmes qui est le plus ambitieux sur le plan éducatif. Néanmoins, dans aucun de ces modèles d'association avec des scientifiques, les élèves ne peuvent réellement explorer la profession de chercheur par l'intermédiaire du suivi de sa recherche scientifique. Dans le premier cas, ils ne sont pas au contact du chercheur, en entrant les données recueillies directement via une interface informatique. Dans l'autre cas, le scientifique vient en soutien des élèves, en se déplaçant jusqu'à la salle de classe. Si l'on se réfère à la caractérisation de Tinker, EDIFICE pourrait, de par son organisation, concilier les deux catégories opposées, c'est-à-dire permettre la participation d'élèves à des recherches entreprises par des scientifiques. Ce type d'organisation a-t-elle déjà été expérimentée ?

6. UN DISPOSITIF CONÇU COMME UNE INNOVATION

EDIFICE, par sa construction comme un ensemble cohérent constitué de ressources (matérielles et humaines), de stratégies, de méthodes et d'acteurs interagissant dans un contexte donné pour atteindre un but, est un **dispositif** au sens de Lebrun M. (2005). Ce dispositif, qui semble apparaître comme singulier en France, constitue-t-il pour autant une innovation ? Quelles sont ses caractéristiques qui permettent de le qualifier d'innovant ?

Selon Huberman (1973), une innovation est une « *amélioration mesurable, délibérée, durable et peu susceptible de se produire fréquemment* » (p. 7) qui se caractérise par « *la sélection, l'organisation et l'utilisation créatrices des ressources humaines et matérielles [...] qui permettent d'atteindre un niveau plus élevé de réalisation des objectifs fixés* ». Elle « *doit durer, être largement utilisée et ne pas perdre ses caractères initiaux* » (p. 8). Cros (2001) a le même point de vue en précisant qu'une innovation résulte d'une intention et met en œuvre

une ou des actions visant à changer un état, une situation ou une pratique, etc., à partir d'un diagnostic d'insuffisance, d'inadaptation ou d'insatisfaction par rapport aux objectifs à atteindre. De plus, si Cros (2011) insiste sur l'importance du développement et de la diffusion de l'innovation, Hadji (1991) minimise cet aspect en considérant l'innovation comme « *l'exploration du champ de la réussite possible* » par l'introduction, dans un système établi, d'un élément inconnu et inédit qui améliore les pratiques existantes.

Nous considérons donc qu'une innovation est une nouveauté provoquée dans le but d'un changement nécessaire à une amélioration. Ce changement est durable et tend à se diffuser. A partir de cette définition, peut-on considérer EDIFICE comme une innovation ? EDIFICE est-il provoqué dans le but d'un changement nécessaire à une amélioration ? EDIFICE est-il durable et tend-il à se diffuser ?

EDIFICE est-il une nouveauté ?

Nous considérons que le caractère innovant d'EDIFICE est susceptible de se décliner au niveau de deux domaines, qui concernent son ancrage curriculaire et sa nature trans-institutionnelle utilisant le contexte du laboratoire pour accueillir des élèves. Tout d'abord, la marque d'une innovation est perçue, d'un point de vue curriculaire, par rapport au cadre dans lequel s'insère le projet orléanais, en étant une forme possible de l'enseignement de MPS à l'intérieur du dispositif des EE. De ce point de vue, il utilise un grand nombre des possibilités offertes par l'instauration de ce nouveau dispositif de la réforme des lycées de 2010. Rappelons que la liberté structurelle et organisationnelle des EE permet une différenciation inter établissement, permettant le déploiement du projet profitable à trois lycées orléanais. Cette différenciation est également la règle au niveau des élèves, puisque c'est à eux qu'incombe le choix d'une participation au projet ou non. Par conséquent, EDIFICE n'est pas prévu pour tous les élèves, mais pour une minorité d'entre eux, de même qu'il ne peut intégrer tous les établissements du secteur. Cette différenciation possible est une caractéristique majeure rendant possible l'innovation, parce que le déploiement d'un tel dispositif n'aurait pu être imaginable, étant donné notamment les structures scientifiques d'accueil, s'il avait fallu l'étendre à tous les élèves de tous les établissements. De plus, si l'on considère le projet dans son ensemble, cette différenciation est, dès le départ de l'aventure, une condition indispensable pour sa mise en œuvre. En effet, cette initiative d'excellence ambitionne, par exemple, pour atteindre ses objectifs de créer une cohérence et continuité du *continuum* de formation du niveau bac-3 à bac+8, comprenant, également l'intégration, par la tranche 2, d'une ouverture scientifique pour des élèves de classes préparatoires, en plus de leur traditionnelle préparation aux grandes écoles⁶⁴. Par conséquent, les lycées qui ont été pressentis pour leur participation au projet possèdent tous des classes de préparation aux

⁶⁴ D'après le document de l'université d'Orléans répondant à l'appel à projets des investissements d'avenir « initiatives d'excellence en formations innovantes » ; accessible au lien : https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/Universit%C3%A9/documents/projet_edifice.pdf, 2012, p. 9

grandes écoles (CPGE)⁶⁵. Autres aspects innovants rendus possibles par le nouveau cadre curriculaire, le suivi de la thèse doctorale dans la durée par les élèves impose, pour les deux premières années de seconde et de première, une répartition des heures passée en laboratoire, sur une période assez longue à l'intérieur de chaque année scolaire, à raison de onze à douze séances réparties sur six mois environ. Cette organisation est rendue possible par l'intermédiaire de l'annualisation du volant des heures allouées à l'enseignement de MPS des EE et la liberté laissée lors de leur intégration au calendrier. De plus, rappelons que la différenciation s'exprime également dans le choix des contenus disciplinaires et de l'évaluation qui sont laissées à la discrétion des acteurs au sein de chaque établissement. Dans EDIFICE, l'on retrouve une différenciation importante des contenus, méthodes, activités sociales, etc., du fait du contexte de laboratoire fréquenté et de la diversité et singularité à la fois des sujets de thèse, mais aussi des différentes disciplines scientifiques, dont les savoirs ne sont, d'ailleurs, pas nécessairement traités au lycée. Si nous prenons l'exemple des recherches doctorales qui ont concerné la première année de mise en œuvre du programme, l'on retrouve huit laboratoires différents dans des domaines aussi diversifiés que la physique des matériaux, la mécanique des fluides, la combustion, la biologie moléculaire, la magmatologie ou la chimie, etc. Sur tous ces aspects de différenciation structurelle et organisationnelle, puis des contenus et thématiques abordés, le dispositif ferait figure d'une innovation, parce qu'il exploite, de façon poussée, les potentialités innovantes offertes par le cadre du dispositif des EE, et que dans le contexte français, nous n'avons pas identifié, sur ces points-là, de dispositifs équivalents.

Ensuite, nous pensons que la marque de l'innovation pourrait également résider dans l'organisation trans-institutionnelle propre à EDIFICE, qui propose à des lycéens la découverte des sciences en train de se faire dans des lieux réservés habituellement aux hauts diplômés de l'enseignement supérieur. Des programmes offrant cette possibilité d'une découverte des sciences dans des centres de recherche à des élèves du secondaire existent, depuis la fin des années 1950, lorsque le lancement du Spoutnik a déclenché la « conquête de l'espace » aux États-Unis. Ainsi, des stages furent financés afin d'intéresser les élèves aux carrières scientifiques (Niemann, Miller & Davis, 2004 ; voir par exemple Cooley & Bassett, 1961). Une revue de littérature sur l'immersion des élèves dans des laboratoires de recherche met en avant qu'une très grande majorité des dispositifs d'immersion sont des stages d'été extra-curriculaires (par exemple Burgin, Sadler & Koroly, 2012 ; Charney *et al.*, 2007 ; McMiller *et al.*, 2006 ; Bell *et al.*, 2003 ; Richmond & Kurth, 1999, etc.). Peu sont mis en place durant l'année scolaire (Hsu & Roth, 2010 ; Ritchie & Rigano, 1996) et ils sont de durée variable : de deux semaines (Hay & Barab, 2001) à douze semaines (Woska *et al.*, 2005). Une expérience sur trois étés consécutifs a déjà été menée, avec l'université

⁶⁵ *Ibid.* p. 16, A noter que dans l'argumentaire du document d'appel à projet de l'université d'Orléans, il est mentionné que, en plus de la présence des CPGE, deux de ces lycées possèdent un internat d'excellence et cette particularité est également mise en avant comme élément ayant raffermi le choix de la participation de ces lycées au projet.

d'Alabama. Les élèves sont initiés aux contenus et compétences de base du laboratoire les deux premières années et mènent leur propre projet de recherche au cours de la dernière session. Ce programme est un stage d'été extra-curriculaire, dans un seul laboratoire de biochimie et biologie moléculaire, qui implique une vingtaine d'élèves (Niemann *et al.*, 2004). Dans le cadre français, nous avons retrouvé une étude qui décrit une expérimentation toulousaine d'enseignement des nanotechnologies pour une classe de terminale scientifique qui comprend, entre autres, une journée de pratiques expérimentales en laboratoire et sous la tutelle de doctorants (Panissal, Brossais et Vieu, 2010)⁶⁶.

Une comparaison, avec les exemples mentionnés dans les articles cités précédemment, montre que l'idée d'intégrer à des laboratoires scientifiques des élèves du secondaire, a déjà été réalisée en France et à l'international. Néanmoins, EDIFICE se différencie à différents niveaux et, de par ces aspects, il n'a pas d'équivalent dans les expérimentations décrites, ni dans celles de la revue de littérature de Sadler, Burgin, McKinney, et Ponjuan (2010). Les différences portent sur :

- Les acteurs : depuis cinq ans, environ cinq cents élèves et plus d'une centaine de doctorants sont ou ont été impliqués. Au total, le programme est prévu pour impliquer huit cohortes d'une centaine d'élèves chacune sur les huit années de l'expérimentation,
- Le temps de découverte : onze à douze séances de trois heures sont réparties sur une année ; ce qui représente une centaine d'heures sur trois ans (pour une cohorte),
- L'intention éducative et culturelle : chaque doctorant encadre 2 à 6 élèves leur permettant de suivre et participer à l'évolution du travail de thèse sur les trois années du doctorat,
- Le développement de compétences chez l'ensemble des acteurs : par exemple, les doctorants ont l'opportunité d'acquérir des compétences dans l'encadrement d'élèves de lycée et les enseignants accompagnateurs découvrent de nouvelles ressources utilisables ensuite en classe et les activités sociales au sein d'un laboratoire de recherche en même temps que leurs élèves, etc.

EDIFICE est-il provoqué dans le but d'un changement nécessaire à une amélioration ?
EDIFICE est-il durable et tend-il à se diffuser ?

Aujourd'hui, il est difficile d'affirmer si le projet est porteur de la réussite escomptée, et s'il sera déployé à plus grande échelle. Mais, normalement, en tant que projet IDEFI, la continuité dans le temps est envisagée avec son développement au niveau national. Ce déploiement éventuel ne sera, cependant, pas le fait spontané des personnes mais devra être insufflé

⁶⁶ A noter que, dans la presse de vulgarisation scientifique, d'autres projets sont relatés comme permettant à des élèves du secondaire d'intégrer des laboratoires de recherche pendant quelques heures (notamment afin de jouer le rôle de journalistes de vulgarisation scientifique). Lire par exemple : pour le concours de présentation des laboratoires du CNRS d'Orléans, organisé par la délégation Centre-Auvergne-Limousin du CNRS, de la sixième édition de la Science en fête : *Le Journal du CNRS*, mars 1998, (p. 35) ; *Microcoop*, lettre d'information de la Délégation Centre Auvergne Limousin du CNRS, n°32, 1998 (p. 4) ; Magazine *Covalence*, n°27, printemps 1998 (p. 2-4) ; pour le projet de Nord'Éka, 2014 : <https://www.inria.fr/centre/lille/actualites/immersion-de-lyceens-dans-la-recherche-!>

institutionnellement suite aux résultats obtenus localement. L'ambition de son développement est tout à fait cohérente avec l'idée d'innovation, parce qu'EDIFICE répond à des problématiques éducatives nationale et internationale. Par exemple, par rapport au dispositif national des EE, il permet, dans le cadre spécifique des professions contribuant à la recherche scientifique, de faire découvrir des carrières en élargissant le spectre aux activités sociales et culture d'une profession. De plus, c'est un moyen d'action potentiel pour pallier à la diminution du nombre d'étudiants dans certaines filières scientifiques universitaires ou pour favoriser une attitude tournée vers l'orientation active. Dans le sens où l'apparition d'EDIFICE s'est faite en un territoire donné, mais que l'expérimentation est susceptible d'apporter des solutions à des problématiques globales, elle est susceptible de propagation, sous réserve d'un financement octroyé par les pouvoirs publics cependant. Par conséquent, les caractéristiques de la tranche 1 d'EDIFICE, dans le contexte français, en font donc un dispositif unique, construit comme une innovation au sens de Huberman (1973) et Cros (2001, 2011), aussi bien du point de vue organisationnel, intentionnel et méthodologique, visant une amélioration de l'existant local, et prévu pour être développé à plus grande échelle. Elle pourrait même, dans le cas d'une réussite avérée et d'une volonté politique, être transposée par des initiatives locales, au niveau d'autres territoires.

7. LES DISPOSITIFS HOMOLOGUES SONT CONSIDERES PROFITABLES AUX ELEVES

Comme nous l'avons déjà évoqué, Sadler *et al.* (2010) ont répertorié et analysé les articles de recherche en éducation portant sur des programmes proposant à des élèves du secondaire (collégiens ou lycéens), des étudiants ou des enseignants (stagiaires ou confirmés), une découverte des sciences en train de se faire, dans des laboratoires de recherche scientifique ou sur le terrain⁶⁷, en ciblant une littérature de recherche élargie⁶⁸, à partir des bases de données incluant notamment le portail *ERIC*⁶⁹. Les chercheurs ont pu recueillir un total de 53 articles publiés entre les années 1961 et 2008, la majorité étant paru à partir de 1996. Seuls 15 articles relatent des recherches partenariales⁷⁰ impliquant des élèves dans l'enseignement secondaire (collège et lycée). Depuis la parution de cette étude, nous avons recueilli, par ailleurs, quatre autres articles, dont trois ciblent le même partenariat scientifique canadien, tout en variant les

⁶⁷ Le terme « *internship* » est utilisé par les anglo-saxons pour désigner les dispositifs utilisant le laboratoire en tant que lieu d'éducation aux sciences, alors que le terme « *partnership* » peut représenter des associations avec des scientifiques qui ne se déroulent pas nécessairement dans le laboratoire, mais sur le terrain, pour la récolte de données. Dans ce dernier cas, le scientifique n'est pas nécessairement présent, mais il est systématiquement conseiller scientifique.

⁶⁸ Les recherches répertoriées et analysées vont des niveaux du secondaire (collège et lycée, 20 articles), jusqu'aux formations d'enseignants (11 articles), en passant par l'enseignement supérieur (22 articles). Ces recherches ne sont pas toutes examinées par les pairs (*peer reviewing*). La très grande majorité l'est néanmoins.

⁶⁹ *ERIC - Education Resources Information Center*, disponible sur : <https://eric.ed.gov/>, Sadler *et al.* (2010) ont également consulté les bases *PsychInfo* et *Web of Knowledge*.

⁷⁰ Au sens de « *internship* », dans le laboratoire avec un scientifique.

moyens et les visées d'étude (Hsu, Roth & Mazumder, 2009 ; Hsu & Roth, 2010 ; Hsu, van Eijck & Roth, 2010). A noter que le seul article francophone que nous avons recueilli est un compte rendu d'innovation (Panissal, Brossais & Vieu, 2010). Il n'est donc pas intégré à ce recueil ciblant des résultats de recherches.

Cinq grands thèmes sont abordés dans ces dix-neuf articles de recherche : la nature des sciences dans onze d'entre-eux, les connaissances scientifiques acquises (hors connaissances de la nature des sciences) pour six de ces recherches, l'intérêt pour les carrières scientifiques dans quatre articles et la confiance en soi⁷¹ pour deux. Une seule recherche se focalise sur la nature de l'enseignement dispensé aux élèves, par les personnels scientifiques (Hsu, Roth & Mazumder, 2009).

Neuf des onze recherches sur la nature des sciences mettent en évidence un contexte de laboratoire profitable aux élèves, en ce qui concerne leurs connaissances de la nature des sciences. Cinq recherches, sur les six abordant les connaissances considèrent que les élèves acquièrent des connaissances scientifiques de cette expérience (hors connaissances de la nature des sciences). Les quatre recherches dédiées considèrent que les élèves sont plus intéressés par les carrières scientifiques, après leur formation dans le laboratoire. La confiance en soi est considérée comme améliorée pour une recherche sur les deux de cette thématique.

Le tableau suivant (Tableau 2) présente l'ensemble des références des articles et les conclusions mettant en évidence une influence, favorable ou non, d'un contexte de laboratoire sur les élèves vis-à-vis de la thématique abordée.

⁷¹ Traduction des termes anglo-saxons de *Confidence* et *Self-Efficacy*

Thème étudié	Contexte considéré profitable ou favorable aux élèves	Contexte considéré non favorable ou non profitable
Nature des sciences	Burgin, Sadler et Koroly (2012) ; Hsu et Roth (2010) ; Charney <i>et al.</i> (2007) ; Hay et Barab (2001) ; Barab et Hay (2001) ; Richmond et Kurth (1999) ; Ritchie et Rigano (1996) ; Bleicher (1996) ; Cooley et Bassett (1961)	Hsu, van Eijck et Roth (2010) ; Bell, Blair, Crawford, & Lederman (2003)
Connaissances scientifiques (hors connaissances de la nature des sciences)	Grindstaff et Richmond (2008) ; Abraham (2002) ; Lewis <i>et al.</i> (2002) ; Ritchie et Rigano (1996) ; Cooley et Bassett (1961)	Bleicher (1996)
Intérêt pour les carrières scientifiques	Abraham (2002) ; Stake et Mares (2001) ; Davis (1999) ; Cooley et Bassett (1961)	-
Confiance en soi	Templin, Engemann et Doran (1999) ;	Stake et Mares (2005)

Tableau 2. Comparaison des résultats et thématiques abordées des recherches consacrées à des dispositifs utilisant des laboratoires comme lieux pour l'éducation aux sciences d'élèves du secondaire

Dans quatre recherches, des résultats ont mis en évidence une absence de « bénéfice » chez les élèves à l'issue de leur période de formation en laboratoire, alors que dans quinze recherches, des résultats ont montré que le contexte de laboratoire était profitable aux élèves. Une majorité de ces recherches met en évidence une influence, favorable ou profitable, des dispositifs de formation des élèves en laboratoire, par rapport aux quatre grands thèmes abordés des connaissances de la nature des sciences, des connaissances scientifiques (hors connaissances de la nature des sciences), de l'intérêt pour les carrières scientifiques et de la confiance en soi.

Une particularité d'EDIFICE est que le dispositif apparaît, au regard de cette vision synthétique des résultats de recherches, comme une solution possible aux constats présumés des problématiques sociétales généralisées et que nous avons qualifiées d'enjeux. D'abord, l'on peut imaginer que l'amélioration de la confiance en soi, mise en évidence par Templin, Engemann et Doran (1999), agit positivement sur l'affect ressenti et donc sur l'attitude envers les sciences à l'école. De plus, toutes les études sur l'intérêt pour les carrières scientifiques constatent un effet favorable, susceptible de profiter aux filières scientifiques éventuellement en baisse de fréquentation. La grande majorité des recherches sur la nature des sciences remarquent un contexte favorable à la construction de représentations des sciences en action

concourant à renforcer une composante de la culture scientifique, qui apparaît également favorisée au niveau des connaissances disciplinaires dans la majorité des recherches traitant cet aspect. Enfin, l'on peut inférer que ce genre d'expérience, en tant qu'exploration d'un contexte nouveau favorise également l'attitude exploratoire.

Le travail de recherche relaté dans cette thèse est une contribution aux études sur les dispositifs d'exploration de pratiques de recherche par des élèves dans des laboratoires scientifiques. Nous proposons, dans la partie suivante, de présenter nos objectifs initiaux de recherche pour la continuité de cette étude.

8. LES OBJECTIFS INITIAUX DE RECHERCHE

Une visée de cette recherche, représentée par les questions de recherche n°1 et 2, est ancrée dans la didactique du curriculum et se propose d'étudier l'exploration des élèves des sciences en train de se faire dans un contexte de laboratoire. Cette élaboration de la notion de l'exploration correspond à une caractérisation de l'« expérience » des élèves de la recherche scientifique. Cet objectif est en relation avec une intention d'ordre curriculaire du dispositif EDIFICE, qui est de donner aux élèves une ouverture culturelle vers la recherche scientifique. Cette visée de recherche permet donc d'étudier la nature de l'ouverture des élèves vers le domaine scientifique.

- **Visée de recherche n°1** : Etudier l'exploration par la caractérisation de l' « expérience » de la recherche scientifique vécue par les élèves dans le contexte des laboratoires.

La seconde visée de recherche, représentée par la question de recherche n°3, est ancrée dans la notion de partenariat et propose de mettre en évidence les influences exercées par les trois types d'acteurs présents dans le contexte des laboratoires, c'est-à-dire les doctorants, les élèves et les enseignants accompagnateur sur l'exploration de la recherche scientifique par les élèves.

- **Visée de recherche n°2** : Mettre en évidence les influences exercées par les acteurs : doctorants, élèves et enseignants accompagnateur, sur l'exploration par des élèves de la recherche scientifique.

9. BILAN DU TROISIEME CHAPITRE

L'université d'Orléans a conçu et piloté un dispositif, baptisé EDIFICE, qui est un projet IDEFI⁷², dont l'objectif est de faire découvrir les sciences en train de se faire afin de favoriser, chez les lycéens, une orientation dans les cursus scientifiques et d'assurer leur réussite dans ces filières. Il permet à des groupes de deux à six élèves d'être encadrés en laboratoire par des doctorants, durant les trois années que dure leur thèse. Pour la classe de seconde, c'est une manière de mettre en œuvre l'enseignement d'exploration de méthodes et pratiques scientifiques, en permettant la découverte des activités professionnelles spécifiques des laboratoires de recherche. Du point de vue organisationnel, il utilise les possibilités de souplesse du dispositif national pour permettre le suivi des activités de la thèse au sein des laboratoires de recherche, avec un aménagement de onze à douze séances de trois heures réparties sur six mois. Depuis 2012, cinq cohortes, constituées chacune d'une centaine d'élèves, avec une centaine de doctorants au total, sont ou ont été engagées dans le projet.

EDIFICE est un partenariat qui comprend deux niveaux d'organisation :

- d'une part celui des institutions : l'université d'Orléans, des laboratoires de recherche et trois lycées orléanais,
- d'autre part celui des personnes réunissant des dirigeants de l'université d'Orléans, les proviseurs, les directeurs des laboratoires, les doctorants, des enseignants des lycées et les élèves. La mise en œuvre effective du dispositif est réalisée au sein des laboratoires par les doctorants, les élèves et des enseignants. Ces derniers n'ayant pas de rôle institutionnel alloué, nous employons l'expression d'enseignant accompagnateur pour les désigner.

De plus, EDIFICE possède les caractéristiques propres au partenariat basées sur l'idée de négociations entre les acteurs qui construisent un compromis, endossent des rôles particuliers en cours de route. Ces négociations contribuent au caractère évolutif des manières d'encadrer les élèves et donc à l'exploration des sciences.

Des partenariats proposant des explorations des sciences en laboratoire sont relatés dans la littérature de recherche depuis les années 1950, mais nous considérons qu'EDIFICE est conçu comme une innovation. Par exemple, nous n'avons retrouvé aucun dispositif regroupant un aussi grand nombre de personnes et permettant aux élèves le suivi d'une recherche sur une durée aussi longue de trois années. Ces dispositifs sont considérés, pour la majorité d'entre eux, comme favorisant l'intérêt pour les carrières scientifique et profitables sur le plan des connaissances scientifiques dont celles de la nature des sciences. Ils pourraient aussi améliorer la confiance en soi et, selon nous, favoriser l'attitude d'exploration. Donc, EDIFICE apparaît comme pouvant potentiellement faire face aux enjeux de l'éducation scientifique.

⁷² Cf. note 46

Le questionnement initié aboutit, pour le moment, à deux visées de recherche. D'une part, nous souhaitons construire l'exploration des élèves par la caractérisation de l' « expérience » vécue de la recherche scientifique dans le contexte de laboratoire. D'autre part, nous envisageons de mettre en évidence les influences exercées par les acteurs : doctorants, élèves et enseignants accompagnateur sur l'exploration des élèves.

DEUXIEME PARTIE

DES ITINERAIRES
D'EXPLORATION CONSTRUITS
EN CORRESPONDANCE AVEC
LES SCIENCES EN ACTION

CHAPITRE 4

QUESTIONNEMENT POUR LA CONSTRUCTION DE L'EXPLORATION DES SCIENCES EN ACTION DANS UN CADRE CURRICULAIRE

1. UN CADRE CURRICULAIRE POUR L'ETUDE DES EXPLORATIONS EFFECTIVES

Pour Jonnaert, Ettayebi et Defise (2009), un curriculum est, à un système éducatif, ce qu'une constitution est à un état. C'est un ensemble cohérent et structuré d'éléments qui permettent de rendre opérationnel un système éducatif. Il comprend nécessairement les finalités de l'éducation et les grandes orientations à donner aux démarches pédagogiques et didactiques. Il définit un plan d'action, au sein duquel se trouvent les programmes d'études. Un curriculum comprend certes un certain nombre de programmes dans différents domaines d'apprentissage, mais il ne s'y substitue pas. Cette définition évoquent le concept de curriculum, tel qu'il est envisagé dans le monde anglo-saxon en étant en amont des programmes d'études qu'il oriente, en spécifiant les orientations à donner aux activités d'enseignement et d'apprentissage, en fournissant des indications, en particulier relatives à l'évaluation, au matériel didactique, aux manuels scolaires, à la formation des enseignants (Jonnaert, 2011).

Les caractéristiques de la genèse d'EDIFICE, émanant de l'université orléanaise, en tant qu'innovation, ancrée dans un territoire, en réponse à un appel d'offre, ayant ses propres spécificités d'une volonté d'explorations focalisées sur le laboratoire scientifique, est

singulier dans le curriculum. D'ailleurs, même si dans le cadre français, le curriculum n'est pas construit dans son aspect englobant et programmatique (Gauthier, 2010), nous distinguons deux institutions ordonnatrices, avec celle du ministère chargée d'harmoniser l'éducation au niveau national et celle de l'université orléanaise chargée ordinairement de l'enseignement supérieur. L'organisation partenariale d'EDIFICE se concrétise par une incursion de l'université d'Orléans dans le curriculum du secondaire, avec des préconisations prescrites spécifiques de faire vivre et participer les élèves au travail doctoral. Ces demandes s'adressent, en outre, non pas à des enseignants de l'éducation nationale, mais à des doctorants qui prennent en charge les élèves. Autrement dit, le prescrit national se double de recommandations du comité de pilotage orléanais et les enseignants sont officiellement délestés de l'organisation d'enseignements pendant les heures en laboratoire. EDIFICE n'a été ni conçu ni envisagé au niveau national et semble échapper à la notion d'une orientation en amont des programmes d'étude présente dans la notion anglo-saxonne de curriculum.

Cependant, nous avons précédemment abordé la question de la cohérence entre EDIFICE et les EE, du point de vue des intentions respectives des concepteurs de chacun de ces dispositifs. Par ailleurs, nous avons étendu à l'action d'exploration, cet examen de la cohérence préconisée dans les EE, pour satisfaire aux intentions d'une découverte des filières et/ou activités professionnelles en relation avec les domaines scientifiques. Cette étude nous a permis de mettre en évidence une cohérence entre EDIFICE et le dispositif national des EE sur le point, par exemple, de l'éducation à l'orientation. Sous ces aspects, EDIFICE est une forme cohérente possible de l'enseignement de MPS. Par conséquent, elle devrait, de par son statut d'innovation, tel que le prévoit le cadre curriculaire, pouvoir également apporter une analyse de sa mise en œuvre pour une évolution du curriculum en question. En effet, un curriculum englobe également, dans son fonctionnement et sa mise en place, les moyens de son évaluation, matérialisés notamment par des études, des retours d'expériences, des recherches didactiques permettant d'obtenir des données, des analyses. Ces informations sont susceptibles d'entrer en compte pour l'élaboration des programmes d'études. Sur ce point de vue, EDIFICE entrant en résonance avec la réforme du nouveau lycée français de 2010 et les préoccupations internationales sur l'enseignement des sciences. Il nous semble qu'il peut apporter une contribution aux réflexions de réactualisation de l'organisation des apprentissages, en lien, notamment, avec les enjeux, qui concernent l'éducation à l'orientation, et les moyens de favoriser l'acculturation et l'attitude des jeunes envers les sciences et les engagements vers les filières consacrées. Sous ces aspects, l'expérimentation orléanaise entre en résonance avec le curriculum dont elle est une forme de mise en œuvre locale, innovante et originale.

La distinction faite, entre le niveau des intentions affichées du dispositif orléanais et les mises en œuvre effectives dans chacun des laboratoires, nous amène à utiliser un cadre théorique adapté au contexte curriculaire. Ce cadre utilisé, dans le laboratoire STEF de Cachan, par

Martinand (2012, 2014), Lange et Martinand (2014), Coquidé, Fortin, et Lasson (2010) intègre quatre niveaux de questionnement utiles pour la recherche (Figure 2) :

- Le curriculum prescrit ou auto-prescrit s'étudie par analyse documentaire et correspond à l'ensemble des discours normatifs généralement écrits. En France, ces textes sont les programmes nationaux parus dans le bulletin officiel.
- Le curriculum produit (ou plutôt co-produit) correspond à ce qui est vécu et construit collectivement par les élèves et les enseignants en classe. Appelé également curriculum réel, il s'étudie par inférence à partir d'observations, d'enregistrements audio ou vidéo.
- Le curriculum potentiel correspond à ce que l'enseignant est capable d'imaginer pour mettre en œuvre un curriculum prescrit. Cette projection de réalisation est modélisée par le chercheur pour caractériser les différences entre prescrit, auto-prescrit et produit ou co-produit.
- Le curriculum possible est l'ensemble du questionnement conçu par le chercheur pour permettre la comparaison avec le prescrit, le produit et le potentiel.

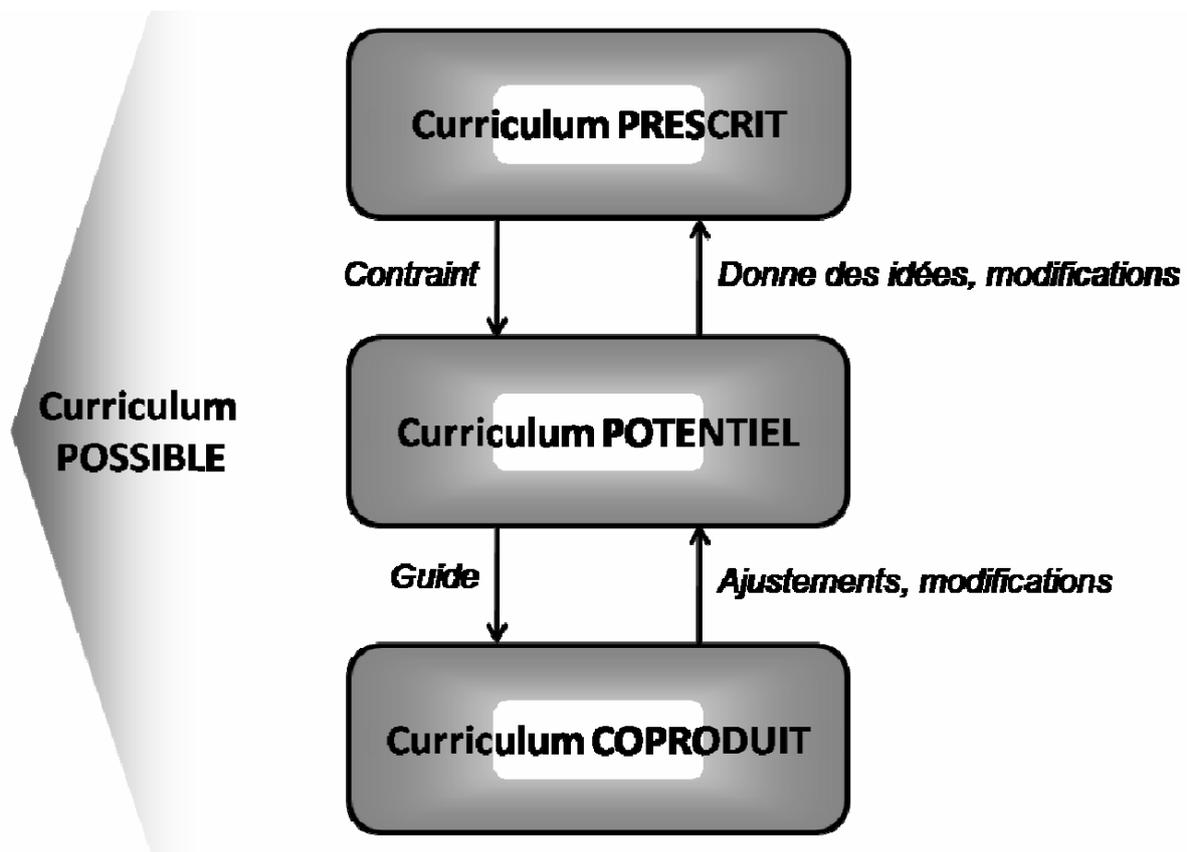


Figure 2. Interactions entre les différents curriculums (d'après Martinand, 2000 ; adapté par Dorey, 2012).

En relation avec les niveaux curriculaires que nous avons présentés, nous pensons que le dispositif EDIFICE est conforme à une organisation curriculaire de par la « stratification » propre au partenariat. Le pôle décisionnel, en l'occurrence le comité de pilotage, qui fixe les recommandations, relève du curriculum potentiel en tant que forme possible conçue de

l'enseignement d'exploration de méthodes et pratiques scientifiques. Rappelons qu'à ce niveau, il est demandé aux doctorants qu'ils initient les élèves à leur travail quotidien de chercheur. Il est donc attendu que les élèves soient mis en contact directement avec les sciences en train de se faire. Mais nous devons également prendre en compte le niveau de la projection réalisée par les doctorants en ce qui concerne l'encadrement qu'ils vont effectuer vis-à-vis des recommandations émises par le comité de pilotage orléanais. Par conséquent, nous mettons en évidence que notre questionnaire de recherche comprend deux niveaux distincts du curriculum potentiel avec l'addition du niveau correspondant à EDIFICE tel qu'il est imaginé par l'université d'Orléans et les préconisations émises à destination des doctorants. Ce niveau est à la fois typique du curriculum potentiel mais est également pourvoyeur de recommandations, tout comme le sont les manuels scolaires ou les recommandations des académies en France qui appartiennent à un curriculum formel, mais en normalisant les pratiques, ils relèvent aussi du curriculum prescrit (Dorey, 2012 ; p. 131).

Le vécu et l'ensemble des constructions effectives par les doctorants, élèves et enseignants accompagnateurs dans les laboratoires de recherche est l'équivalent du curriculum co-produit. La notion de co-production est en phase avec celle de partenariat, mais différemment d'un contexte de classe ordinaire : ici, ce sont trois partenaires qui peuvent influencer la façon du doctorant de donner à faire vivre et à voir les sciences dans le laboratoire par l'intermédiaire de négociations éventuelles. Ce niveau intègre les explorations des recherches doctorales des élèves, que nous souhaitons étudier. La figure suivante (Figure 3) présente les adaptations requises pour les questionnements de notre recherche.

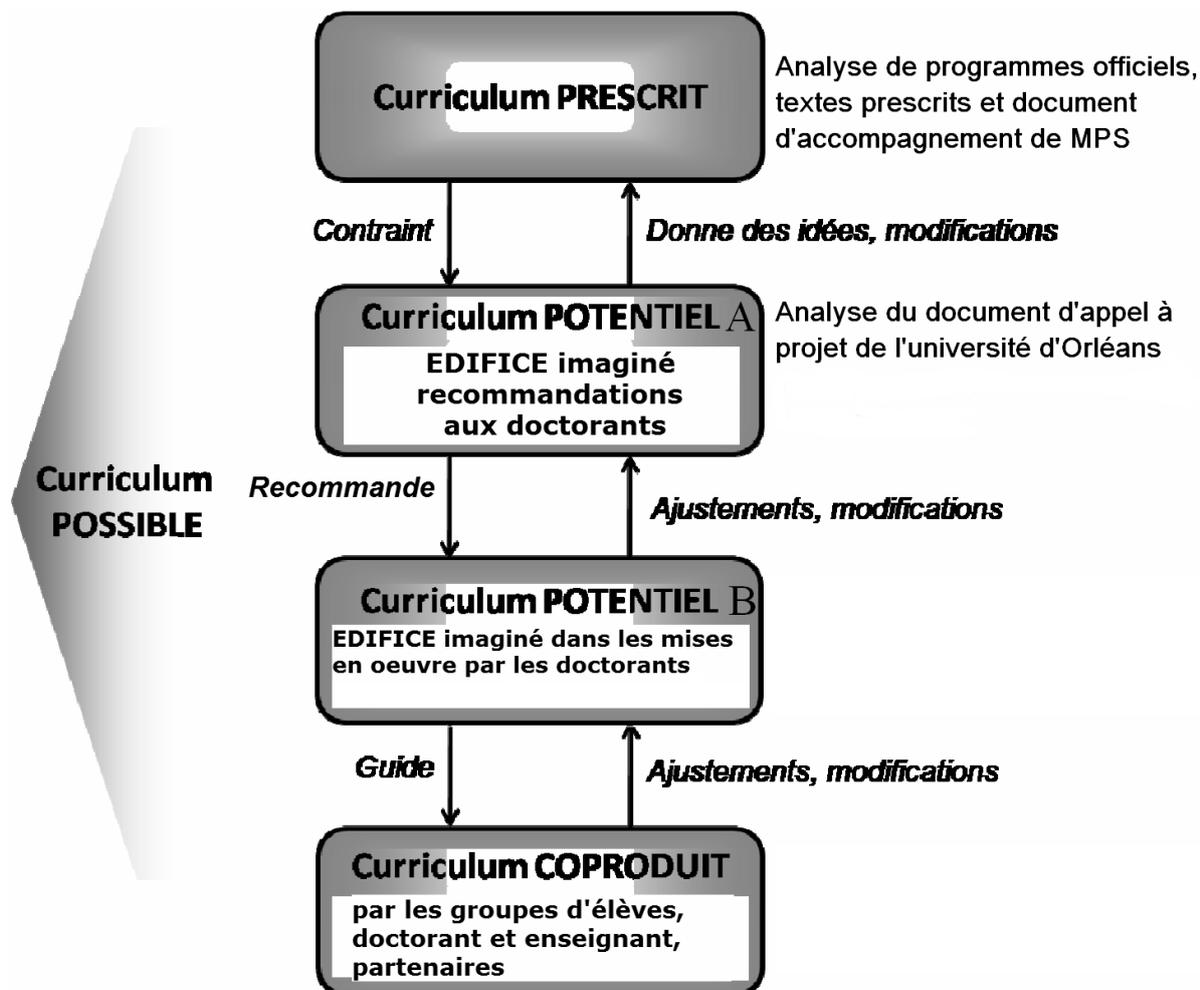


Figure 3. Interactions entre les différents niveaux curriculaires de questionnements possibles prenant en compte EDIFICE (modifié d'après Martinand, 2000 ; adapté par Dorey, 2012, puis par Voisin, 2017).

Nous avons précédemment questionné les relations entre le dispositif EDIFICE, tel qu'il est imaginé par ces concepteurs, et l'enseignement d'exploration dont celui de MPS, tel qu'il est prescrit au niveau ministériel. Ces questionnements ont été permis par des analyses de textes du programme officiel (Ministère de l'éducation nationale, 2010d), du document d'accompagnement (Ministère de l'éducation nationale, 2010b) et de la réponse à l'appel à projet provenant de l'université d'Orléans et présentant le dispositif EDIFICE (Université d'Orléans, 2012). D'autres questionnements ciblent plus spécifiquement la manière dont les doctorants interprètent la recommandation d'EDIFICE et comment ils la transposent au travers les explorations des élèves qu'ils encadrent. Au niveau effectif, ces explorations sont-elles en phase ou non avec ce que les doctorants ont imaginé et ce que le dispositif préconise ? Des ajustements et des modifications sont rapidement envisageables, eu égard au cadre partenarial prévoyant la survenue de négociations. Les questionnements ciblent chacun des niveaux dans nos visées de recherche. Par exemple, EDIFICE préconisant que les élèves explorent les sciences en train de se faire par l'intermédiaire d'une participation aux travaux

de thèse, comment les doctorants interprètent la préconisation de « faire vivre et participer les élèves à leurs travaux de recherche » ? Comment projettent-ils et organisent-ils une participation à leur thèse ? Comment les élèves contribuent et participent à cette recherche ?

2. LA NOTION DE PRATIQUE SOCIALE DE REFERENCE

Nous nous servons ici de la notion de pratique de référence (PSR) pour nous aider à penser et à analyser la correspondance entre les explorations des élèves et les sciences en actions prises pour référence.

2.1. Genèse du concept

Le concept de PSR a été proposé par Martinand (1981), dans le cadre de l'élaboration curriculaire de l'enseignement technologique, pour chercher à élucider les relations entre les activités scolaires et les pratiques sociales, et à éclairer les décisions de la construction du curriculum prescrit (Martinand, 2003b). Mais cette notion ne doit pas être envisagée comme étant dévolue à une élaboration curriculaire de façon linéaire et « unidirectionnelle », car l'éclairage apporté par PSR a été utilisé afin d'étudier les diverses propositions sujettes à la concertation. Ainsi, la notion de PSR a pu contribuer à modifier des choix et faire évoluer le curriculum en construction. Cet outil conceptuel, qui permet l'étude des propositions et des choix, est cohérent avec nos intentions de recherche et l'analyse *a posteriori* du dispositif, laquelle pouvant conduire à un retour d'expérience. Dans le cadre d'EDIFICE, nous n'utilisons pas la notion de PSR pour la construction d'explorations en laboratoire mais pour leur étude *a posteriori*.

2.2. L'exploration en correspondance avec les sciences en action

Martinand (1986, p. 137) distingue, notamment, deux grands types de questionnements par l'intermédiaire de la notion de PSR : examiner les cohérences internes et juger de l'authenticité du reflet que propose les activités scolaires. Notre visée de caractériser l'« expérience » des élèves dans le contexte de laboratoire apparaît en phase avec le point sur l'« authenticité » des activités. Cette notion de l'« authenticité » a été précisée par Fuchs-Gallezot (2009, p. 63), qui indique qu'elle n'est pas la question fondamentale, car l'important n'est pas qu'il y ait ou non un écart entre les deux, mais qu'une comparaison soit possible. De même, Durey et Martinand (1994) écrivent que les savoirs scolaires sont décontextualisés, désintriqués et coupés de la pratique sociale qui les a historiquement fondés ; la construction de situation d'enseignement est spécifique et doit être envisagée en tant que « reconstruction » à part entière. Mais, ces considérations sont-elles valables dans le cadre du dispositif EDIFICE ? Est-il possible de parler de savoirs décontextualisés à l'intérieur d'un laboratoire de recherche ? Ces savoirs sont-ils « coupés » de la pratique sociale, alors que c'est un

doctorant qui est officiellement à la manœuvre éducative ? Alors que ces questions sur l'« authenticité » des savoirs en contexte scolaire n'appellent aucune controverse, il apparaît difficile de statuer sur leur sort dans EDIFICE. Comment « donner à voir » le domaine scientifique sans envisager une proximité certaine avec la référence ? Comment caractériser l'exploration des élèves de la recherche scientifique, sans avoir pu établir une notion d'écart entre les pratiques de recherche au laboratoire et l'« expérience » des élèves ? Si les instigateurs du projet ont proposé le contexte des laboratoires, c'est pour justement garantir cette proximité aux sciences en action. Par conséquent, nous considérons que l'exploration des élèves doit être caractérisée en fonction de la correspondance avec les sciences en action. Mais de quelles sciences en action parle-t-on ? Sont-elles envisagées d'un point de vue général en étant représentées par les pratiques de corporations professionnelles ? Ou bien celles de pratiques individuelles de doctorants réalisant leur recherche de thèse ?

2.3. L'exploration de pratiques sociales

La notion de PSR, telle qu'elle a pu être élaborée de manière concomitante avec le curriculum prescrit technologique, telle qu'elle a été explicitement mentionnée par Martinand (1983, p. 234) et telle que son libellé l'indique, ne s'applique pas à un rôle individuel mais à la pratique de secteurs sociaux. Or, dans le cadre d'EDIFICE, la pratique de référence visée par les explorations ne correspond pas à une pratique sociale d'un corps professionnel de chercheurs, mais à celle d'un doctorant en particulier. Mais, par rapport à une éducation à l'orientation requise dans EDIFICE en tant que forme possible de l'enseignement de MPS, nous souhaitons élargir le champ d'investigation des représentations des élèves aux pratiques sociales des corps de professionnels œuvrant dans les domaines scientifiques. De plus, dans les sciences en action, les recherches ne sont-elles pas à la fois novatrices sur certains aspects et régies par des méthodes propres à l'ensemble de la discipline sous d'autres aspects ? Rappelons aussi que les concepteurs d'EDIFICE souhaitent une découverte du « *large champ professionnel qui s'ouvre à eux* » (Université d'Orléans, 2012, p. 4). Le dispositif réunit des exemples précis de pratiques de référence, comme celles de techniciens, ingénieurs, directeurs, chercheurs confirmés, enseignants-chercheurs, étudiants stagiaires, secrétaires qui appartiennent à des pratiques sociales de référence dans le sens de Martinand. Conformément à cette distinction, nous considérons qu'un questionnement majeur est celui interrogeant comment les explorations des élèves leur permettent de construire des représentations sur les pratiques sociales de référence des sciences. Par exemple, nous nous demandons comment les élèves ont pu se représenter les aspects sociaux que requiert la vie de laboratoire, sans se limiter par exemple aux seules activités autour de la paillasse ? Comment les élèves ont exploré les pratiques sociales de référence à travers leur expérience dans le laboratoire ?

2.4. L'exploration de pratiques doctorales

Cependant, le comité de pilotage du dispositif orléanais préconise que les élèves participent aux activités de recherche du doctorant. Conformément au cadre curriculaire précédemment décrit, nous nous demandons aussi comment la volonté institutionnelle d'une participation des élèves aux activités de la thèse peut se réaliser à travers les différents cas étudiés. Dans ce cas, quels aspects ou « éléments » des recherches doctorales sont-ils explorés par les élèves ?

2.4.1. Par l'intermédiaire de caractéristiques...

La PSR se différencie de la transposition didactique élargie car elle a des possibilités opératoires analytiques, au moyen d'un cadre matriciel (au sens de Develay, 2004) avec des caractéristiques identifiées et précises. Spécifiquement dans le cadre de notre recherche, qui ambitionne d'étudier l'« expérience » des élèves de la recherche scientifique et qui était en demande d'« aspects » de cette recherche doctorale, PSR répond à notre difficulté, en proposant des caractéristiques préétablis. Nous partageons l'avis de Martinand (1983), qui considère la transposition didactique (Chevallard, 1985) trop étroite car elle met en correspondance un seul terme de la référence, en l'occurrence le savoir du chercheur, alors qu'il n'y a pas de raison de se limiter aux seuls savoirs, dans le cadre d'une éducation aux sciences⁷³, et *a fortiori* dans un contexte de laboratoire de sciences pratiques. Martinand diversifie les aspects d'étude, en proposant de passer d'une transposition didactique restreinte (entre savoirs savant et savoir enseigné) à une transposition didactique générale (entre pratiques de référence et activités scolaires) (Martinand, 2001, p. 20). La matrice des caractéristiques de la PSR offre un cadre d'analyse opérationnel. Martinand (1986) écrit à ce propos que sa portée est plus vaste : elle fonctionne comme guide d'analyse des contenus (p. 138).

Cette diversification des caractéristiques dans PSR apparaît également en phase avec les réformes curriculaires actuelles, en ne mentionnant pas explicitement le savoir comme élément clé de l'apprentissage. C'est-à-dire qu'elle laisse implicitement sa place aux autres compétences. Elle est en accord avec les idées de contextualisation des enseignements des nouveaux curriculums. Si l'on prend l'exemple du module d'exploration de MPS, elle apparaît être en phase, les orientations de MPS étant davantage tournées vers des pratiques professionnelles que sur un seul savoir⁷⁴. Les savoirs sont même occultés, au profit de pratiques plus proches des préoccupations quotidiennes ou des médias. Durey et Martinand

⁷³ Pour Astolfi et Develay (1989), le concept des pratiques sociales de références peut-être entendu comme une critique de la transposition didactique si celle-ci se limite au « texte du savoir », sans envisager les activités correspondantes. Cette critique a été démentie par Martinand (2003) qui écrit que, contrairement à ce que certains ont pu écrire et à ce que croient de nombreux didacticiens francophones à leur suite, l'idée de pratique de référence n'est pas venue en critique de celle de transposition didactique, ni en complément à elle. L'idée de pratique de référence est née du besoin d'explicitier la signification de choix dans la conception, l'essai et l'évaluation de projets d'enseignement. La transposition didactique n'est ni bonne ni mauvaise en soi, elle est un fait (Martinand, 1983)

⁷⁴ Cf. Chapitre 2, partie 2.2.3. *L'enseignement de méthodes et pratiques scientifiques*, pour une description de l'EE de MPS sur cet aspect là

(1994) écrivent que la notion de pratique sociale de référence insiste sur le fait qu'il s'agit d'activités qui ne se réduisent pas à un rapport individuel au savoir, mais qu'il est nécessaire de prendre en compte les objets sur lesquels on travaille, les problèmes qu'on résout, les rôles socio-techniques dans le cadre d'une activité socialisée. Cette idée semble donc plus appropriée, parce qu'elle diversifie explicitement les sources du savoir enseigné, pour ne pas conserver l'unique texte d'un savoir de la recherche scientifique, et parce qu'elle indique également qu'outre les textes du savoir savant, sont pris en compte les activités humaines de références, dans le travail d'élaboration des phases d'un enseignement.

En cohérence avec les éléments apportés précédemment, notamment sur l'aspect matriciel et analytique de PSR, notre recherche se concentrera sur des caractéristiques précises, propres à la référence et aux explorations, mais en correspondance. L'expression de « caractéristiques de la PSR » sera employée dans la suite du texte, pour désigner ces éléments qui diffèrent selon les écrits. Une lecture approfondie des différents écrits sur PSR montre que le concept a évolué au cours du temps. Chez Martinand (1983, p. 234), Durey et Martinand (1994, p. 104), Martinand (2003b, p. 106), Astolfi et Develay (1989, p. 46), Martinand (2001, p. 19), Martinand (2003a, p. 127), nous avons retrouvé plusieurs « versions » différentes présentant les caractéristiques de la notion de PSR. Des précisions de ce que les auteurs nomment objets, problèmes, tâches, contextes et rôles sociaux sont éventuellement apportées. Les auteurs abordent la notion de PSR différemment selon les écrits, mais en toile de fond demeure toujours la problématique des références des aspects abordés par les élèves.

Le tableau ci-dessous (Tableau 3) présente plusieurs versions des caractéristiques dans la notion de PSR.

écrits →	Martinand (1981, p. 4) Martinand (1983, p.34)	Durey et Martinand (1994, p. 104) Astolfi et Develay (1989, p.46)	Martinand (2003b, p. 106)	Martinand (2001, p. 19) Martinand (2003a, p. 127)
Penser la relation entre la référence et les situations enseignement-apprentissage par rapport aux caractéristiques suivantes :	<p>1) Les tâches :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Objet/but des activités 2) Opérations techniques 3) Matériel 4) Documents 5) organisation du travail <p>2) Les qualifications, capacités et manières de les exercer dans un groupe de travail</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L’objet de travail : quel est le domaine empirique qui constitue le fonds d’expériences réelle ou symbolique dans lequel viendra s’ancrer l’enseignement scientifique ? ▪ Le problème scientifique : Quelle est la question que l’on se propose de faire étudier ? Il est nécessaire de la préciser si l’on veut éviter de couper les énoncés scientifiques de leur contexte de production. ▪ Les attitudes et les rôles sociaux : Quelle image de la science et de l’activité scientifique fournit-on aux élèves à travers les pratiques proposées ? ▪ Les instruments matériels et intellectuels correspondants. ▪ Le savoir produit en cours ou au terme de l’activité, dont l’énoncé permet de répondre au problème étudié. 	<p>Eléments établis au cours du travail de reconception de l’enseignement de la technologie :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) problème des références 2) problème des types d’activités pour les élèves 3) problème des outillages et équipements 4) problème du langage et des systèmes symboliques 5) Le problème de la technologie comme matière scolaire 6) Identité de la discipline nouvellement créée 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Les savoirs en jeu 2) Les objets 3) Les instruments 4) Les problèmes 5) Les tâches, les contextes et les rôles sociaux (pratiques socio-techniques)

Tableau 3. Les caractéristiques de la notion de PSR au fil des écrits

2.4.2. ...Dont il faut préciser les significations et appellations

La consultation des écrits précédents montre une diversification dans la façon d'envisager les caractéristiques de la PSR qui correspond soit à des éléments distincts (par exemple les objets et les problèmes), soit à des éléments conceptuellement assez proches ou sujets à confusion (par exemple le problème et le but des activités). Dans le cadre d'une éducation scientifique et d'un travail de recherche doctoral à l'intérieur d'un laboratoire scientifique, quels éléments choisir ? Ou, dans le cas de termes sujets à la discussion, quelle formulation adoptée ? Il apparaît important de se focaliser sur des éléments qui seraient essentiels et clairement identifiables, dans le cadre d'une entreprise scientifique menée dans ces laboratoires et vis-à-vis de la méthodologie de recueil de données employée.

2.4.2.1. Question d'étude ou problème scientifique ?

Par exemple, le premier élément qui nous semble fondamental est le problème scientifique qui a suscité l'étude des élèves ou la recherche doctorale. Mais cette notion peut-elle convenir pour notre recherche ? Un premier point concerne la possibilité d'une diversification des problèmes lors d'une même phase éducative dans le laboratoire car la notion de « problème » est, par nature, propre au sujet qui y est confronté et chacun est susceptible de s'accaparer son problème propre, sans que ce soit donc nécessairement le même pour un autre à l'intérieur d'une même phase éducative. La recherche que nous menons est-elle capable d'étudier les problèmes scientifiques de chacun des sujets des différents cas ? Nous pensons qu'il est plus raisonnable d'invoquer ici la notion de « question », distincte de celle de problème. Orange (2005, p. 8) évoque le « travail du problème » pour désigner ce que l'élève doit faire entre la question qui lui est posée et la résolution du problème. Alors que le problème inclut nécessairement la conception et l'entreprise d'une démarche de recherche, la « question » n'est pas opératoire dans sa définition (De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 2015). Cette dernière notion est donc plus restreinte et précise que la notion de problème. Le « problème » renvoie forcément à une question d'étude que nous considérons plus facile à recueillir. Par conséquent, vis-à-vis de la méthodologie de recherche que nous évoquerons plus loin et le sens plus précis qu'elle revêt, nous préférons la notion de *question d'étude*.

2.4.2.2. Les activités ou les tâches ?

Cette question d'étude conduit à des situations dans lesquelles les sujets agissent dans les laboratoires, soit en tant que chercheur, soit en tant qu'élève. Ces actions potentielles soulèvent des interrogations indispensables pour qui veut définir l'exploration des élèves de la recherche scientifique : que font les doctorants dans les laboratoires seuls et que font-ils avec leurs élèves ? Cette interrogation semble correspondre, là-encore, à différentes formulations et notions évoqués dans PSR selon les écrits. Par exemple, Martinand (1981, 1983) mentionne la

notion de tâche qui regroupe l'objet ou le but des activités, les opérations techniques, le matériel, documents et l'organisation du travail. Martinand évoque des tâches seules (2001, 2003a) ou des types d'activités pour les élèves (2003b). Que sont les notions de tâche et d'activité ? Quelle différence existe-t-il entre ces deux notions ? Quelle notion incorporer au cadre conceptuel ? Nous proposons l'étude des définitions de la littérature, afin d'identifier les définitions des notions de tâche et d'activité et de choisir celle qui conviendrait le mieux. Par exemple, une définition de la notion de tâche a été formulée par Develay (2004), reprenant celle de Léontiev (1976) pour qui la tâche est : « *un but déterminé dans des conditions déterminées* ». Les tâches constituent les activités que les élèves se doivent de réussir (p. 35). Pour Leplat et Hoc (1983), la tâche indique ce qui est à faire, l'activité ce qui se fait par les élèves. Pour Famose (1982, 1990) et Delignières (2004), la tâche est assignée par le professeur, elle précise, par des consignes, les modalités d'exécution et les buts à atteindre. L'activité est ce que met en jeu le sujet pour satisfaire aux exigences de la tâche et donc renvoie à des processus internes et n'est pas directement observable. La tâche correspond au travail à faire pour répondre à la demande et aux attentes de la personne qui l'a donné à faire. L'activité désigne ce que fait le sujet dans un contexte précis de travail. L'activité réelle est une interprétation de la tâche prescrite (Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre-Derville & Lahanier-Reuter, 2010). Ces définitions semblent, toutes, aller dans un même sens : alors que la tâche est extérieure au sujet et peut se formuler simplement, l'activité est interne, personnelle et donc sujet à diversification. Cette distinction nous amène à penser que, d'un point de vue méthodologique, la notion de tâche serait plus raisonnable que celle d'activité, car plus aisée à recueillir au moyen d'un discours par la personne qui a assigné la tâche à réaliser. *A contrario*, l'activité serait plus favorablement verbalisée par les personnes envers qui était destinée la tâche. Notre méthodologie se base sur des discours, à la fois des élèves et des doctorants, ces derniers étant à l'initiative des tâches des élèves. Nous proposons donc de conserver l'usage des deux notions parce que nous baserons notre étude à la fois sur les tâches demandées ou auto-prescrites, et les activités des élèves et des doctorants dans les laboratoires. Par conséquent, les informations récoltées rendent compte à la fois des tâches et des activités et il nous paraît réducteur pour la recherche de choisir entre l'une ou l'autre des notions. Cependant, il faut remarquer que le modèle que nous étudions comprend quelques élèves par doctorant et il est difficile de distinguer les différentes activités réalisées pour une même tâche. De plus, les activités des élèves étant mises en évidence par des verbalisations, il y a nécessairement une partie qui va demeurer cachée. Mais notre recherche n'a pas vocation à analyser avec autant de précision le faire des élèves ou des doctorants. Nous considérons également peu probable l'éventualité selon laquelle des élèves auraient agi différemment et de façon séparée. En outre, si une tâche s'avère difficile, rendant ardue l'activité des élèves, le doctorant rectifie la tâche : il est donc nécessaire de conserver les deux notions de tâche et d'activité, dans une visée heuristique. Nous pensons qu'une tâche peut donner lieu à une activité avortée, non verbalisée du fait de sa faible représentation, et cet événement peut être important pour éventuellement comprendre les choix effectués par les acteurs dans les

laboratoires.

2.4.2.3. Des instruments de différentes natures

Comme dit précédemment, le contexte de laboratoire de sciences pratiques conduit légitimement à s'interroger sur les objets utilisés et cet élément est prévu sous différentes appellations dans le cadre de PSR. Martinand (1981, 1983) évoque les matériels et/ou documents. Puis l'expression s'étoffe avec l'expression d'instruments matériels et intellectuels (Durey & Martinand, 1994 ; Astolfi & Develay, 1989). Plus récemment, Martinand (2001, 2003a) parle d'objets et/ou d'instruments ou encore d'outillages et équipements (Martinand, 2003b). Quel vocabulaire retenir ? Quelle étendue d' « objet » au sens large doit revêtir la notion choisie ? La diversité des approches évoquées, dans le cadre de PSR au cours du temps, offre un panel de termes qui nous paraît globalement adéquat afin de traduire la variété des instruments utilisés, éventuellement changeant selon les contextes et laboratoires.

Un premier élément sur lequel nous nous entendons est la distinction entre les objets matériels « concrets » palpables et les objets dits « intellectuels » qui sont sous la forme de logiciel ou de données numériques, etc. Nombreuses sont les thèses qui consacrent une part importante du temps à l'utilisation de ce type d'outil et nous devons les représenter.

Deuxièmement, il est nécessaire aussi de distinguer deux types de matériels dans les recherches doctorales ou utilisés avec les élèves. Cette distinction porte d'une part sur les instruments simples du laboratoire, comme par exemple la verrerie ou d'autres objets de base, d'autre part des matériels sophistiqués comme les instruments physiques d'analyse (spectromètre de masse par exemple, etc.). Il nous semble important de représenter dans le libellé ces deux types de matériels, bien que leur distinction soit tout à fait arbitraire. Nous faisons l'hypothèse que leur implication didactique est différente. Nous proposons, là encore, de conserver plusieurs termes imbriqués pour l'élaboration conceptuelle. Ainsi, l'expression d'instruments inclura tous les outils sans distinction. Le terme de matériels englobera les outils palpables et concret, à l'exclusion des logiciels ou autres instruments du numérique. Au sein de la catégorie des matériels, nous distinguons le terme d'outillages qui correspond aux objets de base, du terme d'équipements qui représente les outils potentiellement sophistiqués d'analyse physique. Enfin, les outils logiciels et apparentés seront regroupés sous l'appellation de matériels intellectuels. Certains termes ne renvoient pas à des notions scientifiquement établies mais nous les conservons néanmoins. Par exemple, nous utilisons le terme d'outillage pour la notion qu'il revêt d'un emploi manuel alors que celui d'équipement est plus général mais renverrait davantage à des matériels modernes, comme le spectromètre de masse par exemple. La distinction est arbitraire, puisque ces derniers requièrent une interface informatique et l'utilisation de logiciels dédiés, alors qu'ils ne rentrent pas dans la catégorie des instruments intellectuels. Nous considérons le logiciel comme un élément de l'ensemble qui sert à l'utilisation de l'outil. Il lui est indissociable et non commercialisé seul.

Dans ce cas, nous ne nommerons pas le logiciel et parlerons du matériel dans sa globalité.

Instruments	matériels <i>objets matériels « concrets » palpables</i>	outillages <i>objets de base, (verrerie, etc.)</i>
		équipements <i>instruments sophistiqués d'analyse</i>
	intellectuels <i>logiciels, instruments du numérique</i>	

Tableau 4. Caractérisation des instruments utilisés dans EDIFICE

2.4.2.4. Système ou représentation symbolique ?

Bon nombre de ces matériels d'analyse, et d'autres encore, sont susceptibles d'être à l'origine de représentations graphiques. Martinand (2003b) a évoqué l'importance de la prise en compte des langages et systèmes symboliques, dans l'exemple de la technologie, pour représenter les graphiques, les tableaux, le langage du dessin technique, les « écrits d'écran » de logiciels associés aux tableurs, grapheurs, etc. Les instruments évoqués précédemment peuvent nécessiter des interfaces de logiciels avec des écrits spécifiques, des graphiques ou des tableaux, etc. Par conséquent, associés aux instruments des sciences pratiques, nous proposons de prendre en compte ces « productions » symboliques, sans néanmoins reprendre le terme de langage. Celui-ci peut correspondre, d'après Martinand, aux écrits des interfaces des logiciels et notre méthodologie de recherche n'a pas l'intention de les étudier précisément. En revanche, nous proposons une réflexion sur la notion utilisée par Martinand de système, alors que celui de représentation nous semble plus communément employé dans le domaine éducatif. Dans une visée de clarification de nos libellés, sur quelle base le terme de système serait-il plus approprié que celui de représentation ? La littérature de recherche nous offre des pistes de réflexions afin de choisir entre l'une ou l'autre des notions. Là encore, la distinction est fondée sur les idées d'intériorité et d'extériorité par rapport au sujet. Comme nous avons pu l'évoquer pour la différence des définitions de la tâche et de l'activité, ou bien celle du problème et de la question, la représentation est propre à la personne, parce qu'elle est la manière dont un individu donné, à un moment donné, dans une situation donnée mobilise ses connaissances (Migne, 1994 ; Reuter *et al.*, 2010). De même, pour Develay (2004, p. 78), son statut est celui d'une théorie personnelle du sujet. L'objectif n'est pas d'étudier comment les élèves se représentent les « productions » symboliques, mais de les analyser en correspondance avec celles de la pratique sociale de référence. Par conséquent, compte tenu de ce statut, l'emploi du terme de système de Martinand (2003b) apparaîtra plus approprié. Un système regroupe un ensemble d'éléments de même espèce réunis de façon à former un ensemble. En association avec l'adjectif « symbolique », il renvoie à un ensemble, neutre et sans l'idée d'une représentation des graphismes, des figures, etc. Mais, dans la recherche, les « productions » symboliques sont-elles nécessairement analysées de façon figurative ? Le doctorant n'est-il pas susceptible d'instiller aux élèves sa façon de percevoir l'ensemble des

signes et des codes à l'intérieur d'une représentation ? Ne va-t-il pas potentiellement cibler pour montrer les éléments les plus intéressants ou pertinents pour l'étude ? Nous pensons que le chercheur se représente inévitablement les « productions » symboliques dans un cadre de pensée spécifique du domaine de recherche. De même, si nous écoutons les chercheurs expliquer ces « productions » symboliques, nous adopterons *a priori* leurs propres représentations. Par conséquent, nous considérons que nos analyses des « productions » symboliques ne permettent pas de les aborder de façon « sculpturale » ou figurative. Donc, il nous semble préférable d'employer, différemment de Martinand, l'expression de représentation symbolique, tout en gardant à l'esprit que le terme ne renvoie pas à un travail spécifique sur les représentations des élèves ou des doctorants.

2.4.2.5. *Les savoirs*

Le dernier élément, considéré dans notre cadre conceptuel de la PSR, portera sur les savoirs. Là encore, plusieurs versions sont proposées : le savoir produit en cours ou au terme de l'activité, dont l'énoncé permet de répondre au problème étudié (Durey & Martinand, 1994 ; Astolfi & Develay, 1989), ou bien la version des savoirs en jeu (Martinand, 2001, 2003a). Alors que les savoirs en jeu ne sont pas nécessairement à la pointe des recherches, les savoirs produits de la recherche doctorale sont nécessairement une nouveauté. Nous considérons les savoirs en jeu comme plus globaux et généraux que les savoirs produits, qui peuvent correspondre à des éléments très pointus des recherches doctorales. Du moins, notre approche sera quelque peu différente puisque, devant la variété importante des savoirs en jeu d'un travail de thèse, nous sommes contraints de prendre en compte des notions suffisamment larges les représentants. Par exemple, dans une recherche en géologie, nous mentionnerons la pétrologie comme étant un savoir en jeu, alors que les savoirs produits pourront correspondre à des faits très précis. Ces deux types de savoirs sont donc quelque peu différents et, pour cette raison, nous conservons ces deux notions distinctes des savoirs. Par conséquent, l'expression « des savoirs en jeu » désignent les savoirs, en tant que notions des contenus abordés et celle « des savoirs produits » correspond aux faits nouveaux produits éventuellement par le travail de recherche au sein des laboratoires.

Nous arrivons au terme des choix des caractéristiques de la PSR pour l'élaboration du cadre conceptuel. Ces caractéristiques permettront de focaliser l'étude, conformément aux intentions de la PSR, de la correspondance (Martinand, 1986, p. 137) entre la pratique sociale de référence et l'« expérience » des élèves sur des aspects précis, facilement identifiables et que nous considérons comme permettant de nous représenter la recherche entreprise. Le questionnement de la cohérence interne sera également réalisable puisqu'une hétérogénéité d'approche est tout à fait envisageable avec les élèves dans les laboratoires.

Pour résumer, dans le cadre conceptuel de la PSR et de notre recherche sur EDIFICE, les cinq caractéristiques explicitées précédemment seront donc considérées avec les formulations et définitions suivantes⁷⁵ :

- 1) **la (les) question(s) d'étude** qui correspond(ent) d'une part aux questions de recherches ou à l'objectif principal de la thèse de référence et d'autre part le(s) problème(s) formulé(s) motivant le(s) trav(ail)(aux) des élèves ;
- 2) **les activités et/ou les tâches** qui désignent, respectivement, les actions entreprises dans chaque laboratoire et, en conséquence, les buts donnés ou auto-assignés ;
- 3) **les instruments matériels (outillages et équipements) et intellectuels** qui caractérisent les différents « objets », spécifiques aux recherches, utilisés dans chaque laboratoire ;
- 4) **les représentations symboliques** qui sont les types de représentations graphiques qui permettent, par exemple, de représenter les données obtenues ;
- 5) **les savoirs en jeu et les savoirs produits** : les savoirs en jeu sont les contenus utilisés par rapport aux thématiques scientifiques et les savoirs produits rassemblent ceux qui sont éventuellement élaborés par les travaux.

3. LES EXPLORATIONS SONT DES ITINERAIRES DE MOMENTS EN LABORATOIRE

Le dispositif EDIFICE propose, pour la cohorte des élèves de seconde, une trentaine d'heures en laboratoire, réparties en séances de trois heures chacune et espacées de deux semaines environ. Cette durée discontinue nous amène à penser que les caractéristiques de la PSR, évoquées jusqu'à présent, n'offrent qu'un regard immobile et statique du point de vue de l'encadrement des élèves et de la recherche doctorale. Pour le moment, dans notre cadre, ces caractéristiques sont agrégées, sans possibilité de se représenter l'enchaînement des caractéristiques et l'évolution des pratiques en général. Cette remarque conduit à la recherche d'un élément conceptuel qui puisse nous permettre d'analyser comment les « contenus » des différentes caractéristiques s'articulent entre elles et au cours du temps. Quelles évolutions ou ajustements constate-t-on au cours des explorations en laboratoire ? Ce facteur temps conduit à un questionnement important, si l'on considère l'inexpérience supposée des doctorants en matière d'enseignement et le caractère nouveau du dispositif, interdisant la réutilisation de recettes ou de routines préexistantes. Les doctorants ont-ils pu greffer les élèves à leurs pratiques quotidiennes de recherche comme souhaité par le comité d'organisation d'EDIFICE ? Ou bien ont-ils été contraints de mettre en place des enseignements spécifiques en cours de route ? En outre, quelles évolutions de l'exploration apparaissent à la suite de négociations éventuelles ?

⁷⁵ Cette élaboration est issue des références de Martinand (2001, 2003a, 2003b) ; Durey et Martinand (1994) ; Astolfi et Develay (1989). Dans la suite du texte, lorsque nous mentionnerons la notion de PSR, telle que définie spécifiquement pour notre cadre conceptuel, nous citerons Martinand seul et sans référencement des années des publications.

3.1. La notion d'itinéraire

Par rapport à cet ensemble de questions, requérant la dimension temporelle d'une durée au cours de laquelle l'exploration est susceptible de présenter des inflexions, nous ancrons l'exploration des élèves dans la notion d'itinéraire. Nous construisons cette notion en référence à un dispositif passé (celui des itinéraires de découverte, IDD), mis en place au collège à la rentrée de 2002 (BO n°16 du 18 avril 2002⁷⁶), dont les visées sont de « *contribuer à la valorisation des goûts et aptitudes des élèves, par l'exploration de différents domaines d'étude, et faciliter ainsi la préparation des projets d'orientation ultérieurs* » et « *d'élargir l'espace d'initiative des équipes pédagogiques à travers la conception des thèmes et sujets d'étude* » (Ministère de l'Éducation Nationale, 2002). Nous retrouvons dans ces visées les thèmes de l'exploration et de l'orientation, également présents dans EDIFICE ou les EE. Un autre élément présent institutionnellement est une ouverture du cadre, un élargissement de l'espace d'initiative. C'est donc un aspect de nouveauté pédagogique, de renouvellement des formes pour l'éducation des jeunes qui convient particulièrement au contexte de notre recherche. Il est également mentionné dans les textes prescrits que ces IDD apportent un éclairage nouveau sur les contenus d'enseignement, par l'intermédiaire de parcours individualisés, diversifiés, le regroupement de deux disciplines. Par conséquent, l'itinéraire revêt l'idée d'une individualisation susceptible de se faire à l'échelle d'un groupe d'élèves. Dans EDIFICE, la variété des thèses et l'organisation en groupe de 2 à 6 élèves par doctorant induit également les idées de diversification, d'individualisation des parcours. L'interdisciplinarité est présente au travers les domaines de recherche susceptibles d'intégrer des notions séparées par les disciplines scolaires, permettant donc d'apporter un éclairage nouveau sur certains contenus.

L'emprunt du terme d'itinéraire est cohérent avec la forme curriculaire d'EDIFICE, si l'on prend en compte leur affiliation à ces « *zones marginales de liberté* » décrivant les IDD (Obin, 1993 ; cité par Lebeaume & Magneron, 2004) en tant que dispositifs juxtaposés à l'enseignement habituel, qui suggèrent de nouvelles conduites des professeurs et des élèves, sans les dicter pour autant (Magneron & Lebeaume, 2004). D'un point de vue sémantique, le mot « itinéraire » évoque l'orientation du chemin emprunté par les élèves et il est associé à la finalité de découverte qui désigne l'action de trouver ce qui était ignoré ou caché (Lebeaume *et al.*, 2003). Pour Lebeaume et Magneron, c'est « *l'occasion de changer, de mettre en œuvre des pédagogies alternatives ou de détour, d'offrir aux élèves des découvertes croisées et complémentaires de contenus, de valoriser des compétences expérientielles contribuant à la formation complète des jeunes* ». En outre, les itinéraires induisent des changements de posture des élèves par rapport aux enseignements habituels. Ils permettent d'explorer le monde avec une autre approche que celle très structurée, cloisonnée d'une discipline scolaire (Larcher & Crindal, 2004). Par conséquent, nous pensons que la notion d'itinéraire éducatif

⁷⁶ <http://www.education.gouv.fr/bo/2002/16/default.htm>

est associée aux idées d'un univers de travail des élèves moins contraint, dans lequel une certaine liberté de découverte leur est octroyée avec de nouvelles façons de travailler et d'apprendre. Sous ces aspects-là, la notion d'itinéraire nous semble en phase avec la notion d'exploration. Mais alors que l'itinéraire symbolise le chemin emprunté par l'élève, comment rendre compte des périodes différentes au sein de cet itinéraire ?

3.2. La notion de moment

Pour symboliser les temps de l'exploration, qui se différencient par rapport à des changements de tout ou partie de l'ensemble des caractéristiques de PSR précédemment explicités, nous proposons d'utiliser la notion de moment. Celle-ci nous apparaît cohérente avec les temps de l'exploration pour deux raisons principales :

- Par rapport à l'organisation du temps : Lebeaume, Follain et Diaz (2000, p. 198) emploient la notion de moment dans l'enseignement primaire, pour représenter un temps scolaire moins rythmé que dans le secondaire (compartimentation des enseignements par un emploi du temps qui distingue les salles, les professeurs et les disciplines scolaires). Les maîtres prennent en charges les différentes matières en façonnant des moments scolaires. Dans EDIFICE, les trois heures en laboratoires apparaissent revêtir cet aspect des moments scolaires, puisque le doctorant gère son temps avec les élèves et se déplace dans le laboratoire comme il le souhaite et selon le travail à effectuer.
- Par rapport au contenu : chez Lebeaume *et al.* (2000, p. 199), la notion de moment scolaire est associée à la découverte du monde, avec des tâches d'exploration, d'observation, d'investigation, de construction, d'analyse documentaire. Dans EDIFICE, conformément à l'organisation temporelle, les élèves et leur doctorant sont susceptibles par exemple d'utiliser des instruments différents au cours du temps, occasionnant des activités dédiées, elles-aussi distinctes des précédentes.

Donc, ces périodes distinctes des itinéraires d'exploration sont baptisées avec l'appellation de moment. Néanmoins, vis-à-vis du contexte d'EDIFICE, l'expression de moment scolaire ne peut pas être conservée et sera rebaptisée en « moment » ou « moment en laboratoire ».

Les caractéristiques de cette notion font que le « moment » peut désigner des durées différentes, mais il constitue l'« *unité fonctionnelle* » sur laquelle s'appuient nos analyses curriculaires (Bisault, 2011, p. 69).

L'association de l'exploration avec **les notions d'itinéraire et de moment** nous permet de caractériser chaque moment selon la nature des caractéristiques de PSR, pour l'étude de l'évolution de l'itinéraire. Un itinéraire étant par définition un ensemble de moments, ces itinéraires d'exploration peuvent également être caractérisés. La recherche de causes éventuelles aux changements constatés nous permet, conformément à notre visée de recherche, de mettre en évidence les influences exercées par les acteurs, doctorants, élèves et enseignants accompagnateurs sur l'exploration des élèves.

4. FORMULATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE

Trois axes de recherche sont donc poursuivis dans cette étude.

4.1. Des explorations pour des représentations sur les sciences et les pratiques sociales des laboratoires

Le dispositif orléanais est une mise en œuvre possible de l'enseignement d'exploration de MPS, qui souhaite dans la visée prescrite que les élèves puissent explorer des filières et des activités professionnelles de scientifiques (BO spécial n°4 du 29 avril 2010). Cette volonté est aussi présente au travers des visées du dispositif EDIFICE, en se concentrant néanmoins, non pas sur l'ensemble des métiers et activités professionnelles en relation avec les sciences, mais spécifiquement sur les professions des laboratoires de recherche. Donc les deux prescriptions, à la fois nationale et orléanaise, souhaitent communément des explorations qui puissent parvenir à générer des représentations, embrassant les caractéristiques des pratiques sociales des corps des professionnels en action. Cet enjeu du curriculum potentiel rejoint une thématique importante en didactique des sciences, sur l'acculturation aux sciences comprenant la construction de représentations sur les sciences en train de se faire (par exemple Maurines, Gallezot, Ramage & Beaufils, 2013). Cependant, dans le partenariat EDIFICE, il est demandé aux doctorants d'un point de vue opératoire qu'ils fassent participer les élèves à leurs pratiques de recherche. Nous nous interrogeons donc sur les possibilités offertes aux élèves de se représenter les pratiques sociales de référence du laboratoire et d'acquérir des connaissances sur la nature des sciences. Alors qu'ils construisent leurs représentations des sciences en train de se faire principalement par l'intermédiaire d'un doctorant :

- **Comment les élèves parviennent-ils à construire des représentations qui englobent les pratiques sociales des professionnels à l'œuvre dans le laboratoire de recherche au cours des itinéraires d'exploration ?**
- **Dans quelles mesures ces représentations ont elles une vertu générale en ce qui concerne les professions à l'œuvre dans le laboratoire et la nature des sciences ?**

4.2. Des explorations pour des représentations sur des pratiques de recherches doctorales

Les préconisations du dispositif orléanais souhaitent que les élèves participent aux activités de recherche du doctorant. Nous utilisons les questionnements curriculaires de Martinand (2000) afin d'envisager le dispositif, par rapport à ses aspects programmatiques d'une part et tel qu'il est effectivement mis en place dans les laboratoires, d'autre part. Nous avons observé une

cohérence entre les intentions des EE et celles d'EDIFICE, afin de faire participer les élèves à une recherche doctorale qui leur permettrait de se représenter les activités professionnelles de chercheur scientifique. Cependant nous nous demandons si cette intention de faire participer les élèves à la recherche doctorale est effectivement le cas au niveau de la mise en œuvre réelle de l'expérimentation orléanaise. Dans quelle mesure la volonté institutionnelle d'une participation des élèves aux activités de la thèse peut-elle se réaliser à travers les différents cas étudiés ? Quels aspects ou « éléments » des recherches doctorales sont explorés par les élèves ? Pour permettre de comparer les « éléments » abordés par les élèves avec la pratique de recherche des doctorants, nous utilisons la notion de pratique sociale de référence de Martinand qui nous permet de penser la correspondance entre la pratique doctorale et les itinéraires d'exploration des élèves. Bien que la référence corresponde, dans ce cas précis, à la pratique de recherche d'un doctorant et non à l'ensemble de la pratique sociale de la profession de chercheur, nous considérons néanmoins la correspondance d'après cinq caractéristiques de PSR explicitées précédemment. Par conséquent, nous proposons d'analyser en tant que deuxième objectif de cette recherche :

- **Comment les itinéraires d'explorations des élèves dans les laboratoires sont-ils en correspondance avec la recherche doctorale de référence ?**
- **Quels types d'exploration les élèves ont-ils, par conséquent, réalisés dans les laboratoires par rapport à la correspondance avec la recherche doctorale de référence ?**

4.3. Des explorations évoluant dans une dynamique de partenariat en interaction avec les partenaires en présence

Nous considérons également que l'étude des explorations des élèves des sciences en train de se faire vis-à-vis de leur correspondance avec la recherche doctorale doit également prendre en compte le caractère suivi et régulier des temps d'exploration en laboratoire. Cette continuité dans le temps du suivi d'une recherche doctorale est une caractéristique fondamentale d'EDIFICE qui contribue à son côté d'innovation. Rappelons qu'au cours des années scolaires de seconde ou de première, les élèves ont l'opportunité de suivre la recherche doctorale sur six mois environ, étant donné la répartition dans l'année des périodes durant lesquels ils vont se rendre dans les laboratoires. Nous considérons cet aspect fondamental parce que ces temps longs permettent à chacun des acteurs d'évoluer de par les interactions réalisées et sont propices à favoriser le développement de cultures et de compétences profitables à chacun des acteurs. D'un côté, les élèves découvrent un lieu aux coutumes et culture hyperspécialisées (Latour & Woolgar, 1996), encadrés par un chercheur en formation, qui doit, de son côté, en même temps qu'il élabore le processus de sa recherche et l'entreprend, permettre le suivi sa démarche. Le tout s'effectue, éventuellement, avec la participation d'un enseignant de lycée qui n'a officiellement pas de rôle alloué. Dans un tel

contexte dynamique, nous pensons que l'étude des explorations des élèves ne peut se passer d'une analyse concernant leurs évolutions dans le temps. Cet aspect dynamique qui doit construire une convergence de « vue » des trois types d'acteurs, afin de parvenir à donner un sens commun au projet est un critère de réussite des partenariats scientifiques (Rahm, Miller, Hartley & Moore, 2003). L'organisation partenariale propre à EDIFICE, propice à des négociations, oblige que l'on prenne en compte les évolutions des explorations susceptibles d'être influencées par des interactions entre les trois acteurs : doctorant, élèves et enseignant accompagnateur qui sont des partenaires dans le laboratoire. Nous proposons, par ailleurs, de nous focaliser également sur les rôles endossés par les enseignants accompagnateurs, étant donné l'absence de rôle alloué au niveau institutionnel.

- **Comment les différents partenaires réunis dans le laboratoire influencent-ils l'élaboration des itinéraires d'exploration des élèves et leur correspondance avec la recherche doctorale ?**
- **Quels rôles les enseignants accompagnateurs ont-ils endossés dans le partenariat pour l'élaboration des itinéraires d'exploration ?**

5. BILAN DU QUATRIEME CHAPITRE

Nous considérons que le dispositif EDIFICE, tel qu'il a été conçu et préconisé aux doctorants, appartient au curriculum potentiel en tant que forme possible imaginé du dispositif de l'enseignement d'exploration de MPS. Si nous prenons en compte le niveau imaginé pour la mise en œuvre par les doctorants, il existe deux niveaux potentiels, A et B, du curriculum donnant lieu à des questionnements de recherche. Par ailleurs, en plus du prescrit national des textes officiels des EE et de l'enseignement de MPS, le curriculum coproduit correspond à la mise en œuvre effective par les trois types d'acteurs doctorants, élèves et enseignant accompagnateur, partenaires.

Nous faisons appel à la notion de pratique sociale de référence (PSR) de Martinand pour penser et analyser la correspondance entre les explorations des élèves et les sciences en action prises pour référence. Cette notion, élaborée dans le cadre de la construction d'un curriculum prescrit technologique, permet notamment de se représenter la correspondance relativement à l'ensemble des pratiques d'un corps de professionnels en action. Cette idée est cohérente avec une visée d'EDIFICE et l'éducation à l'orientation préconisée dans le dispositif de l'enseignement de MPS. Donc, nous nous demandons dans quelle mesure les explorations des élèves englobent l'ensemble des pratiques sociales de référence des professions du laboratoire.

De plus, conformément au cadre curriculaire, le dispositif orléanais préconise que les élèves participent aux pratiques de recherche de la thèse du doctorant. Mais dans quelle mesure les explorations scientifiques vécues par les élèves sont-elles en correspondance avec la recherche doctorale ? Cette étude se nourrit également du cadre analytique et matriciel de la notion de PSR, à partir duquel nous extrayons cinq caractéristiques afin de caractériser la correspondance entre les explorations des élèves et la recherche doctorale : 1) la (les) question(s) d'étude, 2) les activités et/ou les tâches, 3) les instruments matériels (outillages et équipements) et intellectuels, 4) les représentations symboliques et 5) les savoirs en jeu et les savoirs produits.

La notion d'exploration est également construite en empruntant le terme d'itinéraire, pour spécifier le temps et la trajectoire éducative vécue par les élèves dans les laboratoires. Ce terme d'itinéraire provient du dispositif des itinéraires de découverte et revêt l'idée d'un parcours individualisés, diversifiés dans un cadre d'initiatives pédagogiques ouvert (Ministère de l'Éducation Nationale, 2002). Lebeaume et Magneron (2004) emploient le mot d'itinéraire affilié à l'occasion de mettre en œuvre des pédagogies alternatives et de valoriser des compétences expérientielles contribuant à la formation des jeunes. Ces itinéraires correspondent également à des successions de moments en laboratoire pour reprendre une terminologie de Lebeaume *et al.* (2000), spécifiant là-encore une organisation du temps moins

rythmé qu’habituellement dans le cadre scolaire et caractérisée par des activités spécifiques.

Ces éléments conceptuels nous permettent de caractériser les explorations des élèves selon des itinéraires de moments en laboratoire et d’examiner leur évolution au cours du temps, en fonction éventuellement des négociations entreprises par les partenaires.

Trois axes de recherche sont donc poursuivis, selon nos questions de recherches. Le premier axe se situe au niveau du curriculum produit et l’articulation entre celui-ci et le niveau prescrit de l’EE de MPS et le niveau du curriculum potentiel des préconisations d’EDIFICE.

- 1) Axe 1 : Spécifier l’exploration des élèves, du niveau du curriculum co-produit, en fonction des représentations élaborées sur les sciences et les pratiques sociales des laboratoires, au moyen du questionnement suivant :
 - a. Comment les élèves parviennent-ils à construire des représentations qui englobent les pratiques sociales des professionnels à l’œuvre dans le laboratoire de recherche au cours des itinéraires d’exploration ?
 - b. Dans quelles mesures ces représentations ont-elles une vertu générale en ce qui concerne les professions à l’œuvre dans le laboratoire et la nature des sciences ?

Le deuxième axe intègre aussi le niveau du curriculum potentiel des doctorants et tente de mettre en évidence la diversification dont il fait preuve dans sa conception et lors des mises en œuvre effectives du curriculum produit.

- 2) Axe 2 : Caractériser les explorations des élèves en fonction de la correspondance des itinéraires avec les pratiques de recherches doctorales, par les questions ci-dessous :
 - a. Comment les itinéraires d’explorations des élèves dans les laboratoires sont-ils en correspondance avec la recherche doctorale de référence ?
 - b. Quels types d’exploration les élèves ont-ils, par conséquent, réalisés dans les laboratoires par rapport à la correspondance avec la recherche doctorale de référence ?

Le troisième axe se situe, plus spécifiquement, au niveau du curriculum co-produit et des ajustements et modifications induites sur le niveau du curriculum potentiel des doctorants.

- 3) Axe 3 : Examiner l’évolution des itinéraires d’exploration en interaction avec les rôles endossés par les acteurs dans la dynamique partenariale, en interrogeant :
 - a. Comment les différents partenaires réunis dans le laboratoire influencent l’élaboration des itinéraires d’exploration des élèves et leur correspondance avec la recherche doctorale ?
 - b. Quels rôles les enseignants accompagnateurs ont-ils endossés dans le partenariat pour l’élaboration des itinéraires d’exploration ?

CHAPITRE 5

METHODOLOGIE POUR L'ELABORATION DES REPRESENTATIONS DE RECHERCHE SUR LES ITINERAIRES D'EXPLORATION VECUS

1. PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE

1.1. Le terrain de la recherche correspond à la première cohorte du dispositif

L'étude des itinéraires d'exploration rapportée dans ce mémoire porte sur la première année de mise en œuvre du dispositif EDIFICE à Orléans⁷⁷, au cours de l'année scolaire 2012-2013⁷⁸. Cette première année de fonctionnement a permis la participation de 90 élèves, dont 40 filles et 50 garçons. Ils sont répartis en 26 groupes comportant deux à cinq élèves, sous la tutelle de leur doctorant respectif. Pour l'étude des axes 2 et 3, la cohorte ciblée comprend exclusivement des élèves de seconde de lycée général et technologique et c'est la seule cohorte du dispositif cette année-là. Pour l'axe 1, certaines données sur les représentations des sciences sont récoltées auprès des élèves de la première cohorte à l'issue de leur année en classe de première S. Elles prennent donc en compte, globalement, deux années de mise en œuvre du dispositif. Quelques modifications ont eu lieu au sein de la cohorte, entre la première et la deuxième année de fonctionnement, mais nous considérons ces changements, concernant quelques doctorants et quelques élèves, comme marginaux. Ils n'entravent pas

⁷⁷ Orléans est une ville de moyenne importance de 115 000 habitants. L'ensemble de l'agglomération orléanaise réunit 275 000 habitants.

⁷⁸ Le recueil général des données est réalisé sur les années scolaires 2012-2013 et 2013-2014. L'année scolaire de 2013-2014 permet une récolte de données à la fois sur la première cohorte au cours de sa deuxième année de participation au projet en tant qu'élèves de première et la deuxième cohorte au cours de sa première année de participation en tant qu'élèves de seconde. Le choix a été fait pour ce mémoire de thèse de réduire les données utilisées étant donné leur nombre.

l'étude de cet axe de recherche, parce que nous n'analysons pas les représentations des pratiques sociales des laboratoires générées, en fonction des recherches doctorales explorées.

1.2. Les lycées concernés

Trois lycées d'Orléans participent au projet EDIFICE. Afin de garantir l'anonymat, nous les mentionnons par les lettres A, B et C. Le lycée A est un lycée du centre-ville, au même titre que le lycée B, mais les deux établissements ont des profils différents sous certains aspects. En effet, le lycée A⁷⁹ offre les filières générales en littéraire, économique et social, scientifique, et la filière d'enseignement technologique de sciences et technologies du management et de la gestion (STMG). Dans le supérieur, ce lycée propose un large éventail de filières en classes préparatoires, pour les bacheliers L, ES ou S (scientifique, littéraire, économique et agronomie-vétérinaire).

Le lycée B propose, outre les filières générales en littéraire (L), économie et social (ES) et scientifique (S), un enseignement général de sciences de l'ingénieur (SI). En plus d'une filière STMG, il possède une filière d'enseignement technologique de science et techniques industrielles et développement durable (STI2D)⁸⁰. Dans le post-baccalauréat, il offre des formations de Brevet de Techniciens Supérieur (BTS) à dominante industrielle, des licences professionnelles et accueille également des étudiants des classes préparatoires aux grandes écoles en sciences physiques, technologie et sciences de l'ingénieur. Une formation en comptabilité gestion va jusqu'au niveau du Master. Pour les classes de seconde, l'enseignement d'exploration des sciences de l'ingénieur fait partie du panel proposé aux élèves.

Le lycée C⁸¹ est excentré par rapport aux deux autres établissements, près des campus de l'université d'Orléans et du CNRS. L'établissement offre, dans le secondaire, en plus des trois filières générales classique (S, ES et L), les filières technologiques de sciences et technologies de la santé et du social (ST2S) et de sciences et technologies du management et de la gestion (STMG). Dans le supérieur, il accueille des étudiants dans plusieurs formations de BTS, ainsi qu'en Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles de commerce option économique, réservée aux bacheliers ES et L et option technologique, réservée aux bacheliers STMG.

Ces trois établissements ont la particularité de proposer une offre de formation dans le secondaire et le supérieur, mais chacun possède sa spécificité propre, en plus de l'offre de formation classique. Le lycée A possède plutôt un profil généraliste avec les nombreuses Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles qu'il accueille, alors que le lycée B a une dominante industrielle et sciences de l'ingénieur. Le lycée C est davantage tourné vers la santé, le social et le commerce.

⁷⁹ *Idem*

⁸⁰ D'après le site internet du lycée.

⁸¹ *Idem*

Si l'on se réfère aux informations de 2009⁸² de la division de l'évaluation et de la performance (DEP) du rectorat d'Orléans-Tours, le lycée C accueillait 1701 élèves dont 31,7% de catégories socio-professionnelles défavorisées (PCS⁸³) : 4,5% des élèves de seconde sont ou ont déjà redoublé au moins une fois et 27,3% d'entre eux sont passés en première S à la rentrée 2009. La population des 1588 élèves du lycée B a 38,5% de PCS défavorisées : en seconde, 5,1% des élèves sont en retard scolaire et 37,3% accèdent à la première S. Ce chiffre est légèrement inférieur à celui du lycée A pour lequel 39,5% des élèves de seconde sont passés en première S à la rentrée de 2009, en outre, 3,9% des élèves de seconde de cet établissement ont déjà au moins redoublé une fois. Le lycée a une population de 1934 élèves qui comprend 18,1% de PCS défavorisées.

D'un point de vue social, les deux lycées A et B du centre-ville, pourtant géographiquement très proches, ont globalement des populations différentes. Par exemple, le lycée A avait, en 2009, plus de deux fois moins d'élèves provenant des catégories socioprofessionnelles défavorisées que le lycée B. L'établissement C a un positionnement intermédiaire, de ce point de vue, mais il est plus proche du lycée B. Ces deux établissements ont des PCS défavorisées supérieures à la moyenne départementale de 28,7% qui s'explique par le positionnement, dans l'agglomération orléanaise, des collèges de secteur, à partir desquels s'opère le recrutement.

Ce constat de populations d'élèves différentes d'un établissement à l'autre doit-il être pris en compte pour notre recherche ?

1.3. L'élève-type a un intérêt pour les sciences

Au lycée A, le choix a été fait, par l'équipe enseignante, d'informer les élèves de troisième en sollicitant les enseignants des collèges de recrutement, afin de privilégier des élèves motivés par les sciences, mais pas nécessairement considérés comme excellents ou de bon niveau scolaire. Par conséquent, la classe participant au dispositif EDIFICE est constituée d'élèves tous motivés *a priori* par les sciences, sans que leur niveau soit forcément toujours très bon. Sur 33 élèves, une vingtaine était donc au courant de leur participation dès le début de l'année, donc *a priori* volontaires alors que les autres n'étaient pas au courant, mais faisaient partie des élèves ayant choisi l'option MPS.

Au lycée B, une dizaine d'élèves sur 32 ont souhaité participer au projet, à la suite d'une communication des enseignants. Ces élèves avaient tous souhaité, auparavant, suivre l'enseignement d'exploration de MPS ou de SL (Sciences et Laboratoire). Pour obtenir le nombre d'élèves requis, les enseignants ont ensuite sollicité des élèves, en ciblant parmi ceux qui avaient préalablement choisi les enseignements de MPS et de SL. Seuls des élèves volontaires ont été recrutés.

⁸² Ces données et les actualisations récentes ne sont plus accessibles sur le site de l'académie d'Orléans-Tours.

⁸³ PCS défavorisées : Ouvriers - employés et ouvriers retraités - chômeurs n'ayant jamais travaillé – inactifs.

Les élèves du lycée C, éventuellement sur conseil de leurs parents, pouvaient choisir d'intégrer le dispositif directement par l'intermédiaire de leur dossier d'inscription en seconde. Néanmoins, le lycée avait également décidé de participer à un autre projet scientifique inclus dans EDIFICE (le projet Ballon cosmique⁸⁴). Celui-ci a réuni 18 élèves, dès le premier trimestre, mais il n'y a plus eu assez d'élèves volontaires pour intégrer la tranche 1 avec les doctorants dans leur laboratoire. Par conséquent, une partie des élèves n'était pas nécessairement volontaire pour le projet, mais avait choisi de suivre l'enseignement de MPS « classique ». Au total, ce sont donc 25 élèves du lycée C qui ont participé à la tranche 1 du programme EDIFICE.

Pour les trois lycées, il apparaît que, pour la première année de mise en fonctionnement du dispositif, tous les élèves ont choisi l'enseignement d'exploration de MPS. On peut raisonnablement penser, sans toutefois le certifier pour tous les élèves, qu'ils ont un intérêt pour les sciences. Malgré les différences de population, en termes de PCS, des élèves de seconde de chacun des lycées et étant donné le tri effectué dans la constitution des cohortes de chacun des lycées, nous considérons, pour notre recherche, qu'il existe un profil-type d'élève dans EDIFICE, pour sa première année de mise en œuvre. L'élève-type de la première cohorte est plutôt un élève intéressé par les sciences, sans qu'il soit nécessairement considéré d'un bon niveau scolaire.

Pour la suite de l'étude, nous ne distinguons pas les cas étudiés selon le lycée d'origine des élèves, ni leur niveau scolaire et nous considérons, relativement à nos questions de recherche, qu'il n'existe qu'un seul profil d'élève pour l'ensemble du dispositif. Néanmoins, nous ne nous défaisons pas des informations sur le lycée d'origine des élèves, parce que certains élèves ont pu bénéficier d'une aide au cours de séances d'Accompagnement Personnalisé (AP), qui font alors figure d'appui curriculaire au dispositif (elles sont également intégrées au curriculum produit, du point de vue des contenus abordés dans le laboratoire). Par exemple, au lycée A, l'équipe des enseignants accompagnateurs a utilisé de façon officielle le dispositif d'AP, afin de travailler sur des savoirs abordés en laboratoire. En revanche, les élèves des lycées B et C n'ont pas utilisé d'autres temps d'approfondissement des notions rencontrées, en dehors des moments en laboratoire. Ces considérations sont susceptibles d'apporter un éclairage à certains résultats. A noter que dans le lycée B, les élèves sont répartis dans toutes les classes de seconde, soit trois ou quatre élèves par classe, alors que dans les deux autres lycées, ils sont tous regroupés dans une seule classe.

⁸⁴ Pour une présentation de la participation des élèves du lycée C à ce projet, lire la page : https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/Investissements d'Avenir/documents/presentations_edifice_pm_ballonscosmiques.pdf

1.4. Les laboratoires et les institutions impliqués

Huit laboratoires sont représentés au sein des 26 cas du dispositif et tous sont ciblés par notre étude, sans néanmoins être représentés lorsqu'on considère individuellement chacun de nos axes de recherche. Quatre de ces laboratoires effectuent des recherches en sciences physiques, un en chimie, un en biologie moléculaire et deux en sciences de la Terre.

- Le laboratoire CEMHTI (Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation)⁸⁵ est une unité propre du CNRS, conventionnée avec l'université d'Orléans, dont les recherches portent sur l'analyse et la compréhension des propriétés physico-chimiques des matériaux en conditions extrêmes, à partir d'une meilleure description de la structure atomique locale.
- Le laboratoire PRISME (Pluridisciplinaire de Recherche en Ingénierie des Systèmes, Mécanique et Energétique)⁸⁶ de l'université d'Orléans, est pluridisciplinaire dans le domaine des sciences de l'ingénieur avec un large spectre incluant : la combustion dans les moteurs, l'énergétique, l'aérodynamique, la mécanique des matériaux, etc.
- L'ICARE (Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement) est sous la tutelle mixte du CNRS et de l'université d'Orléans. Les recherches entreprises concernent les domaines de la combustion, des réactions chimiques de l'atmosphère en relation avec l'environnement et de la propulsion spatiale avec les écoulements à grande vitesse.
- Le GRÉMI (Groupe de Recherches sur l'Énergétique des Milieux Ionisés)⁸⁷ est une unité mixte de recherche de l'université d'Orléans et du CNRS, dont les travaux concernent les procédés plasmas et/ou laser et leurs applications dans les domaines de l'énergétique, des matériaux, de la micro-électronique, des nanotechnologies, de la métrologie, des sources de rayonnement, etc.
- L'ICOA (Institut de Chimie Organique et Analytique)⁸⁸ est une unité mixte de recherche sous les tutelles de l'université d'Orléans et du CNRS. Il a pour mission l'identification de nouvelles molécules ayant des applications en thérapeutique et en cosmétique.
- Le CBM (Centre de Biophysique Moléculaire)⁸⁹ est une unité propre du CNRS conventionnée avec l'université d'Orléans qui rassemble des physiciens, des chimistes et des biologistes pour la compréhension des propriétés des macromolécules biologiques et de leur rôle dans certaines maladies.
- L'ISTO (Institut des Sciences de la Terre d'Orléans)⁹⁰ est une unité mixte de recherche du CNRS, de l'université d'Orléans et du BRGM⁹¹, dans le secteur des géosciences. Le

⁸⁵ Fiche signalétique sur http://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/Intranet/Documents/Library/CEMHTI-UPR3079_2015.pdf

⁸⁶ http://www.partenaires-techno-45.fr/pdf_fiche/laboratoire/14/Laboratoire.pdf

⁸⁷ <https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/GREMI/documents/gremi.pdf>

⁸⁸ <http://www.icoa.fr/sites/default/field/document/ICOA-FLA4-DEF.pdf>

⁸⁹ <http://www.cbm.cnrs-orleans.fr/IMG/pdf/cbm-fla4-fre-def.pdf>

⁹⁰ <http://www.isto.cnrs-orleans.fr/images/stories/pdf/umr7327.pdf>

⁹¹ Bureau de Recherches Géologiques et Minières

laboratoire regroupe un vaste champ disciplinaire dans les domaines de la géodynamique, la pétrologie expérimentale, la biogéochimie des environnements continentaux, des fluides géologiques et des ressources minérales.

- Le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) est l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol.

1.5. La population des doctorants

Seize hommes et dix femmes composent la population des doctorants. Kholoud, Roman, Benjamin et Olga effectuent leur recherche au laboratoire du CEMHTI, Hao travaille au CEMHTI, mais il collabore avec l'ISTO. Kévin, Amal, Charles et Jean sont au laboratoire PRIME, Yann effectue généralement ses recherches à l'ICARE, mais il est à PRISME pour la partie expérimentale. Nicolas et Marie travaillent au laboratoire du GRÉMI. Laure et Geoffrey sont à l'ICOA, tandis que Wissem, Safia et François mènent leur recherche au CBM. Benoît, Thomas, Adoum, Yann-Aurélien, Giulia et Aurélien travaillent à l'ISTO, alors que Julie, Sarah et Armel sont à la fois à l'ISTO et au BRGM.

Leurs âges n'ont pas été renseignés mais ils ont tous moins de trente ans au moment des entretiens. Cinq doctorants ont évoqué posséder des expériences d'enseignement, auprès d'élèves de lycées, lors de cours particuliers en sciences. Neuf doctorants sont chargés de l'encadrement d'élèves du lycée A, dix d'élèves du lycée B et sept ont des élèves du lycée C.

Le tableau suivant (Tableau 5, divisé en trois parties A, B et C) présente l'ensemble des données sur chacun des doctorants, afin de compléter cette présentation non exhaustive.

Données sur les doctorants et leur recherche de thèse									Elèves par groupe	
Prénoms	sexe	laboratoire(s)	Discipline scientifique	1 ^{er} cycle du supérieur, Lieu d'obtention	2 ^{ème} cycle du supérieur, lieu obtention	Année de 1 ^{ère} inscription en thèse	Titre de thèse	Expériences d'enseignement de niveau lycée / autres expériences d'enseignement	Nombre	Lycée d'origine
Kholoud	F	CEMHTI	Physique des matériaux	Licence de Physique et Chimie, (Liban)	Master de Physique et chimie, (Liban)	2012	Cristallisation dans les verres : influence de la croissance cristalline sur les propriétés de transparence	Cours particuliers	4(1♀-3♂)	B
Roman	H	CEMHTI	Physique des matériaux	Rostov sur le Don (Russie)	Rostov sur le Don (Russie)	2012	Propriétés structurales et dynamiques dans les sulfates d'alcalins	-	2(1♀-1♂)	B
Benjamin	H	CEMHTI	Physique des matériaux	Classe préparatoire, Caen	Ecole d'ingénieur, Limoges	2011	Développement de matériaux réfractaires à haute émissivité pour superstructure de fours verriers	o	4(4♂)	B
Hao	H	CEMHTI / ISTO	Physique des matériaux	-	(Chine)	2012	Approche structurale in situ des milieux fondus sous conditions extrêmes de température et de pression	-	3(1♀-2♂)	C
Olga	F	CEMHTI	Physique des matériaux	Rostov sur le Don, (Russie)	Rostov sur le Don (Russie)	2011	Spectroscopie et imagerie Raman de matériaux inhomogènes	Cours particuliers en mathématiques et sciences physiques	3(1♀-2♂)	C
Kévin	H	PRISME	Mécanique des fluides	Licence, Orsay	Master de mécanique des fluides, Orsay	2012	Influence d'un actionneur plasma à un écoulement du type cisailé libre	Lauréat du certificat d'aptitude d'enseignement à l'aéronautique	2(2♀)	B
Amal	F	PRISME	Génie Mécanique	Classe préparatoire scientifique	Ecole nationale supérieure des arts et industries textiles, Roubaix	2012	Analyse et modélisation du choix des renforts pour optimiser la mise en forme de matériaux composites à base de fibres végétales	o	2(1♀-1♂)	B
Charles	H	PRISME	Mécanique et Energétique	Classe préparatoire, Rennes	Ecole nationale supérieure d'électrotechnique, d'électronique, d'informatique, d'hydraulique et des télécommunications, Toulouse	2012	Etude expérimentale de la dynamique des flammes de prémélange iso-octane / air en expansion laminaire et turbulente fortement diluées	Cours particuliers de sciences	4(1♀-3♂)	B
Yann	H	ICARE / PRISME	Chimie de la combustion	DUT Mesures physiques, Annecy	Master combustion pollution et risque sur l'environnement Orléans	2011	Etude expérimentale et modélisation de l'oxydation de composés organiques à des fins de sécurité industrielle	Stages en établissements scolaires dans le cadre du module de préprofessionnalisation / Stages en lycée, préparateur de travaux pratiques en lycée	4(3♀-1♂)	B

Tableau 5-A. Données générales sur la population des doctorants (« o » : non réalisé ; « - » : non évoqué et/ou pas réalisé).

Données sur les doctorants et leur recherche de thèse									Elèves par groupe	
Prénoms	sexe	laboratoire(s)	Discipline scientifique	Licence Lieu d'obtention	Master lieu obtention	Année de 1 ^{ère} inscription en thèse	Titre de thèse	Expériences d'enseignement de niveau lycée / autres expériences d'enseignement	Nombre	Lycée d'origine
Jean	H	PRISME	Chimie de la combustion	DUT Mesures physiques, Rouen	INSA de Rouen, Master énergie, fluide et environnement, Rouen	2012	Etude expérimentale de la combustion HCCI par l'ajout d'espèces oxydantes minoritaires	-	3(3♂)	B
Wissem	F	CBM	Biologie moléculaire	-	Master de physiologie et biologie des organismes, Paris	2012	Le récepteur 5HT6 de la sérotonine comme cible de traitement de la neurofibromatose	-	2(2♀)	A
Safia	F	CBM	Biologie moléculaire	(Tunisie)	Master de biologie cellulaire et moléculaire, Orléans	2012	Imagerie moléculaire des micro ARN dans le cancer du sein	-	4(4♀)	A
François	H	CBM	Biologie moléculaire	Licence de biologie, Lille	Master de microbiologie, Strasbourg	2012	Étude de la conservation de la terminaison de la transcription Rho-dépendante au sein de la biodiversité	-	2(2♀)	A
Benoît	H	ISTO	Sciences de la Terre	Licence de géologie, Orléans	Master de géosciences et géochimie, Orléans	2012	Variabilité spatio-temporelle des émissions de GES dans une tourbière à Sphaignes : effets sur le bilan de carbone	Quelques cours particuliers	3(1♀-2♂)	C
Julie	F	ISTO / BRGM	Sciences de la Terre	Licence de géologie, Dijon	Master de géologie, Dijon	2011	Étude des changements paléoenvironnementaux, à la transition Eocène-Oligocène	Tutorat à l'université, vulgarisation au niveau primaire, monitrice de natation	4(1♀-3♂)	C
Thomas	H	ISTO	Sciences de la Terre	Licence de géologie, Poitiers	Master de géologie, Orléans	2012	Adsorption des polluants émergents par des pièges organo-minéraux	Cours particuliers de mathématiques / tutorat à l'université	3(3♀)	B
Adoum	H	ISTO	Sciences de la Terre	Licence de géologie, Orléans	Master hydrosystème et environnement, Orléans	2012	Rôle des interactions argilo-organiques dans la préservation de la matière organique sédimentaire	-	4(4♀)	B
Yann-Aurélien	H	ISTO	Sciences de la Terre	Licence de géologie, Lorient puis Brest	Master de géologie, Orléans	2012	Magmatologie du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Approche volcanologique pétrologique et expérimentale	Professeur de saxophone	4(4♀)	A

Tableau 5-B. Données générales sur la population des doctorants (« o » : non réalisé ; « - » : non évoqué et/ou pas réalisé).

Données sur les doctorants et leur recherche de thèse									Elèves par groupe	
Prénoms	sexe	laboratoire(s)	Discipline scientifique	Licence Lieu d'obtention	Master lieu obtention	Année de 1 ^{ère} inscription en thèse	Titre de thèse	Expériences d'enseignement de niveau lycée / autres expériences d'enseignement	Nombre	Lycée d'origine
Giulia	F	ISTO	Sciences de la Terre	Licence de géologie, Turin (Italie)	Master de géologie, Turin	2012	Transition fragile-ductile en zone de subduction : le rôle du quartz	Monitrice d'escalade	5(3♀-2♂)	A
Aurélien	H	ISTO	Sciences de la Terre	Licence Nantes	Master de géologie Orléans	2012	Relation entre la mise en place de plutons granitiques et la localisation de la déformation dans les domaines extensifs : une approche expérimentale	o	4(4♂)	A
Armel	H	ISTO / BRGM	Sciences de la Terre	Licence sciences, technologie, santé, sciences de la Terre Brest	Master sciences de la Terre et environnement Orléans	2011	Du manteau à la croûte, dynamique de subduction et systèmes minéralisés en Méditerranée orientale	o / Travaux pratiques de cartographie en licence	4(4♂)	A
Sarah	F	ISTO / BRGM	Sciences de la Terre	Licence de géologie, Nantes	Master de sciences de la Terre, Orléans	2012	Caractérisation de la mise en place des champs de pegmatites à éléments rares de type LCT	o / cours de niveau licence	4(1♀-3♂)	C
Laure	F	ICOA	Chimie	Licence de chimie, Paris	Ecole nationale supérieure de chimie de Rennes	2012	Développement d'outils enzymatiques pour la synthèse de protéines S-glycosylées	-	4(1♀-3♂)	C
Geoffrey	H	ICOA	Chimie organique	Licence, Clermont-Ferrand	Master de chimie organique, Clermont-Ferrand	2012	Synthèse et pharmacomodulations de composés naturels issus de plantes	o	4(1♀-3♂)	C
Nicolas	H	GRÉMI	Physique des plasmas	Licence sciences physiques Nantes	Master sur les nanomatériaux et nano-technologies Nantes	2012	Gravure profonde par plasma chloré du GaN épitaxié sur substrat silicium 6" et application à des structures verticales de diodes de puissance	o	4(4♂)	A
Marie	F	GRÉMI	Physique des plasmas	Classe préparatoire Orléans	Ecole d'ingénieur Polytech' Orléans	2012	Métrie des nanoparticules dans un plasma froid capacitif basse pression	-	4(2♀-2♂)	A

Tableau 5-C. Données générales sur la population des doctorants (« o » : non réalisé ; « - » : non évoqué et/ou pas réalisé).

2. METHODE DE RECUEIL DE DONNEES

2.1. Conception d'une méthodologie basée sur une approche globale

2.1.1. Une variété de cas est privilégiée

Dès le début, s'est posée la question de la possibilité du suivi des différents groupes dans les laboratoires, car le déploiement d'EDIFICE impose la gestion de 26 groupes, répartis dans huit laboratoires différents. Chaque groupe d'élèves est, de surcroît, auprès d'un doctorant dans des composantes différentes des laboratoires (les différents groupes n'étaient quasiment jamais réunis dans la même pièce). Cette difficulté, dans le recueil de données par des observations directes, liée à l'éparpillement géographique, est accentuée par la superposition temporelle des périodes en seulement trois créneaux horaires distincts, dans les emplois du temps respectifs de chacun des lycées. L'obstacle du début est celui d'une impossibilité d'assister physiquement à une majorité de sessions en laboratoire. De plus, il n'est pas non plus possible de placer des caméras pour enregistrer les moments en laboratoire auprès d'un ou plusieurs doctorants, car le fonctionnement dans les laboratoires se fait souvent de façon mouvante, c'est-à-dire que les élèves et les doctorants, sur trois heures d'exploration, vont et viennent en passant d'une pièce à une autre, voire se séparent momentanément, passent en salle de réunion ou utilisent différentes machines dans des pièces dédiées. Ce n'est pas la salle de classe « statique », dans laquelle l'on peut laisser la caméra agir, la gestion temporelle et spatiale est ici moins prévisible.

Par rapport à ces difficultés, qui sont propres au laboratoire, un dilemme intervient donc dès le début de la recherche, si nous souhaitons réaliser des observations directes : soit l'étude cible un petit nombre de doctorants (trois au maximum) sur la trentaine d'heures d'encadrement des élèves, soit elle porte, de façon « parcellaire », sur une variété plus importante de cas. Etant donnée la variété des contextes en laboratoire générée dans ce dispositif, privilégier la deuxième solution d'une diversification des cas étudiés apparaît être la plus en accord avec les axes de recherche d'une caractérisation empirique des itinéraires d'exploration et d'une mise en évidence des influences exercées. Mais, dans ce cas, l'observation d'une seule séance sur une dizaine de séances en tout, et pour 10 cas chacun, ne nous permet d'assister - dans l'éventualité où nous pouvons assister aux trois créneaux hebdomadaires - qu'à 30 séances sur 260 au total, soit 90 heures sur 780. Donc, d'un côté, soit le corpus est fondé sur des observations directes en étudiant trois groupes tout au long d'une année, mais en sacrifiant, pour l'étude, la richesse et la diversité potentiellement générée par le dispositif innovant, soit la recherche est étendue à une diversité plus importante de cas, mais en diminuant la possibilité d'observations directes suivies et répétées. Dans le cas d'une étude de la dynamique du dispositif et avec une variété d'associations d'acteurs partenaires en laboratoire par exemple (question de recherche n°3), la méthode par

observations directes est inappropriée ou, du moins, apparaît non suffisante.

2.1.2. Une constitution de corpus par diversification des supports

Nous nous inspirons de l'approche clinique / expérimentale de Schubauer-Leoni et Leutenegger (2010), pour lesquelles « ce qui se passe » au cours d'une situation étudiée existe trois fois : une fois objectivement, une fois à travers la reconstitution interprétative qu'en font les acteurs et une fois dans la reconstruction effectuée par le chercheur. Ainsi, l'opération de choisir les supports de données est délicate, puisqu'elle oriente les résultats de recherche, en réduisant les représentations, par rapport à ce qui s'est passé objectivement. L'approche clinique propose donc de croiser, entre-elles, les « traces » de l'objet d'étude, dans le but de réduire les incertitudes des interprétations générées par rapport aux mises en œuvre des situations éducatives. Cette opération requière l'articulation entre les informations en provenance des acteurs et celles en provenance des œuvres (les objets *medium*). Schubauer-Leoni et Leutenegger parlent d'une « *rencontre avec l'Autre* » pour signifier la confrontation entre différents types de traces, dont celles provenant des acteurs et des objets qui médiatisent leurs échanges et sont déjà les produits d'autres interactions humaines préalables.

Par conséquent, nous privilégions une méthodologie de recueil de données fondée sur une diversification de sources récoltées. Parmi ces éléments, nous distinguons un corpus de cœur qui comprend à la fois des écrits des élèves et des entretiens semi-dirigés, effectués avec les trois types d'acteurs. Cette méthodologie est explicitement associée par Martinand (2012) au cadre de la théorie du curriculum, qui traite des questionnements curriculaires avec, entre autres, un « curriculum co-produit » s'étudiant « *par inférence à partir de traces, d'observations, d'enregistrements, d'autoanalyses et confrontations* » (p. 9). La méthodologie de recueil de données est donc basée principalement sur des inférences à partir d'écrits et de discours des acteurs des laboratoires. Associés à ce corpus de cœur, conformément à l'approche de Schubauer-Leoni et Leutenegger (2010), d'autres éléments sont recueillis, provenant de la mise en œuvre du projet EDIFICE ou de la recherche doctorale, afin de conforter, préciser ou compléter les données. Ces éléments constituent, en quelque sorte, un corpus de complément, permettant une réduction des incertitudes. La liste qui suit présente l'ensemble des types d'éléments recueillis.

Parmi les éléments du corpus :

- Des **réponses écrites des élèves** à deux questions ouvertes données à un an d'intervalle à l'issue de la première année et de la deuxième année de participation au partenariat. La première de ces questions a été donnée après la première année et vise à étudier le niveau d'ouverture culturelle en direction des sciences en train de se faire, dont ont bénéficié les élèves avant leur participation à EDIFICE. Elle permet de caractériser la cohorte d'élèves, vis-à-vis de l'acculturation aux sciences en leur demandant explicitement quels sont les

« expériences » scientifiques hors apprentissages scolaires dont ils ont eu l'opportunité de bénéficier avant de participer au dispositif. La deuxième question, donnée à l'issue de la deuxième année de participation, vise à faire expliciter leurs représentations des sciences et de la recherche scientifique, après leur participation aux deux années d'EDIFICE.

- Des **entretiens semi-dirigés** réalisés avec les trois types d'acteurs : doctorants, élèves et enseignants, afin de recueillir les données sur la première année de mise en œuvre du dispositif dans les laboratoires. Nous avons choisi de conduire ces entretiens semi-dirigés en rencontrant les personnes, afin de rassurer, par une attitude toujours cordiale, sur les intentions de notre recherche. Par exemple, les doctorants sont, pour une grande majorité d'entre eux, des néophytes en matière d'encadrement et nous avons imaginé qu'il n'était pas nécessairement facile pour eux de parler d'éventuelles difficultés rencontrées. L'entretien est aussi un travail de souvenir pour les acteurs interrogés. Donc, compte tenu de la diversité des informations demandées et du degré de réflexion qu'il exige, il apparaissait pertinent de ne pas suivre une trame de façon linéaire. Par conséquent, nous avons opté pour un type d'entretien dont les questions ne sont pas posées de manière hiérarchisées, ni ordonnées, mais au moment opportun. Nous avons en tête et sur la feuille de route les questions qui correspondent aux thèmes sur lesquels nous souhaitions mener l'investigation (Tableaux 6, 7 et 8). Nous avons donc, plus ou moins, suivi cette trame, à partir de laquelle les acteurs ont pu dérouler leur discours. Selon Blanchet et Gotman (2007), le guide d'entretien structure l'interrogation mais ne dirige pas le discours. Il s'agit d'un système organisé de thèmes, que l'interviewer doit connaître, sans avoir à le consulter, ni à la suivre, ni à le formuler sous forme de questionnaire. Ce guide a pour but d'aider l'interviewer à improviser des relances pertinentes sur les différents énoncés de l'interviewé, au moment même où ils sont abordés. Nous avons donc cadré les discours des acteurs à partir des questions du guide, mais en adoptant, néanmoins, une attitude non directive : le sujet n'a pas été interrompu et nous l'avons laissé librement discourir, si le contenu abordait les thématiques d'intérêt.
- Des **notes et des photographies prises lors de visites dans des laboratoires**, réalisées lorsque des imprécisions subsistaient afin, entre autres, d'observer et de comprendre le fonctionnement *in situ* d'instruments sophistiqués utilisés par les doctorants avec leurs élèves. Ces visites ont également permis de prolonger les entretiens, soit avec le doctorant, soit avec le directeur de recherche, apportant ainsi des informations complémentaires, soit sur les recherches menées par le doctorant, soit sur celles du laboratoire en général. Nous avons visité tous les laboratoires concernés et parfois plusieurs composantes différentes d'un même laboratoire. Six de ces visites ont été menées sous les explications des doctorants eux-mêmes, deux par le directeur de recherche du doctorant. Neuf visites de laboratoire ont été guidées par des chercheurs de la même unité de recherche. Dans neuf cas, les locaux précis où se sont déroulés les moments en laboratoire n'ont pas été observés. Nous avons considéré leur visite non nécessaire, au regard de la précision et de la variété des données déjà récoltées. A noter également que des photographies ont été prises par les élèves eux-mêmes, au cours des moments en laboratoire. Celles-ci sont intégrées au corpus pour leur valeur illustrative, mais aussi parce qu'elles contribuent à

construire nos représentations de recherche sur l'univers d'exploration des élèves.

- Des **observations et des prises de notes lors du congrès EDIFICE**, événement organisé par l'université d'Orléans et qui a rassemblé, le 24 mai 2013, toutes les personnes impliquées dans le dispositif (élèves, doctorants, personnes du comité de pilotage du projet, directeurs de recherche, proviseurs, enseignants accompagnateurs, parents, etc.). Nous avons assisté à ce congrès, au cours duquel tous les élèves et les doctorants des 26 groupes, ont pu présenter oralement le travail réalisé dans les laboratoires. Des notes de recherche ont été rédigées, à propos des moments en laboratoires, en observant les élèves communiquer sur leurs pratiques et leur vécu, au cours du congrès EDIFICE. Ces présentations portent majoritairement sur les moments en laboratoires, mais les doctorants ont également pu présenter leur recherche.
- Les **diaporamas du congrès EDIFICE**, qui sont les supports de présentation orale de chacun des groupes engagés dans le projet. Ces diaporamas reconstituent tout ou partie du travail réalisé dans les laboratoires, ainsi que des éléments sur la recherche doctorale. Ils sont, en général, élaborés par les élèves eux-mêmes, aidés par leur doctorant. Ce type de document, destiné à une présentation, demeure une reconstruction pour une mise en valeur du travail. Mais il renseigne sur les caractéristiques des moments, car les élèves et doctorants ont souvent organisé leur discours pour expliquer la question scientifique traitée, pour montrer la démarche scientifique suivie. Ils contiennent souvent aussi des représentations symboliques, les savoirs en jeu et/ou produits, etc. Tous les fichiers des présentations ont été récupérés.
- Des **cahiers de laboratoire**, rédigés par les lycéens eux-mêmes et recueillant des synthèses des périodes d'exploration en laboratoire. Ces documents permettent de suivre le cheminement scientifique des élèves et comprend, entre autres, des formulations des questions scientifiques ou des représentations symboliques du travail réalisé. Les cahiers ont été suivis et vérifiés par les équipes enseignantes, si bien qu'ils font figure d'outil de qualité pour notre recherche. Néanmoins, certains groupes n'ont pas rédigé de cahier de laboratoire car il n'a pas toujours été exigé par les enseignants accompagnateurs ou les doctorants. Les cahiers de laboratoire de neuf groupes ont été récupérés et numérisés pour l'étude.
- Des **articles, des présentations et des thèses des recherches doctorales** qui sont soit des articles ou actes de colloque dont le doctorant est premier auteur, soit des supports numériques de présentation du sujet de la thèse ou du travail de recherche du doctorant. Certaines thèses ont également pu être récupérées. Tous ces documents sont élaborés par les doctorants. Les caractéristiques des recherches doctorales sont renseignées très finement par ces types de documents intégrés au corpus. Ils permettent de compléter les informations sur les méthodes de recherche employées et de recueillir des représentations symboliques, qu'il est difficile de reconstituer à partir d'un discours.

2.1.3. Les types de données recueillis en fonction des questions de recherche

La **question de recherche n°1** vise à déterminer comment les représentations des élèves englobent les pratiques sociales des professionnels à l'œuvre dans le laboratoire et les caractéristiques des sciences en train de se faire. Par conséquent, nous réalisons des entretiens avec les doctorants, les élèves et les enseignants, afin d'étudier, soit directement les représentations des élèves, soit les contextes et environnements explorés dans les laboratoires générant ces représentations des pratiques sociales et des sciences en action. Nous complétons ces données par les réponses écrites des élèves à la question ouverte leur demandant d'expliquer, à l'issue de la deuxième année de mise en œuvre du dispositif, comment cette expérience en laboratoire a modifié leurs connaissances des sciences et leurs représentations de la recherche scientifique. Au moins deux élèves de chacun des 26 groupes ont répondu à cette question ouverte, ce qui représente, au total, un ensemble de 83 réponses rédigées pour l'ensemble de la cohorte. Chaque réponse est nominative et associée au cas auquel elle se rapporte. C'est-à-dire que nous sommes en mesure de corrélérer l'ensemble des données du corpus aux représentations des élèves générées par l'exploration en laboratoire. En complément de ces réponses rédigées et des entretiens, nous utilisons également les cahiers de laboratoire, les observations et les prises de notes lors du congrès EDIFICE, ainsi que les diaporamas présentés au cours de cet événement et les notes et des photographies prises lors de visites dans des laboratoires. Ces éléments nous permettent d'appréhender l'univers de genèse des représentations des élèves et de comprendre les activités et les tâches relevant des pratiques sociales, qui ont été transposées dans les moments avec les élèves. Nous nous servons également des 61 réponses obtenues à la question ouverte sur les « expériences » scientifiques, avant la participation au dispositif.

La **question de recherche n°2**, qui vise à étudier comment les itinéraires des moments en laboratoire permettent aux élèves une exploration du domaine scientifique en correspondance avec la recherche doctorale, nécessite de renseigner les caractéristiques de la recherche de thèse, les caractéristiques qui sont choisies puis transposées dans les moments en laboratoire, ainsi que les visées sous-jacentes. Pour ce faire, nous considérons que quatre thèmes d'étude doivent être sollicités pour le recueil de données : la recherche de référence, les moments en laboratoire, la/les visée(s) des doctorants, ainsi qu'une explicitation du travail de transposition entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire.

Par conséquent, nous réalisons des entretiens avec les doctorants qui permettent de renseigner les quatre thèmes portant sur la recherche de référence : la/les visée(s), les moments en laboratoire, l'explicitation du travail de transposition entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire. De plus, des entretiens avec les élèves et des entretiens avec les enseignants accompagnateurs permettent de renseigner, plus spécifiquement, les moments en laboratoire et l'explicitation du travail de transposition. En complément des entretiens des acteurs, des cahiers de laboratoire d'élèves et des diaporamas

du congrès EDIFICE sont recueillis, afin d'étudier spécifiquement les moments en laboratoire. Des observations et des prises de notes, lors du congrès EDIFICE et des visites et photographies dans les laboratoires, servent à renseigner les moments en laboratoire, ainsi que les pratiques de recherche des doctorants. Ces dernières ont également été renseignées par des articles, des actes de colloques et des présentations des doctorants sur leurs recherches. Certaines thèses ont également pu conforter les données.

Avec la **question de recherche n°3** nous souhaitons mettre en lumière la dynamique partenariale du dispositif par une étude des influences exercées par les trois types d'acteurs sur les itinéraires d'exploration. Par conséquent, un thème d'étude spécifique cible l'évolution des itinéraires d'exploration et les causes de ces évolutions. Etant donné que ce thème étudie l'itinéraire d'exploration, en tant qu'enchaînement de moments, il est en relation avec celui des caractéristiques des moments en laboratoire.

Cette étude de l'évolution des itinéraires d'exploration est renseignée au moyen des entretiens avec chacun des trois types d'acteurs, agrémentés par des questions spécifiques portant précisément sur les causes et les influences exercées. L'évolution de l'ensemble des itinéraires d'exploration, de chaque cas, est spécifiquement renseignée, aussi, par les cahiers de laboratoire des élèves, les observations et les prises de notes lors du congrès EDIFICE, les diaporamas du congrès, ainsi que les visites dans les laboratoires.

Les 26 groupes de la première année du partenariat ont permis un recueil de données hétérogènes selon les groupes. Par exemple, quatre doctorants n'ont pas accepté de nous recevoir pour un entretien ou n'ont jamais répondu à nos sollicitations. Sur ces 22 groupes, nous proposons volontairement de réduire le nombre de cas, pour nous concentrer, uniquement, sur les groupes de laboratoires de sciences physiques et de sciences de la Terre, parce qu'elles correspondent aux disciplines majoritairement représentées dans la première année de mise en œuvre du dispositif. Par conséquent, trois groupes en biologie moléculaire et un groupe en chimie ont été écartés de la recherche des axes 2 et 3.

Sur les 18 groupes restants, nous avons décidé de ne conserver que 14 groupes, sept en sciences de la Terre et sept en sciences physiques, en retirant de l'étude les deux groupes en sciences de la Terre et en sciences physiques pour lesquels les données étaient les moins diversifiées, en termes de nombre d'éléments les concernant dans le corpus. Les critères dans ce dernier choix des groupes ne sont pas basés sur un pilotage et une considération des questions de recherche *a priori*. Le tri effectué est tout à fait indépendant des résultats de recherche escomptés.

Par conséquent, contrairement à l'étude de l'axe 1 se basant sur les 26 cas, les axes de recherche n°2 et 3 portent pour les parties des résultats sur sept groupes en sciences de la Terre et sept groupes en sciences physiques. Ces cas correspondent aux groupes des doctorants Thomas, Yann-Aurélien, Giulia, Aurélien, Armel, Nicolas et Marie pour les géologues et aux groupes des doctorants Benjamin, Olga, Kévin, Yann, Jean, Benoît et Julie

pour les cas physiiciens.

2.1.4. Les thèmes spécifiques d'étude

Pour poursuivre notre recherche auprès des trois axes ciblés, par les questions formulées précédemment, nous proposons de discriminer et d'explicitier, au total, les six thèmes d'étude explorés, selon les éléments précis du corpus. La liste suivante présente les six thèmes associés aux éléments du corpus qui permettent de les renseigner.

- a) Les **représentations des élèves** des pratiques sociales des professionnels à l'œuvre dans le laboratoire et des sciences en train de se faire s'étudient principalement par l'intermédiaire des réponses écrites à la deuxième question ouverte et des entretiens avec les trois types d'acteurs. Mais, les visites des laboratoires et les photographies, les cahiers de laboratoire, les observations et prises de notes lors du congrès EDIFICE, ainsi que les diaporamas présentés à cette occasion, permettent également d'inférer certains aspects des pratiques sociales explorées par les élèves.
- b) Les **caractéristiques de la recherche de référence** s'étudient au travers des entretiens des doctorants, par les visites et photographies dans les laboratoires, les observations et les prises de notes lors du congrès EDIFICE. La lecture des articles de recherche pour des congrès et/ou des présentations scientifiques et/ou des thèses des doctorants contribuent à cette caractérisation.
- c) La/les **visée(s) des doctorants** est/sont inférée(s) à partir des activités ou des tâches proposées au cours des moments ou bien explicitée(s) par le doctorant au cours de l'entretien.
- d) Les **caractéristiques des moments en laboratoire** sont analysées par l'intermédiaire des trois types d'entretiens avec les acteurs, *via* les photographies et les visites des laboratoires avec les doctorants ou leur directeur de thèse. Les notes rédigées au cours du congrès EDIFICE et les supports de présentation des élèves sont également utilisés, ainsi que les cahiers de laboratoire des élèves.
- e) L'**explicitation du travail de transposition** entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire nous permet d'apprécier les choix effectués et la façon de les adapter aux élèves. Ce thème est décrit par les entretiens avec les doctorants. Des renseignements sont également demandés aux enseignants accompagnateurs et aux élèves, au cours de leurs entretiens respectifs, mais ces données, étant donné leur aspect indirect, sont à prendre avec précaution.
- f) L'**évolution des itinéraires d'exploration** avec l'enchaînement des moments en laboratoires et les causes de cette évolution sont abordées dans les différents entretiens réalisés avec les doctorants, les élèves et les enseignants accompagnateurs.

2.2. Mise en œuvre de la récolte de données auprès des acteurs

2.2.1. Les questions ouvertes à destination des élèves

La première question ouverte posée aux élèves est formulée de la manière suivante :

Avez-vous eu des expériences scientifiques avant de participer au projet Edifice ? (par exemple : participation à la fête de la science, colonie de vacances scientifiques, des clubs, un de vos parents est un scientifique, etc.).

La deuxième question ouverte est écrite en ces termes :

Pensez-vous que votre immersion dans les laboratoires de recherche a modifié vos connaissances des sciences et vos représentations de la recherche scientifique ? Si oui, expliquez ces modifications ? (vous pouvez développer, c'est une question ouverte).

2.2.2. Les guides d'entretien

Pour les entretiens, trois guides ont été élaborés, en prenant en compte le type d'acteur rencontré et les différents renseignements à obtenir (Tableaux 6, 7 et 8).

Pour les entretiens avec les doctorants, le guide d'entretien permet le recueil d'informations des cinq thèmes : la pratique de recherche dans le cadre de la thèse, les visées et les moments en laboratoire. Des questions ont pour objectif également l'explicitation du travail de transposition entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire. Enfin, certaines questions traitent de l'évolution des itinéraires d'exploration, les causes de cette évolution et des difficultés éventuellement rencontrées.

Le guide d'entretien des élèves portent sur leurs représentations des sciences et sur le travail qu'ils ont effectué dans les laboratoires en comparant éventuellement avec le travail doctoral et des causes des évolutions dans l'enchaînement des moments en laboratoire.

Les entretiens avec les enseignants accompagnateurs portent sur les moments en laboratoire, l'évolution des itinéraires d'exploration et sur les difficultés éventuellement rencontrées. Toutes ces questions sont formulées différemment et orientées vers une comparaison entre différents groupes, étant donné que, souvent, ces enseignants ont visité plusieurs groupes au cours des différentes périodes vécues en laboratoire.

Les questions des guides d'entretien sont présentées dans les pages suivantes, avec les thèmes informationnels qu'elles renseignent précisément.

2.2.2.1. Pour les doctorants⁹²

Cursus, études suivies passées, expériences d'enseignement éventuelles ⁹³	
Thématique, Sujet de recherche de la thèse, matériels utilisés, méthodologie, problématique, problèmes à résoudre, savoirs en jeu, connaissances requises, représentation des données, laboratoire, thématiques de recherches	a, b
Qu'avez-vous proposé aux premières séances ?	d
Comment avez-vous fait pour amener les élèves à comprendre votre thèse ? Pour combler le fossé seconde – doctorat ? Y-êtes-vous parvenu ?	e
Séance après séance ?	d e
Les outils et les supports utilisés (articles scientifiques, cours, présentations, explications orales, visites de laboratoire, manuels etc.)	d
Quelles sources avez-vous utilisé ?	e
Quelle était votre préoccupation principale ? - se mettre au niveau des élèves - les motiver - les rendre actifs - leur donner une image la plus réaliste possible de votre travail au jour le jour - autre(s)	c
Les activités que vous leur avez proposées : - entraient pleinement dans le cadre de la thèse - sont des éléments de la recherche refaits, simplifiés mais réalisés précédemment dans le cadre de la thèse - sont en lien avec le thème de la thèse mais ne sont pas réalisées dans le cadre de la thèse - sont sans lien avec le sujet de la thèse.	e
Quelles difficultés avez-vous rencontré ?	f
Quelles difficultés les élèves ont-ils pu rencontrer ?	f
Quelles remédiations avez-vous appliqué ? Quels éléments ont été utiles pour aider les élèves à surmonter les difficultés ?	f
Avez-vous pu observer des changements d'attitudes d'élèves ? Envers ce que vous leur proposiez ? Envers les sciences ?	f
Avez-vous collaboré avec d'autres doctorants (échange de pratiques, façons de faire, supports, documents, expériences, protocoles etc.)	e, f
Avez-vous eu des conseils d'enseignants ? Lesquels ? Les avez-vous suivis ?	f
Avez-vous eu des remarques d'élèves qui auraient pu faire infléchir votre pratique ?	f

Tableau 6. Les questions du guide d'entretien doctorant et les thèmes explorés qui s'y rapportent.

(a : questions relatives aux pratiques sociales ; b : questions pour rendre compte de la pratique de recherche ; c : question pour recueillir la/les visée(s) des doctorants ; d : questions pour expliciter les moments en laboratoire ; e : questions pour obtenir l'explicitation du travail de transposition didactique entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire ; f : questions qui rendent compte des influences sur l'évolution de l'itinéraire, dont celles des partenaires).

⁹² Les questions des axes de recherche de la phase exploratoire de notre thèse, qui ont été abandonnées depuis ont été retirées de ce tableau. Le codage « Inv » des retranscriptions d'entretiens leur est associé.

⁹³ Cette question n'était pas incluse dans le guide d'entretien lors des premiers entretiens. Les doctorants ayant accepté l'entretien ont été interviewés au moins deux fois à un an d'intervalle en 2013 puis 2014, ces informations sont apportées, le cas échéant, par le deuxième entretien (excepté pour deux doctorants qui ont abandonné le dispositif entre la première et la deuxième année).

2.2.2.2. Pour les élèves

Comment avez-vous passé votre temps dans le laboratoire ? Qu'avez-vous fait ? Racontez-moi.	d
Pouvez-vous me dire dans quelle mesure vos activités rentraient dans le cadre de la démarche de recherche du doctorant qui vous encadrait ? Est-ce que les activités effectuées : - rentraient pleinement dans le cadre de la thèse, - sont des éléments de la recherche refaits, simplifiés mais réalisés précédemment dans le cadre de la thèse, - sont en lien avec le thème de la thèse mais ne sont pas réalisées dans le cadre de la thèse par le doctorant, - sont sans lien avec le sujet de la thèse.	e
Est-il possible que les élèves soient eux-aussi acteurs dans le processus de la recherche scientifique ?	d, f
Comprenez-vous forcément le sens, les objectifs des activités que vous avez effectuées ? Etiez-vous au courant des objectifs du travail à effectuer ? Ou bien parfois, vous est-il arrivé de ne pas comprendre pourquoi vous faisiez les tâches que vous faisiez ? - Lorsque vous n'étiez pas au courant : quelles difficultés ou obstacles rencontrés vous ont empêché de comprendre les objectifs des activités à effectuer ? - Lorsque vous étiez au courant : qu'est ce qui a fait que vous étiez au courant ? Qu'est-ce qui vous a aidé ? Qui vous a aidé ?	d f
L'élaboration des protocoles des expériences était-elle à votre charge ? Ou bien est-ce le doctorant qui prévoyait les manipulations ? Racontez-moi comment s'effectuait cette étape du choix des manipulations à effectuer et de la façon de les mener.	d f
Lien avec des TP de masters ?	d
Avez-vous refait certaines expériences ?	d
Etat de l'art ? Avez-vous étudié des notions par l'intermédiaire de ressources documentaires ?	a, d
Qu'avez-vous appris ? Quelles connaissances scientifiques avez-vous acquises ?	a, d
Quelles recherches effectuées le doctorant qui vous encadre ?	e
Quel est l'objectif de ses recherches ?	e
Qu'est-ce que la recherche scientifique pour vous ? Racontez-moi. Comment définiriez-vous la recherche scientifique ? En quoi votre immersion dans le laboratoire a-t-elle changé votre point de vue sur la recherche scientifique ? Par rapport aux aspects : ▪ Le caractère empirique de la connaissance scientifique (la science demande des preuves empiriques) ▪ Les théories et les lois scientifiques ▪ La nature créative et imaginative de la recherche scientifique ▪ Les observations peuvent être affectées par l'anticipation et les préjugés des observateurs ▪ L'intégration sociale et culturelle des connaissances scientifiques ▪ La diversité des méthodes scientifiques ▪ Le caractère provisoire des connaissances scientifiques	a
Quels sont les rôles joués par vos enseignants lors des périodes en laboratoire ? Quelle est la nature de leurs interventions ? Avez-vous un exemple montrant un rôle joué par un de vos enseignants au laboratoire de recherche ?	f

Tableau 7. Les questions du guide d'entretien élève et les thèmes explorés qui s'y rapportent.

(a : questions relatives aux représentations sur les sciences et les pratiques sociales ; d : questions pour expliciter les moments en laboratoire ; e : questions pour obtenir l'explicitation du travail de transposition didactique entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire ; f : question qui rend compte des influences sur l'évolution de l'itinéraire, dont celles des partenaires).

2.2.2.3. Pour les enseignants accompagnateurs

Quelles sont les différentes façons utilisées par les doctorants et que vous avez observées afin d'amener les élèves de seconde à comprendre leur recherche ?	a, d, e
Comment se sont déroulées les premières séances ?	a, d
Comment ont-ils pu combler le hiatus existant entre leur niveau de doctorat et celui de la classe de seconde ?	d, e
Quelles façons vous semblaient les plus propices à une intégration réussie des élèves dans les centres de recherche a priori ?	d
Quels facteurs ont pu contribuer favorablement à cette intégration ?	d, f
Quelles différences entre les laboratoires avez-vous constaté ?	a, d
Les doctorants étaient-ils plus préoccupés par se mettre au niveau des élèves ou bien leur donner une image réaliste de leur travail au jour le jour ?	e
Les activités effectuées avec les élèves : - entraient pleinement dans le cadre de la thèse, - sont des éléments de la recherche refaits, simplifiés mais réalisés précédemment dans le cadre de la thèse, - sont en lien avec le thème de la thèse mais ne sont pas réalisés dans le cadre de la thèse par le doctorant, - sont sans lien avec le sujet de la thèse.	e
Quelles difficultés ou obstacles les élèves ont-ils pu rencontrer ? Quels éléments ont été utiles pour aider les élèves à surmonter les obstacles ?	f
Avez-vous pu remarquer des situations plus propices à une certaine « émancipation » des élèves dans les laboratoires ? Quels facteurs ont pu agir ?	f
Avez-vous des exemples précis d'association doctorant/élèves réussie ? Quelles sont les causes de cette réussite ?	d, f
Avez-vous des exemples précis d'association doctorant/élèves en échec ? Quelles sont les causes de ces échecs ?	d, f
Comment définiriez-vous votre rôle pour la réussite de cette immersion en laboratoire ? Par rapport au dispositif d'accompagnement personnalisé ? En laboratoire ? En cours ? Préparation congrès ?	f

Tableau 8. Les questions du guide d'entretien enseignant accompagnateur et les thèmes explorés qui s'y rapportent.

(a : questions relatives aux pratiques sociales ; d : questions pour expliciter les moments en laboratoire ; e : questions pour obtenir l'explicitation du travail de transposition didactique entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire ; f : questions qui rendent compte des influences sur l'évolution de l'itinéraire, dont celles des partenaires).

Le tableau suivant (Tableau 9) récapitule les différents éléments du corpus utilisés, selon les thèmes informationnels requis pour chacune des trois questions de recherche. Le tableau en trois parties (Tableau 10-A, 10-B et 10-C) synthétise l'ensemble du corpus.

		Question de recherche n°1	Question de recherche n°2				Question de recherche n°3	
Thèmes renseignés → Éléments du corpus		a Représentations sur les sciences en train de se faire et les pratiques sociales des laboratoires	b Caractéristiques de la recherche de référence	c visée(s) des doctorants	d Caractéristiques des moments en laboratoire	e Explicitation transposition recherche de référence / moments	Evolution de l'itinéraire d'exploration et les causes de cette évolution	
							d Succession des moments	f évolutions et influences exercées
Réponses aux questions ouvertes		a						
Entretiens	doctorants	a	b	c	d	e	d	f
	élèves	a			d	(e)	d	f
	enseignants	(a)			d	(e)	d	f
Visites et photographies des laboratoires		a	b		d		d	
Observation et prises de notes lors du congrès EDIFICE		a	b		d		d	
Cahiers de laboratoire élèves		a			d		d	
Diaporamas du congrès		a			d		d	
Articles, présentations des recherches doctorales, manuscrits de thèse			b					

Tableau 9. Les éléments du corpus selon les domaines renseignés pour chacun des axes de la recherche.

(a : questions relatives aux représentations sur les sciences et les pratiques sociales ; b : éléments du corpus utilisés pour rendre compte de la pratique de recherche ; c : éléments du corpus utilisés pour recueillir la/les visée(s) des doctorants ; d : éléments du corpus utilisés pour expliciter les moments en laboratoire ; e : élément du corpus utilisé pour obtenir l'explicitation du travail de transposition didactique entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire ; f : éléments du corpus utilisés pour rendre compte des influences sur l'évolution de l'itinéraire, dont celles des partenaires).

Eléments du corpus → Doctorant / LABORATOIRE(S)	Réponses des élèves à la question ouverte n°2	Entretiens (Date ; Durée)			Observations		Supports textuels et imagés			Nombre de types d'éléments
		Doctorant	Elève	Enseignant accompagnateur	Visites des matériels et photographies	Congrès EDIFICE du 24 mai 2013 (notes)	Cahiers de laboratoire	Diaporamas congrès	Articles, présentations scientifiques ou thèses	
Kholoud / CEMHTI	xxxx	o	o	o	o	x	?	x		3
Roman / CEMHTI	xx	o	o	o	18/06/2014 (avec Olga)	x	?	x		4
Benjamin / CEMHTI	xxxx	31/07/2013 32'25 18/06/2014 10'25	o	o	04/02/2014 (avec un chercheur qui dirige des thèses)	x	?	x	xx	6
Hao / CEMHTI	xxxx	o	13/06/2013 5'43	20/06/2013 28'50 Id. Julie	o	x	?	x		5
Olga / CEMHTI	xxxx	09/08/2013 45'24	13/06/2013 5'59	o	04/02/2014 (avec Olga)	x	?	x	xxxx	7
Kévin / PRISME	xx	08/08/2013 Notes ~ 60' 19/06/2014 42'41	o	o	03/10/2014 (avec Kévin)	x	o	x	x	6
Amal / PRISME	xx	25/10/2013 Notes ~ 60'	o	o	15/10/2013 (avec un chercheur)	x	?	x		5
Charles / PRISME	xxx	01/08/2013 39'11	o	o	-	x	?	x		4
Yann / ICARE et PRISME	xx	01/08/2013 31'01 20/06/2014 47'54	o	o	03/10/2014 (avec un autre doctorant)	x	-	x	x	6
Jean / PRISME et ICARE	xxxx	31/07/2013 39'27 19/06/2014 24'13 29/10/2014 Notes	08/04/2014 21'31	o	31/07/2013 (avec Jean) 03/10/2014 (avec un chercheur de l'unité)	x	-	x	xxxxx	7

Tableau 10-A. Synthèse de l'ensemble du corpus pour dix des cas (x : nombre de versions ou d'éléments recueillis selon la nature de l'élément du corpus ; - : élément inexistant ; ? : existence incertaine de l'élément ; o : non réalisé ou élément existant, non récupéré ; « case grisée » : élément non considéré ; (n) : Entretien avec n personnes à la fois ; Id. « Nom d'un doctorant » : entretien centré sur plusieurs cas à la fois).

Eléments du corpus → Doctorant / LABORATOIRE(S)	Réponses des élèves à la question ouverte n°2	Entretiens (Date ; Durée)			Observations		Supports textuels et imagés			Nombre de types d'éléments
		Doctorant	Elève	Enseignant accompagnateur	Visites des matériels et photographies	Congrès EDIFICE du 24 mai 2013 (notes)	Cahiers de laboratoire	Diaporamas congrès	Articles, présentations scientifiques ou thèses	
Wissem / CBM	xx	26/06/2013 48'58 Id. Safia et François	13/06/2013 24'32 13/06/2013 14'54	o	26/06/2013	x	x	x		7
Safia / CBM	xxxx	26/06/2013 48'58 (3)	14/06/2013 18'01 (2)	o	26/06/2013	x	xxxx	x		7
François / CBM	xx	26/06/2013 48'58 (3)	o	o	26/06/2013	x	x	x		6
Benoît / ISTO	xxxx	21/06/2013 38'58 12/06/2014 39'34 26/09/2014 34'52	o	20/06/2013 26'32 Id. Laure	26/09/2014 (avec Benoît)	x	?	x	x	7
Julie / ISTO et BRGM	xxx	21/06/2013 53'20 14/05/2014 39'20	13/06/2013 14'21	20/06/2013 28'50	o	x	?	x	xxxxxxx	7
Thomas / ISTO	xxxx	04/07/2013 27'42 14/05/2014 22'46	o	26/06/2013 35'21 Id. Adoum	o	x	-	x	x	6
Adoum / ISTO	(x) élève de thomas en 2 ^{ème} année	21/06/2013 32'14	o	26/06/2013 Id. Thomas	o	x	?	x		5
Yann-Aurélien / ISTO	xxxx	28/06/2013 34'25 20/06/2014 29'14	07/06/2013 18'43 (2)	14/06/2013 Id. Nicolas, Marie	13/12/2013 (avec le directeur de thèse de Yann-Aurélien)	x	xxx	x	xxx	9

Tableau 10-B. Synthèse de l'ensemble du corpus pour huit des cas (x : nombre de versions ou d'éléments recueillis selon la nature de l'élément du corpus ; - : élément inexistant ; ? : existence incertaine de l'élément ; o : non réalisé ou élément existant, non récupéré ; « case grisée » : élément non considéré ; (n) : Entretien avec n personnes à la fois ; Id. « Nom d'un doctorant » : Entretien centré sur plusieurs cas à la fois).

Eléments du corpus → Doctorant / LABORATOIRE(S)	Réponses des élèves à la question ouverte n°2	Entretiens (Date ; Durée)			Observations		Supports textuels et imagés			Nombre de types d'éléments
		Doctorant	Elève	Enseignant accompagnateur	Visites des matériels et photographies	Congrès EDIFICE du 24 mai 2013 (notes)	Cahiers de laboratoire	Diaporamas congrès	Articles, présentations scientifiques ou thèses	
Giulia / ISTO	xxxxx	26/06/2013 33'17 20/06/2014 24'03	07/06/2013 28'17 (2)	o	13/12/2013 (avec le directeur de thèse de Giulia)	x	xxxx	x	xxxx	8
Aurélien ISTO	xxxx	21/06/2013 30'13 13/06/2014 5'30	07/06/2013 Id. Yann-Aurélien	o	o	x	xxx	x	xxxx	7
Armel ISTO/BRGM	xxxx	02/10/2013 44'42 (2) Id. Sarah 23/05/2014 18'44	07/06/2013 Id. Giulia	o	o	x	xx	x	xxxxx	7
Sarah / ISTO	o	02/10/2013 44'42 (2) Id. Armel	o	o	-	x	?	x		3
Laure / ICOA	xxxx	o	13/06/2013 13'48 13/06/2013 9'37	20/06/2013 26'32	28/06/2013 (avec Geoffrey)	x	?	x		6
Geoffrey / ICOA	xxxx	28/06/2013 30'25	o	o	28/06/2013 (avec Geoffrey)	x	?	x		5
Nicolas / GREMI	xxxx	26/06/2013 29'02 (2) 12/06/2014 27'05	13/06/2013 17'24	14/06/2013 Id. Yann-Aurélien, Marie 14/06/2013 30'26 Id. Marie	15/11/2013 (avec Nicolas)	x	xxx	x	xxx	9
Marie / GREMI	xxxx	26/06/2013 Id. Nicolas	07/06/2013 19'07 (3)	14/06/2013 Id. Yann-Aurélien, Nicolas 14/06/2013 Id. Nicolas	15/11/2013 (sans Marie)	x	xxx	x	xxxxx	9
Total /26	25	22	13	9	17	26	9	26	14	161

Tableau 10-C. Synthèse de l'ensemble du corpus pour huit des cas (x : nombre de versions ou d'éléments recueillis selon la nature de l'élément du corpus ; - : élément inexistant ; ? : existence incertaine de l'élément ; o : non réalisé ou élément existant, non récupéré ; « case grisée » : élément non considéré ; (n) : Entretien avec n personnes à la fois ; Id. « Nom d'un doctorant » : Entretien centré sur plusieurs cas à la fois).

2.3. Présentation du codage employé pour construire nos représentations de recherche

Cette étape concerne les réponses rédigées des élèves à la question ouverte n°2 (Pensez-vous que votre immersion dans les laboratoires de recherche a modifié vos connaissances des sciences et vos représentations de la recherche scientifique ? Si oui, expliquez ces modifications ?), ainsi que l'ensemble des entretiens qui sont retranscrits manuellement sur traitement de texte. Seul l'entretien avec Amal et le premier entretien avec Kévin n'ont pas été enregistrés. Pour ce dernier cas, nous sommes revenus sur les moments en laboratoire de la première année à l'occasion d'un deuxième entretien à un an d'intervalle. Le premier entretien avec Kévin, ainsi que celui avec Amal, ont tout de même donné lieu à la rédaction de notes de chercheurs. De manière générale, les deuxièmes rencontres avec les doctorants permettent dans un premier temps de revenir sur des éléments du premier entretien demeurés imprécis⁹⁴. Pour les cas des groupes de Jean et de Benoît, un troisième entretien a été jugé nécessaire. Par rapport à l'ensemble du corpus d'étude, les opérations de codage s'effectuent sur chacune des 63 réponses rédigées des élèves, une vingtaine d'heures d'entretien avec 22 doctorants, et près de six heures d'entretiens avec cinq enseignants accompagnateurs et quinze élèves. Au total, le corpus regroupe 161 types d'éléments différents pour l'ensemble des 26 cas qui chacun sont renseignés par une variété de trois à neuf types d'éléments distincts.

2.3.1. Les critères d'analyse utilisés

2.3.1.1. Pour répondre à la première question de recherche

Notre premier axe de recherche se propose d'étudier comment les élèves parviennent à construire des représentations sur les sciences en train de se faire en englobant aussi celles des pratiques sociales des professionnels des laboratoires. Pour se faire, nous avons précédemment défini un thème d'étude « a » centré sur les représentations des élèves accessibles par l'intermédiaire de la totalité des réponses à la question ouverte et des entretiens des 26 cas. Nous proposons maintenant de définir les critères d'analyse utilisés pour le codage de ces écrits récoltés.

Le laboratoire concentre effectivement un ensemble de « statuts » et de professions scientifiques différentes comme des techniciens, ingénieurs, directeurs, chercheurs confirmés, enseignants-chercheurs, étudiants stagiaires, chercheurs invités, secrétaires, etc. en réseau. De plus, la pratique professionnelle du chercheur scientifique inclue également des interventions ou interactions en dehors du laboratoire, telles que des coopérations avec d'autres personnels

⁹⁴ Ces deuxièmes entretiens sont mentionnés dans le tableau de synthèse des éléments du corpus (Tableau 10-A, -B et -C) car ils portent aussi sur la première année de mise en œuvre du dispositif et comporte des précisions sur la recherche de référence. Ne sont néanmoins présents en annexes que les passages utiles de ces deuxièmes entretiens.

d'autres laboratoires, la participation à des congrès, colloques, etc. Selon les anthropologues des sciences Latour et Woolgar (1986), les scientifiques de laboratoire peuvent être perçus comme une « *tribu de lecteurs et d'auteurs qui passent leur temps à travailler sur de grands inscripteurs, mettent au point des dispositifs capables de saisir des figures, traces, inscriptions fugitives pour l'aspect matériel et dans l'art de la persuasion. Ce dernier talent leur sert à convaincre les autres* » (p. 65). Nous proposons d'extraire cinq thèmes centraux de l'activité de chercheur scientifique en nous inspirant notamment de Latour et Woolgar, étant donné le contexte central du laboratoire de recherche commun aux explorations dans le cadre du partenariat EDIFICE et dans la recherche des anthropologues. Par conséquent, nous pensons que les élèves sont susceptibles de développer des représentations cohérentes avec les caractéristiques les plus « frappantes » de la vie de laboratoire, inférées par les deux anthropologues. Parmi ces thèmes, celui de la littérature (codé « Ecrit » dans la grille d'analyse du tableau 11 suivant) est omniprésent. Latour et Woolgar ont observé que l'activité d'écriture était majeure dans la pratique des scientifiques, qui sont alors considérés comme des auteurs. Ces derniers remplissent un cahier de laboratoire, rédigent des notes ou des articles. Des « inscriptions » sont également produites, par les instruments matériels du laboratoire. Ensuite, les scientifiques sont des lecteurs, auditeurs qui mettent en mouvement un flux d'informations à travers un réseau d' « interactants » (Rés) qui collaborent, sont concurrents, communiquent lors de congrès, lisent des articles. Ce thème d'étude nous permet éventuellement de recueillir les informations sur les diverses activités professionnelles, autres que celles du chercheur, pour lesquelles les élèves peuvent prêter attention, par évocation du doctorant ou lorsque celui-ci interagit avec les autres membres du laboratoire. Autre thème, les chercheurs doivent savoir manier l'art de la persuasion afin de prouver et convaincre (Prouv). La phénoménotechnique (Ph) est également omniprésente dans l'univers de la vie de laboratoire. Ce concept repris par Latour et Woolgar à partir de Bachelard (1953) désigne l'apparence du phénomène dans le processus même de sa construction par des techniques matérielles. Enfin, notre corpus nous amène à envisager également le thème de la résistance du réel (Résist) (Coquidé, Bourgeois-Victor & Desbeaux-Salviat, 1999) pour rendre compte des difficultés inhérentes à la matérialité du domaine scientifique, dont le travail sur le vivant et l'utilisation des instruments font partie. Une rencontre avec la résistance du réel dans les laboratoires est susceptible d'imprégner les représentations des élèves, étant donné le contraste existant avec les sciences scolaires, que nous considérons davantage aménagés par l'enseignant et dont les protocoles fonctionnent de façon plus systématique. En laboratoire, la mise en œuvre d'une expérimentation occasionne d'autres questionnements propres à la matérialité, dont il faut dénouer les problèmes pour poursuivre le travail de recherche. Par exemple, lorsque le chercheur doit répéter des expériences en optimisant les réglages, lorsqu'il est confronté à des pannes ou qu'il établit un protocole qui permettra, par exemple, la concentration optimale du matériau voulu. La résistance du réel apparaît omniprésente dans les laboratoires de recherche, si bien qu'elle contribue aux représentations des élèves sur les sciences qui se font.

En complément de ces cinq thèmes majeurs, extraits de *la vie de laboratoire* de Latour et Woolgar ou de Coquidé *et al.*, nous ajoutons deux caractéristiques de la nature des sciences extraites de Maurines et Beaufils (2011, p. 12) permettant de rendre compte de représentations sur la part d'invention, requérant de la créativité (Créa) des sciences en action et sur la nature provisoire des savoirs scientifiques (Prov).

Par ailleurs, nous décidons, après l'analyse du corpus, d'ajouter également des critères spécifiques de la recherche doctorale, mais contribuant à construire des représentations générales. Nous souhaitons ainsi rendre compte des représentations stéréotypées (Stéreo) préalables des élèves, des constats faits sur l'importance et l'utilité de recherches explorées, en lien avec la société et la vie courante (Uti). De plus, nous proposons d'analyser les données évoquant l'impact sur l'orientation que permettent les explorations de par l'ouverture culturelle sur les filières et les professions générée (Orient). Enfin, un dernier critère généraliste cible les autres données entrant dans le thème d'étude « a », (représentations sur les sciences en train de se faire et les pratiques sociales des laboratoires), sans toutefois être apparenté à un des dix critères d'analyse définis précédemment (Sci).

2.3.1.2. Pour répondre à la deuxième question de recherche

Notre deuxième axe de recherche se propose de caractériser les explorations des élèves en fonction de la correspondance des itinéraires avec les pratiques des recherches doctorales. Nous avons précédemment défini quatre domaines de recherche permettant l'étude de cet axe. Ainsi, nous souhaitons recueillir des données sur les caractéristiques de la recherche doctorale de référence (domaine b : « Réf »), la/les visée(s) éducative(s) des doctorants (c : « Vis »), les caractéristiques des moments en laboratoire (d : « Act ») et l'explicitation du travail de transposition didactique entre la pratique de recherche de référence et les moments en laboratoire (e : « Exp »). Par rapport aux domaines b, d et e, nous décidons, conformément à notre cadre théorique, de renseigner chacune des cinq caractéristiques de PSR : 1) la (les) question(s) d'étude, 2) les activités et/ou les tâches, 3) les instruments matériels (outillages et équipements) et intellectuels, 4) les représentations symboliques et 5) les savoirs en jeu et les savoirs produits.

2.3.1.3. Pour répondre à la troisième question de recherche

Notre analyse cible également, par l'intermédiaire du domaine f, l'évolution des itinéraires d'exploration et les causes de cette évolution. Par conséquent, nous codons spécifiquement les difficultés éventuellement rencontrées par chacun des acteurs (Dif) et les évolutions survenues dans chacune des phases d'enseignement et leurs causes (Evo). Ces évolutions peuvent être des modifications dans la nature des activités, dans le registre des discours, conséquentes à

l'intervention d'acteurs. Leurs causes nous permettent de répertorier les négociations relatées entre les acteurs du partenariat et qui influent sur les constructions des explorations. Pour rendre compte des moments successifs qui ne présentent pas de changement notable dans l'itinéraire d'exploration vis-à-vis des caractéristiques de PSR, nous ciblons les éléments des discours relatant une continuité (Cont). Un dernier critère, dans ce domaine f, cible les données sur les rôles que les enseignants accompagnateurs endossent dans les laboratoires (Post).

Nous décidons, en outre, l'ajout d'un critère d'analyse qui permet de rechercher les éléments textuels illustrant une attitude réflexive, un questionnement chez les doctorants, vis-à-vis de leur manière d'encadrer les élèves (g : « App »). Du côté des enseignants, nous recherchons également les données sur l'enrichissement culturel dont ils bénéficient, dans le contexte de laboratoire (h : « App ens »).

Par ailleurs, nous codons également des informations sur le cursus du doctorant (g : « Cur ») : 1) ses études passées, 2) ses expériences d'enseignement, 3) les informations qu'il a reçues sur l'enseignement ou les connaissances acquises et 4) ses expériences professionnelles. Un dernier critère cible le curriculum potentiel B à venir, c'est-à-dire, les ajustements et les modifications que le doctorant prévoit d'effectuer dans la conception des moments en laboratoire de l'année suivant l'entretien (i : « Fut »).

2.3.2. *La grille d'analyse*

La grille de codage est donc fondée sur **neuf thèmes informationnels**. Certains sont indispensables pour répondre aux questions de recherche, d'autres permettent de mieux se représenter l'enrichissement mutuel conféré par le cadre partenarial ou de connaître la population des doctorants. Ils peuvent servir d'explications éventuelles à certains résultats *a posteriori*. Cette grille d'analyse est présentée à la page suivante (Tableau 11), avec le code associé à chacun des différents items de recherche.

2.3.3. *Le codage du corpus*

La technique du codage s'inspire de Weil-Barais (1997). Les numéros des tours de paroles et les locuteurs concernés sont mentionnés dans les retranscriptions des entretiens. Ces écrits sont partiellement soulignés, afin de mettre en évidence les éléments verbaux ciblés par le codage, en cohérence avec la grille d'analyse. Le codage attribué est indiqué à côté des éléments soulignés. Dans la partie des résultats de ce manuscrit de thèse, nous indiquons, le cas échéant, l'origine des données avec les passages des discours en mentionnant le cas concerné par le prénom du doctorant, l'élément indexé du recueil des annexes par la lettre capitale A, B, etc., et le numéro du tour de parole ou la page correspondante parmi celles de

l'élément indexé. Par exemple, le code « Jean F 1 » signifie que l'extrait provient de la première page du domaine indexé « F » pour le cas du groupe de Jean référencé. Le lecteur trouvera les éléments indexés d'où proviennent les extraits, dans le volume des annexes. Deux versions des annexes sont proposées, dont une version imprimée allégée comportant les réponses écrites des élèves aux deux questions ouvertes, les discours et les notes des entretiens sur lesquels s'appuie cette étude, ainsi que les supports de présentation pour le congrès des élèves. Une synthèse des pratiques de recherche doctorale, pour chacun des 14 cas des axes 2 et 3, compose également ce recueil imprimé. Cependant, il ne contient pas les cahiers de laboratoire des élèves, les thèses, les actes de colloques et les articles de recherche des doctorants qui, plus volumineux, intègrent, sous forme d'extraits, la version numérique plus complète du recueil de ces annexes. Les libellés de ces éléments apparaissent en grisé à l'intérieur de l'index et des sommaires de chacun des cas.

A REPRESENTATIONS DES ELEVES SUR LES PRATIQUES SOCIALES DES PROFESSIONNELS DES LABORATOIRES ET LES SCIENCES EN TRAIN DE SE FAIRE	l'importance des écrits	Ecrit
	le réseau des flux d'informations, collaborations, compétitions	Rés
	la validation des savoirs scientifiques	Prouv
	la phénoménotechnique	Ph
	la résistance du réel	Résist
	la créativité et l'imagination	Créa
	le caractère provisoire des savoirs	Prov
	les représentations stéréotypées	Stéréo
	l'utilité des sciences dans la vie courante	Uti
	l'ouverture culturelle pour l'orientation	Orient
	diverses autres représentations	Sci
B CARACTERISTIQUES DE LA RECHERCHE DE REFERENCE	la (les) question(s) d'étude	Réf1
	les activités et/ou les tâches	Réf2
	les instruments matériels (outillages et équipements) et intellectuels	Réf3
	les représentations symboliques	Réf4
	les savoirs en jeu et les savoirs produits	Réf5
C VISÉE(S)	la/les visée(s) des doctorants	Vis
D CARACTERISTIQUES DES MOMENTS EN LABORATOIRE	la (les) question(s) d'étude	Act1
	les activités et/ou les tâches	Act2
	les instruments matériels (outillages et équipements) et intellectuels	Act3
	les représentations symboliques	Act4
	les savoirs en jeu et les savoirs produits	Act5
E TRANSPOSITION DIDACTIQUE ENTRE LA PRATIQUE DE RECHERCHE ET LES MOMENTS EN LABORATOIRE	explicitation entre réf1 et act1	Exp1
	explicitation entre réf2 et act2	Exp2
	explicitation entre réf3 et act3	Exp3
	explicitation entre réf4 et act4	Exp4
	explicitation entre réf5 et act5	Exp5
F L'EVOLUTION DES ITINERAIRES D'EXPLORATION ET LES CAUSES DE CETTE EVOLUTION	continuité dans l'itinéraire des situations d'enseignement-apprentissage	Cont
	transition dans l'itinéraire des situations d'enseignement-apprentissage	Evo
	difficultés rencontrées	Dif
	rôles endossés par les enseignants	Post
G DOCTORANTS	réflexions sur l'encadrement des élèves	App
	études passées	Cur1
	expériences de l'enseignement	Cur2
	connaissances, informations sur l'enseignement	Cur3
	expériences professionnelles hors enseignement	Cur4
H ENS. ACCOMPAGNATEURS	enrichissement culturel	App ens
I PREVISION POUR L'ANNEE SUIVANTE		Fut

Tableau 11. Les éléments codés, répartis en neuf thèmes dans la grille d'analyse, pour les réponses à la deuxième question ouverte et les trois types d'entretien du corpus.

3. BILAN DU CINQUIEME CHAPITRE

L'étude des itinéraires d'exploration porte sur la première année de mise en œuvre du dispositif au cours de l'année scolaire 2012-2013. La cohorte comporte 26 groupes comprenant 26 doctorants encadrant 90 élèves de trois lycées orléanais dans huit laboratoires, dont quatre de sciences physiques (le CEMHTI, PRISME, l'ICARE, le GRÉMI), un de chimie (l'ICOA), un de biologie moléculaire (le CBM) et deux de sciences de la Terre (le BRGM et l'ISTO).

Nous privilégions une approche globale en étudiant un grand nombre de cas par l'intermédiaire d'un corpus diversifié. La recherche de l'axe 1 se base principalement sur les réponses rédigées des élèves et les entretiens pour les 26 cas. Les entretiens sont également requis pour les axes 2 et 3 qui ciblent 14 cas, dont sept en sciences de la Terre et sept en sciences physiques. Pour l'ensemble des axes de la recherche, nous utilisons également les notes et les photographies prises lors de visites en laboratoire, les observations et les notes prises à l'occasion du congrès EDIFICE, les diaporamas présentés, ainsi que des cahiers de laboratoire. Des articles, des présentations et des thèses des recherches doctorales servent aussi à l'axe 2. Le corpus global se compose de 161 types d'éléments différents pour l'ensemble des 26 cas. Par exemple, 26 heures d'entretien ont été menées auprès de 22 doctorants, une quinzaine d'élèves et cinq des enseignants accompagnateurs.

Parmi les thèmes spécifiques d'étude, nous caractérisons celui des représentations des élèves des pratiques sociales des professionnels des laboratoires et des sciences en train de se faire pour l'axe 1, ceux des caractéristiques des recherches doctorales de référence, la/les visées des doctorants, les caractéristiques des moments en laboratoire et l'explicitation du travail de transposition pour l'axe 2. L'axe 3 requiert deux thèmes spécifiques : les caractéristiques des moments en laboratoire déjà mentionnées et l'évolution des itinéraires d'exploration incluant les causes de cette évolution.

Les réponses rédigées des élèves à la deuxième question ouverte et toutes les retranscriptions des entretiens ont fait l'objet d'un codage ciblant les éléments textuels relevant de critères d'analyse spécifiques de chacun des thèmes d'étude précédemment évoqués. En plus de ces six thèmes, trois autres sont ajoutés, afin de compléter les informations sur l'enrichissement culturel dont bénéficient les enseignants accompagnateurs, le cursus des doctorants et les prévisions de mise en œuvre pour l'année suivant l'entretien.

TROISIEME PARTIE

DES ITINERAIRES
D'EXPLORATION VECUS DANS
LES LABORATOIRES

CHAPITRE 6

DES EXPLORATIONS POUR DES REPRESENTATIONS SUR LES SCIENCES ET LES PRATIQUES SOCIALES DES CHERCHEURS SCIENTIFIQUES

Dans le partenariat EDIFICE, il est préconisé aux acteurs que les explorations des élèves puissent se concentrer autour de la pratique de recherche d'un doctorant, en les faisant vivre et participer aux travaux de la thèse. Mais, rappelons-le, le dispositif orléanais est une mise en œuvre possible de l'enseignement d'exploration de MPS, qui souhaite dans la visée prescrite que les élèves puissent explorer des filières et des professions scientifiques (Ministère de l'Education Nationale, 2010d). Cette volonté est aussi celle présente au travers des visées du dispositif EDIFICE, en se concentrant néanmoins, non pas sur l'ensemble des champs professionnels en relation plus ou moins directe avec les sciences, mais spécifiquement sur les professions des laboratoires de recherche. Cette distinction n'enlève rien au fait que les deux prescriptions, à la fois nationale et orléanaise, souhaitent communément des explorations qui puissent parvenir à générer des représentations, embrassant les caractéristiques des pratiques sociales des corps des professionnels en action. Cependant, il y a lieu de s'interroger sur la distinction entre un cas en particulier, en l'occurrence celui d'un scientifique débutant des travaux de thèse, et la généralisation à l'ensemble de corps des professionnels présents dans les laboratoires. Alors que les élèves construisent leurs représentations des sciences en train de se faire principalement par l'intermédiaire d'un doctorant, comment ces derniers parviennent-ils à construire des représentations qui englobent les pratiques sociales des professionnels à l'œuvre dans le laboratoire de recherche ? Dans quelles mesures ces

représentations ont-elles une vertu générale en ce qui concerne les professions à l'œuvre dans le laboratoire ?

1. DES ELEVES GLOBALEMENT PEU INFORMES DES SCIENCES EN ACTION

Ce questionnaire conduit, en premier lieu, à dresser le panorama sur les possibilités et moyens à partir desquels les élèves ont construit préalablement leurs représentations sur les sciences. Pour ce faire, nous leur avons demandé quelles étaient les opportunités scientifiques, en dehors du contexte scolaire, dont ils avaient pu faire l'expérience avant leur participation au partenariat orléanais. Sur un total de 61 réponses, parmi la première cohorte, 37 élèves disent n'avoir eu aucune expérience scientifique. Onze mentionnent, selon les cas, avoir soit visité des musées, soit participé à l'événement de la fête de la science ou s'être abonnés à des magazines de presse scientifique. Quatre élèves déclarent avoir au moins un parent qu'ils considèrent exercer une profession scientifique et sept mentionnent qu'ils ont déjà participé à un stage au sein d'un laboratoire de recherche, notamment durant leur année de troisième de collège.

Ces résultats nous conduisent à considérer deux catégories d'élèves : d'une part une petite minorité de dix élèves ayant été en contact direct avec des professionnels scientifiques, d'autre part une grande majorité de 51 élèves ayant construit des représentations à travers les médias (télévision, internet, magazines scientifiques, musées scientifiques), l'école (disciplines scientifiques et clubs) ou des événements ponctuels de culture scientifiques (visite de l'observatoire de Nancay, fête de la science). Nous considérons que ces moyens ne visent pas majoritairement à donner à voir des professions et des carrières scientifiques, telles qu'elles s'exercent au quotidien, mais, pour ceux qui ne proposent pas de fiction, possèdent plutôt un objectif centré sur des notions scientifiques. Par exemple, l'événement annuel de la fête de la science propose un contact direct d'échanges possibles avec des chercheurs dans leur laboratoire, mais il est ponctuel et apparaît plutôt centré sur des expériences pratiques et des contenus (par exemple Goujon, 2016). Même si nous ne doutons pas de la capacité de certains médias, de l'école ou des événements à générer, parmi la diversité des contextes, des représentations certaines de carrières scientifiques au sein du public, nous considérons néanmoins que notre cohorte est inégale. Celle-ci est, en effet, constituée d'une minorité d'élèves ayant eu la possibilité de construire des représentations sur les sciences en action auprès de leur parent ou en stage, et d'une importante majorité n'ayant pas eu cette opportunité, dont la plupart (37 élèves sur 51) disent n'avoir eu aucune expérience scientifique en dehors de l'école. A partir de ce constat, nous proposons de mettre en évidence les représentations des élèves sur les pratiques sociales dont celle du chercheur scientifique, la recherche scientifique et les sciences, qui ont émergé au cours de leur expérience dans le partenariat.

Rappelons que nous avons discriminé les éléments textuels et codés, en fonction de domaines d'analyse inférés sur l'ensemble des entretiens effectués avec les élèves et à partir des 85 réponses écrites à la question ouverte posée : « *Pensez-vous que votre immersion dans les laboratoires de recherche a modifié vos connaissances des sciences et vos représentations de la recherche scientifique ?* ». Un domaine cité dans 19 groupes sur 26 correspond à des représentations sur les sciences qui mettent en avant la résistance du réel (Coquidé, Bourgeois-Victor & Desbeaux-Salviat, 1999) et/ou des instruments matériels que les élèves écrivent ne pas percevoir par l'intermédiaire des sciences en contexte scolaire. Parmi des thèmes relativement récurrents, nous retrouvons également la phénoménotechnique (dans 18 groupes), l'importance du réseau et du travail en équipe (21 groupes), l'omniprésence de l'écrit (16 groupes). Un regroupement illustre les écrits des élèves qui évoquent le décroisement opéré par leur exploration en laboratoire leur ayant permis de se rendre compte des liens entre les sciences, les technologies et la société et, notamment, d'assigner certains savoirs et découvertes scientifiques à une utilité dans la vie courante (17 groupes). Dans cette partie, un sous-domaine explique que les élèves voient, de fait, la profession de chercheur et la pratique des sciences comme requérant de multiples compétences. Un domaine, assez partagé, rassemble des éléments diversifiés n'entrant pas dans les catégories déjà inférées mais illustrant une ouverture culturelle et que les élèves décrivent éventuellement être utiles à leur choix d'orientation (16 groupes). Il peut s'agir, par exemple, d'une prise de conscience de la diversité des domaines de recherche insoupçonnée jusqu'alors. La nécessité de prouver et d'argumenter, la validation par les pairs sont également cités et nous avons retrouvé un commentaire sur l'aspect provisoire des savoirs scientifiques. Enfin, les sciences en tant qu'invention et requérant de l'imagination sont évoquées dans 10 groupes.

2. UN « EBRANLEMENT » DES REPRESENTATIONS STEREOTYPEES

Nous mettons en évidence que, dans la moitié des groupes de l'ensemble du dispositif (Tableau 13 ci-après), cette expérience a permis aux élèves une découverte des sciences en train de se faire modifiant leurs représentations initiales, en les rendant à la fois plus proche de leur vie quotidienne et moins éloignée de stéréotypes. Ces derniers peuvent notamment être véhiculés par la télévision (par exemple Giulia B 100-106, Marie B 21, Wissem C 48) ou proviendrait de la persistance d'une image d'Epinal des chercheurs scientifiques et de la recherche en général. Les écrits d'élèves suivants sont des extraits de réponses à la question ouverte rappelée précédemment qui montrent comment les élèves modifient leurs représentations sur les sciences et les chercheurs. Ces stéréotypes concernent, entre autres, l'âge des chercheurs.

Oui, pour moi c'était comme une découverte. Auparavant, quand j'employais le mot "chercheur", je ne comprenais pas vraiment ce que c'était la fonction d'un chercheur, dans quelles conditions travaillait-il. Je pensais que pour être un chercheur il fallait être vieux 😊 mais d'après mes découvertes ils avaient presque tous un âge moyen. Cela veut dire que moi aussi je peux devenir chercheuse après avoir terminé les études.

(Cas Roman A 2)

Pour d'autres élèves, c'est leur sociabilité qui était aussi mise en doute.

* Tout le monde peut être chercheur, les gens s'imaginent que être chercheurs, c'est être un homme, âgé, en fermé dans son laboratoire, alors que c'est totalement faux.

(Cas Jean F 1)

... Oui, beaucoup. Tout d'abord, avant de participer à ce projet, je voyais le scientifique comme une personne tout le temps cloûée dans son laboratoire, insociable, voire inhumain. En entrant dans Édifice, j'ai pu être au sein de ce qu'est la réelle ambiance chez les scientifiques. Ils partagent leurs connaissances, leurs recherches, marchent beaucoup au contact humain.

(Cas Kholoud A 4)

Effectivement, je pense que cette immersion dans les laboratoires de recherches a modifié ma vision du scientifique et des recherches. Cela a participé à "désacraliser" l'image du chercheur, que je me représentais, maniaque, rigide, extrêmement précis. Cette expérience a humanisé la recherche scientifique à mon égard.

(Aurélien F 2)

Certains imaginaient le laboratoire comme un lieu austère...

La base. Ceci m'a fait comprendre que la recherche scientifique n'était pas un monde où tout le monde est très intelligents, sérieux, consciencieux, et que l'ambiance est plutôt détendue.

(Marie F 1)

Avant je voyais la recherche scientifique comme des hommes/femmes en combinaison blanche travaillant dans des cas steriles, le projet m'a appris que les chercheurs sont des hommes "banals" dont les sujets des recherches sont plus au main complexe et ayant des rapports avec la vie courante.

(Jean F 3)

...ou explosif.

Oui, ça a changé ma vision du monde de la recherche, car j'étais encore dans les stéréotypes des machines énormes, aux explosions dues aux mélanges de composés chimiques. Certes les machines sont impressionnantes, mais plus petites qu'on peut le penser.

(Marie F 4)

Ces quelques exemples rédigés illustrent la « distance » entre l'imaginaire de certains jeunes et la « réalité » de la profession de chercheur. La tendance commune de 13 des 15 écrits d'élèves⁹⁵, illustrant un « ébranlement » de représentations antérieures stéréotypées, est la connexion, opérée par les jeunes, entre leur univers propre et celui des sciences en train de se faire. Dans la majorité des extraits que nous avons caractérisés en tant que révélateur de représentations particulièrement usurpées, les élèves déclarent découvrir une espèce de « normalité » existant dans le monde de la recherche et chez les individus qui l'incarnent. Comme ils l'écrivent : en fait, les chercheurs sont des personnes « banales ». Les sciences apparaissent « humanisées » par le contact avec le doctorant, pour reprendre le terme à l'élève du groupe d'Aurélien cité précédemment. Ce phénomène semble agir sur deux plans : d'une part, au niveau des représentations sur les personnes physiques, d'autre part, par rapport aux sciences qui, *a posteriori*, sont considérées plus en lien avec la vie courante et les préoccupations des jeunes.

3. UN DECLOISONNEMENT ENTRE LES SCIENCES, LES TECHNOLOGIES ET LA SOCIÉTÉ

3.1. Les sciences reconnues omniprésentes dans la culture

Nous considérons que l'exploration en laboratoire a pu, dans 17 groupes, faire progresser les élèves dans leurs représentations sur les sciences, en les replaçant dans le contexte de la

⁹⁵ Marie F 1/2/4, Armel E 2, Aurélien F 2, Julie F 2, Yann D 1/2, Jean F 1/3, Kholoud A 4, Roman A 2 et Kevin D 2

société, en leur assignant un rôle et une utilité concrète et en établissant les relations étroites entretenues avec les technologies. A titre d'exemple, dans le domaine de la mécanique des fluides, une élève du groupe de Kévin évoque comment elle entrevoit maintenant certains outils spécifiques.

On découvre énormément de chose lorsqu'on est entouré de laboratoire ou de doctorants par exemple moi mon TPE porté sur les différentes techniques de mesure (tube pitot ; Piv ; fil chaud) la première fois qu'on entend sa on se dit mais "c'est quoi?" et "se sert à quoi?"; au fur et à mesure

...
On se rend compte que ces choses sont un peu partout ou entouré autour de nous sans, ... sans rendre compte.

(Kévin D 1)

En plus d'une perception de l'utilité de certains objets, d'autres élèves, issus de cinq groupes différents⁹⁶, écrivent qu'ils se rendent compte de liens étroits, voire parfois confondus, entre les sciences et les technologies, comme l'indique l'extrait suivant.

Grâce à Edifice, j'ai pu découvrir un matériau composé de demain. qu'alors je pensais que la plupart des recherches se passait en laboratoire de chimie, que les chercheurs étaient surtout porté pour la science et non sur la technicité.

(Amal B 2)

L'extrait d'entretien suivant met en évidence que l'élève a modifié radicalement sa représentation des sciences du point de vue de son importance pour la société, au cours de son expérience passée dans le centre de biophysique moléculaire.

élève	Heu bah avant le projet edifice la recherche pour moi ça voulait rien dire en fait pour moi je voyais plus des gens qui cherchaient pour moi c'était un peu inutile en fait la recherche
Vincent	D'accord
élève	Ça a vraiment totalement changé mon point de vue dessus et je me rends compte que c'est super important en fait la recherche
Vincent	D'accord alors quand tu dis que pour toi c'était inutile c'est que tu voyais

⁹⁶ Geoffrey B 2, Kévin D 1, Olga D 3, Kholoud A 3 et Amal A 2

	<i>pas trop les visées ou les objectifs c'est ça non ?</i>
<i>élève</i>	<i>Oui voilà enfin non être un chercheur c'est chercher voilà ils sont payés pour chercher enfin je ne voyais pas trop</i>
	<i>(...)</i>
<i>élève</i>	<i>par exemple moi ma thésarde elle cherche un médicament pour guérir une maladie</i>
<i>Vincent</i>	<i>D'accord</i>
<i>élève</i>	<i>Qui est la neurofibromatose par exemple bah ça c'est super intéressant j'trouve</i>
<i>Vincent</i>	<i>D'accord</i>
<i>élève</i>	<i>C'est vraiment utile</i>
<i>Vincent</i>	<i>Oui c'est concret on se dit si y a des personnes qui peuvent guérir c'est ça ? c'est l'aspect concret du métier et utilitaire ?</i>
<i>élève</i>	<i>Oui voilà j'avais pas vu ça avant</i>

(Cas de Wissem B 137-149)

Des remarques, communément retrouvées, concernent également des « ponts » établis entre l'expérience en laboratoire et les contenus à l'école. Onze élèves dans neuf groupes⁹⁷ écrivent avoir approfondi des notions et des savoirs grâce à leur expérience dans le laboratoire. Dans six⁹⁸ de ces écrits, la modification du contexte des élèves a permis de donner du sens aux enseignements scolaires, par la résonance avec certaines des recherches doctorales. Les élèves prennent conscience de l'utilité des contenus, qui apparaissent alors non exclusivement inféodés à l'école, mais également manipulés dans le milieu de la recherche. L'aspect utile de ces savoirs apparaît être mis en évidence, et rendu peut-être plus facilement identifiable par les jeunes, au cœur de ce nouveau contexte. Par exemple, dans l'extrait suivant, une élève évoque les notions de conversion d'unité de volume pour des dilutions et celles de sciences de la vie et de la Terre, afin de comprendre les manipulations au centre de biophysique moléculaire.

.Je pense que l'immersion dans les laboratoires de recherche^{m'} a permis de comprendre pourquoi nous apprenons certaines connaissances au lycée. Nous les avons mis en application et nous les avons approfondis.

(Safia C 2)

3.2. Le chercheur vu comme un professionnel aux multiples compétences

L'élève de l'extrait suivant parle de la grande culture générale du chercheur et place cette caractéristique comme la principale qu'elle a perçue de son exploration.

⁹⁷ Kévin D 1, Geoffrey B 3, Julie F 1/2/3*, Hao C 1, Nicolas G 4, Safia C 2*, Thomas E 1*/2, Yann D 2*, François B 1*/2

⁹⁸ Ils sont identifiés avec un astérisque dans la liste ci-dessus

Un scientifique doit faire preuve d'une grande culture générale afin que rien ne puisse le bloquer dans ses recherches. C'est la principale chose que le projet Edithes m'a appris.

(Kholoud A 2)

Mais, le plus souvent, les élèves perçoivent les sciences comme un domaine intégrant des compétences issues de différentes disciplines académiques (lire par exemple Benoît F 2). Celles-ci peuvent dépasser le cadre des disciplines scolaires ordinaires d'élèves de filière générale, en incluant par exemple la mécanique.

J'ai compris que même si mon sujet est sur la physique, que j'en ai besoin de toutes mes compétences des différents domaines comme les maths, la SVT, l'électricité, la mécanique et autres pour faire avancer la thèse.

(Marie F 1)

Par conséquent, il semble que l'exploration en laboratoire peut, selon les cas, non seulement donner du sens aux enseignements scolaires, mais aussi montrer un domaine d'applications, à l'intérieur duquel les multiples compétences et leur champ d'origine ne sont plus arbitrairement séparées mais réunies autour d'un objectif fédérateur. Les sciences en action semblent être en mesure de donner à voir une intégration non cloisonnée de multiples disciplines académiques, qui pourrait alors renforcer l'utilité de chacune d'elles, dans l'esprit des élèves. Cette interconnexion serait nécessaire au chercheur dans l'exercice de sa profession. Celui-ci n'est alors plus considéré comme quelqu'un de très intelligent dans les vues stéréotypées, mais comme un professionnel aux multiples compétences, au service de la cause scientifique. Pour une part d'entre elles, ces compétences permettent au chercheur de trouver des solutions face aux résultats inattendus ou à l'utilisation parfois chaotique des matériels. Nombreux sont les élèves qui illustrent une résistance du réel ou des matériels beaucoup plus prégnante que ce à quoi ils s'imaginaient.

4. UNE CONFRONTATION A LA RESISTANCE DU REEL

De nombreuses représentations sur les recherches en sciences émergent effectivement, en opposition avec celles du cadre scolaire ou des médias qui constituent avant leur exploration en laboratoire les références majeures sur des sciences en action. Nous retrouvons de nombreuses remarques d'élèves dans 19 des groupes qui sont surpris du caractère long et « sinueux » des recherches scientifiques, en opposition avec des sciences à l'école plus systématiques. Celles-ci sont notamment incarnées par les travaux pratiques qui, *a posteriori*,

n'apparaissent alors plus comme reflétant les sciences telles qu'elles sont pratiquées par les chercheurs. Dans les laboratoires, les élèves écrivent que certaines manipulations sont répétées de nombreuses fois et que des pannes auxquelles il faut faire face surviennent régulièrement. Dans les domaines de la biologie et de son enseignement, Coquide, Bourgeois-Victor et Desbeaux-Salviat (1999) parlent de la « résistance du réel » pour évoquer le fait que, dans les travaux pratiques scolaires, le réel est « *le plus souvent aménagé et structuré pour que soit occulté tout ce qui pourrait conduire à douter du modèle enseigné* ». La résistance du réel est omniprésente dans les sciences qui se font et tout au long de l'histoire des sciences. Elle est maintenant également très présente dans les représentations des élèves qui sont nombreux à expliquer qu'ils y ont souvent été confrontés avec leur doctorant (retrouvé dans 50 extraits des écrits et des entretiens). Nous considérons que les explorations en laboratoire contribuent ainsi, sur cet aspect, à construire des représentations en cohérence avec les sciences qui se font. Par exemple, le caractère long des démarches, pas toujours fructueuses, avec des « retours arrière », est évoqué par une élève par rapport aux recherches dans le centre de biophysique moléculaire.

<i>élève</i>	<i>Bah déjà la recherche scientifique ça aboutit pas forcément à un résultat ça supprime par exemple dans une maladie ça supprime des champs qu'on a explorés et on sait que du coup ça marche pas pour guérir la maladie du coup on peut s'atteler à d'autres démarches</i>
<i>Vincent</i>	<i>D'accord pour toi la démarche scientifique c'est fermer des portes</i>
<i>élève</i>	<i>Pour essayer d'ouvrir d'autres portes enfin pour essayer de guérir ce qu'il faut guérir et de trouver ce qu'il faut trouver</i>
<i>Vincent</i>	<i>D'accord et ton immersion dans le laboratoire est-ce que c'est vraiment ça qui t'a fait avoir cette vision de la recherche scientifique est-ce que ça a modifié</i>
<i>élève</i>	<i>oui</i>
<i>Vincent</i>	<i>Ce qu'est pour toi la recherche scientifique ?</i>
<i>élève</i>	<i>Oui parce que avant je pensais qu'on pouvait soit trouver directement ce qu'on cherchait ou heu enfin que c'était entre guillemet plus simple</i>
<i>Vincent</i>	<i>D'accord</i>
<i>élève</i>	<i>Là on s'est vraiment rendu compte de ce que c'est tous les jours dans la vie quotidienne</i>
<i>Vincent</i>	<i>Tu t'es aperçu que la recherche scientifique c'était fait d'essais et d'erreur ?</i>
<i>élève</i>	<i>Oui</i>

(Wisseem C 18-28)

De même, dans le domaine de la physique des matériaux

Cette année passée dans le laboratoire du CEMHTI m'a appris que la recherche scientifique est une chose assez longue, beaucoup plus que je ne le pensais. J'ai également compris que pour obtenir les résultats que l'on espère il faut très souvent passer par l'échec.

(Olga D 4)

Le caractère « empirique » ou « expérimental » inhérent aux instruments matériels est également souvent souligné par les élèves et leur doctorant. Ainsi, le doctorant Charles décrit son sentiment sur les recherches en combustion dans son laboratoire qu'il associe aux impressions présumées des élèves :

« quand ils (les élèves) voient quand même ce qu'on fait ils se disent ouai bon ça avance pas toujours très vite mais on comprend un peu mieux pourquoi quand il faut recalibrer cinquante fois son laser (...) J'vais employer le terme mais c'est pas du tout le terme adéquat des fois c'est pas que c'est à l'arrache mais c'est expérimental quoi c'est c'est pas rodé quoi l'affaire ça marche quand on le prend dans le sens du poil le truc (...) c'est de la recherche quoi c'est du enfin c'est du nouveau c'est du enfin voilà c'est tout ça après ils s'en sont un peu plus rendus compte je pense et puis quand ils ont vu les installations aussi » (Charles A 237-253).

5. UNE RENCONTRE AVEC LA PHENOMENOTECHNIQUE

Le concept de phénoménotechnique a été inventé par Bachelard pour expliquer que les sciences modernes créent des phénomènes qui n'existent pas en dehors des instruments qui permettent de les faire apparaître. Elles requièrent, par conséquent, une panoplie d'instruments matériels qui se complexifient avec les avancées des technologies. Pour Bachelard (1953 ; cité par Latour & Woolgar, 1996), la phénoménotechnique est l'apparence du phénomène dans le processus même de sa construction par des techniques modernes (p. 59). Cet univers de la phénoménotechnique est l'une des caractéristiques très souvent relevée par les élèves, lors de leur expérience au sein d'un laboratoire de recherche, et ils sont souvent frappés par la sophistication des machines technologiques dans 18 groupes. Ces dernières servent à la création artificielle de phénomènes étudiés et objet des recherches, comme le mentionne Bachelard, mais aussi sont utilisées à des fins d'analyse de matières ou des phénomènes eux-mêmes. Elles génèrent des représentations symboliques complexes et/ou des données en nombre. A titre d'exemple et d'illustration, les photographies 1 et 2 offrent un aperçu de la salle « blanche » du laboratoire du GREMI dont l'atmosphère est sur pressurisée et contrôlée afin d'éviter l'entrée de poussières. Une tenue réglementaire est exigée comprenant blouse, sur-chaussures et « charlotte ». Dans ce lieu, les élèves ont commandé,

via une interface informatique, la genèse de plasmas, afin d'éroder la surface d'un échantillon de silicium. Les photographies 2 et 4 montrent un moment d'utilisation du microscope électronique à balayage avec son écran de visualisation. D'autres élèves ont pu participer au montage et paramétrages de la machine « *Marguerite* » (photographies 5 à 9). Le laboratoire du CEMHTI permet également une rencontre avec une phénoménoteknikue jusqu'alors inconnue, comme l'illustrent les photographies 12 à 14, avec l'accélérateur de particules et écrans de contrôle, le spectroscope Raman et le dispositif de spectrométrie d'émission infrarouge. A PRISME, des doctorants et leurs élèves ont reproduit des combustions, notamment à l'intérieur de moteurs qui sont « alimentés » par tout un complexe de câbles, de capteurs et de tuyaux de gaz (photographie 29). Ces élèves ont ainsi contrôlé, via une interface informatique, le fonctionnement d'un moteur (photographie 28). Dans le domaine de la biologie moléculaire, des élèves ont reproduit l'expression de gènes de fluorescence de cnidaires en tant que marqueur dans des cellules humaines. Autre exemple, à l'ICOA, l'on étudie les conformations de molécules par le biais de leur modélisation informatique (photographie 24). Le tableau 12 résume, de façon non exhaustive, pour la majorité des laboratoires de la première cohorte, les instruments du domaine de la phénoménoteknikue que les élèves ont pu utiliser avec leur doctorant ou voir en fonctionnement.

Laboratoires	Noms des instruments ou des techniques	Rôle, utilité
CEMHTI	<ul style="list-style-type: none"> - Accélérateur de particules, - Cyclotron et écrans de contrôle, - Spectroscopie d'émission infrarouge à chauffage laser, - Spectroscopie Raman, - Diffraction des rayons X (DRX), - Fours haute température. 	<ul style="list-style-type: none"> - Forme des faisceaux de positons d'énergie variable qui permettent de sonder les défauts ou les vides dans les matériaux - Délivre des faisceaux de neutrons, de protons, deutérons et particules alpha. Il est utilisé pour la caractérisation de matériaux, l'étude de matériaux archéologiques, la production d'isotopes pour l'imagerie préclinique - Mesure l'émittance d'un matériau chauffé - Caractérise la composition moléculaire et la structure externe d'un matériau - Caractérise les matériaux cristallins - Destinées à la fabrication de verre.
PRISME	<ul style="list-style-type: none"> - Soufflerie et circuit aéraulique, - Chambre sphérique de combustion, - Bancs moteurs automobiles, - Vélocimétrie par imagerie de particules, - Capteurs nombreux et variés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reproduction des tourbillons d'air - Reproduction de combustions - Reproduction de combustions - Calcule et modélise le champ de vitesse d'un tourbillon - Mesure et contrôle les combustions.
ISTO	<ul style="list-style-type: none"> - Presse Paterson, - Four haute température, - Chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (CG-SM), - Chromatographie liquide haute performance couplée à la détection UV (HPLC), - Microsonde électronique⁹⁹, 	<ul style="list-style-type: none"> - Autoclave à chauffage interne équipé de modules de déformation et de mesure à haute température et haute pression - Préparation de verres, fusions, synthèses minérales - Identifie et quantifie des substances présentes en petites quantités dans un mélange gazeux ou liquide - Identifie et quantifie des composés chimiques dans une phase liquide détectables aux UV - Analyse des éléments présents dans un volume de matière extrêmement petit, en

⁹⁹ Instrument matériel de l'Institut des sciences de la Terre de Paris utilisé par Yann-Aurélien avec les élèves.

	<ul style="list-style-type: none"> - Cathodoluminescence, - Microthermométrie, - DRX, - Microscope électronique à balayage (MEB). 	<p>utilisant la production d'un rayonnement X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Détection des éléments en traces et des défauts cristallins dans les minéraux à partir de sa photoluminescence induite par un faisceau d'électrons - Mesure des températures de changement de phase du fluide d'une inclusion dans un cristal lorsque l'on chauffe cette dernière - Caractérise les matériaux cristallins - Produit des images en haute résolution de la surface d'un échantillon.
GREMI	<ul style="list-style-type: none"> - Graveur plasma, - Machine « Marguerite », - Salle à atmosphère contrôlée - MEB. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consiste à faire subir à un échantillon un bombardement de gaz ionisé (plasma) afin de retirer des couches de matériaux - Analyse des nanoparticules d'un plasma généré - Pièces dans lesquelles la concentration particulaire est maîtrisée -
ICOA	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation moléculaire, - Electrophorèse SDS-PAGE, - Résine échangeuse d'ions, - Résonance magnétique nucléaire (RMN). 	<ul style="list-style-type: none"> - - Analyse de protéines et séparation en fonction de leur masse moléculaire - Elimine des ions d'une solution remplacés par d'autres - Sonde la structure moléculaire en faisant interagir l'aimantation naturelle des noyaux avec un champ magnétique.
CBM	<ul style="list-style-type: none"> - Transfection, - Transfert d'énergie de bioluminescence par résonance (BRET), - Lecteur de microplaque. 	<ul style="list-style-type: none"> - Transfert de gènes - Utilisation d'un phénomène de luminescence enzymatique naturel pour analyser des interactions moléculaires - Appareil automatique de « lecture » des plaques à puits multiples.

Tableau 12. Exemples d'instruments matériels ou de techniques des laboratoires utilisés par les élèves et leur doctorant (aux exceptions près des accélérateurs de particules du CEMHTI et du four à haute température de l'ISTO).

En revanche, les doctorants ont, en général, été peu enclins à présenter les aspects de modélisation des phénomènes de leur recherche ou de programmation informatique qui sont fréquents dans les sciences modernes¹⁰⁰. Il nous semble que l'exploration en laboratoire a permis de diversifier les activités des chercheurs scientifiques dans les représentations des élèves, mais celles-ci sont susceptibles de minimiser, une omniprésence des logiciels de modélisation et de la programmation. Les élèves ont néanmoins pu voir, utiliser, ou utiliser eux-mêmes, des interfaces informatiques des instruments matériels qui sont systématiquement associées à la phénoménotecnique, pour permettre son contrôle et récupérer les données générées. Ce constat de l'analyse des inscriptions des écrans, dans la pratique sociale des chercheurs, inaugurent, du fait des écrits qu'ils comprennent (photographies 4, 8 et 28), l'importance fondamentale du champ littéraire dans les sciences en tant que support et vecteur des informations produites.

6. L'IMPORTANCE DES ECRITS DANS LES SCIENCES A TRAVERS LES ACTIVITES DES ELEVES

6.1. Compléter un cahier de laboratoire

La photographie 11 montre une élève en train d'écrire dans son cahier de laboratoire pour se souvenir de données et des activités réalisées avec sa doctorante au CBM. Elle reproduit une tâche assidue et importante des pratiques sociales des chercheurs pour le suivi des démarches, le rappel des manipulations effectuées, de la qualité d'un dosage, etc, que nous avons pu constater lors de nos visites en laboratoire. Cette tâche, indispensable aux scientifiques, a été reproduite par des élèves comme l'indique, par exemple, Olga : « *on a toujours noté tout ce qu'on a fait dans un cahier* » (A 259). Elle fait également partie du corpus des éléments perçus par les élèves pendant leur exploration dans les laboratoires comme l'indique l'extrait d'entretien suivant avec un élève du GREMI :

« si une personne avait besoin d'information sur un plasma et que Nicolas bah c'est notre doctorant utilisait sa machine (...) on avait fait les tests d'un plasma qu'on avait et après il avait noté sur un cahier de labo et il avait pu donner les informations à son collègue » (Nicolas B 115)

6.2. Lire des articles, réaliser un « état de l'art »

L'importance de l'écrit est également présente à travers la recherche bibliographique qu'effectuent les doctorants au début de leur thèse, comme le mentionne la doctorante de

¹⁰⁰ Lire, par exemple, les extraits d'entretiens référencés : Benjamin B 6-8/88-89, Yann A 18/38 et B 10/36-38/58, Benoît C 34-38/54, Armel C 89-95, Nicolas E 133-147.

l'extrait suivant, qui s'est servie de son vécu de chercheur pour proposer une étude d'articles aux élèves :

« Dans les premières séances on a fait biblio (...) je sortais tout juste de mon premier premier gros état de l'art du sujet parce que on était au mois de janvier et moi j'ai pas eu le droit de manipuler de octobre à décembre donc j'ai fait que de la biblio donc oui j'ai fait ça ouai je leur ai présentée » (Julie A 223/243).

Cette phase des sciences en train de se faire a été bien perçue par les élèves, que ce soit par l'intermédiaire d'explications du doctorant ou par une incitation à une recherche bibliographique, adaptée ou non, les élèves étant introduits dans une phase vécue par le doctorant au début de sa thèse. Geoffrey a choisi des articles en anglais pour les élèves. Son objectif principal est, comme il le dit, avant tout culturel, c'est-à-dire porté sur la nature des sciences : *« on a décrypté l'utilité de la publication ça c'était plus pour leur culture générale que l'appliquer avec eux » (Geoffrey A 340).*

6.3. Ecrire des articles

Une activité de la pratique sociale du chercheur qui été découverte correspond à l'écriture d'articles ou de compte-rendu de communication. Tout comme la phase de bibliographie, cet élément du travail de recherche est bien souvent occulté par les élèves avant leur exploration dans les laboratoires, comme l'indique Benoît dans l'extrait suivant :

« ils avaient bien intuité (envisagé) les expériences de labo ça y a pas de problème y a eu deux trois trucs qu'ils arrivaient bien à mais la bibliographie heu enfin y a pleins de choses auxquelles ils n'avaient pas pensé écrire les articles ou heu faire des compte-rendus » (Benoît A 32).

6.4. Rédiger son manuscrit de thèse

A noter également que la première cohorte a pu explorer la pratique sociale du doctorant durant les trois années de la thèse. Par conséquent, tous les élèves savent maintenant qu'un doctorant a pour ouvrage, vers la fin de sa période de thèse, de rédiger son manuscrit de thèse. Des thèses ont également été consultées et observées parmi les documents des rayonnages des bibliothèques que chaque laboratoire possède dans ses locaux.

6.5. La bibliothèque : un lieu inséparable du laboratoire

Ces lieux ont été fréquentés par la majorité des élèves qui y ont pu percevoir l'importance des écrits dans le monde scientifique. La photographie 26 donne un aperçu de ce lieu fréquenté par des élèves à l'ICOA. Les rayonnages comportent plusieurs séries de revues, des thèses et des livres. Les élèves ont pu fréquenter ce lieu dans les autres laboratoires et y travailler. A

l'ISTO : « on a visité aussi la bibliothèque et alors oui on a regardé quelques articles scientifiques et choisi des articles » (Julie A 221), au GREMI : « à chaque fois qu'on arrivait on allait dans une sorte de petite bibliothèque on avait une grande table on se mettait tous autour (...) ils nous donnaient des trucs on lisait » (Nicolas B 12,14).

Mais la présentation que nous faisons, pour le moment, de la façon d'appréhender les écrits des sciences par les élèves demeure statique et ne reflète pas la circulation des flux d'informations entre des personnes qui œuvrent dans le même laboratoire ou dans des laboratoires différents. Une représentation aboutie des sciences modernes doit intégrer la quantité des flux des informations qui circulent et la notion d'un réseau à différentes échelles. Quelles collaborations les élèves ont-ils pu appréhender à l'intérieur du laboratoire fréquenté ? Ont-ils pu entrevoir le flux des informations en réseau existant à l'échelle internationale, c'est-à-dire construire une représentation dynamique des écrits évoqués précédemment ? L'étude des données sur les relations au sein du laboratoire qui sont relatées permet d'évaluer comment les élèves ont pu également découvrir les différentes professions et statuts qui collaborent au sein du laboratoire.

7. ENTREVOIR LE LABORATOIRE COMME UN ESPACE DE COLLABORATIONS

Nous retrouvons de fréquentes remarques, dans les entretiens ou écrits, qui montrent que les élèves ont construit des représentations sur les sciences mises en action par l'intermédiaire de collaborations. Nous avons déjà indiqué que la solitude du chercheur est un des stéréotypes initiaux fréquemment retrouvé qui ne perdure pas grâce aux explorations dans les laboratoires (lire par exemple un extrait précédent Gr. Khouloud-A-4). Maintenant, les élèves intègrent bien l'aspect social et « en équipe » des sciences comme l'exprime l'élève dans l'extrait ci-dessous.

Je pensais que le monde de la recherche était que des T.P on avait il faut faire tout en processus de recherche Bibliographique et rien encore discuter avec d'autres scientifiques de des résultats obtenus. et de la même thèse, même domaine.

(Amal A 1)

L'idée d'une valeur ajoutée conférée par la collaboration est également présente dans certains écrits.

Cette immersion m'a aussi prouvé que la recherche scientifique se faisait en équipe et qu'une personne seul aura plus de difficulté à trouver et vérifier sa théorie,

(Hao C 4)

Du point de vue des différents statuts professionnels du laboratoire, celui du directeur de thèse est bien perçu : il est le plus souvent mentionné par les élèves, compte tenu vraisemblablement de l'organisation d'EDIFICE et des partenaires qu'elle implique.

« (H) **y avait souvent son encadrant de thèse** comme on arrivait à des choses un peu plus complexes comme les calculs et ces calculs nous indiquaient si la molécule organique avait été bien préservée durant tout ce temps »
(Julie B 36)

Dans le laboratoire, quelques situations décrites montrent une certaine liberté dans les flux des personnes et la gestion de leur temps, lorsque des rassemblements ont lieu autour d'instruments matériels et de techniques utilisés en commun et présentant l'intérêt du moment.

« **avec un collègue on a partagé la même expérience de séparation par densité où il y avait aussi un assistant du labo** on était donc moi mon groupe moi et son groupe **et d'autres doctorants** et on a regardé ensemble cette typologie de séparation par densité » (Giulia A 291)

D'autres extraits d'entretiens ou écrits font référence à des stagiaires, des étudiants, au directeur de la sécurité ou au directeur du laboratoire. Cependant, un point d'imprécision subsiste autour de la dénomination des statuts et professions du laboratoire. Dans les laboratoires, les élèves n'ont pas nécessairement été en mesure de discriminer les différentes professions et postes à l'œuvre. Même s'ils ont bien perçu des statuts différents, rencontré de nombreuses personnes aux profils professionnels variés lors de leur exploration en laboratoire, ils leur est difficile de nommer le titre professionnel de ces personnes. Les codes apparents dans le laboratoire sont uniformisés, avec l'utilisation de la blouse ou de tenues plutôt décontractées, alliés à une certaine réciprocité dans les échanges verbaux en général. Il nous apparaît évident qu'une exploration en laboratoire laisse aux élèves un ensemble d'implicites sur les relations hiérarchiques et les statuts sociaux, à l'exception de celle qui unit le doctorant à son directeur. Dans l'extrait d'entretien suivant, les élèves perçoivent la fonction de la personne évoquée en tant qu'auxiliaire à la recherche, mais ils semblent ignorer les professions de technicien de recherche et d'ingénieur de recherche, qui auraient chacune convenu à la description des opérations du « gars à la bobine » dans les extraits d'entretien ci-dessous.

Elève 2	<i>Et puis le gars avec la bobine aussi</i>
Elève 3	<i>oui</i>
Elève 2	<i>C'était un stagiaire ou un étudiant aussi c'était des étudiants aussi bah qui étudiaient aussi et qui étaient chargés de faire le centrage de du réacteur en fait</i>
	<i>(...)</i>
Vincent	<i>D'accord donc c'était un gars qui s'occupait de la machine nan ?</i>
Elève 1	<i>oui</i>
Elève 2	<i>Oui voilà parce que en fait il avait commencé par la démonter mais finalement on a dû la remonter parce que elle était pas enfin on ne pouvait pas la déplacer finalement</i>

(Marie B 102-120)

Ce constat est également valable pour les fonctions de chercheurs, de maître de conférences, de professeur d'université, de statisticiens, de secrétaire ou autres. L'univers du laboratoire apparaît à nos observateurs peu hiérarchisé et homogène, ce qui prime dans les rapports humains est l'objectif commun partagé par tous les individus d'une réalisation et une avancée des travaux scientifiques.

8. IMAGINER LE FLUX DES INFORMATIONS EN RESEAU

8.1. La dimension internationale

L'organisation collaborative au sein du laboratoire a été perçue par les élèves au cours de leurs explorations. Il est intéressant de remarquer que, dans leurs représentations, ces relations ne s'arrêtent pas aux frontières du laboratoire mais parviennent à envisager le réseau international établi par les scientifiques qui y font circuler leurs informations. Par exemple, en première approximation, l'importance de l'anglais a été évoquée plusieurs fois par les élèves et leurs doctorants, lorsque ces derniers évoquent l'encadrement des moments en laboratoire¹⁰¹. De plus, pour certains groupes, les échanges verbaux avec les doctorants apparaissent particulièrement « fructueux » et adaptés, éventuellement, en association avec la fréquentation de certains lieux, telle que la bibliothèque ou la consultation d'articles scientifiques, pour générer des représentations approfondies, pour de jeunes lycéens d'une quinzaine d'années¹⁰². Par exemple, dans le fragment d'entretien ci-dessous, une élève, explique comment elle a pu envisager à la fois le caractère collaboratif, mais aussi réticulaire de la circulation des informations des sciences en train de se faire.

« Oui c'est vraiment un travail d'équipe c'est ça qui est bien parce que par

¹⁰¹ Par exemple Geoffrey A 64, Wissem B 98, Kholoud A 2. Roman a encadré les élèves en employant la langue anglaise et un groupe d'élèves a communiqué en anglais, lors du colloque EDIFICE.

¹⁰² Hao A 1/4, Olga D 4, Amal A 1, entre autres

*exemple les personnes avec qui on était ils travaillaient tous sur la neurofibromatose mais sur des aspects différents et c'est assez bien car comme ça ils peuvent parler entre eux de ce qu'ils trouvent et ça peut peut-être aider l'autre collègue à trouver autre chose et même **sur un point de vue mondial ils parlent tous ensemble en anglais mais à travers les magazines** tout ça on s'en rendait pas compte parce qu'ils nous ont montré la bibliothèque où il y a tous les livres scientifiques et on savait pas que c'était à ce point qu'ils tissaient des collaborations (...) elle nous a expliqué que **il y avait aussi d'autres labos au Québec et à Montpellier** qui travaillent sur la neurofibromatose également » (Wissem C 58/62)*

La dernière partie de cet extrait sous-entend le caractère compétitif des recherches scientifiques entre les laboratoires, par rapport auquel l'ensemble du discours de l'élève, ainsi que d'autres (lire, par exemple, Giulia B 106) laissent à penser qu'il fait maintenant partie des représentations sur les sciences.

8.2. La validation par les pairs

Autre aspect universel des sciences qui se font, la nécessité de prouver, d'argumenter est également régulièrement évoquée par les élèves. Cette caractéristique est notamment sous-entendue dans la répétition de certaines tâches : pour optimiser un réglage, un protocole ou pour obtenir des données en nombre afin de satisfaire aux règles statistiques. De plus, la notion d'une certification des résultats et de leur validation ressort à travers les écrits et les discours des élèves. Là encore, nous considérons les échanges verbaux avec les doctorants comme fertiles à la genèse de représentations élaborées sur l'importance de l'argumentation, de la précision des informations apportées par rapport aux protocoles expérimentaux par exemple. Dans l'extrait suivant, il est question de la validation des résultats de la thèse.

Vincent	<i>Qu'est ce qui fait finalement qu'une connaissance scientifique elle va devenir un savoir ? (...)</i>
Elève	<i>La manière dont le thésard le prouve au supérieur ou autre si eux approuvent ce qu'ils ont fait alors peut-être qu'ils vont vouloir refaire si elle démontre quelque chose de nouveau qu'avait jamais été peut-être ils vont vouloir la voir faire depuis le début observer comment elle procède ce qu'elle fait si c'est logique ou non et après vérifier tout ce qu'elle dit</i>

(Giulia B 132-133)

Cet autre extrait évoque, au début, la diffusion des articles via les bases de données numériques, puis va jusqu'à mentionner l'existence d' « experts » dans chacun des domaines de recherche pour leur validation.

Elève 2	<i>En fait heu pour eux elle nous expliquait un moment que par exemple heu elle lisait des articles qui étaient mis en ligne par d'autres chercheurs qui leur permettaient d'avancer par exemple sur tel ou tel aspect de leur thèse</i>
---------	--

Vincent	<i>D'accord</i>
Elève 2	<i>Mais heu après eux-mêmes ils faisaient des articles et après qui pouvaient être utilisés</i>
Elève 1	<i>Pour les autres aussi</i>
Elève 3	<i>oui</i>
Elève 2	<i>Donc en fait c'est</i>
Vincent	<i>C'est l'aspect communauté de la recherche</i>
Elève 2	<i>Réseau en fait et y avait par exemple des experts dans tel ou tel aspect de de la recherche</i>
Vincent	<i>humm</i>
Elève 2	<i>Qui pourront dire ça c'est vrai ouai par exemple</i>
Vincent	<i>D'accord ça vous n'en aviez pas forcément conscience avant ?</i>
Elève 2	<i>Nan ça nan</i>
Elève 3	<i>nan</i>

(Marie B 212-224)

8.3. Les partenariats avec des industriels

Le réseau scientifique comprend également, selon les cas, l'association avec des industriels : « *ils sont en relation avec m g électronique* » (Nicolas B 84) et soumis à une clause de confidentialité : « *j'ai mis les élèves au courant de la contrainte* » (Benjamin B 12). La question du financement et l'existence des brevets sont aussi quelquefois évoquées par les élèves, comme dans l'extrait suivant dans le domaine de la chimie : « *Ils ont compris le principe quand on sort un brevet quand la molécule on la découvre et qu'on sait qu'elle fonctionne après on attend les retombés* » (Geoffrey A 309).

8.4. Les événements de communications orales

La photographie 32 a été prise au cours du 12ème colloque des doctorants du CBM, qui est une journée de conférence de chercheurs confirmés de différents laboratoires, incluant également des présentations de posters de recherche (François C). Dix élèves du CBM ont été amenés à participer à ce colloque, en assistant aux conférences et en présentant leur poster à un public composé principalement de chercheurs. Cette immersion dans un tel événement de communications scientifiques a été la volonté des doctorants qui leur a montré l'importance des moments de communication orale dans les sciences. Ainsi, différentes formes de communications ont pu être explorées, que ce soit au niveau de l'exposé magistral appuyé d'un diaporama, par l'intermédiaire de posters ou via des discussions informelles. Cette dernière forme de communication a, par ailleurs, pu être observée durant toute la durée des explorations en laboratoire. La communication orale scientifique a également été mise à

l'honneur au cours du colloque EDIFICE¹⁰³, qui a eu lieu dans une salle de cinéma d'Orléans, en tant que salle de conférences, et qui a réuni l'ensemble des élèves de la cohorte accompagnés de leurs doctorants, des enseignants accompagnateurs, proviseurs et membres du comité de pilotage du dispositif, à commencer par le président de l'université. Tous les élèves ont été amenés à présenter une partie des activités effectuées dans les laboratoires, à partir d'un diaporama qu'ils avaient auparavant confectionné, éventuellement aidés par leur doctorant. Les photographies 31 donnent un aperçu de la mise en situation des élèves, reproduisant en cela une activité majeure de la pratique sociale des chercheurs qui est la participation à des colloques en tant que communicants et auditeurs. D'autres événements de communication ont eu lieu, notamment dans un des lycées avec l'organisation, là-aussi, d'un colloque comprenant des conférences de doctorants et des présentations d'élèves avec posters et diaporamas comme l'illustre la photographie 30. Ces formes officielles de communication des sciences sont également signalées par quelques élèves qui font référence à l'existence de congrès ou de symposiums dans leurs écrits (lire par exemple Kholoud A 2 et Hao C 2). Que ce soit explicitement, par l'intermédiaire d'échanges dans le laboratoire, ou de manière peut-être plus implicite mais « concrète » par l'intermédiaire d'une participation à un événement de communication reproduit ou réel de la pratique sociale des chercheurs, nous pensons que les élèves ont pu élaborer des représentations assez fidèles sur l'importance de la dimension communication orale des sciences en action.

9. LES SCIENCES EN ACTION VUES COMME IMAGINEES ET INVENTEES

Le suivi régulier des recherches en cours auprès des doctorants apparaît particulièrement profitable à une forme de savoir qui envisage les sciences en action dans leur durée, montrant de cette façon son caractère construit. Sur ce plan, la représentation d'une construction par l'imagination est régulièrement retrouvée dans les réponses écrites des élèves à la question ouverte. Elle s'exprime de différentes façons. Par exemple, dans le passage ci-dessous, la démarche scientifique est perçue comme étant élaborée et remise en question au cours de sa réalisation.

Ils n'ont pas forcément
non plus de démarche bien définie, c'est à eux de construire la
leurs afin qu'elle soit la plus rigoureuse possible. Ils doivent envisager
toutes les possibilités et ne pas seulement suivre une "notice". C'est
à eux de découvrir, prouver, de nouvelles choses, ils doivent
donc aller de l'avant eux même.

(Armel E 2)

¹⁰³ Selon le CNRTL, un colloque est une « réunion de spécialistes en nombre plus ou moins limité convoqués pour discuter et confronter leurs informations et leurs opinions sur un thème ou un domaine donné ». Vis-à-vis du contexte EDIFICE, ce vocable est adapté si l'on considère que le thème de la journée concerne l'« expérience » des élèves dans les laboratoires.

La notion d'intervention du hasard et de découverte fortuite source d'avancée est également évoquée plusieurs fois.

j'ai découvert que la science utilisait/avait besoin d'imagination pour avancer, les scientifiques doivent réagir d'une bonne manière précise pour obtenir le résultat cherché mais "la bonne manière" peut si on y réfléchit être une manière comme une autre car toutes les manières donne un résultat qui dans "les cas" fera avancer la science.

(Benoît F 3)

C'est beaucoup mais encadré, on a pas vraiment de bases, on doit trouver par nous même comment ça se déroule - une expérience mais la science n'est pas exacte et on peut toujours avoir des surprises et c'est ça qui est captivant dans la recherche.

(Laure D 2)

Une élève se distingue par des propos, que nous interprétons comme témoignant d'une compréhension particulièrement approfondie, mettant en avant l'utilisation de la diffusion des résultats des recherches, le caractère inventé des sciences par les relations établies avec les technologies et à la nécessité de prouver ce qui est avancé.

« l'expérience le résultat y avait deux cas de figures soit c'était un résultat

qu'on connaissait et dans ce cas-là oui bah par ce résultat là on pouvait conclure des choses qui avaient déjà été dites avant puisque y avait des choses qui avaient déjà été faites mais si c'est quelque chose qui n'a pas été beaucoup étudié qu'il n'y a pas beaucoup d'archives ou autres et que **c'est une nouvelle expérience avec une nouvelle machine qui a été créée par notre thésard ou autre que quand on fait l'expérience on trouve des nouveaux résultats** bah là il faut justifier les résultats heu essayer de justifier par heu créer par heu j'sais pas comment expliquer » (Giulia B 113)

Cette représentation des sciences rejoint les écrits de Bachelard sur la phénoménotechique qui constitue une source des avancées scientifiques comme l'indique l'extrait suivant : « *La véritable phénoménologie scientifique est donc bien essentiellement une phénoménotechique. (...) Elle s'instruit parce qu'elle construit* » (Bachelard, 1934/1984 ; cité par Girault & Lhoste, 2010). L'élève comprend que les savoirs scientifiques avancent en étant tributaires des progrès techniques et des « machines » inventées. Ils ne sont par conséquent plus des résultats absolus dévoilant les lois cachées de la nature, mais sont, comme les machines, des inventions nées de l'imagination des chercheurs ou ingénieurs. D'ailleurs, à ce titre, la même élève écrit percevoir maintenant une dimension infinie à travers les sciences.

Mais c'est aussi un défi. Un défi qui fait repousser toujours plus les limites sans savoir si cela s'arrêtera un jour.
Je ne pense pas qu'il y avait cette dimension d'infinité de possibilité avant.

(Giulia F 2)

L'élève de l'extrait suivant a le même point de vue, en incluant le caractère provisoire des savoirs.

Il y aura toujours quelque chose à chercher, ou à rechercher car on l'apprend aussi : rien n'est vrai. c'est aussi pour cela que les démarches doivent changer en partie, avec la technologie et l'évolution, grâce à de nouvelles découvertes.

(Armel E 2)

Cependant, cet élève est le seul à citer le caractère provisoire des savoirs au niveau des réponses écrites à la question ouverte. Même si d'autres élèves, dans les entretiens, considèrent que les savoirs évoluent en étant éventuellement affinés, cet aspect de la nature des sciences ne « ressort » pas de leurs écrits. Au contraire : par exemple l'élève du groupe de

Giulia, que nous avons remarqué précédemment pour ses représentations particulièrement approfondies, n'envisage pas que les savoirs scientifiques soient amenés à être un jour reconsidérés.

Vincent	<i>est-ce que tu penses que la connaissance scientifique une fois qu'elle est établie heu est-ce que tu penses qu'elle est gravée dans le marbre et qu'elle peut pas être remise en cause ?</i>
Elève féminin	<i>Bah si on trouve une autre manière de faire on peut l'ajouter mais si celle-là elle est approuvée sauf si y a une faille dans cette connaissance-là j'pense pas que enfin si cette connaissance elle a été approuvée pourquoi après on irait dire que elle marche pas ?</i>

(Giulia B 136-137)

Par conséquent, nous pensons que les doctorants ne peuvent implicitement donner à vivre, au cours de leur recherche, un aspect des sciences qui s'observerait, *a priori*, sur une durée plus longue de temps et au moyen d'études historiques. La recherche d'élaboration des savoirs, au moment même où son action est explorée, nous semble difficilement conciliable avec une image donnée relative à sa désuétude. De plus, rien n'indique que les doctorants reconnaissent le caractère provisoire des savoirs scientifiques. A plus forte raison, il nous paraît même impossible que les élèves puissent, par leurs explorations, entrevoir la notion de changement paradigmatique (Kuhn, 1962), si ce n'est par le biais d'un enseignement explicite d'histoire et de philosophie des sciences au cours de leur expérience de laboratoire.

10. UN ELARGISSEMENT DES POSSIBILITES D'ORIENTATION

L'ouverture culturelle vers les sciences en action et la pratique sociale de scientifiques a permis, à certains élèves, l'identification plus précise des disciplines les plus proches de leurs aspirations professionnelles ou avec lesquelles ils ont le plus d'affinité. C'est le cas pour l'élève suivante, qui fait remarquer son penchant pour les sciences de la Terre au détriment des sciences physiques.

Je me suis rendue compte que le domaine de la géologie me correspondait plus que le domaine de la physique, d'après moi, le projet Édifice aide l'élève à un peu mieux trouver son orientation.

(Kholoud A 4)

D'autres élèves découvrent la diversité des domaines professionnels et cette expérience leur ouvre par conséquent des « horizons ».

je me demandais donc quelle monde je venais d'attérir car pour moi avant la science était assez centrée sur la biologie dans le domaine médical cela était due à l'influence du métier que je rêve de faire qui est dans la médecine cette expérience m'a en quelque sorte ouvert de nouveaux horizons.

(Kévin D 2)

Quelques élèves sont prêts à poursuivre l'aventure scientifique, en se projetant à plus ou moins long terme.

cela m'a donné envie de continuer dans cette voie même si je ne suis pas encore sûre de mon orientation.

(Laure D 4)

Cette expérience au GREMI, m'a permis d'avoir une idée plus précise du choix de mon futur métier.

Ce projet a donc été un vrai plus pour notre classe

(Nicolas G 2)

11. DISCUSSION

Nous n'avons pas pour dessein, dans cette étude, de caractériser les représentations à l'échelle de chaque élève, même si les traces écrites ou les retranscriptions d'entretien relève de la dimension individuelle. Notre but est davantage porté sur la volonté de dresser un panorama des potentialités globales que présente le dispositif partenarial qui apparaît être, de par son organisation particulière, un « terrain » fécond pour la genèse de représentations sur les sciences et une découverte des pratiques sociales des chercheurs scientifiques. Notre méthodologie étant basée pour partie sur la libre rédaction des élèves, en réponse à une question ouverte durant un temps limité, ceux-ci ont développé les éléments qui leur paraissaient les plus fondamentaux ou les plus facilement mobilisables par le travail de mémoire. L'ensemble des éléments relevés est donc nécessairement réducteur, vis-à-vis des représentations cachées. La libre écriture a permis de faire émerger les caractéristiques majeures des représentations à l'échelle de la cohorte, sans canalisation des idées. En ce sens, elle donne, d'après nous, un bon aperçu de la richesse spontanée générée par le dispositif orléanais au niveau des représentations. Au cours des entretiens semi-dirigés, qui constituent la deuxième partie de notre méthodologie de recueil de données, nous avons pu faire

expliciter les élèves à ce sujet, aborder des éléments précis. Mais, là encore, ces entretiens ne concernent pas tous les élèves et nous n'avons pas abordé tous les thèmes qui ont fait l'objet de cet axe de résultat, à la fois pour une question de temps, mais aussi parce que nous ne les avons pas tous définis au moment des entretiens, ne soupçonnant pas une telle variété de champs explorés. La plupart ont donc émergé à partir de l'analyse des réponses rédigées. Cependant, pour tenir compte de la prégnance de chaque domaine dans les représentations des élèves à l'échelle de la cohorte, et pour pouvoir s'y référer facilement, nous proposons au lecteur la consultation du tableau synthétique suivant (Tableau 13) qui comporte l'ensemble des références des éléments du corpus codés en fonction des grands domaines de l'analyse. Nous y avons ajouté la somme des cas concernés pour chacun des domaines de représentation.

Par rapport à la question ouverte de notre méthodologie, comprenant deux sous-questions véhiculant les mêmes intentions de recueil de données, nous devons faire remarquer que certains élèves n'ont pas bien compris la première des sous-questions, qui demande si l'immersion en laboratoire modifie leurs connaissances des sciences. Ces élèves se sont focalisés sur les contenus classiques ou notions scientifiques, en relation avec ceux ou celles du contexte scolaire, au lieu d'interpréter l'expression « connaissances des sciences » comme étant relative aux sciences en train de se faire. Cette confusion avait été envisagée, étant donné la synonymie entre les expressions « connaissances des sciences » et « connaissances scientifiques » et justifiait le rajout d'une deuxième sous-question. Ainsi, nous comptabilisons 41 éléments écrits mentionnant des connaissances qui ont été favorisées, élaborées grâce à l'expérience de laboratoire, dont une partie relève de cette mésinterprétation. A titre d'exemple, un élève d'Armel évoque les notions de subduction et de caractérisation minéralogique comme faisant partie des enseignements de la classe de première scientifique et ayant été approfondies au moyen de sa participation au partenariat (Armel E 1). Cependant, tous les élèves ont finalement répondu à nos attentes grâce à la deuxième partie de la question, demandant si leur immersion dans les laboratoires avait modifié leurs représentations de la recherche scientifique. Cette question nous paraissait suffisamment « large » pour induire les connaissances des pratiques sociales des chercheurs scientifiques. Une formulation explicite sur les chercheurs auraient, selon nous, réduit le champ des réponses en se focalisant sur le doctorant rencontré. Par rapport à cette deuxième partie de la question, les élèves se sont tous concentrés sur les sciences telles qu'elles se réalisent avec les acteurs qui l'incarnent. Donc, bien que nous admettions que la formulation de la première sous-question génère deux interprétations différentes chez les jeunes et requérait à l'oral une précision supplémentaire, ou une reformulation, pour une minorité d'entre eux, nous n'identifions aucun impact négatif du point de vue de notre recherche. L'ajout effectué de la deuxième sous-question n'a prêté à aucune confusion. Tous les élèves ont pu, au moins dans un second temps, rédiger librement en ayant bien assimilé la signification, en cohérence à notre intention de recherche.

Par rapport aux résultats que nous venons d'exposer, nous pensons que les explorations des élèves sont particulièrement favorables à la genèse de représentations portant sur la réalisation quotidienne des sciences, ses aspects sociaux, alliés à l'utilisation des matériels, permettant d'envisager les imbrications entre les sciences, les technologies et la société. Mais nous avons aussi fait remarquer que certains aspects propres aux savoirs scientifiques n'avaient pas été envisagés de façon aussi répandue parmi la cohorte. Nous pensons que les élèves sont plus enclins auprès de leur doctorant dans les laboratoires à « saisir » les sciences dans leur immédiateté de réalisation, plutôt que de pouvoir acquérir des connaissances ancrées dans une profondeur historique. Par exemple, les connaissances sur les savoirs scientifiques durables mais provisoires sont difficilement perceptibles par les élèves à l'échelle du dispositif orléanais, de manière implicite ou par rapport à une évocation par le chercheur de manière spontanée et reliée à ses pratiques de recherche. De plus, du point de vue des aspects sociaux des sciences, nous remarquons l'absence du domaine des controverses socio-scientifiques. Pourtant, certaines d'entre-elles sont sans doute présentes à l'intérieur de l'ensemble des références et contenues dans la revue de littérature du doctorant. On peut imaginer également que le thème de la thèse est, en lui-même, choisi dans une volonté de préciser une explication scientifique parmi une diversité d'hypothèses différentes, opposées et donc controversées à la pointe des savoirs actuels. Cependant, on peut aussi penser que l'abord du contenu de la revue de littérature, nécessitant une maîtrise de concepts des recherches actuelles difficilement accessibles à un jeune de quinze ans, n'est pas chose aisée avec des lycéens. Les controverses, différemment du champ social dans son ensemble, semblent nécessiter un enseignement plus explicite, mais pourraient peut-être intégrer les représentations par l'intermédiaire de participations plus fréquentes d'élèves à des colloques. A ce titre, les symposiums nous paraissent les formes de rassemblements les plus adaptées, en tant que réunions de spécialistes consacrées à des échanges portant sur un thème précis, les colloques étant plus ouverts d'un point de vue thématique.

Pour résumé, nous considérons que les élèves ont majoritairement pu construire des représentations nombreuses et approfondies sur les pratiques sociales de chercheurs scientifiques, conférant une ouverture culturelle utile à leur orientation (Tableau 13). Par rapport aux caractéristiques de l'activité scientifique, si nous comparons nos résultats, organisés par domaines, à la conceptualisation sur les sciences de Maurines et Beaufiles (2011, p. 12), nous mettons en évidence que les élèves du partenariat EDIFICE reconnaissent l'évolution des savoirs, mais sont moins nombreux à les considérer provisoires. Ils semblent ignorer la notion de rupture épistémologique. Dans le champ social, seule l'importance des questions socialement vives n'est pas évoquée. En revanche, ils ont bien perçu l'organisation en réseau des sciences, comportant notamment des informations sous forme d'articles. Le scientifique ne travaille pas seul, mais au sein d'une communauté qui contribue au contrôle des savoirs scientifiques. La rencontre avec les démarches rigoureuses, longues et répétitives, associées aux nombreuses expérimentations leur ont permis de comprendre que les savoirs

scientifiques obéissent à des critères de confrontation avec les faits d'observation et d'expérimentation, avec la modélisation. La phénoménotechnique sophistiquée leur a permis d'entrevoir une relation entre les questions techniques et l'évolution des idées. En outre, les explications dont ils ont pu bénéficier, auprès de leur doctorant, leur ont permis de placer les sciences dans la société.

Domaines →	Stéréotypes	décloisonnement sciences technologies société	résistance du réel	Phénoméno- technique	importance des écrits	Réseau de collaborations et d' informations / Prouver	Imagination / invention	Orientation / ouverture culturelle diverse
Références des annexes	Marie F 1	Geoffrey B 2	Marie F 1	Marie F 2	Marie B 2/200-224	Aurélien E 1/D 3	Marie F 4	Armel E 1
	Marie F 4	Geoffrey B 3	Marie F 3	Marie A 83	Marie F 4	Marie B 108-119/200-224	Armel E 2	Armel E 2
	Armel E 2	Kévin D 1	Marie A 113	Marie B 17	Jean F 3	Marie F 4	Yann D 4	Benoît F 3
	Armel B 136-137	Olga D 3	Marie B 45-50/64/67-69/123-129/134/156-157/183-186	Nicolas G 6	Jean B 113/181	Benoît A 177	Benjamin D 2	Geoffrey B 2
	Aurélien F 1	Olga D 4	Nicolas G 2	Nicolas A 94	Aurélien E 1/D 3	Adoum A 198-201	Benjamin D 3	Giulia F 5
	Aurélien F 2	Amal A 2	Nicolas B 56/87	Nicolas A 103	Aurélien F 3	Yann-Aurélien C 137-140	Laure D 2	Giulia B 169-174
	Aurélien F 3	Julie F 1	Aurélien F 3	Nicolas B 4/32	Aurélien A 14/76-80/272-273/295/300	Benjamin B 16	Hao C 2	Kévin D 1-2
	Aurélien B 76-78	Julie F 2	Aurélien G 4	Yann D 1	Safia A 225	Benjamin D 1	Geoffrey B 2	Kévin D 3
	Julie F 2	Julie F 3	Giulia F 2	Aurélien F 4	Amal A 1	Benjamin D 2	Geoffrey B 4	Olga D 1
	Julie B 63-70	Nicolas G 4	Giulia F 5	Giulia F 3	Olga D 4	Benjamin D 3	Benjamin D 1	Kholoud A 4
	Yann D 1	Hao C 1	Giulia F 1	Armel E 1	Olga A 259	Benjamin A 34	Roman A 1	Laure D 4
	Yann D 2	Thomas E 1	Giulia A 197	Yann-aurélien G 2	Wissem B 36/98-101	Julie F 1	Giulia F 2	Jean F 1
	Jean F 1	Thomas E 2	Giulia C 147	Yann-aurélien G 3	Wissem C 58	Julie A 495/521-529	Giulia B 122-127	Nicolas G 2
	Jean F 3	Thomas A 32	Giulia B 73/106-121	Yann-Aurélien D 56/127/147	Benoît F 2	Julie B 31-36		Roman A 2
	Jean B 44	Thomas B 133	Laure C 47-50	Thomas E 1	Benoît A 24-26/32/34/37-38/116-117	Thomas B 96		Wissem D 1
	Kholoud A 3	Yann D 2	Laure D 3	Thomas E 3	Benoît B 36/40	Kévin D 1		Benoît F 3
	Kholoud A 4	Yann A 38	Hao C 4	Thomas E 4	Benoît C 18/207	Olga D 4		Benoît F 4
	Roman A 2	Yann A 38	Hao A 57	Thomas B 8	Geoffrey A 64/335-348	Amal A 1		Marie F 3
	Kévin D 2	Jean F 1	Hao B 42	Laure D 3		Kholoud A 2		Kholoud A 1
	Wissem B 135	Jean F 2	Jean F 4	Benjamin A 143	Kévin A 15	Kholoud A 4		Kholoud A 2
	Benoît C 30	Jean F 3	Kholoud A 1	Olga D 1	Yann B 70	Geoffrey A 309-315/362-368		Laure D 1

	Benoît A 28	Jean F 4	Kholoud A 2	Olga D 2	Julie A 221/223/226- 227/238-245	Giulia A 291-295		Jean F 2
	Yann-Aurélien B 70-74	Jean C 123	Amal A 1	Olga D 4	Thomas A 74	Giulia B 71/106/109- 119/132/231		Jean F 4
	Giulia B 100-104	Wissem B 141-149	Kévin D 1	Olga A 69/115/125/314- 315/339	Nicolas A 23/44	Safia C 1		Aurélien F 4
	Giulia B 163-169	Armel E 2	Armel E 2	Geoffrey B 3	Nicolas B 12-14	Safia A 183		Benjamin D 2
		Armel E 1	Safia B 126	Julie B 110	Nicolas C 41-46	Wissem B 84/87- 88/98-101/112- 127/153/157		Hao C 3
		Benoît F 2	Safia C 2	Benoît C 292/352	Armel A 168	Wissem C 58- 60/62-64/84		Nicolas G 3
		Benoît A 18	Olga D 4	Kévin A 14	Armel E 4	Laure B 42-44		
		Yann-Aurélien G 1	Olga B 35-38	Jean F 4		Laure A 192-194		
		Yann-Aurélien G 2	Wissem D 1	Jean A 16/42/88		Laure D 2		
		Marie F 1	Wissem B 92-94	Jean B 59/181		Yann D 2		
		Marie F4	Wissem C 18- 28/48	Kholoud A 4		Yann B 70		
		Marie F 3	Charles A 237/253	Hao B 16		Armel B 68-70		
		Safia C 2	Thomas E 1			Armel B 226		
		Safia C 2	Thomas E 4			Armel E 2		
		Kholoud A 2	Yann-Aurélien B 90-92			Hao A 16		
		Kholoud A 3	Yann-Aurélien G 1			Hao B 42		
			Julie B 78-84			Hao C 1		
			Julie F 2			Hao C 2		
			Geoffrey B 3			Hao C 4		
						Nicolas B 52/83- 84/112		
						Nicolas C 76		
Nbre de groupes /26	13	17	19	18	16	21	10	16

Tableau 13. Ensemble des éléments du corpus référencés en fonction des domaines analysés

12. BILAN DU SIXIEME CHAPITRE

Avant leur exploration en laboratoire, la majorité des élèves a peu eu l'opportunité de se représenter les sciences par l'intermédiaire d'un contact avec des chercheurs scientifiques. Par conséquent, les représentations de certains élèves apparaissent stéréotypées. Nous mettons en évidence que, globalement, la participation au dispositif partenarial est propice à l'élaboration de représentations sur les sciences en action et sur les pratiques sociales des chercheurs des laboratoires.

Nous inférons au total huit grandes caractéristiques des sciences qui apparaissent intégrer les représentations des élèves. Ainsi, l'exploration au contact du doctorant permet un décloisonnement entre les sciences, les technologies et la société, parce que les élèves se rendent compte que des savoirs, des objets scientifiques ou des buts de recherche présentent une utilité dans la vie courante ou à l'école. Les sciences sont, par conséquent, considérées comme omniprésentes dans la culture et le chercheur scientifique considéré comme un professionnel aux multiples compétences.

Cette expérience a également été l'occasion d'une confrontation à la résistance du réel, contrastant avec les sciences scolaires plus aménagées. La rencontre avec la phénoménotechnique a aussi permis aux élèves de se rendre compte de la sophistication technologique dont font preuves certaines recherches.

De plus, les élèves ont pu envisager l'importance du champ littéraire dans les sciences, lorsqu'ils complètent leur cahier de laboratoire, lorsque le doctorant raconte la réalisation de son état de l'art, évoque son manuscrit de thèse ou lors de la fréquentation des bibliothèques des laboratoires dont les rayons sont remplis de revues et de livres.

Le laboratoire est maintenant entrevu comme un espace de collaboration, étant donné les échanges et les déplacements fréquents réalisés avec le doctorant permettant la circulation des informations au sein de la structure. De façon dynamique, les élèves ont également pu entrevoir le flux des informations à l'échelle internationale, par la consultation d'articles de recherche, en évoquant la validation par les pairs, les partenariats avec des industriels et en participant à des événements de communications orales. C'est l'aspect « en réseau » des scientifiques et des informations qui intègrent maintenant les représentations des élèves sur les sciences qui se font.

A noter que plusieurs élèves se sont rendu compte du degré d'imagination et d'invention requis et inhérent à l'entreprise scientifique. Globalement, cette ouverture culturelle permet un élargissement des possibilités d'orientation, avec la découverte de disciplines de recherche jusqu'alors inconnues.



Photographie 1. Le compartiment à atmosphère contrôlée du laboratoire du GREMI



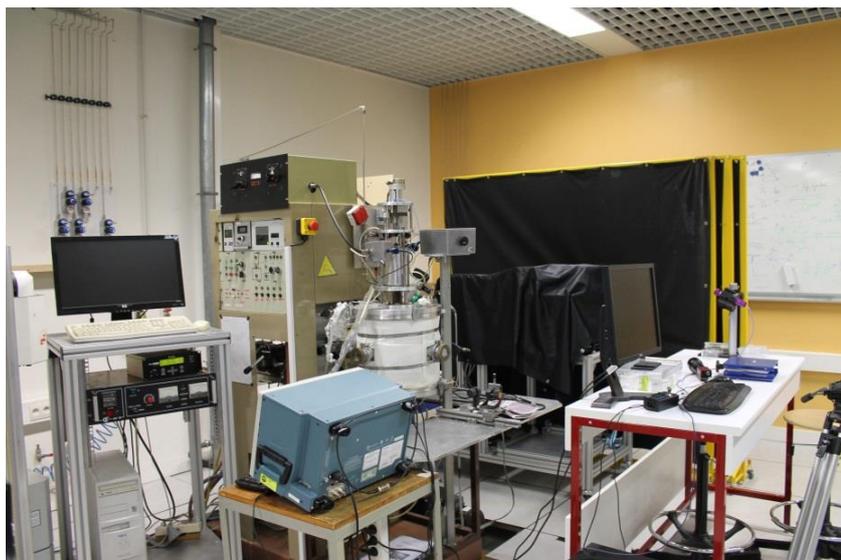
Photographie 2. Autour du microscope électronique à balayage (MEB)



Photographie 3. Etude de données à l'ordinateur avec Nicolas



Photographie 4. Une vue de l'écran du MEB



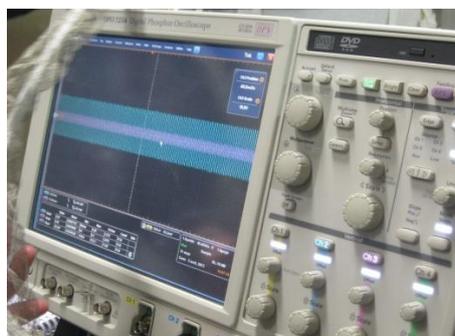
Photographie 5. Aperçu d'un lieu de travail de Marie



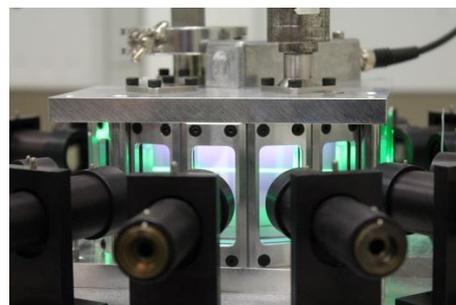
Photographie 6. Montage de la machine « Marguerite »



Photographie 7. Etalonnage matériel au moyen de l'oscilloscope



Photographie 8. Vue de l'écran de l'oscilloscope



Photographie 9. Plasma rose et vert généré par la machine



Photographie 10. Manipulation à la paillasse avec Safia au centre de biophysique moléculaire (CBM)



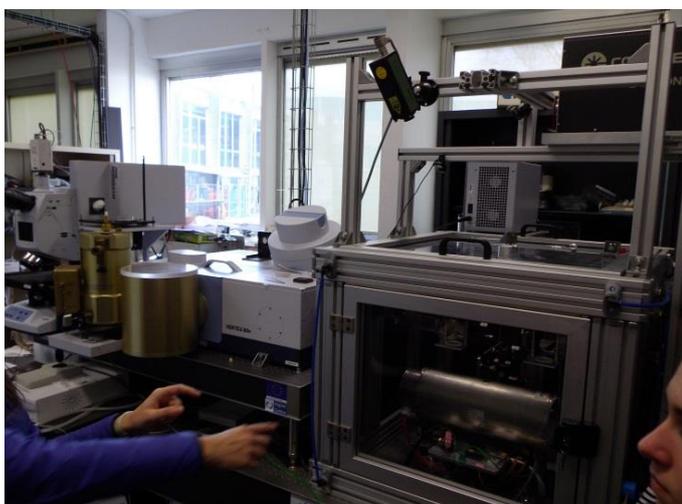
Photographie 11. Une activité de scientifique : écrire dans un cahier de laboratoire



Photographies 12. L'accélérateur de particules et écrans de contrôle au CEMHTI



Photographie 13. Le spectroscopie Raman d'Olga au CEMHTI



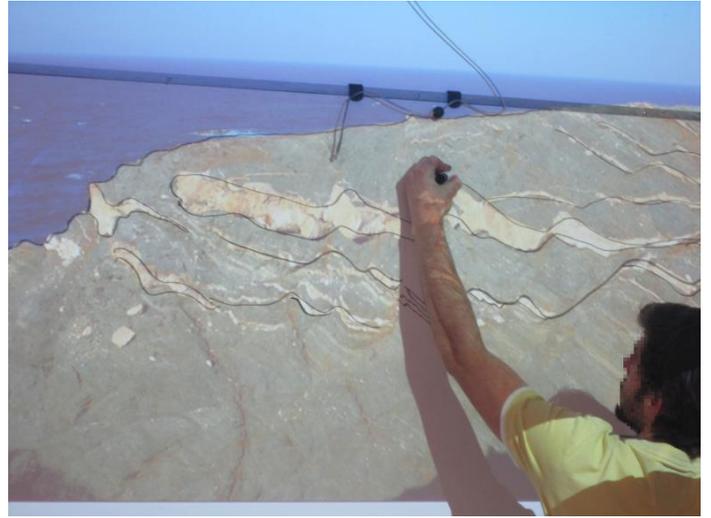
Photographie 14. Dispositif incluant les spectromètres infrarouges utilisés par Benjamin au CEMHTI



Photographie 15. Le bâtiment du laboratoire ICARE



Photographie 16. Le retour de l'expédition de terrain au laboratoire de l'ISTO



Photographie 17. Arnel expliquant des déformations affectant les roches



Photographie 18. Le dessin : une activité du géologue de terrain



Photographie 19. Le séparateur magnétique Frantz

N°	Nom	Type de roche	Haute de gis.	Déformation	Couleur	Composés	Longitude	Latitude
MPX 01	Pyrite	Minéralisation 0	0			Pyrite	25,46033	37,46057
MPX 02	Granite Altère	Plutonique				Quartz	25,46007	37,42955
MPX 03	Barytine - Pyrit	Minéralisation Grossier	0			Barytine - Pyrit	25,46051	37,42181
MPX 04	Tronche	Minéralisation 0	0			Barytine - Pyrit	25,45987	37,47562
MPX 05	Barytine - Pyrit	Minéralisation Grossier	0			Barytine - Pyrit	25,45961	37,47448
MPX 06	Barytine	Minéralisation 0	0		Crème	Barytine	25,45961	37,47448
MPX 07	Cris-Grossier	Sédimentaire	Grossier	0			25,45964	37,47429
MPX 08	Granite Déformé	Plutonique	Aléatoire	Forte		Quartz - Felsp.	25,45867	37,47324
MPX 09	Quartz	Minéralisation 0				Quartz	25,45536	37,47312
MPX 10	Barytine	Minéralisation 0	0		Crème	Barytine	25,45308	37,47332
MPX 11	Granite Altère	Plutonique				Pyrite	25,44826	37,47338
MPX 18	Veine	Minéralisation				Pyrite - Barytine	25,42942	37,48224
MPX 19	Granite	Plutonique	Grossier	Légère		Quartz - Felsp.	25,40386	37,48135
MPX 21	Granite Déformé	Plutonique	Aléatoire	Forte		Quartz - Felsp.	25,41098	37,48013
MPX 22	Granite Déformé	Plutonique	Aléatoire	Forte		Quartz - Felsp.	25,41098	37,48033
MPX 26	Granite Déformé	Plutonique	Aléatoire	Forte		Quartz - Felsp.	25,40469	37,48463
MPX 27	Granite Déformé	Plutonique	Fin	Forte		Quartz - Felsp.	25,40949	37,48343
MPX 28	Gris-Grossier	Sédimentaire					25,36331	37,47553
MPX 30	Gris Fin - Moy	Sédimentaire	Fin		Bordeau		25,35247	37,47757
MPX 31	Gris Fin	Sédimentaire	Fin	0	Beige		25,35264	37,47827
MPX 32	Gris Fin	Sédimentaire	Fin	0			25,35125	37,48024
MPX 33	Enche-Minéra	Minéralisation			Cassante		25,45577	37,45944
MPX 37	Quartz - Baryt	Minéralisation Grossier			Cassante	Quartz - Baryt	25,45577	37,45944
MPX 39	Pyrite	Minéralisation				Pyrite	25,45335	37,46053
MPX 40	Veine	Minéralisation 0	0			Pyrite - Barytine	25,45335	37,46053

Photographie 20. Ecran de la base de données des échantillons récoltés



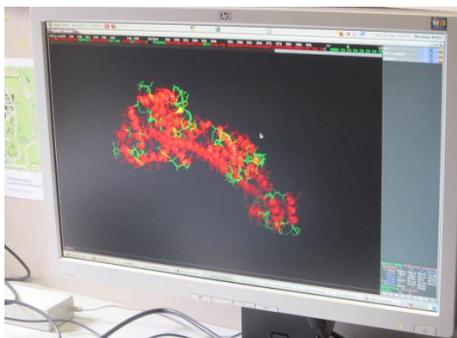
Photographie 21. Observation microscopique avec Giulia



Photographie 22. Opératrice à la scie diamantée



Photographie 23. La presse Paterson du laboratoire de l'ISTO



Photographie 24. Visualisation moléculaire à l'ICOA



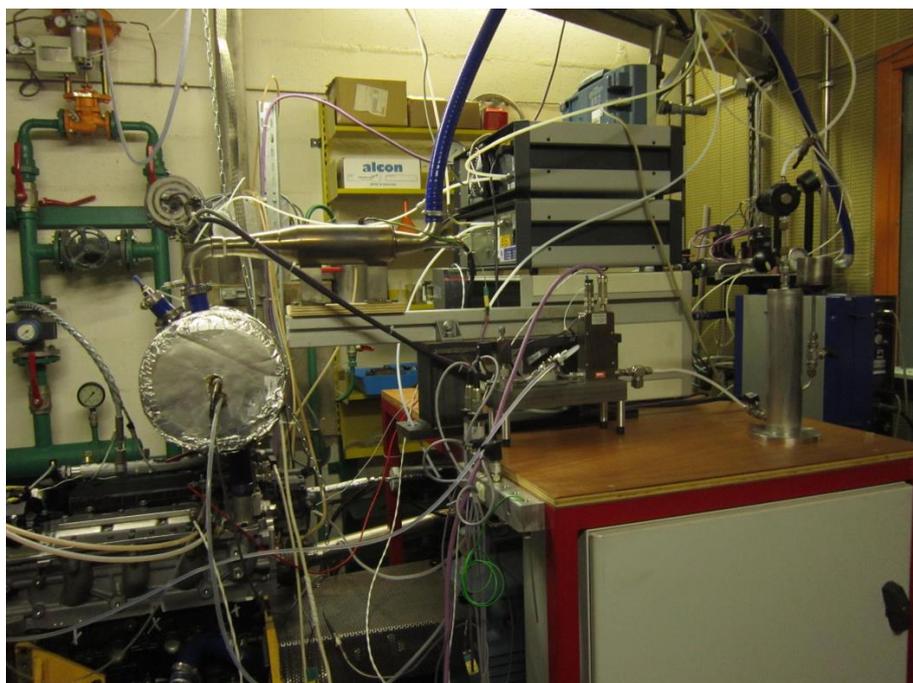
Photographie 25. Environnement de pailles à l'ICOA



Photographie 26. La bibliothèque de l'ICOA



Photographie 27. Des outils du chercheur en combustion



Photographie 29. Installation autour d'un banc moteur à PRISME



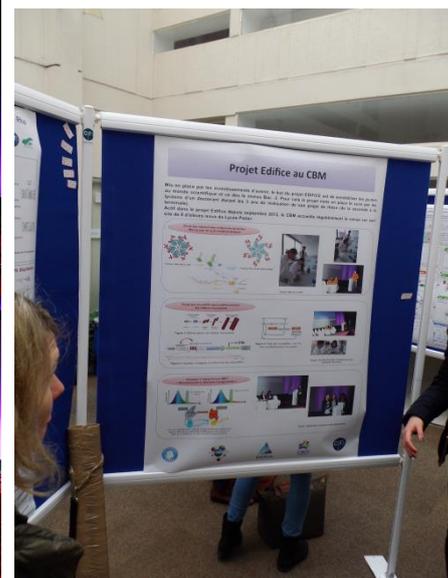
Photographie 28. Inscriptions à l'écran de contrôle des appareils



Photographies 30. Colloque des élèves au lycée



Photographies 31. Le colloque EDIFICE



Photographie 32. Poster des élèves au colloque des doctorants du CBM

CHAPITRE 7

DES EXPLORATIONS DE PRATIQUES DE RECHERCHES DOCTORALES POUR DES REPRESENTATIONS RELIEES A L'EPISTEMOLOGIE DE LA DISCIPLINE SCIENTIFIQUE

1. LE CADRE ANALYTIQUE DE L'EXPLORATION

Pour caractériser la notion d'exploration, conformément à notre cadre théorique, nous proposons d'étudier les itinéraires de moments en laboratoire, en mettant en correspondance chacune des caractéristiques de ces moments avec celles de la recherche doctorale :

- 1) la (les) question(s) d'étude,
- 2) les activités et/ou les tâches,
- 3) les instruments matériels (outillages et équipements) et intellectuels,
- 4) les représentations symboliques,
- 5) les savoirs en jeu et les savoirs produits,

Une sixième caractéristique d'analyse complète cet ensemble, afin de préciser une notion de temporalité, entre l'itinéraire de moments en laboratoire et la recherche doctorale. Ce critère permet de caractériser, par exemple, si des élèves participent à la recherche doctorale, au moment même de son élaboration, ou bien si ces pratiques sont une transposition d'éléments déjà effectués auparavant, en diminuant le temps de certaines étapes. On pourra

respectivement parler, dans ce cas, de temporalité identique confondue et de temporalité synthétique. Nous ne développons pas davantage cette notion de la temporalité ici : nous y revenons, pour chacun des cas, en précisant les éléments sur lesquels nous nous appuyons pour notre caractérisation. Celle-ci fera l'objet d'un bilan dans la partie discussion.

Autre ajout, pour étudier la correspondance des moments en laboratoire expérimentaux avec la recherche doctorale, nous proposons un septième critère d'analyse, centré sur la nature de l'expérimental et qui reprend la caractérisation en trois modes, pour le cadre scolaire, de Coquidé (1998, 2000). L'encadré suivant (Figure 4) est un extrait de Coquidé (1998) synthétisant les caractéristiques des modes de familiarisation pratique, d'investigation empirique et d'élaboration théorique.

<p>MODE DE FAMILIARISATION PRATIQUE (MFP) : "expérientiation"</p> <p>Contexte : soit initiation scientifique, soit abord d'un nouveau sujet étude.</p> <p>Buts : familiariser l'élève avec des objets, des phénomènes ; développer un questionnement scientifique ; faire progresser un savoir-faire préalable, faire s'approprier des techniques d'investigation ; constituer un référent empirique.</p> <p>Nature du dispositif pour l'élève : exploration empirique et contrôle des actions.</p> <p>Priorité de guidage de l'enseignant : proposer des situations variées et diversifiées, initier une articulation entre le réel et l'abstraction, favoriser les comparaisons, les confrontations multiples, relancer le questionnement, introduire le doute, aider à reformuler, favoriser un apprentissage technique.</p>
<p>MODE D'INVESTIGATION EMPIRIQUE (MIE) : "expérimentation"</p> <p>Contexte : pratiques d'investigation, recherche problématisée.</p> <p>Buts : initier à des démarches scientifiques, utiliser des techniques d'investigation.</p> <p>Nature du dispositif pour l'élève : mise en œuvre, en tout ou en partie, d'une réelle démarche d'investigation (recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, communication, discussion) ; réalisation d'un mini projet.</p> <p>Priorité de guidage de l'enseignant : aider à problématiser ou à émettre un projet, favoriser la mise en œuvre des investigations, favoriser la rigueur dans la démarche de validation des élèves, favoriser les confrontations multiples, favoriser la réflexion des élèves sur les démarches et les raisonnements qu'ils suivent.</p>
<p>MODE D'ÉLABORATION THÉORIQUE (MET) : "expérience-validation"</p> <p>Contexte : élaboration conceptuelle ou modélisante.</p> <p>Buts : participer à la construction de concepts et à l'élaboration de modèles scientifiques (élaboration et application) ; élargir le référent empirique.</p> <p>Nature du dispositif pour l'élève : sollicitation d'aller et retour entre registre empirique et conceptualisation.</p> <p>Priorité de guidage de l'enseignant : proposer des activités dans les domaines de validité des constructions théoriques qui doivent être explorés pour en éprouver la pertinence.</p>

Figure 4. Modes didactiques de pratiques expérimentales scolaires (Coquidé, 1998)

Néanmoins, alors que le mode d'investigation empirique regroupe une variété de situations (recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, etc.) qui permettent la réalisation de tout ou partie de celle-ci, nous proposons, afin d'affiner l'analyse, de distinguer plusieurs pratiques expérimentales en relation avec ce mode. Nous proposons que des activités expérimentales uniquement basées sur une expérimentation *sensu stricto*, sans participation des élèves à une phase de problématisation ou de conception de protocole, soient qualifiées d'expérimentation. En revanche, celles pour lesquelles les élèves prennent une part de responsabilité dans la conception d'une expérimentation seront désignées investigation empirique conformément, cette fois-ci, à la dénomination du mode de Coquidé (1998, 2000). Nous sommes conscients que l'expérimentation est un moment au sein de l'investigation empirique, mais nous l'utilisons néanmoins pour elle-même dans notre caractérisation.

Pour les autres modes, nous n'avons pas jugé utile de déroger, dans notre visée analytique, à la caractérisation précédemment effectuée par Coquidé. Par exemple, si des activités expérimentales sont mises en place par le doctorant dans le but de construire un concept, d'élargir le référent empirique, celles-ci entreront dans le cadre du mode d'élaboration théorique. Cependant, nous proposons de construire d'autres modes distincts si cela apparaît nécessaire eu égard au contexte particulier des laboratoires scientifiques. Là encore, ceux-ci sont précisés au cas par cas en intégrant nos analyses et font l'objet d'un bilan récapitulatif.

A noter que, pour tous les doctorants, les premiers moments correspondent à des phases d'explications du doctorant de sa problématique de thèse et/ou de notions générales de la discipline de recherche dans laquelle est ancrée la thèse. Ils sont six à avoir axé le discours sur la problématique de leur thèse. Quatre ont plutôt abordé des notions générales, alors que trois autres ont mêlé des explications à la fois sur leur problématique de thèse et de notions générales. Une doctorante débute par des exercices de calculs mathématiques. Pour une caractérisation de l'exploration, cette première période, minoritaire en durée et peu discriminante, sera associée aux moments expérimentaux, présents pour treize des cas étudiés ici, et à des moments de problématisation originale effectuée par les élèves pour un cas.

Ces moments nous ont finalement permis de discriminer quatre modes différents d'exploration, ainsi que deux modes mixtes. Nous considérons ainsi, au regard des éléments analysés, qu'il existe un mode d'exploration basé sur des concepts généraux de la thèse, un autre mode est fondé sur la démarche de la thèse, un troisième mode s'effectue par l'intermédiaire de pratiques quotidiennes de la thèse. Un quatrième mode est caractérisé par la recherche d'une question de recherche originale dans le thème de la thèse doctorale. Les modes mixtes correspondent d'une part à une exploration d'une démarche et de concepts généraux de la thèse, d'autre part à une exploration mixte en mettant en œuvre des pratiques quotidiennes dans une démarche de thèse. Chacun de ces modes font l'objet de la partie 2 développée ci-après. Avant cela, nous présentons les données sur les caractéristiques extraites de la notion de PSR en deux tableaux, répartis sur deux pages chacun, correspondant aux

pratiques des recherches doctorales d'une part (Tableaux 14-A, 14-B) et aux moments en laboratoire (Tableaux 15-A, 15-B). Ces résultats offrent une vision synthétique, en agrégeant l'ensemble des données recueillies des caractéristiques de chacun des quatorze cas.

1.1. Les pratiques de recherche de chaque doctorant

Les tableaux 14-A et 14-B exposent les données sur les cinq caractéristiques de PSR des quatorze pratiques de recherche doctorale (7 physiciens et 7 géologues), recueillies à partir des entretiens des doctorants, des observations et prises de notes lors du congrès EDIFICE, des descriptions faites par le doctorant ou le directeur de thèse lors de la visite du laboratoire, et d'articles, de présentations de recherche ou de manuscrits de la thèse des chercheurs.

	Benjamin	Olga	Kévin	Jean	Yann	Nicolas	Marie
La (les) question(s) d'étude	-Comment élaborer des matériaux réfractaires de four verrier conservant et restituant efficacement la chaleur ?	-Comment traiter les massifs de données obtenues par l'imagerie Raman ?	-Comment contrôler les tourbillons à l'interface de deux types de flux d'air au moyen d'un actionneur plasma ?	-Comment contrôler la combustion HCCI (<i>homogeneous charge compression ignition</i>) au moyen de l'utilisation d'espèces chimiques oxydantes ?	-Quel est le comportement chimique de l'éthanol, de la butan-2-one et du toluène dans un incendie ou une explosion ?	-Comment réaliser une gravure profonde par plasma chloré du nitrure de gallium sur un substrat de silicium ?	-Comment caractériser la taille, la densité, l'indice de réfraction et la morphologie des nanoparticules ?
Les activités et/ou les tâches	-Fabrication d'échantillons par fusion de matières -« dopage » en masse ou par imprégnation des échantillons de matériaux -Analyses mécaniques, thermiques et optiques -Analyses d'images numériques	-Préparation des échantillons -Utilisation du spectroscope Raman, -Traitement des données	-Enregistrement par imagerie -Observation de l'instabilité à l'interface entre deux flux d'air	-Expérimentation sur banc-moteur -Modifications de paramètres de la combustion	-Étude bibliographique -Mesures de vitesses de combustion selon la nature de flammes ou de combustion -Combustions selon la richesse, la température -Modélisation numérique des oxydations et combustions, etc.	-Préparation des échantillons -Gravures sur nitrure de gallium et silicium -Diagnostic des gravures -Modélisation informatique	-Assemblage de la machine des diagnostics plasmas -Caractérisation des nanoparticules par mesure électrique, diffusion multi-angle de la lumière et sédimentation assistée par plasma -Élaboration d'algorithmes, etc.
Les instruments matériels et intellectuels	-Échantillons en forme de pastilles de matériaux en alumine, silice et titanate -Spectroscopie d'émission infrarouge à chauffage par laser CO ₂ -Microsonde électronique -Microscope électronique à balayage (MEB) -Micro-tomographie à rayons X -Logiciel de modélisation, etc.	-Spectroscopie Raman -Diffraction des rayons X -Diffraction d'électrons rétrodiffusés -Microscope électronique à balayage (MEB) -Echantillons de dioxyde d'uranium, de céramique -Analyses multivariées -Code RAMA, MATLAB	-Souffleries et circuits aérauliques, -Vélocimétries par imagerie de particules	-Banc-moteur -Logiciel de contrôle du moteur -Logiciel Matlab	-Chambre de combustion sphérique, -Ombroscopie pour suivre la propagation du front de flamme -Réacteur auto-agité par jets gazeux -Spectrométrie d'absorption infrarouge à transformée de Fourier -Chromatographie en phase gazeuse -Logiciels CHEMKIN-II et Gaussian	-Deux réacteurs plasma industriels -Spectrométrie photoélectronique X -Spectrométrie d'émission optique -Spectrométrie de masse -Microscope électronique à balayage (MEB) -Salle à atmosphère contrôlée -Tenue spéciale obligatoire, etc.	-Dispositif expérimental nommé « Marguerite » avec générateur de plasmas, enceinte sous vide, électrodes, pompe pour le vide, débitmètre relié à des bonbonnes de gaz, laser, photodiodes -Logiciel LabView, etc.
Les représentations symboliques	-Graphiques représentant la réflectance, la transmittance ou l'émittance en fonction de la longueur d'onde et de l'épaisseur de l'échantillon -Imagerie 2-D et 3-D dont des modélisations des ellipsoïdes des cristaux et la porosité, etc.	-Graphes à spectres -Imagerie Raman -Matrices mathématiques	-vidéogramme des tourbillons -Graphiques comparatifs représentants : les profils de la tension de Reynolds, l'épaisseur longitudinale de la couche de mélange, etc.	-Graphiques divers avec une combinaison de paramètres physiques (pression à l'intérieur du cylindre, pression et température d'admission, angle du vilebrequin, chaleur dégagée, etc.)	-Images d'ombroscopie -Graphes à spectres d'absorbance en fonction du nombre d'onde -Chromatogrammes -Graphe représentant la fraction molaire de molécules en fonction de la température -schéma de voies réactionnelles imbriquées	-Microphotographies du MEB -Graphiques élaborés à partir des visualisations du MEB -Représentations issues du microscope à force atomique -Spectres, etc.	-Montages électriques -Équations mathématiques -graphes du diamètre des nanoparticules en fonction du temps et de la puissance, etc.
Les savoirs en jeu et les savoirs produits	-Physique des matériaux (propriétés optiques et physiques : transmittance, absorbance, émittance) -Compositions de matériaux réfractaires à haute émissivité	-Physique des matériaux -Mathématiques -Statistiques	-Dynamique des fluides -Plasmas	-Chimie de la combustion -Savoir produit : l'ozone pourrait être utilisé pour contrôler la combustion	-Chimie de la combustion -Cinétique chimique -Oxydations -Modélisation informatique	-Plasmas -Physique des matériaux	-Physiques des plasmas -Lois et théories physiques -Chimie -Électronique -Électricité -Matrices mathématiques -Informatique, etc.

Tableau 14-A. Caractéristiques des recherches des doctorants physiciens.

	Benoît	Julie	Thomas	Yann-Aurélien	Guilia	Aurélien	Armel
La (les) question(s) d'étude	-Quel est l'impact du réchauffement climatique sur les tourbières ?	-Quelle la vitesse du refroidissement entre les périodes géologiques de l'Eocène et de l'Oligocène ?	-Comment créer un dispositif argileux pour piéger des médicaments ?	-Quelle est la séquence de cristallisation du Piton de la Fournaise en fonction des conditions de pression et de température ?	-Quels sont les mécanismes à l'origine de la ductilité du quartz de la transition fragile-ductile dans la zone de subduction du Japon Sud-oriental ?	-Dans la dynamique de tectonique extensive du contexte égéen, comment le pluton granodioritique de Serifos interagit-il avec son encaissant crustal ?	-Quels sont les processus thermiques et mécaniques de la subduction qui influent sur la concentration des substances métalliques ?
Les activités et/ou les tâches	-Suivi régulier de mesures à la tourbière de la Guêtre en Sologne et d'autres tourbières en France -Suivi expérimental près du laboratoire. -Programmation en R et Python pour le traitement des données	-Echantillonnages -Préparations d'échantillons -Analyses pétrographiques, isotopiques, géochimiques, moléculaires, cyclostratigraphiques	-Elaboration de dispositifs à l'argile piégeant les médicaments -Analyses des résultats du fonctionnement des pièges	-Echantillonnage à la Réunion -Broyage des roches puis séparation des différentes phases minérales -Ponçage d'échantillons -Observations au microscope	-Échantillonnage au Japon -Observations des roches -Séparation des cristaux de quartz des minéraux argileux contenus dans ces roches -Déformations artificielles d'échantillons	-Echantillonnage en Grèce, dessins, géolocalisations -Observations à l'œil nu et microscopique -Mise en forme de cartes géologiques -Déformations d'échantillons rocheux ; etc.	-Analyse géographique et géologique -Échantillonnage en Grèce, dessins, géolocalisations -Classement des échantillons -Observations à l'œil nu et microscopiques -Étude bibliographique -Modélisation numérique
Les instruments matériels et intellectuels	-Station météo -nombreux capteurs -Spectromètre de masse -Embases et chambres hermétiques -tourbières -Carottes de tourbes, etc.	-Pyrolyse Rock-Eval -Colonne de silice -Chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse -Diffraction aux rayons X -Spectrométrie de fluorescence X -MEB -Carottes extraites des dépôts lacustres du bassin de Rennes, etc.	-Verrerie -chromatographie liquide haute performance couplée à la détection UV -spectrométrie d'absorption atomique, etc.	-Echantillons de basaltes -Scie circulaire diamantée -Lames minces de roches -Microscope polarisant -Autoclave -Pilon et mortier en agate -Colonne de tamis -Microsonde électronique, etc.	-Cartes géologiques -Roches et lames minces -Microscopes polarisants -Séparateur magnétique Frantz -Presses de Paterson et Griggs -Cathodoluminescence -Microscope électronique à balayage -Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF) -Electron Back Scatter Diffraction (EBSD)	-Articles en langue anglaise -Cartes géologiques, images satellites -Boussole clinomètre -Lames minces -Microscope polarisant -Microscope électronique à balayage (MEB) -Appareil pour mesure de l'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM) -Presse de Paterson, etc.	-Cartes géologiques, Échantillons de roches et lames minces -Microscopes polarisants -Logiciel de base de données et de géo-référencement (logiciel ArcGIS) -Bases de données : inventaire des ressources minérales en Europe (base ProMine), SIG Caucase -Logiciels <i>IBELVIS</i> et <i>GPlates</i>
Les représentations symboliques	-Très nombreux graphes : dioxyde de carbone, méthane par unités de temps, intensité lumineuse, etc.	-Graphe à spectres pour la chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse, etc.	-Chromatogramme à pics d'absorbance -Graphique de la quantité des produits pharmaceutiques absorbée, en fonction de leur concentration et de la température, etc.	-Tableaux complexes produits par la microsonde électronique des quantités d'oxydes, etc.	-Cartes géologiques avec localisation d'échantillons -Observations microscope polarisant et à la cathodoluminescence -Dessin de Boudins du quartz indiquant un étirement -Diagrammes en bâtons, etc.	- Coupe géologique et dessins 3-D des formations géologiques -Photographies de paysages et dessins interprétatifs -Cartes avec les linéations -Coupes géologiques -Projections stéréographiques, etc.	-Cartes géologiques et coupes géologiques -Photographies d'affleurement et dessins -Microphotographies -Projections stéréographiques -Diagrammes ternaires -Modélisations 3-D, etc.
Les savoirs en jeu et les savoirs produits	-Biogéochimie -Cycle du carbone -Ecosystème tourbière -Sol	-Sédimentologie, -Biologie végétale, -Chimie organique -Physique des matériaux	-Chimie des argiles -Chimie des médicaments	-Magmatisme -Chimie des minéraux -Thermodynamique	-Subduction -Pétrologie -Rhéologie -Des fluides aqueux provoquent un phénomène de pression dissolution qui entraîne la ductilité	-Tectonique des plaques -Plutonisme -Dômes métamorphiques extensifs -Déformations -Pétrologie -Utilisation de la boussole et de l'inclinomètre, etc.	-Tectonique des plaques, subduction -Cartographie -Géologie structurale, gisement, ressources métallo géniques -Modélisations logicielles, etc.

Tableau 14-B. Caractéristiques des recherches des doctorants géologues.

1.2. Les itinéraires de moments en laboratoire

Les tableaux 15-A et 15-B, des deux pages suivantes, exposent les données recueillies à partir des entretiens des doctorants, d'élèves et d'enseignants accompagnateurs, de cahiers de laboratoire d'élèves, des observations et prises de notes lors du congrès EDIFICE, des diaporamas de ce congrès et des visites dans les laboratoires. Ces données concernent les caractéristiques de PSR, la/les visées éducative(s) des doctorants, la temporalité et la nature de l'expérimental des itinéraires des moments en laboratoire, pour chacun des quatorze cas.

		Benjamin	Olga	Kévin	Jean	Yann	Nicolas	Marie
Visée(s) éducative(s)		-Faire apprécier les sciences -Faire acquérir des connaissances -Faire manipuler	-Utiliser le spectroscopie Raman	-Motiver les élèves	-Motiver les élèves -Rendre les élèves actifs et les intéresser	-Se mettre au niveau des élèves -Intéresser les élèves -Faire acquérir des connaissances de base	-Montrer la démarche scientifique -Utiliser le graveur à plasma	-Intéresser les élèves -Montrer une image réaliste de la recherche scientifique -Utiliser le réacteur plasma
Itinéraires de moments en laboratoire	La (les) question(s) d'étude	-Quelle est l'influence d'une composition d'un matériau dopé sur son émittance ? etc.	-Comment distinguer différents matériaux par l'analyse des spectres obtenus par la spectroscopie Raman ?	-Comment modéliser un tourbillon ? -Comment mesurer le champ de vitesse du tourbillon modélisé ?	-Quel est l'effet de changement de paramètres de la combustion sur la pression, le rendement, la chaleur dégagée ?	-Qu'est-ce que la combustion ? -Comment mesurer la vitesse de flamme d'un carburant ?	-Comment réaliser une gravure profonde par plasma chloré du nitrure de galium sur un substrat de silicium ?	-Quelles sont les principales caractéristiques des plasmas ?
	Les activités et/ou les tâches	-Fabrication d'échantillons à partir de poudres de matériaux -Mesures d'émittance avec le doctorant -Analyse des résultats obtenus	-Calculs (fréquence, longueur d'onde, énergie de la lumière) -Préparation des échantillons -Utilisation du spectroscopie Raman avec la doctorante -Analyse de spectres	-Réalisation d'un modèle de tourbillon avec matériels simples du laboratoire -Mesures de distances, calculs de vitesse	-Observations de bancs moteurs en fonctionnement -Travaux pratiques sur banc moteur diesel	-Travaux pratiques de mesure de vitesse de flamme	-Préparation d'échantillons de silicium -Manipulation du réacteur plasma -Utilisation du microscope électronique à balayage	-Lecture de documents écrits, QCM -Étalonnage de la machine « Marguerite » -Diagnostic électronique
	Les instruments matériels et intellectuels	-pastilles de matériaux dopées à l'alumine et au titanate d'alumine -Spectroscopie d'émission infrarouge à chauffage laser CO ₂	-Spectroscopie Raman	-Agitateur magnétique -Récipient -eau -Particule de bois -Appareil photographique	-Banc-moteur -Logiciel de contrôle du moteur	-Cylindre en métal -Bougie de voiture -Soufflerie apportant l'air -Chronomètre	-Réacteurs plasma -Microscopes électroniques à balayage (MEB) -Détermination de valeurs au MEB (profondeur des creux, angle) -Salle à atmosphère contrôlée	-Réacteur « Marguerite » -Générateur plasma -Oscilloscope -Carte d'acquisition numérique
	Les représentations symboliques	-Graphique de l'émittance spectrale normale en fonction de la longueur d'onde	-Graphes à spectres simples	-Vidéogramme du tourbillon	-Courbes avec des paramètres physiques de la combustion	-Atomes de molécules -Réactions chimiques	-Microphotographies du MEB	-Courbes du courant et de la tension en fonction du temps à l'écran de l'oscilloscope
	Les savoirs en jeu et les savoirs produits	-physique des matériaux (propriétés optiques et thermiques) - l'incorporation de titanate augmente l'émittance, par rapport à l'alumine.	-Nature de la lumière, fréquences, longueur d'onde -Atomes -Distinguer les matériaux par l'allure du spectre	-Plasmas	-Chimie de la combustion -Composition et fonctionnement d'un moteur	-Combustion -Stœchiométrie de réactions chimiques -Richesse d'un mélange -Vitesse de flamme	-Atomes, ions, plasmas, états de la matière -Consignes de sécurité -Maniement du réacteur plasma et du MEB	-Plasmas
	La temporalité	-Synthétique puis identique et confondue	-Identique et confondue	-Pas de correspondance	-Pas de correspondance	-Pas de correspondance	-Identique et confondue	-Identique et confondue
	Le mode expérimental	-Expérimentation	-Élaboration procédurale	-Investigation empirique	-Élaboration théorique et procédurale	-Élaboration théorique	-Élaboration procédurale et Expérimentation	-Paramétrages machine

Tableau 15-A. Caractéristiques des itinéraires de moments en laboratoire pour chaque cas des doctorants physiciens.

		Benoît	Julie	Thomas	Yann-Aurélien	Giulia	Aurélien	Armel
Visées éducatives		-Montrer la démarche scientifique -Rendre les élèves acteurs	-Motiver les élèves -Donner une image authentique des sciences -Faire faire une démarche entière	-Donner une image réaliste de sa recherche -Se mettre au niveau des élèves -Rendre les élèves acteurs	-Faire découvrir le travail du géologue de terrain -Intéresser les élèves	-Motiver les élèves -Donner une image réaliste de sa thèse	-Rendre les élèves actifs -Donner une image réaliste de sa démarche de géologue de terrain	-Être concret -Rendre les élèves actifs -Donner une image réaliste de sa démarche de géologue de terrain
Itinéraires de moments en laboratoire	La (les) question(s) d'étude	-Jusqu'à quelle profondeur la température de l'air impacte-t-elle celle de la tourbe ? -Comment évoluent les émissions de CO ₂ pendant un assèchement ?	-Quels sont les environnements des dépôts du stampien inférieur ? -Quels sont les marqueurs de ces environnements ?	-Quelle quantité de chacun des quatre médicaments est-elle adsorbée par la fraction argileuse ?	-Comment concentrer les olivines présentes en petite quantité au sein d'un basalte ? -Quelles sont les conditions de pression et de température de formation des olivines ?	- Quels sont les différents types de roches et des déformations possibles ? -Quels paramètres pour obtenir une séparation optimale du quartz ?	-Quels sont les marqueurs de la déformation ? -Quelles sont les caractéristiques des mesures d'une foliation et d'une linéation ?	-Quelles sont les caractéristiques des minéralisations au niveau du territoire, du paysage, de l'échantillon et au niveau microscopique ?
	Les activités et/ou les tâches	-Mesures de paramètres de l'environnement -Visite de la tourbière de la Guette	-Repérage des niveaux de la carotte -Echantillonnage, préparation par broyage -Analyses sur les n-alcanes avec l'évaluation du CPI (<i>Carbon Preference Index</i>) etc.	-Elaboration d'un piège d'argile à médicaments	-Observations macroscopiques et microscopiques de deux basaltes -Séparation des olivines par liqueur dense -Inclusion d'olivines dans la résine puis polissage, etc.	-Observations à l'œil nu et microscopique de structures, textures et minéraux d'échantillons de roches -Dessins des observations -Séparations des cristaux de quartz par densité et par magnétisme	-Observations de roches à l'œil nu et microscopique et dessins, descriptions -Analyses d'affleurements, d'images satellites et dessins -Mesures caractéristiques d'une foliation et d'une linéation	-Analyses de photographies d'affleurement, d'images satellites et dessins -Observations de roches à l'œil nu et microscopique et dessins, descriptions -Entrée des données de roches dans une base de données et un SIG
	Les instruments matériels et intellectuels	-Thermomètres -Sondes à dioxyde de carbone -Embases et chambres hermétiques -Zone expérimentale près du laboratoire -Carottes de tourbes	-Carottes de dépôts lacustres -Pilon et mortier -L'Automated Extractor Solvant (ASE) -Colonne de silice -Chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse	-Verrerie -Chromatographie liquide haute performance couplée à la détection UV (HPLC-UV)	-Microscope polarisant -Pilon et mortier -Colonne de tamis -Bromoforme, entonnoir, filtre, Becher -Microsonde électronique, etc.	-Échantillons de roches et lames minces -Microscopes polarisants -Ustensiles et verrerie -Poudres de roches -Liquide dense -Séparateur magnétique Frantz	-Échantillons de roches et lames minces -Microscope polarisant -Photographies d'affleurement -Visualiseur de Google Earth d'images satellites -Cartes géologiques -Boussole-clinomètre	-Échantillons de roches et lames minces -Microscope polarisants -Photographies d'affleurement -Visualiseur de Google Earth d'images satellites -Logiciel Access et SIG Arc Gis
	Les représentations symboliques	-Graphique représentant la température en fonction de la profondeur	-Graphe à spectres de la chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse	-Chromatogramme à pics d'absorbance -Histogramme (adsorption selon les médicaments)	-Tableaux complexes produits par la microsonde électronique des quantités d'oxydes	-Schéma de la subduction -Carte des linéations de la région étudiée -Schémas explicatifs des types de failles -Dessins légendés schistosité et d'un boudinage quartzeux -Tableaux des paramètres des séparations	-Cartes géologiques -Croquis explicatif de la subduction, des notions de linéation et de foliation, des types de failles -Dessins légendés d'observations de roches et lames minces	-Cartes tectoniques et géologiques -Croquis explicatif de la subduction, des types de failles -Coupe tomographique -Modélisation 3-D -Dessins d'affleurement -Tableau de classement d'échantillons de roches
	Les savoirs en jeu et les savoirs produits	-Changement climatique -Bio-géochimie -Cycle du carbone -Ecosystème tourbières	-Datation des fossiles -Paléogéographie -Isotopie -Sédimentologie, -Chimie organique	Les argiles Les techniques d'analyse	-Fonctionnement du microscope polarisant -Systèmes cristallins -Densité -Diagramme des teintes de biréfringence, etc. -L'olivine s'est formée à 1140°C et environ 500 bars	-Tectonique des plaques -Pétrologie des roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires -Cycle des sédiments -Déformations des roches - Protocole d'extraction du quartz, etc.	-Tectonique des plaques, subduction -Contexte tectonique méditerranéen -Cartographie -Déformations cassantes et ductiles -Cristallographie, etc.	-Tectonique des plaques, subduction -Structure interne de la Terre -Cartographie -Ressources minérales métalliques -Types de failles -Tomographie
	La temporalité	-Identique décalée	-Identique aménagée	-Identique aménagée	-Identique aménagée	-Identique et confondue	-Synthétique	-Synthétique
	Le mode expérimental	-Investigation empirique	-Expérimentation	-Expérimentation	-Expérimentation	-Élaboration procédurale et Expérimentation	-Élaboration théorique et procédurale	-Élaboration théorique et procédurale

Tableau 15-B. Caractéristiques des itinéraires de moments en laboratoire pour chaque cas des doctorants géologues.

2. LES MODES D'EXPLORATION DES ITINERAIRES DE MOMENTS EN LABORATOIRE

2.1. L'exploration par l'intermédiaire de concepts généraux de la discipline de recherche de la thèse

Nous considérons que chez les groupes de Yann et de Kévin, les élèves ont exploré les thèses, par l'intermédiaire de concepts généraux de la discipline de recherche.

Par exemple, pour le cas du groupe de Yann, au cours des trois premières rencontres dans le laboratoire ICARE, le doctorant a décidé d'informer sur la notion générale de la combustion. Yann évoque lui-même ce parti pris à plusieurs reprises dans l'entretien : « *je suis parti sur la combustion et leur expliquer ce qu'était la combustion les motivations de la combustion pourquoi on fait de la combustion* » (Yann A 18) ou, en parlant du titre de sa thèse : « *je me suis servi de la thèse mais bon je me suis surtout servi des mots qu'il y avait dedans* » (A 157). Dans le support de présentation des élèves, sur les sept points abordés du sommaire, quatre points de contenu abordés, représentés par une majorité de onze diapositives sur seize, portent sur des notions attenantes à la thématique de la combustion comprenant notamment la combustion expliquée d'un point de vue énergétique, ses applications, les différents types de flammes et les réactions chimiques modélisées (Yann C 2-11). Cette présence importante du contenu théorique, relatif à la combustion, se retrouve également au niveau du temps de parole des élèves au cours du congrès. La majorité du temps a été consacrée à exposer des explications sur la combustion.

Dans un second temps, Yann a voulu aborder son sujet de thèse (« *plus tard je suis parti sur mon sujet de thèse à leur expliquer* » A 18), mais il a rapidement modifié son approche pour une pratique expérimentale. Il considère qu'une situation basée sur l'explication de sa thèse aux élèves n'est pas appropriée, à cause notamment de la partie de modélisation qu'elle comporte. Par conséquent, il a ensuite proposé un protocole de « travaux pratiques » provenant de l'école d'ingénieur et qui permet de mesurer la vitesse de flamme d'un carburant. Yann explique ces manipulations : « *on a un tube on le remplit de gaz avec un mélange gaz air on sait à peu près ce qu'on a mis dedans on enflamme de tube et on voit la flamme se propager dans ce tube transparent et on peut mesurer entre les deux le temps que ça a mis on connaît la longueur du tube on peut remonter à la vitesse de flamme* » (A 66). Cette expérience a ensuite conduit à d'autres calculs de nature scolaire (« *broder autour leur faire faire des petits exercices dessus* », A 20). La partie minoritaire des explications orales et du support de présentation du congrès relatent cette activité expérimentale de mesure de vitesse de flamme (Yann C 16).

Par rapport à cette analyse, le doctorant est, dès le départ de la mise en route du partenariat,

très informé sur les programmes scolaires et les acquis des élèves, comme il le dit dans l'extrait suivant : « *j'ai essayé de m'appuyer sur les connaissances qu'ils ont en seconde sur la combustion enfin ce qui peut aider donc ils font brûler quelques matériaux jusque-là ils apprennent comment faire une comment équilibrer une équation globale de la combustion une équation totale donc bon je suis parti de là* » (Yann A 18). Yann a élargi les savoirs requis dans sa thèse à une notion générale, qu'il considère abordable à un élève de seconde et également présente dans le programme de sciences physiques et chimie de lycée. Il avait acquis cette connaissance du Bulletin Officiel au cours de son expérience professionnelle de préparateur de travaux pratique en lycée : « *je suis arrivé sur la combustion (...) je savais que c'était au programme de seconde (...) dans le livre dans le b o c'était directement dedans* » (A 90). Il pense que les élèves n'auraient pas pu comprendre son sujet de thèse : « *l'expliquer dans un tout premier temps je pense pas que ça aurait percuté* » (A 18). Par conséquent, il s'est concentré sur le niveau effectif des élèves et envisage le dispositif comme étant une opportunité d'enseignement, de vulgarisation de notions propres à sa thèse. Sa visée éducative est de se mettre au niveau des élèves, de les intéresser (« *on veut que ça marche (...) donc du coup me mettre à leur niveau et puis les intéresser*», A 48) et leur faire acquérir des connaissances de base. Il affirme : « *le truc important c'était vraiment qu'ils retiennent quelque chose des sciences et pas forcément de la combustion qu'ils sachent faire ce que je sais faire c'était pas le but* » et poursuit par : « *dans l'air par exemple y a vingt et un pour cent d'oxygène (...) s'ils ont retenu ça déjà j'suis content* » (A 96).

Nous considérons donc que les élèves ont, dans le cas de Yann, abordé le domaine scientifique, par l'intermédiaire de savoirs de la discipline des sciences physiques, qui sont en correspondance avec les recherches doctorales mais pas spécifiques des thèses. Les savoirs sur la combustion ont été évoqués, dans leurs aspects généraux et dans les domaines d'application. De plus, les tâches ou les activités, les matériels et les représentations symboliques ne sont pas ceux des recherches de référence. Des mesures de vitesse de flamme sont pratiquées durant la recherche de thèse, mais elles utilisent une chambre de combustion sphérique et la technique de l'ombroscopie, pour visualiser le front de flamme et ainsi mesurer sa vitesse de déplacement. Pendant les moments en laboratoire, les élèves ont utilisé un chronomètre, un grand cylindre, une bougie de voiture pour enflammer un mélange de méthane et d'air apportée par une soufflerie. Ces matériels, dédiés à des « travaux pratiques » de l'école d'ingénieur, ne sont pas des matériels spécifiques de sa recherche. Par conséquent, nous considérons que la pratique expérimentale des élèves est uniquement reliée à la question de recherche sur la mesure d'une vitesse de flamme, sans qu'elle le soit au niveau des savoirs produits, puisque le carburant utilisé est différent, les élèves ayant utilisé du méthane et le doctorant étudiant notamment le 1-butène. La visée principale du doctorant est l'acquisition de connaissances sur la combustion. Il fait reproduire ce phénomène, permettant de visualiser l'avancée du front de flamme. Il s'agit donc d'une modélisation analogique, mais la réalisation effective de celle-ci, ainsi que la visualisation du front de flamme et la mesure de

vitesse s'effectuent différemment. Cette activité expérimentale est une élaboration théorique, qui permet aux élèves de « construire » le concept de vitesse de flamme par l'intermédiaire de moments qui s'apparentent à des activités scolaires, au détriment de moments scientifiques plus proches de la pratique de recherche de référence.

L'autre doctorant Kévin a abordé les plasmas sous forme de cours. Ensuite, il propose aux élèves une activité expérimentale qui permet de reproduire un tourbillon en milieu aqueux et a pour objectif de calculer son champ de vitesse. Cette idée provient d'un souvenir du lycée : « *c'est toujours difficile de visualiser quelque chose qui est en mouvement c'est toujours mieux de visualiser quelque chose qui est à l'arrêt et je me suis souvenu quand j'étais au lycée (...) la première fois qu'on a utilisé les agitateurs magnétiques avec les Béchers (...) quand on met l'agitateur magnétique trop vite (...) on voit qu'il y a une tornade qui se forme justement dans le Bécher là je me suis dit quoi de mieux que de recréer cette tornade* » (Kévin B 97). Il propose donc de faire modéliser chacune des étapes techniques de la soufflerie et de la PIV : genèse du tourbillon, ensemencement, éclairage puis acquisition d'images des tourbillons (C 4). On peut raisonnablement penser que cette modélisation analogique guidée, qui consiste en la reproduction d'un tourbillon en milieux aqueux et dont les matériels sont prévus à l'avance, n'exige aucune acquisition nouvelle de connaissances préalables pour un élève de seconde. D'un point de vue expérimental, c'est une investigation empirique qui conduit à construire le concept de champ de vitesse d'un tourbillon. Comme dans le cas de Yann, la temporalité n'a pas de correspondance avec la recherche de référence, puisque la visée de motivation pilote les choix vers des activités qui s'apparentent à des activités scolaires, au détriment de moments scientifiques plus proches de la recherche doctorale de référence.

Nous pensons donc que pendant cette première année de mise en œuvre du partenariat, les élèves de Kévin et de Yann ont pu explorer le domaine scientifique principalement par l'intermédiaire de concepts propres aux sciences physiques.

2.2. L'exploration par l'intermédiaire d'une démarche de la thèse

Les élèves des groupes d'Aurélien et d'Armel ont exploré la recherche scientifique par l'intermédiaire d'une démarche de la thèse de leur doctorant respectif.

Par exemple, Aurélien débute son encadrement en présentant sa thèse (« *c'était la séance de présentation de nos thèses* », Aurélien A 24). Puis, le fil conducteur est d'amener les élèves à se représenter le travail d'un géologue de terrain comme il l'indique : « *je me suis mis un objectif c'est qu'ils heu ils apprennent à être un géologue de terrain en fait* » (A 38) ou « *les sept séances que j'ai faites là justement c'est le géologue de terrain ce qu'il fait avant pendant sur le terrain* » (A 283). Pour cela, au long des moments en laboratoire, il explique

aux élèves sa représentation de la démarche du géologue et leur fait réaliser certaines des tâches qui y sont associées. Par conséquent, il débute par l'étape qui précède l'expédition de terrain. Aurélien explique l'intérêt de la lecture d'articles scientifiques pour le recueil d'informations préliminaires et fait étudier des cartes géologiques spécifiques de son contexte d'étude de l'île grecque de *Serifos* (G 8-9, D 2-3). Ensuite, le doctorant reproduit la pratique présumée du géologue par l'utilisation d'images satellites, à partir desquelles il amène les élèves à identifier des structures géologiques majeures visibles, telles que les failles (D 3). La suite de la démarche correspond à l'expédition de terrain. Les élèves reproduisent cette étape de la pratique de recherche doctorale au moyen de photographies de certains affleurements étudiés par le doctorant. Comme le géologue, ils observent les structures et font des croquis (G 16-18, D 4, photographie 18). L'étape d'après a lieu habituellement au retour de l'expédition, avec l'analyse approfondie des échantillons rapportés (photographie 16) et comprend, entre autres, la réalisation de coupes dans les roches pour l'obtention de lames minces au moyen de la scie diamantée (A 307, photographie 22). Ensuite, des observations des échantillons sont réalisées à l'œil nu (D 9) et au microscope polarisant (D 10). Par exemple, ils observent un granite à l'œil nu et au microscope polarisant (A 309), décrivent la roche (A 309) et listent les caractéristiques (couleur, extinction, forme, relief, clivage, biréfringence, altération ; G 24) des différents minéraux (quartz, biotite et feldspath) puis les identifient dans l'échantillon. Ces moments, dédiés à la cristallographie, sont aussi l'opportunité pour les élèves de dessiner les cristaux visualisés (« donner des notions (...) montrer des cailloux (...) faire des dessins », A 14) dans le cahier de laboratoire (G 20-27) et comme le rapportent les figures 5 à 8 ci-dessous.

LN	?	?	?
Couleur	Blanc	Jaune/Beige	Indore
Pleochroïque	Oui	Non	Non
Forme	sub/	aut	scen.
Relief	Important	moyen	faible
Clivage	Oui/fin	Oui/fin	Oui/grossier
Altération	Oui	Oui	Non

LPA			
Extinction			
Biréfringence			

Forme
 = automorphe
 = contours
 fins

subautomorphe
 un peu plus fins

xenomorphe

Fig 5. Tableau synthétique esquissé par un élève lors de la séance de cristallographie (G 24)

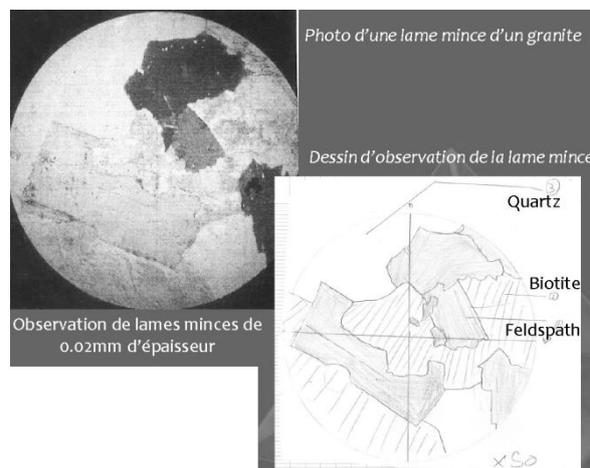


Fig 6. Photographie et dessin d'observation légendé de la lame mince de granite (D 10)

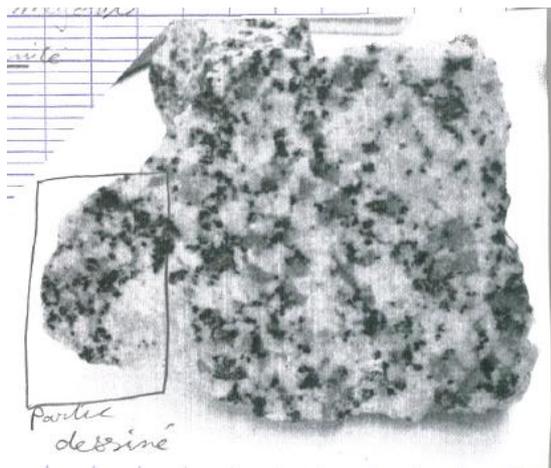


Fig 7. Echantillon de granite et partie dessinée (cahier de laboratoire non annexé)

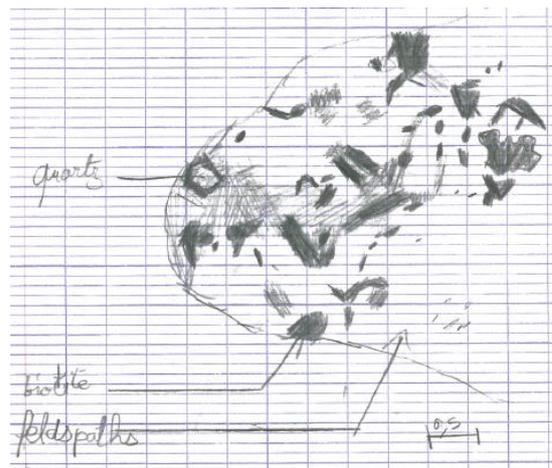


Fig 8. Dessin au niveau macroscopique du granite (cahier de laboratoire non annexé)

Les derniers moments ont été consacrés à des mesures de foliation et de linéation : « *je leur ai apporté des cailloux et ils ont fait les mesures mais sur place* » (A 72) et « *c'est une mesure sur les cailloux en fait de la déformation* » (A 147), comme l'atteste le support de présentation (D 11) et les cahiers de laboratoires (G 29-31 : Fig. 9). Ordinairement effectuées sur le terrain, ces mesures sont néanmoins nécessaires pour l'élaboration, au laboratoire, de cartes géologiques figurant des symboles des résultats des mesures (G 28 : Fig. 10). L'ensemble de cette démarche a été expliquée au cours du colloque EDIFICE par les élèves (E).

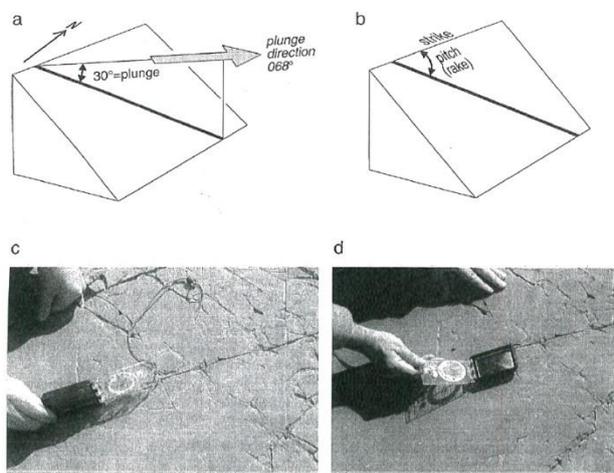


Fig 9. Extrait du document d'explication des mesures de linéation au moyen de la boussole clinomètre (G 31)

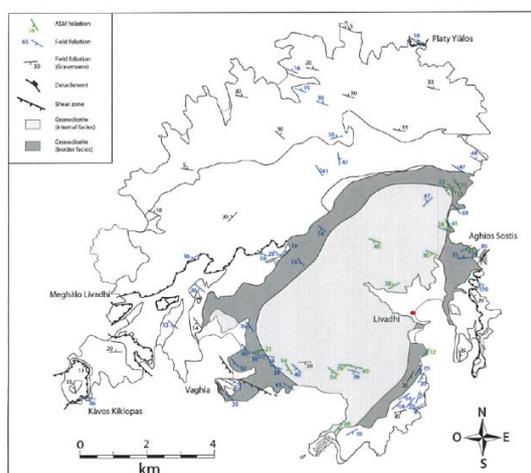


Fig 10. Carte géologique de l'île grecque de Serifos avec les symboles des mesures de foliation (G 28)

La même approche est privilégiée par le doctorant Armel, dont certaines des activités sont plus ou moins similaires à celles d'Aurélien, comme les dessins des affleurements (photographie 17) et qui propose, entre autres, comme tâche un travail d'échantillonnage présumée du géologue, une comparaison d'une trentaine d'échantillons de roches, en les caractérisant à l'aide d'un tableau numérique, et en entrant les informations dans une base de

données géoréférencée : « *on a tout mis ça toujours sur ordinateur sur des cartes associés aux points g p s donc des cartes géoréférencées* » (photographie 20).

Les deux géologues, Armel et Aurélien, partagent une visée de « donner » une image réaliste de la démarche de géologue de terrain, qu'ils décrivent comme étant constituée d'une préparation à une expédition de terrain, de l'expédition *sensu stricto*, puis de l'analyse, au laboratoire, des « éléments » recueillis. (Aurélien A 38/88/283 et « *c'est ça la démarche scientifique avec approche terrain* » Armel C 11). Les doctorants considèrent fondamental de montrer cet aspect-là de leur recherche, malgré l'impossibilité matériel de réaliser l'expédition. Armel dit par exemple : « *en géologie le truc l'outil majeur c'est le terrain un travail de terrain en tout cas pour certaines thématiques la nôtre oui du coup bah vu qu'on n'a pas pu partir sur le terrain heu pour l'instant heu bah c'est un peu disons qu'on a on a fait la préparation de tout ce qui est avant le terrain* » (A 53). Par conséquent, l'ensemble des tâches ou des activités présente un « condensé » adapté des pratiques relatives au terrain. Ceci est attesté par l'analyse des articles de recherche des doctorants qui comportent des photographies d'affleurement, avec les dessins interprétatifs correspondant (I 2), des photographies de lames minces (I 6) et des cartes similaires intégrant les symboles des mesures de foliation et linéation (I 3, J Fig. 35). De même, les matériels tels que les échantillons de roches (J Fig. 36-37), la boussole clinomètre (I 5), le logiciel de géoréférencement, à l'exclusion du terrain géologique, sont concordants avec ceux de la recherche de thèse. Nous considérons que cette démarche met en jeu des savoirs factuels et des savoirs procéduraux, spécifiques des deux thèses, si bien que l'ensemble de la situation expérimentale appartiendrait à un mode mixte d'élaboration de savoirs, à la fois théoriques et procéduraux. L'ensemble de cette démarche étant envisagée comme un but en soi, exclusivement à destination des élèves, elle ne génère pas de savoir produit pour la recherche doctorale. Bien qu'elle n'ait pas de visée heuristique et que les chercheurs l'aient effectué un an auparavant, c'est une reproduction synthétique et cohérente de la démarche de la recherche doctorale. A noter, tout de même, que les recherches doctorales intègrent d'autres travaux, comme ceux de modélisation chez Armel (C 89), et que le caractère synthétique passe sous silence l'aspect répétitif des tâches de recueil des informations sur le terrain. Néanmoins, nous inférons de l'ensemble des données que les moments en laboratoire ont permis aux élèves d'explorer un exemple de démarche synthétique de géologue de terrain, reproduite en laboratoire, pour les cas des groupes d'Aurélien et d'Armel.

2.3. L'exploration par l'intermédiaire d'une démarche et de concepts généraux de la thèse

Jean raconte qu'il a commencé son encadrement par un cours théorique sur les moteurs : « *C'est de la théorie c'est un cours de moteur quoi je leur ai fait* » (A 18, E 2-10). Ensuite, il a proposé des travaux pratiques sur un banc moteur, à partir de protocoles d'activités destinés

aux étudiants de l'école d'ingénieur, qu'il a plus ou moins adaptés (« *on va faire t p directement et on va voir comment ça passe* », A 42). Le matériel utilisé est un moteur, dont le fonctionnement est contrôlé et suivi par une série de capteurs reliés à une interface informatique (photographie 27). L'objet de ces séances de travail est de comprendre comment fonctionne un moteur, en faisant varier des paramètres de la combustion, via l'interface informatique (A 16). Jean déclare qu'il n'a globalement pas abordé son travail de recherche (« *on n'était même pas encore arrivé dans mon sujet de thèse* », A 62). Cependant, il a orienté les moments vers une situation expérimentale qui utilise les mêmes instruments et outils que dans la thèse, à savoir un banc moteur et un logiciel de recueil de données. Cela induit que les types d'activité ou de tâche et les représentations symboliques vont avoir une certaine similitude. Les élèves vont être amenés à contrôler le moteur et à recueillir des données via l'interface informatique (photographie 28, E 11). Ainsi, plusieurs paramètres de la combustion, comme la pression d'admission, la richesse en carburant ou encore la température d'admission sont testés, afin de comprendre le fonctionnement du moteur (E 14). Certains de ces paramètres sont également recueillis et l'objet de représentations symboliques similaires dans le cadre de la recherche doctorale. Par exemple, des représentations similaires à celle des élèves de la figure 12 sont retrouvées dans plusieurs articles de recherche de Jean (G 3, H 4, I 6, J Fig. 12).

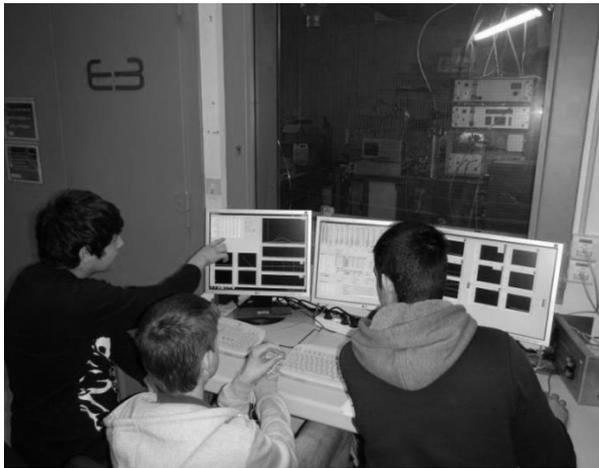


Fig 11. Contrôle du banc moteur via une interface informatique avec les élèves au premier plan (E 11)

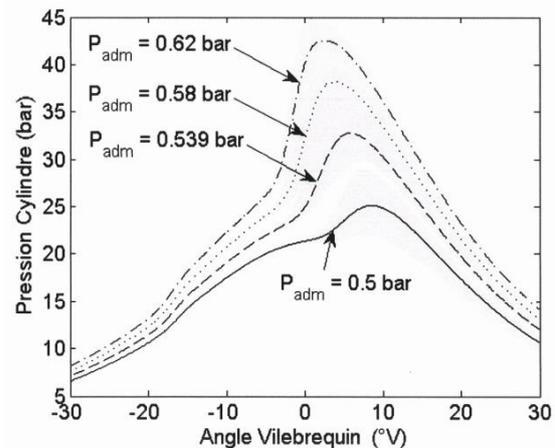


Fig 12. Exemple de graphique représentant la pression du cylindre en fonction de l'angle du vilebrequin, obtenu à partir des mesures sur banc moteur¹⁰⁴ (non intégré au recueil des annexes)

Les élèves ont exploré la recherche doctorale par l'intermédiaire d'une démarche de tests sur banc moteur, à partir de laquelle ils ont pu construire des représentations sur le fonctionnement d'un moteur, en cohérence avec la visée de Jean (« *le but c'était de les*

¹⁰⁴ Cette représentation symbolique est extraite du dossier de TPE des élèves élaboré au cours de leur deuxième année d'exploration en laboratoire. Mais Jean précise bien qu'ils ont réalisé des activités expérimentales sur banc moteur similaires à leur première année d'exploration (D).

amener à comprendre comment fonctionne un moteur diesel et un moteur essence » A 60). Mais ces moments expérimentaux offrent également un moyen de se représenter une démarche de tests moteurs de la thèse. L'exploration porte donc à la fois sur une démarche de la thèse et sur une élaboration conceptuelle de notions générales de la discipline de recherche, à savoir la combustion dans un moteur et le fonctionnement de celui-ci. Nous considérons, par conséquent, que les élèves ont exploré la recherche de thèse par l'intermédiaire d'une démarche qui lui est spécifique, permettant également l'appropriation de concepts généraux de la discipline de recherche.

2.4. L'exploration par l'intermédiaire d'une démarche personnelle de problématisation

Les élèves de Benoît ont exploré sa pratique de recherche par l'intermédiaire d'une transposition de la phase de problématisation vécue par le chercheur au début de sa thèse. Benoît raconte que les premières questions qu'il a posées aux élèves étaient relatives à son quotidien de chercheur : *« comment vous imaginez que je remplis mes journées ? Imaginez-moi et qu'est-ce que je fais ? »* (Benoît A 30). Il raconte aussi qu'ils ont réfléchi, ensuite, à comprendre le thème de la recherche considéré par le doctorant comme étant d'actualité et relativement facile à appréhender. Il déclare par exemple : *« l'avantage du sujet tel qu'il est enfin tel que je le travaille c'est que on peut l'expliquer de façon très simple les gaz à effet de serre même les lycéens de seconde ils savent ce que c'est l'impact de l'homme »* (A 18). De fait, il n'a pas perçu d'incompréhension particulière de la part des élèves, comme il le précise : *« ça leur parle tout de suite donc finalement y avait pas vraiment de gros gap en terme de comprendre pourquoi on étudie ces tourbières et pourquoi tu vois j'ai pas eu l'impression que y avait une incompréhension particulière du sujet »* (A 18). L'on peut vraisemblablement penser que les élèves ont été confrontés directement à la thèse du doctorant et qu'ils ont pu en comprendre la thématique globale, ainsi que les objectifs.

Les moments suivants correspondent à une phase, prépondérante en termes de durée, au cours de laquelle il a fait problématiser les élèves, c'est-à-dire qu'il les fait *« réfléchir au moins à une question à laquelle ils aimeraient essayer de répondre »* (A 24) en s'appuyant sur un travail de bibliographie. Les élèves ont été amenés à étudier des articles en français (A 116-117), choisis par le doctorant (A 24). Cette indication est corrélée aux dires de l'enseignante accompagnatrice : *« ils ont fait un peu de bibliographie »* (B 36) *« en simplifié donc il leur a donné un ou deux articles pas trop compliqué en français »* (B 40). La principale intention de Benoît est de faire en sorte que les élèves soient acteurs de leur propre recherche (*« les rendre acteurs et pas juste spectateurs »*, A 109), c'est-à-dire qu'il vise que leur vécu expérientiel ressemble à celui présumé du chercheur. Les élèves doivent vivre par eux-mêmes, de *« l'intérieur »*, cette expérience. Le terme de *« vivre »* est repris d'une locution du doctorant :

Benoît	<i>je voulais qu'ils soient au maximum acteurs de ce qu'ils</i>
--------	---

	<i>faisaient pas qu'ils soient là passifs à regarder ce que c'était mais c'était du coup d'essayer de vivre un maximum aussi ce que c'était que la recherche c'est-à-dire pas juste expliquer de façon théorique (...) et de dire voilà la recherche c'est ça mais essayer de leur faire vivre du coup c'est complémentaire avec la première chose mais essayer qu'ils soient acteurs de la chose c'était les deux (A 42).</i>
--	--

Cette préoccupation conduit donc Benoît à transposer sa démarche de problématisation du début de sa thèse. Il développe son exigence de rendre acteur les élèves de leur propre début de recherche :

<i>Benoît</i>	<i>si en plus ils ont réussi à être acteur c'est-à-dire eux à proposer la question à laquelle ils voulaient répondre et eux essayer de sortir la méthode avec laquelle ils voulaient répondre à la question là c'est j pense que l'objectif est rempli (A 24)</i>
---------------	---

Ces informations sont corrélées aux propos de l'enseignante accompagnatrice concernant la question de recherche élaborée par les élèves : « *lui-même n'en avait pas vraiment d'idée à la base (...) ils ont réfléchi **ensemble** pour trouver quelque chose* » (B 40). L'enseignante évoque cette étape où les élèves ont été mis en position d'acteurs : « *ils ont passé aussi du temps ensemble à réfléchir à la problématique qu'ils allaient choisir* » (B 40). Cette approche est considérée, par Benoît, comme étant en rupture avec celle supposée des enseignements scolaires, en déclarant : « *je ne voulais pas c'est qu'ils aient l'impression d'être en classe* » (A 38) et « *j'avais choisi (...) d'essayer d'éviter de faire trop de façon scolaire* » (A 115). Benoît montre toute sa préoccupation de ne pas diriger, en allant jusqu'à les faire s'interroger sur la façon de les guider : « *je leur ai même fortement incité à me dire tout de suite comment ils voulaient qu'on fasse les choses aussi et comment ils voulaient que ça se passe c'est-à-dire que moi je leur ai dit enfin je leur ai présenté ma façon de voir les choses et je leur ai dit si vous vous préférez que ça se passe autrement faut pas hésiter à me le dire* » (A 149). Dans cette investigation empirique, les élèves parviennent donc à élaborer trois questions de recherche (E 5) qui conduisent, au cours des moments suivants, à la réalisation d'une expérimentation originale et adaptée. Les activités ou tâches principales se déroulent au niveau du dispositif expérimental de mesure du laboratoire de l'ISTO requis dans la thèse de Benoît (G 6, H Fig. 26). Elles correspondent notamment à des recueils de données via des instruments de mesure sur les carottes de tourbes du laboratoire. Le diaporama du colloque (E 6) confirme ces informations : la photographie de la figure 13 suivante montre le dispositif occultant d'une chambre cylindrique avec les sondes de mesure et ces matériels sont les mêmes que ceux utilisés par le chercheur (G 2, voir aussi H Fig. 25). De plus, dans le manuscrit de Benoît, des graphiques représentent également des moyennes des températures de l'air et du sol, en fonction de profondeurs et à différentes périodes de l'année (G 7 en bas).

Par rapport à l'ensemble des représentations symboliques manipulées, élaborées par Benoît au cours de son travail de recherche (D 210/220) et par rapport au contenu de son manuscrit de thèse, nous considérons les graphiques des élèves (E 8) similaires à certains effectués par le doctorant. En revanche, les questions d'étude et les savoirs produits ne sont pas concordants.

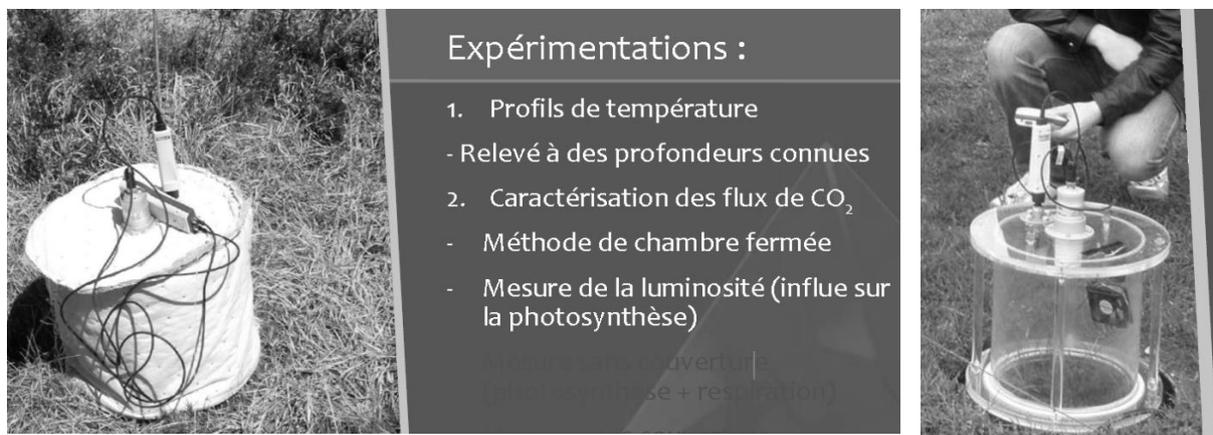


Fig 13. Extraits du support de présentation du colloque avec un dispositif de mesure adapté aux embases de carottes de tourbe (E 6, la photographie de droite, présentant un élève en arrière-plan, n'est pas associée au recueil)

Comment caractériser la temporalité des moments en laboratoire, au cours desquels les élèves sont conduit à problématiser ? Celle-ci n'est pas en correspondance avec celle de la recherche doctorale, le doctorant ayant lui-même déjà effectué cette étape. Mais nous remarquons que les élèves reproduisent, à leur niveau, cette étape vécue par Benoît qui respecte alors, dans une certaine mesure, les temps « longs » de la recherche. En outre, il s'agit d'une transposition de cette étape à destination des élèves qui sont conduits à « revivre » ce que le doctorant à lui-même entrepris. C'est-à-dire que dans la réalisation effective et les avancées intellectuelles et psychologiques des sujets, cette étape est originale et ne peut correspondre à celle de Benoît. Mais par rapport à la détermination du doctorant de mettre les élèves « dans la peau d'un chercheur », de leur faire explorer la lente construction des idées alliée à une recherche d'informations et lectures d'articles, elle en est une « copie ». Pour ces raisons, nous considérons que la temporalité est identique dans la durée de sa réalisation et décalée dans le temps.

Compte tenu de l'ensemble des données, évoquées ci-dessus, sur la volonté de faire problématiser les élèves et la réalisation effective de celle-ci sur une durée majoritaire de l'ensemble de l'itinéraire, nous inférons que les élèves de Benoît ont exploré la recherche doctorale par l'intermédiaire d'une démarche personnelle de problématisation.

2.5. L'exploration ethnographique

Pour le cas du groupe de Marie, chacune des séances en laboratoire est organisée en deux

types de moments différents : une partie théorique consacrée à des explications et des cours théoriques, notamment sur la physique des plasmas d'une part et une partie de manipulations d'autre part ; comme l'indique la doctorante : « *on a découpé les séances de telle manière à ce que on essaie à leur inculquer des notions dans une première partie (...) après on allait manipuler dans les salles et expliquer plus spécifiquement ce que nous on faisait en fait* » (A 36) et comme le confirme également les élèves : « *ils nous donnaient des documents des fois pour des précisions sur les plasmas* » (B 9) ou l'enseignant accompagnateur : « *à chaque fois ils apportaient un complément sur la séance y avait à peu près une demi-heure trois quart d'heure de complément on va dire théorique sous la forme d'un petit photocopié d'un petit q c m et ensuite ils allaient en expérimentation* » (C 4). Par exemple, pendant les premiers moments, la doctorante a pu expliquer l'objectif de sa thèse, en abordant la dangerosité potentielle des nanoparticules et la métrologie. Elle a aussi abordé le principe de son dispositif expérimental, basé sur la réfraction lumineuse et l'intérêt industriel d'une éventuelle commercialisation. Au cours du deuxième type de moments, les élèves sont initiés au montage puis à l'étalonnage de la machine « Marguerite », qui s'avère centrale dans la thèse (« *ils m'ont permis en fait d'étalonner vraiment la machine de toute façon j'aurais été obligée de le faire* », A 112). A ce sujet, la conception de la machine est décrite par plusieurs pages du manuscrit de la thèse (H 2/6 ou I Fig. 21-22). De même, la photographie 6 illustre l'étape de montage de cet instrument technique à laquelle les élèves ont eu l'opportunité d'assister au cours des premiers temps de la thèse. Par conséquent, il n'y a pas eu de questionnement heuristique verbalisé, mais cette phase indispensable de la recherche doctorale requiert de manière implicite un questionnement d'ordre technique que nous formulons de la manière suivante : comment régler la puissance réfléchie du générateur de plasma, afin d'avoir un plasma assez puissant et visible en fonction de la puissance envoyée ? Cette préoccupation technique est celle de la doctorante, au moment même où les élèves sont dans le laboratoire : « *Ce que je leur ai demandé de faire c'était exactement ce que je voulais de toute façon [faire]* » (A 116). Elle aurait effectué les tâches demandées aux élèves s'ils n'avaient pas été présents : « *j'aurais fait les manip si ils avaient été là ou pas* » (A 108). Par conséquent, les élèves ont ensuite participé à l'étalonnage de la machine, en réglant la puissance du plasma au générateur. Marie confirme « *ils ont allumé des plasmas ils ont fait du diagnostic optique avec un laser de haute puissance* » (A 106, photographie 9). Leur objectif est d'actionner les molettes, pour déterminer la puissance minimale réfléchie qui permettrait d'obtenir un plasma assez puissant et visible. Ils ont réalisé plusieurs dizaines de répétitions en modifiant la puissance (« *On faisait une dizaine de fois en changeant les paramètres* », B 69). Un autre moment en laboratoire a été utilisé pour un diagnostic électronique, en relevant la tension et le courant électrique en fonction de la puissance transmise au réacteur sans genèse d'un plasma. Là encore, ils ont répété l'expérience puisqu'ils ont incrémenté la puissance du générateur de 2 en 2 en allant de 2 à 40 watts et qu'ils ont répété cette batterie de mesures trois fois (photographies 7 et 8). Les données recueillies par les élèves au cours de ces moments sont reportées dans des tableaux consultables dans les cahiers de laboratoire (G 9-12). Par

conséquent, nous mettons en évidence que les tâches sont exactement celles de la thèse doctorale sur les mêmes instruments matériels.

Le réacteur *Marguerite* a été étalonné au moyen d'un oscilloscope (« on travaillait sur un réacteur pour le plasma » B 77, figure 14 ci-dessous).

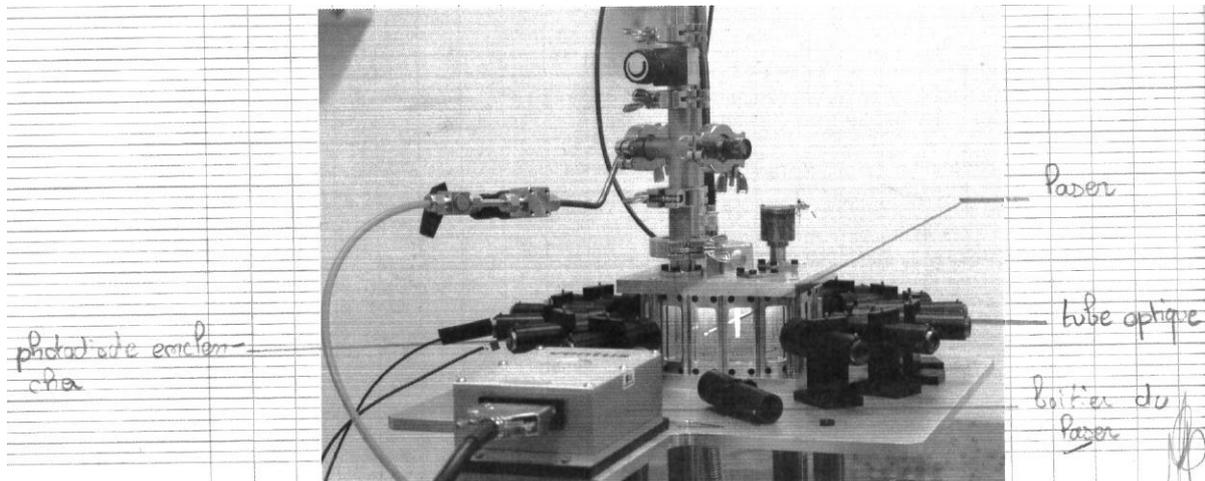


Fig 14. Photographie légendée du montage Marguerite prise par les élèves avec un plasma généré (G 3)

Une carte d'acquisition a ensuite été ajoutée, afin de visualiser à partir d'un écran d'ordinateur, à la place de l'oscilloscope, pour gagner en précision (« leur oscilloscope c'est un ordi », B 152).

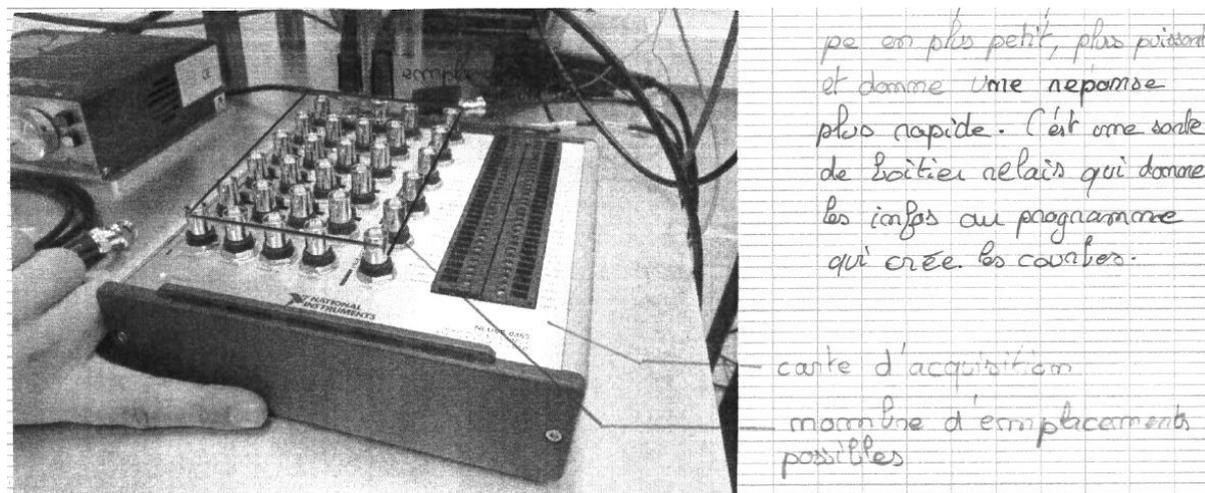


Fig 15. Photographie légendée de la carte d'acquisition (G 6)

Les réglages de la puissance du plasma ont été effectués par l'intermédiaire de l'interface d'un générateur, comme l'atteste cet extrait du cahier de laboratoire d'un élève.

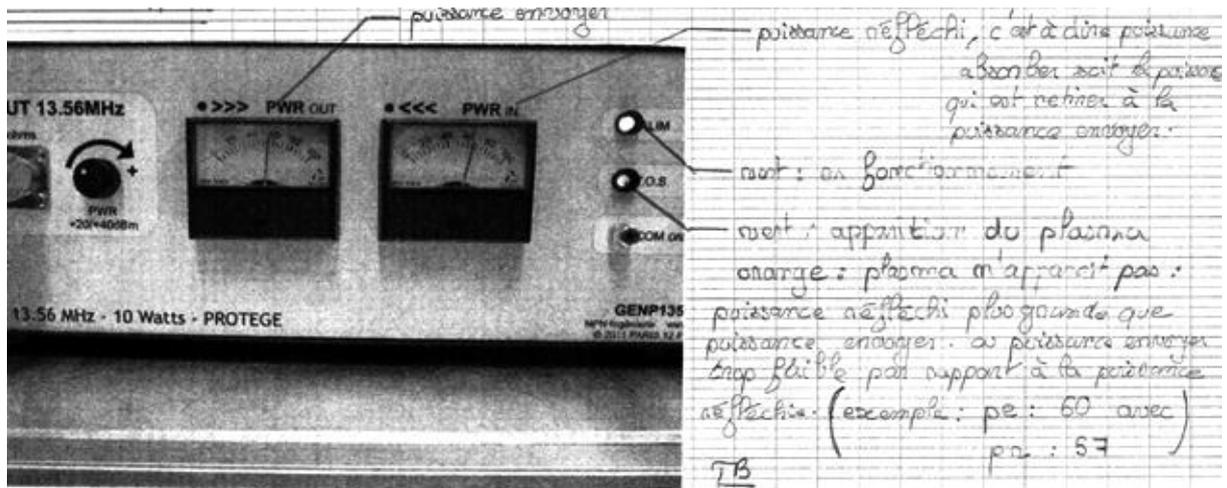


Fig 16. Photographie légendée de l'interface du générateur plasma (G 6)

Des représentations symboliques correspondent à des courbes temporelles générées par les oscilloscopes.

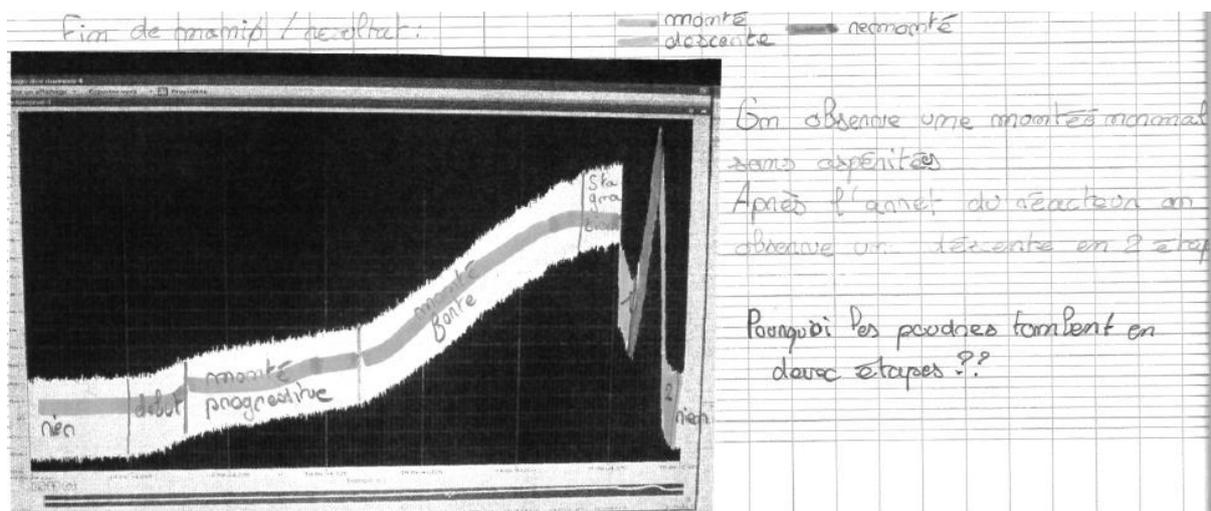


Fig 17. Photographie de l'écran de l'oscilloscope d'un diagnostic optique avec interprétation (G 7)

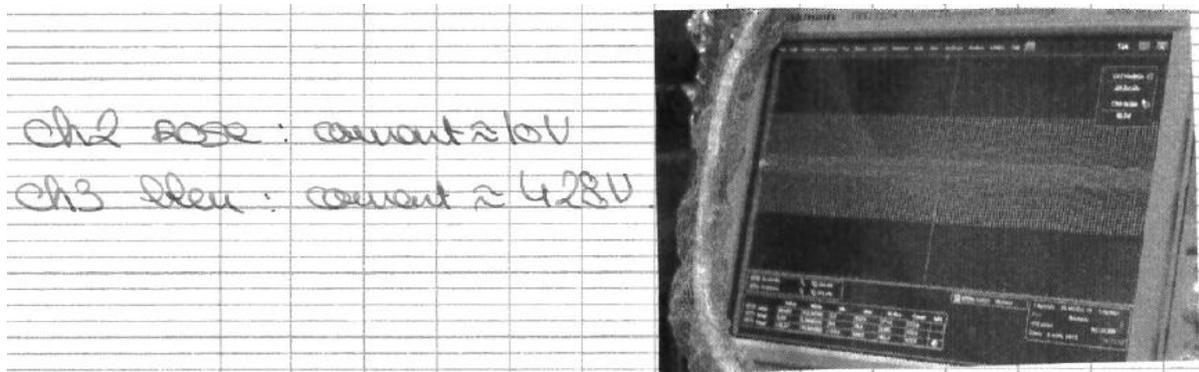


Fig 18. Photographie de la représentation temporelle du courant et de la tension (cahier de laboratoire non associé au recueil)

Nous avons retrouvé des représentations similaires à celles des écrans des deux figures précédentes dans le manuscrit de la thèse (H 2-3), preuve aussi que les élèves participent à la thèse doctorale. Marie les considère comme des stagiaires, c'est-à-dire comme « *des assistants, des aides* » (A 87/76-77/83-87). Elle dit par exemple : « *Voilà (j'ai des stagiaires) qui font les manips pour moi donc là je suis un peu partie du même principe pour eux bon évidemment je leur ai pas je les ai pas laissés tout seuls j'étais là mais je leur ai expliqué une fois deux puis après tous seuls ils ont tout de suite pris le pas et ils ont fait exactement* » (A 88). Dans ce groupe, les élèves évoquent l'aspect de résistance du réel propres aux matériels et, à ce titre, nous proposons au lecteur l'extrait de cahier de laboratoire suivant, rédigé par un élève et qui retrace de manière précise l'ensemble des interrogations, des gestes et des tâches effectuées avec la survenue d'une panne matérielle dont il faut chercher la cause, comme indique l'élève dans son récit : « *Nous sommes donc parti à chercher le dysfonctionnement* » G 4. Un tâtonnement par résolution d'hypothèses est alors entrepris :

Lors de cette séance, nous avons pu manipuler au contraire de la
 fois dernière. Nous devions tester 2 nouvelles photodiodes.
 L'une n'était pas retirée de son boîtier et nous (moi, Angèle,
 Charlotte et Maxime) avons dû la retirer du boîtier afin de pouvoir
 l'insérer dans le tube qui capte la lumière.
 À la lumière normale les 2 photodiodes émettent un signal à
 l'oscilloscope. Lorsqu'on les place dans les tubes et que l'on
 demande la manip les signaux de l'oscilloscope ne sont pas
 cohérents avec le signal normal que nous devions avoir. Nous sommes
 donc parti à chercher le dysfonctionnement. Nous avons vérifié
 le câblage qui s'est avéré être bien mis. Nous nous sommes
 rendu compte alors que la lumière n'était pas éteinte lors
 de la manip or la lumière émise pouvait interférer dans les
 résultats de même un peu plus tard la lumière du plasma
 pouvait gêner et l'installation d'un filtre a dû être nécessaire.
 Avant cela nous avons placé un objet entre le câble et l'oscilloscope
 pour éviter que le bruit créé par le réacteur brouille les ondes.
 Mais les signaux n'avaient toujours pas bon. L'analyse statistique et entre
 temps l'une des diodes ne fonctionnait plus pour une raison
 inconnue. La solution étant que les tuyaux optiques n'étaient pas
 alignés avec le centre du réacteur ne permettant pas des mesures
 justes. Finalement un problème de câble en dehors du reste
 empêchait des diodes de fonctionner et a été résolu en évidence
 par un technicien. Nous n'avons donc pas eu de mesure
 sur l'oscilloscope juste et pour un aperçu de l'oscilloscope
 juste nous sommes passés sur la manip d'un autre docteur.

Fig 19. Récit d'élève des manipulations et de la survenue d'une panne matérielle (G 4)

Les moments manipulatoires successifs correspondent à des étalonnages nouveaux, puisque la
 tâche technique évolue (régler la puissance réfléchi puis recueillir la tension et le courant en
 fonction de la puissance du générateur). Les élèves récoltent donc des données qui ne sont pas
 « reprises » la fois d'après. Marie, en revanche les recueille pour sa propre recherche. Son
 travail de thèse avance entre temps, sans que les élèves y participent. Les tâches font partie
 d'une variété de tests d'étalonnage qui montrent la thèse de manière discontinue aux élèves,
 du fait que les moments en laboratoire soient synchrones de la thèse. Mais étant donné qu'ils
 permettent tous de déterminer les bons réglages de la machine, une cohérence d'ensemble est
 établie. La temporalité des moments est donc identique et confondue avec celle de la
 recherche de thèse.

Les autres doctorants Giulia, Olga et Nicolas ont proposé des explorations que nous

considérons du même mode que Marie. Avec Giulia, les élèves ont effectué des tests de paramétrage afin de déterminer le protocole optimal pour l'utilisation du séparateur magnétique permettant la séparation des cristaux de quartz utiles aux expériences de déformations (« *on a essayé de séparer les quartz des autres minéraux qui sont présents dans mes échantillons* », A 68). La question de recherche des moments expérimentaux de séparation des cristaux de quartz est, au même moment, également la préoccupation de la doctorante qui affirme qu'elle était en train d'établir son protocole de séparation. Par conséquent, les tâches et les activités des élèves s'avèrent être les mêmes que celles réalisées dans la thèse. Elle répond par l'affirmative à chacune des questions suivantes :

Vincent	<i>c'est quelque chose que (...) que t'aurais fait dans ton travail de recherche ?</i>
Giulia	<i>Oui oui</i>
Vincent	<i>même si les élèves ils n'avaient pas été là ?</i>
Giulia	<i>Oui oui (...) j'en ai profité pour avancer en même temps avec eux (A 69-72/84)</i>

Cette information est confirmée par l'élève : « *tout ce qu'elle nous a fait faire en fait on a vraiment contribué à l'avancée de ses recherches (...) on devait séparer du quartz et des autres argiles et elle nous avait dit qu'elle était venue avant faire des petits tests mais qu'elle avait juste fait des petites simulations et que c'était avec nous la première fois que elle allait faire aussi l'expérience* » (B 46). Que ce soit le séparateur magnétique Frantz (D 7-8), la représentation symbolique du tableau de recueil des résultats (G 29-30), tous ces éléments sont les mêmes que dans la recherche doctorale (photographie 19, J Fig. 54). Des savoirs en jeu visent la compréhension de la manipulation de séparation, d'autres sont de nature procédurale : les élèves mettent les parties de l'échantillon dans l'entonnoir et choisissent une intensité de courant pour moduler le champ magnétique (A 90), les inclinaisons frontales et latérales (A 98) et la vitesse de vibration. Les minéraux argileux magnétiques sont attirés par les aimants, contrairement au quartz. Le résultat de chaque séparation est analysé en microscopie (J Fig. 55, D 8, G 25-28), afin de déterminer la séparation optimale et les paramétrages effectués qui y sont associés. Cette phase ayant été de longue haleine, les élèves n'ont pu finalement déterminer eux-mêmes les valeurs optimales des réglages, mais les tests effectués font partie des « portes à refermer » en termes de paramétrage. Ils ont donc contribué de la même manière que la doctorante à l'élaboration du protocole de séparation, qui fait figure de prérequis indispensable à la continuité des recherches ultérieures.

Dans le cas du groupe d'Olga, les moments en laboratoire sont entièrement dédiés à la spectroscopie Raman (« *on a eu des séances où elle nous a expliqué comment fonctionnait la machine qu'elle utilisait* » B 6). Cet appareil, incontournable pour qui veut développer une méthodologie de traitement de ses données, est central dans la recherche de thèse et dans les moments en laboratoire également. Un élève dit : « *préparer des échantillons qu'on a observé*

ensuite on a utilisé un spectroscopie Raman » (B 2). Ces manipulations utilisent une variété d'échantillons et permettent de produire différents graphiques spectraux analysables, comme l'indique Olga : « on a pris ensemble le spectre sur les matériaux carbonés et sur par exemple sur le silicium et sur l'oxyde d'uranium alors ce sont des matériaux qui possèdent heu le spectre assez simple (...) et donc après ils ont pu distinguer ces matériaux juste l'allure du spectre juste en regardant le spectre » (A 8). La préparation des échantillons de matériaux est poursuivie par l'étude des graphiques à spectres (C 2-4, I Fig. 6) en tant que représentation symbolique générées aux écrans, suite aux analyses de l'appareil (C 2, photographie 13, I Fig. 5). Ces manipulations sont aussi associées à la nécessité pour les élèves d'acquérir une base de notions des sciences physiques, d'après la doctorante qui affirme : « j'essayais de leur donner les bases leur expliquer tout ce qui se passe la spectroscopie Raman l'imagerie Raman » (A 115). Ces explications portent sur la théorie ondulatoire de la lumière avec les notions de longueur d'onde, de fréquence et d'énergie de la lumière (A 69-77). Même si la doctorante précise qu'elle a choisi les matériaux à sonder en fonction de la simplicité des spectres générés, nous constatons que tout ce qui relève de la manipulation autour du spectroscopie est similaire à ce que la doctorante réalise dans son travail de thèse. De plus, certaines analyses lui servent dans son travail de recherche (elle répond : « oui et non » dans l'extrait suivant).

Vincent	<i>donc (...) tu leur as proposé des activités en lien avec le thème de ta thèse</i>
Olga	<i>Oui</i>
Vincent	<i>mais qui sont pas des activités que tu vas réaliser à l'intérieur de ta thèse est-ce que c'est ça ou pas ?</i>
Olga	<i>oh oui et non (A 90-93)</i>

La visée principale d'Olga centrée sur le spectroscopie Raman conduit donc les élèves à développer à la fois des savoirs procéduraux spécifiques de la recherche et des savoirs factuels sur des notions des sciences physiques. La question de recherche est méthodologique car elle porte sur la reconnaissance d'un matériau particulier, au moyen de l'analyse du graphique spectral généré. Par conséquent, une correspondance entre la recherche doctorale et le vécu expérimental des élèves est accomplie, par l'intermédiaire de cet instrument technologique.

Nicolas a systématiquement introduit les élèves en salle blanche (A 103, H 2), afin de l'aider ou de l'accompagner au cours de la préparation des échantillons de silicium, de leur introduction dans le compartiment de gravure et de la programmation du graveur à plasmas via son écran de contrôle (photographies 1 et 3, H 4/8). Après les gravures, ils ont clivé les échantillons de silicium (H 9) et réalisé la mise au point au MEB (photographies 2, F 6 H 5-7/9-11), comme le précise Nicolas :

Nicolas	<i>je leur ai fait une démonstration après je les ai laissés manipuler par eux-mêmes (...) c'était des manipulations d'échantillons heu manipulations des machines donc ils ont allumé eux-mêmes des plasmas ils ont ce qu'on appelle accordés c'est-à-dire qu'ils ont stabilisés ils ont fait une gravure comme j'aurais fait une gravure et puis après ils ont fait de la ils ont analysé ce qu'ils avaient fait donc heu par imagerie au meb au microscope électronique à balayage (A 98/103)</i>
---------	--

Nicolas affirme que certaines des manipulations vues ou effectuées par les élèves lui sont utiles pour sa recherche : « *ils ont fait des manip que je vais pouvoir réutiliser (...) je les aurais faites si ils n'avaient pas été là* » (A 126). Là aussi les moments expérimentaux se « confondent » avec la thèse de Nicolas, dont la visée principale est de montrer une démarche scientifique permettant de représenter le fonctionnement supposé de la recherche.

Nicolas	<i>on a essayé de faire ça (...) vraiment pour leur montrer comment c'est une démarche scientifique vraiment comment fonctionnait la recherche (...) c'était pas dans l'objectif de les motiver mais (...) je pense qu'on a réussi à les motiver (A 62)</i>
---------	---

Par conséquent, les tâches ou les activités, les instruments et les représentations symboliques (I 5/9) concordent avec la recherche doctorale. En revanche, il apparaît que les manipulations s'insèrent au sein de la recherche doctorale, sans que les élèves aient accès à l'avant et l'après, puisque comme l'indique Nicolas : « *c'était par rapport à ce que j'étais en train de faire y a pas eu de prévision* » (A 136). Des savoirs portent sur les plasmas (F 1-3/7-8), d'autres sont de nature procédurale, afin de se représenter une démarche de gravure incluant la préparation des échantillons, la gravure *sensu stricto* et l'analyse nanométrique de celle-ci, via l'écran du MEB (photographie 4).

Les cas de Marie, Giulia, Olga et Nicolas, qui ont associé les élèves à des pratiques quotidiennes de leur recherche, ont mis en œuvre le dispositif de façon cohérente avec les intentions du prescrit qui souhaite faire participer les élèves à la recherche de la thèse. Certains moments, pour chacun de ces cas, apparaissent identiques et confondus avec les sciences en train de se faire. Par conséquent, nous considérons que les élèves ont réalisé une exploration de nature ethnographique.

2.6. L'exploration d'une démarche de pratiques réelles

Nous considérons que, pour les cas des groupes de Julie, Thomas, Yann-Aurélien et Benjamin, les élèves ont exploré la recherche scientifique par l'intermédiaire d'une démarche de pratiques appartenant à la recherche de la thèse.

▪ Pour ce mode, nous choisissons de développer le cas du groupe de Yann-Aurélien qui conduit les élèves à un premier questionnement sur les moyens possibles afin de concentrer les phases minérales d'intérêt présentes en petite quantité au sein d'échantillons rocheux (« *je leur ai fait travailler sur la densité sur le moyen qu'on peut avoir facilement de concentrer un peu les phases minérales qui nous intéressent* », A 36). Le doctorant choisit de se focaliser sur les olivines : « *j'ai décidé d'axer sur l'olivine, qui est la phase la plus présente dans les basaltes du piton de la fournaise* » (A 38). Pour amener les élèves à sa recherche de thèse, il fait observer, à l'œil nu et en microscopie, deux échantillons différents de basaltes (E 12-13) provenant de deux éruptions du Piton de la Fournaise (Fig. 20-21 ci-dessous). Les observations ont donné lieu à des descriptions et des dessins d'observation (Figure ci-dessous, H 24). Ils ont ainsi pu étudier la texture et la proportion en certains minéraux. A noter que le doctorant dans sa thèse réalise aussi des observations au microscope polarisant des lames minces de roches récoltées (A 42). D'ailleurs, dans son manuscrit de thèse, sont présentées des planches de microphotographies légendées d'observations (I 4). Les basaltes sont également photographiés au niveau d'affleurements dont certains sont dessinés (I 1-2).

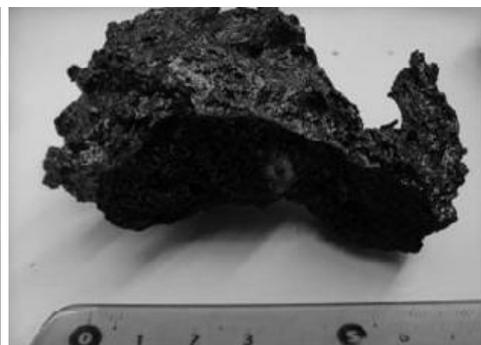
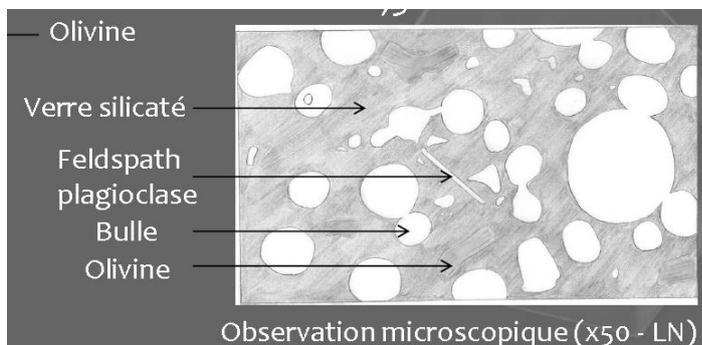


Fig 20. Dessin légendé de l'observation microscope du basalte (E 5)

Fig 21. Photographie du basalte (E 5)

Ces moments d'observations et les dessins ont permis au chercheur d'amener progressivement les élèves au problème scientifique qu'il explique dans les extraits suivants : « *le matériel de départ que j'ai moi pour les pour les expériences c'est un basalte entre guillemets pauvre minéralogiquement y a quasiment que de l'olivine pas de clinopyroxène un peu de feldspaths donc ça cadrerait très bien* » (A 46), « *sur une lame mince on va avoir par exemple une olivine ou deux donc ce qui est très très peu on a un ou deux pour cents (...) de cristaux sur une lame mince et leur faire mettre le doigt sur le fait que si on veut faire des analyses qui vont être rapides efficaces si on veut avoir de la donnée très rapidement il faut qu'on ait un moyen de réussir à concentrer un peu les olivines par rapport au basalte en fait ou et à la lame mince* » (A 32-34). Il les a donc fait réfléchir, en abordant la nécessité d'extraire puis de séparer les

minéraux de la roche et en mentionnant la présence, au laboratoire, d'un liquide dense (« *je les ai fait réfléchir je leur ai dit voilà ce qu'on a au labo on a en disponibilité on a des liqueurs denses* », A 36). La suite du travail résumé dans le cahier de laboratoire (H 15-16) et le support de présentation du colloque (E 8-11, Fig. 22 à 25 ci-dessous) a donc naturellement consisté en la série de manipulations à effectuer, afin de séparer les olivines du verre silicaté soit le broyage (« *nous au labo on broie le caillou* », A 48), le tamisage et la séparation par densité pour concentrer les olivines de chacun des deux basaltes étudiés (H 33-35). Le doctorant qualifie lui-même ces activités d'habituelles : « *la séparation par densité les observations de lames minces c'est juste ce que je fais-moi en routine tous les jours quoi* », (A 145). Il explique le procédé :

Yann-Aurélien	« <i>on a fait le tamisage manuel (...) après on a utilisé des liqueurs denses pour les séparations par densité donc c'est-à-dire que là ce qu'on avait broyé puis tamisé on le met dans une liqueur dense et donc on sait que l'olivine a une densité supérieure à celle du liquide que ce qu'on veut ne pas échantillonner ne pas séparer a une densité inférieure donc forcément par densité ce qu'on ne veut pas va rester flotter à la surface et ce qu'on veut va tomber au fond du liquide</i> », (D 115, lire aussi A36/50).
---------------	--



Fig 22. Etape 1 : le broyage (E 9)



Fig 23. Etape 2 : le tamisage (E 9)



Fig 24. Etape 3 : la séparation par liqueur dense (E 10)

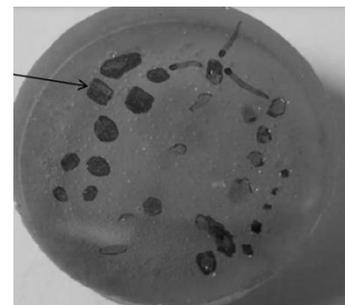


Fig 25. Etape 4 : la récupération des cristaux d'olivine puis l'inclusion dans de la résine (E 11)

Puis les cristaux d'olivines sont montés en résine et polie. Yann-Aurélien et les élèves se sont ensuite rendus à l'Institut des sciences de la Terre de Paris, pour utiliser une microsonde électronique dont les spectromètres ont quantifié les oxydes d'éléments constitutifs des cristaux préparés (Fig. 26). Les données générées par cet instrument sont présentées dans des

tableaux mentionnant les données sur l'espèce minérale étudiée, le numéro d'échantillonnage et les pourcentages respectifs de chacun des oxydes d'éléments chimiques comme l'extrait de la figure 51 (ou I 3). Les pages 61 à 66 du cahier de laboratoire des élèves (H) relatent comment le doctorant a utilisé ces résultats sur les oxydes d'éléments, afin de déterminer une température et une pression de cristallisation des olivines. L'ensemble de cette démarche, centrée les cristaux d'olivines et accomplie avec les élèves tout au long de l'itinéraire d'exploration, fait partie intégrante du travail de thèse de Yann-Aurélien qui s'en sert pour « récupérer des données » (A 48, lire aussi 39-40/50). Il précise :

Yann-Aurélien	<p><i>ce qu'on a fait c'est un apport scientifique</i> <i>(...) c'est des choses qui nous nous servent</i> <i>enfin moi c'est comme ça que je l'ai vu c'est</i> <i>quelque chose qui me sert dans ma thèse</i> <i>(...) Et qui sera de toute façon réutilisé</i> <i>recoupé avec d'autres données et qui vont</i> <i>avoir une importance (A 205-207)</i></p>
---------------	---

Yann-Aurélien a joint une démarche de son travail de recherche aux moments en laboratoire des élèves, en découpant la temporalité. Ces derniers ont donc pu se représenter de manière continu, tout au long de l'itinéraire d'exploration, l'ensemble d'une démarche de la recherche doctorale qui débute par l'observation d'échantillons bruts recueillis et se termine par une étape « pointue » d'interprétation des données de la microsonde électronique.

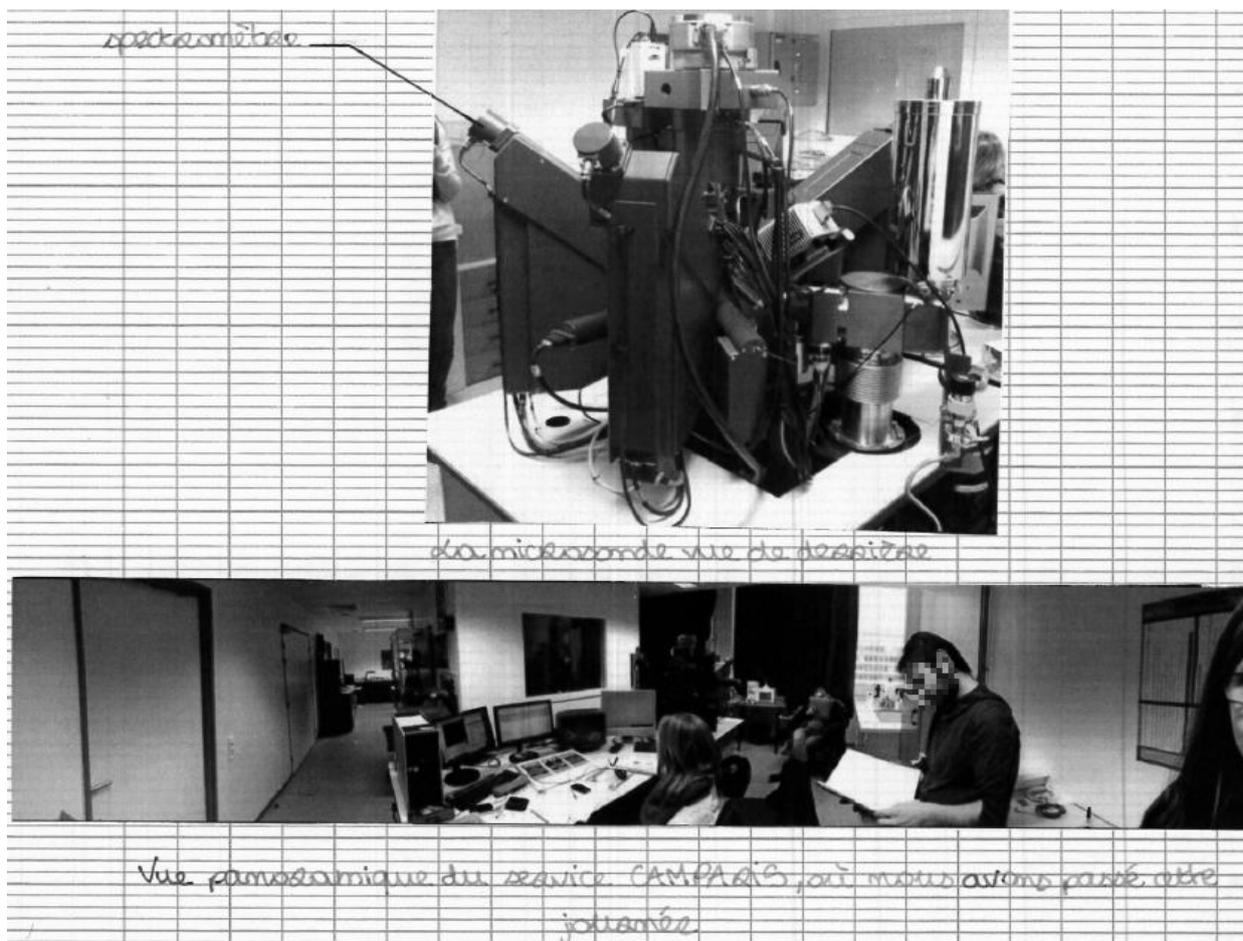


Fig 26. Extrait du cahier de laboratoire avec photographies annotées de la microsonde électronique et de ses écrans de contrôle à l'Institut des sciences de la Terre de Paris (H 59)

▪ Dans le cas du groupe de Julie, les premiers moments sont relatifs à sa problématique de thèse, avec une bibliographie en français dont l'objectif est d'amener les élèves à appréhender « pourquoi étudier la végétation par rapport au climat » (A 237), pourquoi « reconstituer un paysage » (A 233) et percevoir ce « qu'apportait le moléculaire par rapport à (l'étude de) la végétation » (A 231). Ces questionnements ont permis aux élèves de comprendre les moments expérimentaux ultérieures : ils ont étudié le log descriptif, repéré les niveaux d'une carottes sédimentaire susceptibles de renfermer de la matière organique (les niveaux contenant des racines), dessiné la portion de carotte, échantillonné, extrait la matière organique (E 4-6/10).

Un élève	<i>au début comme il s'agissait de carottes on les a on est allé dans un entrepôt au b r g m où on les a touchées on les a observées on a essayé de comprendre comment elles étaient rangées à quoi elles servaient ensuite on a vu qu'il y avait de la matière organique dedans (...) on a extrait des carottes la molécule organique qui nous intéressait donc on a essayé de prendre des endroits où y avait le plus de molécules</i>
----------	--

	<i>organiques ensuite après l'extraction de la carotte on les a réduits à de la poussière on va dire ah je ne trouve pas les mots on a réduit à de la poussière (B 8/26)</i>
--	--

Les étapes suivantes comportent l'extraction des molécules lipidiques au moyen de l'ASE¹⁰⁵ et l'élution de ces molécules sur une colonne de silice. Chaque fraction a ensuite été analysée par la chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (E 11-13), comme indique Julie : « on a extrait la matière organique on a fait des séparations de ces différentes matières organiques et puis après on les a passés dans la machine mais ils ont tout fait en fait chaque étape » (A 185). Les résultats de ces analyses ont permis le calcul des indices diagnostic du CPI¹⁰⁶ et du Paq¹⁰⁷ (B 28/36, E 14-15). Les élèves ont vécu des moments en laboratoire qui ont contribué à la recherche professionnelle de la doctorante qui indique : « c'est quelque chose que j'aurai fait de toute façon » (A 275, lire aussi 295). De plus, pour elle, les élèves doivent réaliser une phase de recherche aboutie comprenant l'appropriation d'un problème scientifique jusqu'aux résultats. Elle dit bien : « j'ai voulu qu'ils fassent la démarche en fait de a à z » (A 68/285).

▪ Dans le cas du groupe de Thomas, les moments expérimentaux étudient la capacité d'adsorption d'une argile naturelle vis-à-vis de quatre molécules médicamenteuses. Ils ont comparé la solution médicamenteuse avant le passage au travers la fraction argileuse et la même solution obtenue après filtration (D 4). Ainsi, ces deux solutions ont ensuite été soumises à la chromatographie liquide haute performance couplée à la détection UV, afin de séparer les molécules de médicaments (D 3). La structure chimique des médicaments permettant l'absorption des rayonnements UV, cet instrument mesure l'absorbance spécifique de chacun des produits séparés (D 5). Cette expérimentation correspond à une phase authentique de la recherche doctorale, tel que Thomas et l'enseignant accompagnateur l'affirment :

Thomas	<i>c'est exactement le même protocole que je fais moi (...) c'était mon quotidien de toute façon (...) je les ai faites avec quatre personnes en plus à côté de moi enfin qui ont préparé avec moi (A 16/20/58)</i>
--------	--

¹⁰⁵ Automated Solvent Extractor, appareil automatisé.

¹⁰⁶ Indice de préférence de carbone (Carbon Preference Index). Le CPI se définit, pour les n-alcanes, comme étant le rapport entre la somme des concentrations des composés à chaîne carbonée impaire et la somme des concentrations des composés à chaînes carbonées paires. C'est un indicateur de la plus ou moins forte dégradation de la matière organique.

¹⁰⁷ Le Paq (aquatique / macrophytes proxy) est également formulé à partir de l'analyse des n-alcanes et est utilisé pour connaître, dans l'environnement du milieu de dépôt de l'époque, l'abondance des macrophytes flottantes et aquatiques par rapport aux plantes terrestres émergées. Le proxy prend en considération le fait que les espèces aquatiques et flottantes ont une abondance de n-alcanes à moyenne chaîne carbonée par rapport aux plantes supérieures terrestres qui comportent beaucoup de n-alcanes à longue chaîne. Il permet aussi d'avoir une indication sur l'hydrologie du milieu de dépôt.

Enseignant accompagnateur	<i>Les élèves ont participé à la recherche même du doctorant c'est-à-dire là il n'y a pas eu d'adaptation du travail à l'élève (B 14)</i>
---------------------------	--

Par conséquent, toutes les caractéristiques de cette démarche sont les mêmes que celles de la recherche, qui néanmoins a été aménagée afin d'apparaître continue aux élèves.

▪ Dans les premiers moments, Benjamin aborde des propriétés optiques et physiques des matériaux telles que la réflectance, la transmittance, l'absorption électronique et l'émission et apporte des informations concernant le domaine d'application de sa recherche, l'enjeu industriel et écologique (C 2-3). Ces informations visent la compréhension par les élèves d'une partie de son sujet de thèse. Comme l'indique le doctorant, « *on ne pouvait pas s'engager sur un sujet sans qu'ils aient un minimum de bases bon même les bases scientifiques* » (A 26). Avec ces acquis, les élèves ont pu reprendre le fil conducteur d'une démarche de recherche en train de se faire, en reprenant dès le départ :

Vincent	<i>t'es revenu un peu sur ce que t'avais fait au début dans ta démarche et tu t'es dit je vais-je vais leur proposer des expériences des activités enfin des expériences que moi j'ai effectuées</i>
Benjamin	<i>Tout à fait</i>
Vincent	<i>Au cours de ma première année pour qu'ils reprennent en fait le fil conducteur de ta démarche c'est ça ?</i>
Benjamin	<i>Ouai tout à fait (A 35-38)</i>

Pour Benjamin, les élèves sont entrés dans sa problématique de thèse : « *je les ai faits manipuler au début pour reprendre pièce par pièce par exemple on a fabriqué des pastilles en leur expliquant les matières premières* » (A 26), en fabricant des premiers échantillons de matériau réfractaire (« *Pour vraiment qu'ils comprennent la démarche suffit pas d'avoir l'échantillon et l'étudier faut savoir le fabriquer savoir qu'est-ce qu'on met dedans* », A 28). Puis, le doctorant joint les moments à sa recherche de thèse comme il l'indique :

Benjamin	<i>ils ont suivi en parallèle mes travaux de thèse à ce moment-là (...) les dernières expériences qu'on a faites vont me servir pour ma thèse en fait parce que il fallait que je le fasse de toutes façons donc autant qu'on soit plusieurs à étudier le truc et qu'ils comprennent en même temps que moi (A 52/56)</i>
----------	---

Puis Benjamin a procédé, en compagnie des élèves, aux mesures d'émission dans l'infrarouge à l'aide du spectroscope d'émission infrarouge à chauffage par laser CO₂ (C 4). Cet instrument génère des inscriptions (Latour & Woolgar, 1996, p. 35) sous la forme de données graphiques, exploitables en quelques minutes, que le chercheur a pu expliquer aux élèves, afin qu'ils déterminent les compositions de matériaux les plus propices à une émittance importante, et donc potentiellement intéressantes pour la fabrication de fours verriers (A 141, C 5-6).

Pour les cas des groupes de Julie, Thomas, Benjamin et Yann-Aurélien, nous constatons que les élèves ont pu explorer la recherche de thèse par l'intermédiaire d'une phase d'expérimentation débutant par l'appropriation d'une question scientifique et dont l'aboutissement est la production d'un savoir factuel utile au chercheur. Cette exploration d'une démarche de recherche réelle a été permise par une adaptation de la temporalité de la thèse, afin que les élèves puissent se représenter l'ensemble de la démarche de manière continue.

3. DES ITINERAIRES D'EXPLORATION ORGANISES EN PERIODES SUCCESSIVES DE MOMENTS

Nous proposons d'établir une vision globale de chacun des quatorze itinéraires, en regroupant les moments en laboratoire qui présentent une continuité en ce qui concerne les caractéristiques de PSR. Par conséquent, ce regroupement de moments, à l'intérieur de chaque itinéraire, permet de distinguer des périodes de nature différente, du point de vue des caractéristiques de PSR. Nous mettons, ainsi, en évidence un total de trente-cinq périodes de moments au sein de l'ensemble des cas étudiés. Sept cas possèdent un itinéraire organisé en deux phases et les sept autres cas ont un itinéraire en trois parties (Tableau 17 ci-après).

Nous considérons qu'il existe sept phases de nature différente parmi l'ensemble des itinéraires d'exploration : la phase la plus fréquemment rencontrée se caractérise par des pratiques expérimentales. Elle termine les itinéraires d'exploration chez tous les cas étudiés. Ensuite, nous inférons qu'une période axée sur des explications de la problématique de thèse est rencontrée dans sept itinéraires. Une phase d'explications de notions générales et une phase d'explications de notions générales accompagnée de l'expérimental sont chacune présente quatre fois sur l'ensemble des cas. Outre ces quatre périodes majoritaires, nous avons pu établir également la présence de périodes minoritaires comme celle d'explications à la fois de la problématique de thèse et de notions générales et qui se retrouvent trois fois. Une autre période-type correspond à une phase de problématisation par les élèves eux-mêmes aidés par la consultation d'une bibliographie. Une phase caractérisée par des exercices de calculs mathématiques servant à la compréhension de concepts relatifs à la spectroscopie Raman est

également présente. Ces deux dernières périodes sont retrouvées respectivement deux fois et une fois parmi l'ensemble.

3.1. Correspondance des périodes de moments

Du point de vue des caractéristiques de la recherche de référence, la période de pratique(s) expérimentale(s) présente un profil hétérogène puisque, selon les cas, elle est plus ou moins en correspondance avec la recherche de thèse par rapport aux caractéristiques étudiées. En revanche, la situation d'explication de la problématique de thèse, conformément à son appellation, est toujours en correspondance au niveau des caractéristiques des questions d'étude et des savoirs en jeu. Nous considérons, dans cette période-type, que les caractéristiques sur les tâches et/ou les activités, les instruments matériels et intellectuels, les représentations symboliques ne sont pas représentées. Pour la période d'explications de notions générales, nous considérons qu'aucune des caractéristiques n'est en correspondance. Malgré que ces notions soient nécessairement présentes dans la thèse, elles ont été caractérisées comme spécifiques de la discipline de recherche et non de la thèse. La période mixte d'explications, à la fois de la problématique de thèse et de notions générales, est toujours en correspondance du point de vue des savoirs en jeu et éventuellement avec la question d'étude. La période d'explications de notions générales, avec des pratiques expérimentales est, selon les cas, en correspondance du point de vue des tâches et/ou des activités, des instruments matériels et intellectuels, des représentations symboliques, mais pas vis-à-vis de la/des question(s) d'étude et des savoirs en jeu. La période de problématisation avec bibliographie peut être en correspondance ou non avec la question d'étude et les savoirs en jeu de la recherche doctorale, selon que le chercheur cherche à rallier les élèves à sa propre recherche (cas de Julie) ou non (cas de Benoît). Nous considérons que la période d'exercices de calculs mathématiques servant à la compréhension de concepts relatifs à la spectroscopie Raman est en correspondance avec la recherche de référence par l'intermédiaire des savoirs en jeu.

3.2. Correspondance de la temporalité

Du point de vue de la correspondance entre la temporalité de la recherche doctorale qui caractérise les périodes expérimentales ou celles de problématisation avec bibliographie, nous constatons que, pour les cas de Yann, de Jean et de Kévin, il n'y a pas de correspondance entre la temporalité de la recherche et celle des moments des élèves. Lorsque la temporalité est synthétique, une démarche de recherche est transposée dans une visée de reproduction, en diminuant le temps consacré à l'ensemble des échantillons ou pour des tâches répétitives. Elle conserve les éléments les plus saillants de la recherche, comme c'est le cas chez les élèves des groupes d'Aurélien et d'Armel. Nous avons défini que la temporalité était identique, mais décalée, lorsque les élèves revivent la phase de problématisation de la recherche de thèse

comme dans le cas de Benoît. Dans la caractérisation identique aménagée des cas des groupes de Julie, de Thomas, de Yann-Aurélien et de Benjamin, une démarche de la recherche doctorale est modifiée dans son déroulement pour apparaître de manière continue aux élèves. Chez Marie, Olga, Giulia et Nicolas, les temps des moments en laboratoires se superposent avec celui de la recherche doctorale, pour permettre aux élèves une exploration de la recherche telle qu'elle se fait au moment de la visite, ce qui nous amène à définir la temporalité comme étant identique et confondue.

3.3. Caractérisation des modes expérimentaux

Tous les itinéraires se terminent par une période expérimentale qui revêt au total cinq formes distinctes (Tableau 16). Pour le cas du groupe de Yann, il s'agit d'une élaboration théorique, alors que chez Kévin et chez Benoît, les élèves ont réalisé une investigation empirique. Nous caractérisons l'expérimental proposé par Olga d'élaboration procédurale, étant donné la focalisation sur le maniement du spectroscope Raman. Pour les cas d'Aurélien, d'Armel et de Jean, nous admettons un expérimental mixte, réunissant à la fois une élaboration théorique et procédurale. Nous considérons l'expérimental des cas de Giulia et de Nicolas comme relevant des modes d'une expérimentation, mais aussi d'une élaboration procédurale étant donné l'attention portée à l'utilisation des instruments matériels comme dans le cas du groupe d'Olga. Quatre doctorants, Julie, Benjamin, Thomas et Yann-Aurélien, ont fait mener une expérimentation. Pour le cas du groupe de Marie, nous mettons en évidence un expérimental constitué de tests, afin de paramétrer la machine avant son fonctionnement pour une phase de recherche.

Modes expérimentaux	Caractéristiques majeures	Cas concernés
Elaboration théorique	<p>Contexte : phénomènes de la thèse non visibles du fait de leur nature et/ou reproduction cachée par l'instrument</p> <p>Buts : participer à la construction de concepts et à l'élaboration de modèles scientifiques</p> <p>Guidage de la part du doctorant : reproduction d'un phénomène pour permettre sa visualisation et/ou son étude par les élèves</p>	Yann, Aurélien, Armel, Jean
Elaboration procédurale	<p>Contexte : phase préparatoire aux analyses par des instruments ou ensemble cohérent de méthodes pour récolter des données</p> <p>Buts : participer à l'acquisition de méthodes, de procédures techniques spécifiques du domaine de recherche</p> <p>Guidage de la part du doctorant : reproduction de gestes techniques, de manipulations spécifiques lors de l'étude ou la préparation d'échantillons dans le cadre de la recherche doctorale ou de sa transposition</p>	Olga, Aurélien, Armel, Jean, Giulia, Nicolas
Expérimentation seule	<p>Contexte : après une phase de problématisation ou pour participer à une recherche doctorale</p> <p>Buts : participer à l'élaboration de savoirs dans la recherche doctorale avec l'emploi d'un raisonnement hypothético-déductif</p> <p>Guidage de la part du doctorant : par une phase comportant l'assimilation d'hypothèses, le recueil de données, leur analyse et la résolution des hypothèses avec le doctorant</p>	Giulia, Nicolas, Julie, Benjamin, Thomas, Yann-Aurélien
Investigation empirique	<p>Contexte : pratiques d'investigation, recherche problématisée</p> <p>Buts : initier à des démarches scientifiques, utiliser des techniques d'investigation</p> <p>Guidage de la part du doctorant : aider à problématiser, favoriser la réflexion des élèves sur les démarches et les raisonnements qu'ils suivent.</p>	Kévin, Benoît
Paramétrages machine	<p>Contexte : commencement d'une recherche centrée sur un matériel sophistiqué à construire et/ou régler</p> <p>Buts : rencontre avec la phénoménoteknique et la résistance du réel de la recherche scientifique</p> <p>Guidage de la part du doctorant : faire acquérir une méthode visant à récolter des données utiles au réglage de la machine pour assurer son fonctionnement, pas d'adaptation aux élèves de la recherche vis-à-vis de la répétition des tâches</p>	Marie

Tableau 16. Les cinq modes expérimentaux inférés des 14 cas du dispositif d'exploration en laboratoire (inspiré de Coquidé, 1998, 2000).

Cas	Itinéraires d'exploration			Mode de l'exploration des élèves
	période 1	période 2	période 3	
Benjamin	Explications de la problématique de thèse	Pratiques expérimentales	-	Démarche de pratiques réelles
Olga	Exercices de calculs mathématiques	Pratiques expérimentales	-	ethnographique
Kévin	Explications de notions générales	Pratiques expérimentales	-	Concepts généraux de la thèse
Jean	Explications de notions générales	Pratiques expérimentales	-	Démarche et concepts généraux de la thèse
Yann	Explications de notions générales	Explications de la problématique de thèse	Pratiques expérimentales	Concepts généraux de la thèse
Nicolas	Explications de la problématique de thèse et de notions générales	Pratiques expérimentales	-	ethnographique
Marie	Explications de la problématique de thèse et de notions générales	Pratiques expérimentales	-	ethnographique
Benoît	Explications de la problématique de thèse	Problématisation avec bibliographie	Pratiques expérimentales	Démarche personnelle de problématisation
Julie	Explications de notions générales	Problématisation avec bibliographie	Pratiques expérimentales	Démarche de pratiques réelles
Aurélien	Explications de la problématique de thèse	Explications de notions générales avec pratique expérimentale	Pratiques expérimentales	Démarche de la thèse
Armel	Explications de la problématique de thèse et de notions générales	Pratiques expérimentales	-	Démarche de la thèse
Thomas	Explications de la problématique de thèse	Explications de notions générales avec pratique expérimentale	Pratiques expérimentales	Démarche de pratiques réelles
Yann-Aurélien	Explications de la problématique de thèse	Explications de notions générales avec pratique expérimentale	Pratiques expérimentales	Démarche de pratiques réelles
Giulia	Explications de la problématique de thèse	Explications de notions générales avec pratique expérimentale	Pratiques expérimentales	ethnographique

Tableau 17. Ensemble des itinéraires et mode de l'exploration des élèves selon les cas (- : non réalisé).

4. RESUME DE LA NOTION D'EXPLORATION DANS NOS ETUDES DE CAS (TABLEAU 18)

Ce tour d'horizon de quatorze cas de la première année de mise en œuvre du dispositif EDIFICE montre une diversité d'approche du domaine scientifique, entreprise par les élèves dans les laboratoires. Ces approches sont qualifiées d'explorations et elles correspondent à un concept empirique basé, à la fois sur une étude de l'« expérience » des élèves de la recherche scientifique et un cadre théorique prenant en compte notamment les caractéristiques des pratiques scientifiques doctorales. Nous mettons en évidence que des périodes d'explications relatives à des notions soit générales, soit spécifiques de la thèse sont toutes placées au commencement des itinéraires d'exploration et s'avèrent indispensables et un prérequis de base à la période expérimentale qui intervient ensuite pour chacun des cas. En ce sens, ces périodes nous paraissent obligatoires à prendre en compte dans notre construction du concept de l'exploration, malgré leur caractère peu discriminant.

Dans nos études de cas, l'exploration des élèves de la recherche scientifique comprend, dans un premier temps, des moments d'explication théoriques. Dans un second temps, l'exploration se caractérise par une pratique expérimentale ou une problématisation originale qui nous ont permis de caractériser la notion d'exploration en fonction de la temporalité, de la nature de l'expérimental éventuellement et de la correspondance des caractéristiques de PSR entre les moments des élèves et la recherche doctorale. Ce cadre d'analyse nous permet de distinguer six modes différents d'exploration des élèves de la recherche doctorale. Parmi ces six modes, nous considérons que quatre modes sont fondamentaux et que deux modes sont « hybrides » et apparentés à trois des modes précédemment évoqués.

Nous mettons en évidence, pour deux cas, une attention particulière donnée à des savoirs théoriques de la discipline générale de la thèse. Par conséquent, dans ce type d'exploration, les élèves n'ont pas réalisé de tâches ou d'activités, ni utilisé d'instruments matériel et intellectuel, ni analysé de représentation symbolique qui sont spécifiques de la recherche doctorale. L'objectif des situations correspond à faire en sorte que les élèves puissent se représenter un concept général que nous considérons propre à la discipline académique, mais non spécifique de la thèse. Dans ce mode, l'expérimental est une élaboration théorique ou bien une investigation empirique qui conduit à une modélisation analogique permettant de « construire » des notions théoriques. Ainsi, la situation expérimentale n'est pas une réalisation ou une reproduction d'une pratique de la recherche doctorale. Elle est reliée à la thèse par l'intermédiaire du concept général, auquel elle aboutit et qu'elle souhaite faire se représenter. Par conséquent, nous décidons de qualifier et caractériser ce mode comme étant **une exploration de la recherche scientifique par l'intermédiaire de concepts généraux de la thèse.**

Nous constatons qu'une autre approche se caractérise par une focalisation sur une « phase » de la recherche doctorale qui est alors transposée pour les élèves. Dans ce cas, il s'agit d'une reconstruction à part entière, qui n'a pas d'utilité pour la recherche de thèse mais permet, néanmoins, de se la représenter en partie. Dans ce type d'exploration, nous constatons que les élèves réalisent des tâches ou activités similaires à la recherche de thèse, qu'ils utilisent les mêmes instruments matériel et/ou intellectuel et analysent certaines représentations symboliques de la recherche doctorale. En revanche, l'attention est davantage portée sur des aspects méthodologiques ou procéduraux de la recherche doctorale, que sur les questions d'études et des savoirs factuels liés à la problématique de thèse. Par conséquent, dans ce mode, les élèves sont amenés à reproduire une démarche-type en condensé. Par conséquent, nous considérons que les élèves réalisent une **exploration de la recherche scientifique par l'intermédiaire d'une démarche de la thèse**.

Un troisième type d'approche consiste à faire réaliser par l'élève les tâches ou activités que le chercheur est sensé réaliser au même moment. Dans ce type d'approche, les moments en laboratoire et la recherche de thèse se rejoignent pour permettre aux élèves de se représenter la vie d'un laboratoire à un instant « t ». Ce type d'exploration est caractérisé par une utilisation des mêmes instruments matériels et/ou intellectuels et l'analyse des mêmes représentations symboliques. Cependant, il semble difficile de se représenter l'ensemble de la démarche de recherche, la rationalité à l'origine des manipulations effectuées et ses visées. Par conséquent, nous constatons que le questionnement est de nature technique ou méthodologique et que les savoirs en jeu sont notamment des procédures ou des techniques à maîtriser. Ces éléments sont étayés par la caractérisation de l'expérimental qui comprend, selon les cas, des élaborations procédurales ou des tests de paramétrage. Nous pensons que, par ce troisième type d'approche, les élèves ont pu effectuer une exploration de la recherche scientifique par l'intermédiaire de pratiques quotidiennes. Par conséquent, nous considérons qu'il s'agit d'une **exploration de la recherche scientifique de nature ethnographique**.

Une quatrième façon d'envisager l'encadrement des élèves pour la découverte de la recherche scientifique revient à leur faire acquérir l'expérience de la période de problématisation vécue par le doctorant au début de sa propre recherche. Dans ce type d'itinéraire, les élèves s'informent des savoirs en jeu et des questions scientifiques de la thèse, mais ils sont progressivement amenés à se questionner par eux-mêmes afin de proposer une question de recherche originale qui n'est donc pas celle de la recherche de référence. En revanche, les tâches, les instruments, ainsi que les représentations symboliques peuvent appartenir à l'ensemble de ceux utilisés dans la thèse. Dans ce mode, le doctorant ne vise pas une participation à son travail de thèse, mais vise l'expérimentation de la construction des idées et du questionnement. Pour ce faire, une maïeutique incite les élèves à se positionner en scientifiques élaborant eux-mêmes leur recherche. Pour ces raisons, nous avons qualifié cet

itinéraire comme relevant d'une **exploration de la recherche scientifique par l'intermédiaire d'une démarche personnelle de problématisation.**

Notre cadre de pensée nous amène à considérer un cinquième mode d'exploration qui est une démarche de la thèse transposée, dans le but que les élèves puissent se représenter un concept général de la discipline scientifique. Dans ce mode, les manipulations des élèves correspondent à celles du chercheur et utilisent les mêmes instruments matériel et intellectuel, avec les mêmes représentations symboliques. L'orientation donnée aux moments en laboratoire n'est pas spécifiquement la représentation d'une démarche mais celle d'une élaboration théorique. Nous admettons néanmoins que la situation expérimentale met également en jeu des savoirs procéduraux, par l'intermédiaire d'une démarche similaire à la thèse. Nous considérons ce mode comme hybride entre le mode d'exploration par l'intermédiaire d'une démarche, d'une part, et celui d'une exploration par l'intermédiaire de concepts généraux de la thèse, d'autre part. Par conséquent, nous considérons qu'il s'agit d'une **exploration de la recherche scientifique par l'intermédiaire d'une démarche et de concepts généraux de la thèse.**

La sixième approche, inférée du dispositif, possède les aspects du mode de l'exploration par l'intermédiaire d'une démarche et celui de l'exploration ethnographique, dans le sens où il permet aux élèves la représentation d'une démarche de la thèse mettant en œuvre des pratiques quotidiennes. Dans ce type d'exploration, les moments en laboratoire sont consacrés à la réalisation de pratiques appartenant et utiles à la recherche doctorale. L'aménagement de cette dernière permet aux élèves de suivre une démarche entière, initiée par un questionnement de la thèse et conduisant à la production d'un savoir factuel. Les élèves sont intégrés à une expérimentation dont les tâches et activités, les instruments et les représentations symboliques sont identiques à ceux de la recherche doctorale. Nous considérons ce mode comme étant une **exploration de la recherche scientifique par l'intermédiaire d'une démarche de pratiques réelles.**

Tableau 18. Synthèse des modes de l'exploration (modes mixtes inclus)

Modes		Exploration par l'intermédiaire de concepts généraux de la thèse	Exploration par l'intermédiaire d'une démarche de la thèse	Exploration ethnographique
Temporalité		Aucune correspondance	Synthétique	Identique et confondue
Correspondance PSR et Moment	La (les) question(s) d'étude	□/■	□	□
	Les activités et/ou les tâches	□	■	■
	Les instruments matériels et intellectuels	□	■	■
	Les représentations symboliques	□	■	■
	Les savoirs en jeu	Concepts généraux	Procéduraux	Procéduraux, techniques
	Les savoirs produits	□	-	-
Nature de l'expérimental		Élaboration théorique	Élaboration théorique et procédurale	Tests de paramétrage Élaboration procédurale

Modes		Exploration par l'intermédiaire d'une démarche et de concepts généraux	Exploration par l'intermédiaire d'une démarche de pratiques réelles	Exploration par l'intermédiaire d'une démarche personnelle de problématisation
Temporalité		Aucune correspondance	Identique aménagée	Identique décalée
Correspondance PSR et Moment	La (les) question(s) d'étude	□/■	■	□
	Les activités et/ou les tâches	■□	■	■
	Les instruments matériels et intellectuels	■	■	■
	Les représentations symboliques	■	■	■
	Les savoirs en jeu	Procéduraux et généraux	■	■
	Les savoirs produits	-	■	□
Nature de l'expérimental		Élaboration théorique et procédurale	Expérimentation	Expérimentation dans une investigation empirique

(■ : niveau de correspondance élevé ; □ : niveau de correspondance faible ; - : « élément » non représenté)

Figure 27. Les modes didactiques fondamentaux d'exploration de recherche doctorale en laboratoire

EXPLORATION PAR L'INTERMEDIAIRE DE CONCEPTS GENERAUX DE LA THESE

Représentation : sciences en tant que corpus de savoirs institués

But : Favoriser l'acquisition d'un ou plusieurs concept(s) général(aux) de la discipline académique non spécifique de la thèse.

Mise en œuvre : Elaboration théorique sous forme de modélisation analogique qui se démarque des tâches et des activités, des instruments (matériel et intellectuel) et des représentations symboliques de la recherche doctorale

EXPLORATION PAR L'INTERMEDIAIRE D'UNE DEMARCHE DE LA THESE

Représentation : sciences en tant que démarche rationnelle

But : Construire la représentation d'un ensemble cohérent de méthodes d'une phase entière de la recherche doctorale.

Mise en œuvre : Démarche en condensé de la recherche doctorale avec des tâches et des activités, des instruments matériel et intellectuel, des représentations symboliques de la recherche doctorale.

EXPLORATION ETHNOGRAPHIQUE

Représentation : sciences envisagée dans leur instantanéité en tant que processus routinier

But : Construire la représentation des pratiques quotidiennes de la recherche doctorale.

Mise en œuvre : Minimiser le travail de transposition didactique en faisant réaliser par l'élève les tâches ou les activités, avec les mêmes instruments et les mêmes représentations symboliques que le chercheur est sensé utiliser au même moment.

EXPLORATION PAR L'INTERMEDIAIRE D'UNE DEMARCHE PERSONNELLE DE PROBLEMATISATION

Représentation : sciences en tant que processus de tâtonnements

But : L'expérimentation de la construction des idées et du questionnement scientifique de la phase de problématisation de la recherche doctorale.

Mise en œuvre : Inciter les élèves à se positionner en chercheur élaborant eux-mêmes leur recherche, ne pas trop les aider, les laisser réfléchir, apporter des ressources le cas échéant.

5. DISCUSSION

5.1. Des modes d'exploration révélateurs de représentations sur les sciences

Aux termes de cette présentation des différents modes d'exploration, par les élèves, de la recherche scientifique, nous constatons trois points de vue distincts et transversaux existant entre ces différentes « manières » d'envisager les sciences en laboratoire de recherche.

Le premier élément sur lequel nous souhaitons nous focaliser concerne une tension entre les intentions, au niveau du curriculum potentiel, de faire vivre et participer les élèves à la recherche scientifique et la représentation qu'ont les sujets, acteurs du dispositif, sur le domaine scientifique. A savoir que les modes inférés montrent que cette visée est diversement interprétée, par les doctorants, au niveau du curriculum co-produit. Un deuxième domaine transversal porte sur une ambiguïté, constatée dans la façon des doctorants de se représenter les sciences en train de se faire. Celles-ci peuvent également faire l'objet de représentations diversifiées dans la population des chercheurs. Enfin, nous proposons de montrer une troisième dimension source de distinction relative au vécu expérientiel des sujets élèves, lorsque ceux-ci font l'expérience soit de leur propre recherche, soit de celle du doctorant.

5.1.1. Sciences ensemble de savoirs versus sciences en train de se faire

La première distinction nous amène à établir des regroupements entre les quatre premiers modes fondamentaux inférés. Nous pensons que le mode de l'exploration par l'intermédiaire de concepts généraux de la thèse est fondamentalement différent des trois autres modes. Alors que les modes d'exploration ethnographique et ceux réalisés par l'intermédiaire d'une démarche montrent une cohérence avec l'esprit du dispositif d'une approche de la recherche scientifique, en étant fondés sur le domaine de la nature des sciences, nous pensons que le mode d'exploration par l'intermédiaire de concepts généraux serait plutôt basé sur les sciences envisagées en tant que discipline académique instituée. Ce dernier reposerait, peut-être, sur des représentations des doctorants qui envisageraient les sciences comme un ensemble de savoirs établis, plutôt qu'en tant que processus dynamique d'élaboration de savoirs provisoires dans le temps.

5.1.2. Recherche d'instantanéité ou recherche de rationalité

Malgré tout, nous pensons que, même à l'intérieur des modes ancrés dans les sciences en train de se faire, une distinction de représentations existe et qui nécessite un approfondissement conceptuel. Si l'on interroge les acteurs du dispositif de ces types d'explorations en leur demandant si les élèves ont été mis dans la peau d'un chercheur, ils considèrent que oui dans chacun de ces trois modes. Pourtant, les approches sont distinctes, dans le sens où nous considérons que, dans le cas des explorations par l'intermédiaire d'une démarche, il y a une

attention portée sur une recherche de rationalité, alors que dans l'exploration ethnographique, nous sommes plus basés sur le réalisme de l' « instantanéité » des sciences en action. L'exploration ethnographique propose aux élèves de se représenter les sciences en train de se faire dans leur immédiateté, en prenant en compte les imprévus et difficultés techniques ou la nécessité d'étalonnage des appareils. Différemment, les explorations sous la forme d'une démarche montrent plutôt la rationalité des sciences dans une recherche de cohérence et de continuité sur l'ensemble de l'itinéraire. Alors que chaque mode est une exploration des sciences en train de se faire, ces approches différentes mettent en évidence une variété des possibles dans la façon de concevoir les moments en laboratoire et donc de se représenter les sciences en action.

5.1.3. Faire l'expérience de sa propre recherche ou celle du doctorant

Un autre point que nous souhaitons aborder est la tension constatée entre les sciences envisagées comme une recherche extérieure au sujet, ou bien les sciences considérées, comme dans le cas du groupe de Benoît, comme l'entreprise d'une recherche originale, en lien avec la problématique de thèse mais menée par le sujet lui-même ; c'est-à-dire les sciences vues en tant que processus universel de questionnement plutôt qu'assimilé à la recherche doctorale en cours. Les sciences en train de se faire sont-elles à envisager d'un point de vue extérieur au sujet ou bien comme élaborées et menées par le sujet lui-même ? Si l'on fait participer l'élève à la recherche doctorale, celle-ci s'impose de manière externe au sujet qui ne vit pas l'élaboration d'une recherche et tous les processus mentaux à l'œuvre chez le chercheur lors de l'entreprise de recherche. A l'inverse, le vécu expérientiel d'élaboration d'une recherche originale et personnelle par l'élève peut-elle être toujours considérée comme une recherche scientifique et donner à voir le domaine scientifique ?

5.1.4. Une visée prescrite diversement interprétée

Pour résumer ces analyses sur la variété des explorations, inférée dans le dispositif, en lien avec les représentations sur les sciences, nous considérons que la visée émanant du comité de pilotage du dispositif de faire vivre et participer les élèves à la recherche de thèse admet trois interprétations différentes. Pour les cas des groupes d'Olga, de Marie, de Giulia et de Nicolas, les doctorants envisagent les sciences en action à travers le dispositif d'un point de vue **routinier**. Différemment, Julie, Benjamin, Aurélien, Armel, Thomas et Yann-Aurélien se représenteraient la visée institutionnelle comme demandant de faire voir les sciences qui se font par l'intermédiaire d'une démarche **rationnelle**. Enfin, dans le cas du groupe de Benoît, le doctorant est davantage enclin à interpréter les sciences dans le cadre du dispositif comme une démarche de **tâtonnements**. Cet approfondissement conceptuel de la visée du dispositif nous amène à envisager la complexité inhérente au domaine scientifique. Cependant, est-il possible d'imaginer que ces différentes appréciations personnelles de la part des doctorants

soient dues au domaine scientifique dans lequel ils évoluent ? Dans quelle mesure la spécificité et l'épistémologie du domaine de recherche pourraient-elles influencer la nature des explorations des élèves ?

5.2. Les spécificités des domaines de recherche influenceraient les explorations des élèves

Si nous reprenons les résultats obtenus des modes d'exploration en les associant à la discipline de recherche, nous constatons que les explorations physiennes (cas représentés en grisées ci-dessous) sont le plus souvent ethnographiques ou bien portent sur des concepts généraux, alors que les explorations géologues se réalisent le plus souvent sous la forme de démarches. Par exemple, les cas des groupes de Benjamin et de Jean sont les seuls, dans le domaine des sciences physiques, qui se caractérisent par l'exploration d'une démarche. Cependant, dans le cas du groupe de Jean, l'exploration est couplée à la volonté de faire acquérir des concepts généraux de la discipline. Elle n'aboutit pas non plus à l'élaboration de savoirs produits utiles à la thèse comme dans le cas de Benjamin.

- Exploration ethnographique : cas de Marie, Olga, Nicolas et Giulia
- Exploration de concepts généraux : Yann, Kévin
- Exploration de concepts généraux et d'une démarche de la thèse : Jean

- Exploration d'une démarche transposée de la thèse : Aurélien, Armel
- Exploration d'une démarche personnelle de problématisation : Benoît
- Exploration d'une démarche de pratiques réelles : Thomas, Yann-Aurélien, Benjamin

Par conséquent, quelles pourraient être les causes d'un tel déséquilibre constaté parmi l'ensemble des quatorze cas étudiés ?

5.2.1. La préparation des échantillons et la reproduction de phénomène : des facteurs d'influence du travail avec les élèves

Nous proposons de nous focaliser sur la nature des objets ou des phénomènes provenant des recherches de thèse et que les doctorants utilisent ou reproduisent, sous forme de modélisation analogique dans les premiers moments expérimentaux. Dans les cas géologues, sans exhaustivité, on retrouve, en tant qu'éléments utilisés, des carottes de tourbe ou de sédiment chez Benoît et Julie, des basaltes à olivine chez Yann-Aurélien, des échantillons de roches métamorphiques chez Giulia, un piège d'argile pour Thomas et des cartes avec des échantillon de roches chez Armel et Aurélien. Pour les cas des physiiciens, les « éléments » sont des phénomènes tels qu'un plasma chez Marie, des réactions chimiques de combustions chez Jean et Yann, des tourbillons dans le cas de Kévin, ou des objets comme des pastilles

préparées à partir de poudres de matières chez Benjamin et des échantillons de matériaux dans les cas des groupes d'Olga et de Nicolas. Cet « élément » prend donc la forme d'un phénomène dans quatre des cas physiciens, alors que les objets prédominent dans les cas géologues. Par conséquent, nous pensons que la nature de cet « élément » qui sert au cours des moments expérimentaux pourrait influencer la nature des moments en laboratoire. Prenons les cas physiciens de Kévin, de Jean et de Yann. Ces trois doctorants ont proposé aux élèves des itinéraires d'exploration basée sur des concepts généraux de leur discipline de recherche et ils peuvent aussi être regroupés du point de vue des pratiques de recherche. Celles-ci sont caractérisées par une analyse qui porte sur un phénomène qui ne requiert pas de préparation longue ou de montage initial. Par exemple, le tourbillon de la soufflerie chez Kévin, qui est « ensemencé » de particules, ne requiert pas de gestuelle particulière, étant donné l'automatisation des installations et de la PIV. De même, pour les afflux de gaz nécessaires aux combustions dans le moteur ou la bombe sphérique pour Jean et pour Yann. Ainsi, d'après nos résultats, les recherches doctorales qui reproduisent un phénomène dans leur pratique seraient plus sujettes à être transposées sous la forme d'exploration de concepts généraux dans les moments en laboratoire.

Autre élément relatif au délai de confrontation aux instruments matériels sophistiqués, nous pensons que la durée de préparation des échantillons pourrait également conduire à des modes d'exploration différenciés. Ainsi, les cas pour lesquels l'exploration est une démarche de pratiques réelles se démarquent par la particularité de proposer aux élèves une préparation d'échantillons considérée de longue durée. Dans ces cas, les élèves ont pu réaliser des gestes simples, afin de préparer les échantillons qui sont ciblés par les analyses. Par exemple, avec Benjamin, les élèves ont pu réaliser les pastilles de matériau avec des poudres, ou bien avec Julie, Giulia ou Yann-Aurélien, des étapes de broyage ont dues être effectuées afin de concentrer ou extraire la matière d'intérêt, avant d'utiliser les matériels sophistiqués d'analyse. Armel et Aurélien ont pu fonder les moments sur des cartes, des photographies d'affleurement ou des échantillons rocheux de leur recherche. Nous constatons que les cas physiciens de Nicolas et d'Olga, caractérisés par une exploration ethnographique, requièrent aussi la préparation manuelle d'échantillons. Celle-ci correspond à un « découpage » de matériaux manufacturés comme les *wafers* de silicium chez Nicolas, ou bien les céramiques chez Olga, qui se préparent au moyen d'un découpage précis, au cours duquel des règles strictes de propreté doivent être respectées. Néanmoins, les échantillons de ces deux cas physiciens sont préparés en un seul moment en laboratoire dédiés, laissant encore du temps pour leur analyse. Au contraire, chez les cas géologues, la préparation des « objets » est effectuée en plusieurs étapes sur une durée de plusieurs séances en laboratoire. Nous remarquons donc ici une différence entre les deux disciplines de recherche des cas étudiés, puisque, chez les physiciens, la majorité des « éléments », utilisés dans les premiers moments expérimentaux, soit requiert un moment de préparation ou de montage considéré de durée courte, soit n'en requerraient pas du fait de l'automatisation des techniques. Au contraire,

potentiellement, les cas géologues peuvent faire réaliser par les élèves une série d'opérations considérées « rudimentaires » avant une phase d'analyse qui sera ultérieurement effectuée par des instruments sophistiqués.

5.2.2. *Le délai d'utilisation des instruments matériels varie selon la discipline de recherche*

Nous pensons que le délai d'utilisation des matériels sophistiqués d'analyse est également un facteur corrélé à la différence des explorations constatées entre les cas géologues et physiciens. Nous mettons en évidence que dans les moments des cas physiciens, ces délais sont plus courts que dans les cas des géologues, puisque seul le doctorant Benjamin a initié les élèves au spectroscope d'émission infrarouge à chauffage par laser, vers la fin des moments en laboratoire et après la réalisation des échantillons. Dans les autres cas d'Olga, de Marie et de Nicolas, le spectroscope Raman, le graveur plasma ou la machine « *Marguerite* », ont été approchés dès le début. Dans les cas des groupes de Kévin et de Yann, qui n'ont pas utilisé leur outil d'analyse de thèse avec les élèves, nous percevons néanmoins que, dans le cadre de leur recherche et, conformément à ce qui a été dit précédemment de la préparation des « éléments » pour l'analyse, le délai aurait également été court, voire instantané, à partir du moment où ils auraient utilisé, dans les moments en laboratoire, l'instrument qui permet de générer leur phénomène de tourbillon ou de combustion. De même, dans le cas de Yann, le fonctionnement du banc moteur et les afflux des gaz requis pour la combustion sont automatisés et le contrôle du moteur via l'interface informatique se fait directement. Les cas géologues se distinguent de façon importante sur ce point, parce que nous remarquons qu'aucun de ces cas ne se caractérise par une utilisation rapide, après les commencements des moments en laboratoire, des matériels d'analyse. Les capteurs avec Benoît, la chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse avec Julie, la chromatographie liquide haute performance couplée à la détection UV avec Thomas, la microsonde électronique avec Yann-Aurélien, etc. n'ont été utilisés qu'après une longue phase de préparation des échantillons ou de situations expérimentales, explicatives de notions générales, ou de problématisation avec bibliographie. Ce travail préparatoire requiert une gestuelle élémentaire que les élèves peuvent acquérir, *a priori*, rapidement, alliées à l'utilisation d'instruments matériels rudimentaires, tels que des ustensiles de verrerie par exemple. L'utilisation plus tardive des instruments matériels d'analyse est donc la conséquence de la durée nécessaire, consacrée aux manipulations préparatoires. Par conséquent, nous inférons que la plus forte proportion d'explorations de démarche dans les cas géologues est principalement due à la présence plus fréquente, dans ces recherches doctorales, d'un travail préparatoire aux analyses sophistiquées et à l'opportunité de les transposer dans les moments en laboratoire. Ces travaux étant considérés longs et simples par rapport aux capacités habituelles d'un jeune de quinze ans, ils sont plus susceptibles de donner lieu à un ensemble de moments montrant une continuité et une recherche de rationalité, qui se matérialise par un travail de déduction pour la détermination des strates

sédimentaires à extraire dans le cas du groupe de Julie, des manières de concentrer les olivines avec Yann-Aurélien, une façon de concevoir un piège à médicaments dans le cas du groupe de Thomas. Un autre élément qui étaye cette thèse est que ces mêmes doctorants, Julie, Thomas et Yann-Aurélien, ont évoqué des difficultés ou des adaptations nécessaires, à l'issue de la phase d'analyse. Mentionnons ici que Julie a dû terminer seule l'analyse, après l'obtention des graphes à spectre issus de la chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse, Thomas a laissé les élèves interpréter les données à leur niveau et les élèves de Yann-Aurélien ne s'en seraient jamais sortis seuls avec les tableaux des pourcentages en poids d'oxydes, sans son apport théorique sur les équations thermodynamiques. L'utilisation des matériels d'analyse sophistiqués est présente dans chacune des disciplines, dans lesquelles, elle conduit légitimement à des difficultés d'interprétation des données générées, au regard de leur quantité et/ou de la nature des représentations symboliques. Donc, nous pensons que l'utilisation rapide de ces matériels dans les thèses des sciences physiques conduit probablement à des itinéraires d'explorations qui mettent en avant soit des concepts généraux de la discipline de recherche, soit une image ethnographique des sciences, c'est-à-dire telles qu'elles se font à un instant « t ».

Ces résultats nous amène à reconsidérer la caractéristique des instruments matériels et intellectuels de la notion de Pratique sociale de référence, parce que nous considérons maintenant qu'il existe deux types d'instruments matériels aux propriétés opposées, dans le cadre d'une transposition d'une recherche scientifique, dans des moments destinés à des lycéens. Certains instruments matériels sont simples d'utilisation, souvent déjà connus des lycéens et n'exigent pas un long apprentissage. Ils servent lors de la préparation d'échantillons, dans certaines recherches en sciences physiques et, plus communément, en géologie, si l'on se base sur notre étude qualitative. D'autres instruments matériels sont des machines technologiques sophistiquées qui servent à la création artificielle des phénomènes ou à l'analyse des matières ou des phénomènes, et génèrent des représentations symboliques complexes et/ou des données en nombre. Ces instruments matériels montrent une image de la phénoménotechnique des sciences en action que les élèves ne peuvent pas se représenter en contexte scolaire. Pour avoir une vision synthétique des comparaisons effectuées entre les deux disciplines de recherche et leurs spécificités transposées dans les moments en laboratoire, nous proposons au lecteur la consultation du tableau ci-après (Tableau 19).

Le fait que, chez les cas physiciens, les éléments soumis à l'analyse soient des phénomènes et que les étapes préparatoires aux analyses soient plus précoces, confortent l'idée d'une influence de la discipline de recherche sur la nature des explorations. Dans le domaine des sciences physiques, pour les cas étudiés, les instruments matériels sophistiqués sont imposés rapidement, alors qu'ils viennent plus tardivement dans les recherches géologiques, après une longue phase pour extirper, de la matière brute naturelle, le matériau voulu. Les sciences physiques travaillent sur des matériaux fabriqués ou des phénomènes générés artificiellement

et les chercheurs ne retirent aucune information de leur observation uniquement à l'œil nu. Différemment, la matière brute d'une majorité des cas géologues - la roche - doit nécessairement être recherchée, collectée, échantillonnée, analysée et éventuellement broyée ou découpée (cas de Julie, Yann-Aurélien, Giulia, Aurélien et Armel), afin de débiter éventuellement un protocole conduisant à concentrer la matière d'intérêt (cas de Julie, Yann-Aurélien, Giulia). Par conséquent, ce point de vue des résultats apparaît donc conforter la position, selon laquelle la nature de la thèse doctorale, elle-même reliée aux spécificités de son domaine de recherche, est un facteur d'influence majeur sur la nature des moments en laboratoire. Mais comment la spécificité et l'épistémologie du domaine de recherche se déployant dans chacune des recherches doctorales affiliées peuvent-elles exercer une influence sur la façon de concevoir les itinéraires d'explorations des élèves ?

	Objets ou tâches de la thèse des premiers moments expérimentaux	Préparation des échantillons ou montage	Instrument sophistiqué d'analyse	Délai d'utilisation d'un instrument sophistiqué
Benjamin	Poudres pour la préparation de pastilles de matériaux	Requise longue	Spectroscopie d'émission infrarouge à chauffage par laser	Long
Olga	Echantillon et spectroscope Raman	Requise rapide	Spectroscopie Raman	Court
Kévin	-	Non requise, reproduction de tourbillons	PIV	Instantané
Jean	Banc moteur	Non requise, reproduction de combustions	Capteurs du banc moteur	Instantané
Yann	-	Non requise, reproduction de combustions	Capteurs, ombroscopie	Instantané
Nicolas	Echantillon et graveur plasma	Requise rapide	MEB	Court
Marie	Machine « Marguerite »	Non requise	inclus dans la machine « Marguerite »	Court
Benoît	Echantillons de Carottes de tourbes, Capteurs	Non requise	Spectromètre à infrarouges	Long
Julie	Broyage pour concentrer ou extraire la matière d'intérêt	Requise longue	Chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse	Long
Thomas	Fabrication d'un piège d'argile à médicament avec verrerie	Requise longue	Chromatographie liquide haute performance couplée à la détection UV	Long
Yann-Aurélien	Broyage pour concentrer ou extraire la matière d'intérêt	Requise longue	Microsonde électronique	Long
Giulia	Broyage pour concentrer ou extraire la matière d'intérêt	Requise longue	MEB, Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier	Long
Aurélien	Cartes, éch. Roches, lames dessins, boussole, etc.	Non requise si étude à l'œil nu	Anisotropie de susceptibilité magnétique	Long
Armel	Cartes, éch. Roches, lames, dessins, etc.	Non requise si étude à l'œil nu	-	-

Tableau 19. Comparaison des disciplines de recherche selon les objets ou tâches des premiers moments expérimentaux, la durée de préparation des échantillons et le délai d'utilisation d'un instrument sophistiqué (« - » : non réalisé).

5.2.3. *La prospection de terrain est considérée indispensable au commencement d'une recherche par les doctorants géologues...*

En géologie, l'observation directe est utilisée à l'échelle d'un paysage, d'une roche, etc. Ainsi, alors que les échantillons, tels que les disques de silicium, les pastilles ou les phénomènes tels que les combustions ou tourbillon, en sciences physiques, ne sont pas analysés scientifiquement à l'œil nu, tous les échantillons de roches présentent un intérêt pour les chercheurs Julie, Yann-Aurélien, Giulia, Aurélien et Armel, qui les dessinent et les caractérisent dans un premier temps, au niveau macroscopique. Quels sont les éléments centraux des recherches géologiques ? Aurélien considère : « *les sept séances que j'ai faites là justement c'est le géologue de terrain ce qu'il fait avant pendant sur le terrain* » (A 283). De même, un élève d'Armel déclare : « *on a vu comment fallait faire comment il préparait son expédition sur le terrain et tout ça et c'était super intéressant* » (B 85). Julie et Benoît travaillent à partir de carottes de tourbes de la tourbière de la Guette et de carottes de sédiments du bassin de Renne. Yann-Aurélien utilise des basaltes qu'il a récupérés à l'île de la Réunion. Les recherches de Giulia utilisent des roches métamorphiques qui proviennent du Japon. Thomas fabrique des pièges pour molécules médicamenteuses à partir d'argiles naturelles. Par conséquent, un élément fédérateur, retrouvé chez ces géologues, est l'importance du terrain, comme l'atteste les extraits d'entretiens ci-dessous.

Benoît	« <i>on fait un modèle mais le modèle c'est toujours le terrain a raison</i> » (D 262)
Julie (entretien 2014)	« <i>en géologie classique on fait du terrain (...) on nous apprend vraiment sous cette manière-là en fait le terrain</i> » (D 332/338)
Yann-Aurélien	« <i>je considère qu'on ne doit jamais faire d'expérimental sans avoir vu le terrain sans être allé sur le terrain sans avoir touché le caillou sans avoir fait un maximum de choses que tu puisses faire sur le caillou</i> » (A 121)
Aurélien	« <i>si on est géologue et si on les emmène pas sur le terrain (...) y a plus trop d'intérêt</i> » (A 333)
Armel	« <i>en géologie le truc l'outil majeur c'est le terrain</i> » (A 53)
Thomas	« <i>on a été sur le terrain</i> » (A 98)

Sarah (doctorante qui a abandonné)	« <i>je me voyais pas continuer trois ans (...) à les amener à comprendre mon sujet si on ne partait pas sur le terrain</i> » (A 258/259)
--	---

Le terrain géologique apparaît comme un fondement épistémologique majeur de la discipline naturaliste (lire aussi Orange, Beorchia, Ducrocq, & Orange, 1999). Le cas de Sarah est éloquent sur ce point, puisque cette doctorante affirme que la décision d'arrêter le dispositif est motivée par l'impossibilité d'emmener les élèves en excursion de terrain. En effet, la base de ces recherches en géologie correspondent à des objets naturels qui, une fois rapportées, offrent des possibilités accessibles de transposition de pratiques sous la forme de démarches, dans le cadre des moments en laboratoire. Les savoirs élaborés par les doctorants entrent dans les domaines scientifiques théoriques qui sont la subduction pour Aurélien et Giulia, le magmatisme pour Yann-Aurélien, les modèles climatiques pour Julie et Benoît. En ce qui concerne les financements, dans les cas géologues, ils sont majoritairement issus de fonds publics. La thèse d'Armel, codirigée par le BRGM, pourrait néanmoins avoir une implication économique à court terme, étant donné l'intérêt dans la prospection des minerais. De même, pour Thomas qui travaille, à terme, sur l'amélioration des stations d'épuration.

5.2.4. ...Les instruments matériels sophistiqués sont imposés par des industriels chez les cas physiciens

A l'inverse, les cas physiciens sont très majoritairement en association avec des industriels qui participent au financement de leur recherche doctorale. Ainsi, Nicolas travaille régulièrement avec un graveur plasma imposé par *STMicroelectronics* (« *C'est une machine plutôt industrielle que j'ai en fait (...) je suis avec des industriels* », E 34/183). De même, la machine « *Marguerite* », construite puis paramétrée par Marie, est née d'un projet avec des industriels pour une éventuelle commercialisation (« *Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre d'un projet industriel...* », manuscrit de thèse p. 16). Kévin contrôle des tourbillons d'air en soufflerie pour une application en chaînes de production, dans l'industrie agroalimentaire (A 4). Yann étudie la combustion, également dans le cadre d'un projet bénéficiant de fonds européens, en lien avec des organismes publics et des entreprises (Manuscrit de thèse p. 11). Jean utilise un moteur PSA DW10 donné par l'industriel (H 2). Benjamin possède une clause de confidentialité dans sa thèse, étant donné ses relations avec l'entreprise verrière de Saint Gobain (A 4). La thèse d'Olga est indissociable du spectromètre Raman parce qu'elle porte sur le traitement des données générées par l'appareil. Nous constatons que l'univers des recherches doctorales des physiciens que nous avons étudiées mobilise l'utilisation d'instruments sophistiqués et met en évidence une alliance avec les industriels et des liens forts entre sciences physiques et applications technologiques.

5.2.5. Des raisonnements différents ?

La présence des phénomènes, dans la majorité des thèses de sciences physiques, semble exiger une manière de les appréhender différente et moins spontanée. Ces grandes particularités des deux disciplines de recherche semblent, à leur manière, influencer sur la destinée des itinéraires d'exploration en laboratoire. C'est du moins l'opinion de Marie qui évoque une réflexion qui a émergé au cours du processus de conception des moments en laboratoire.

Marie	<i>« Le souci c'est que ce qu'on fait nous c'est pas du tout intuitif donc c'est pas une pierre enfin une roche enfin ça a rien d'intuitif c'est vraiment bah c'est un peu magique pour ceux qui ne connaissent pas » (A 40)</i>
-------	--

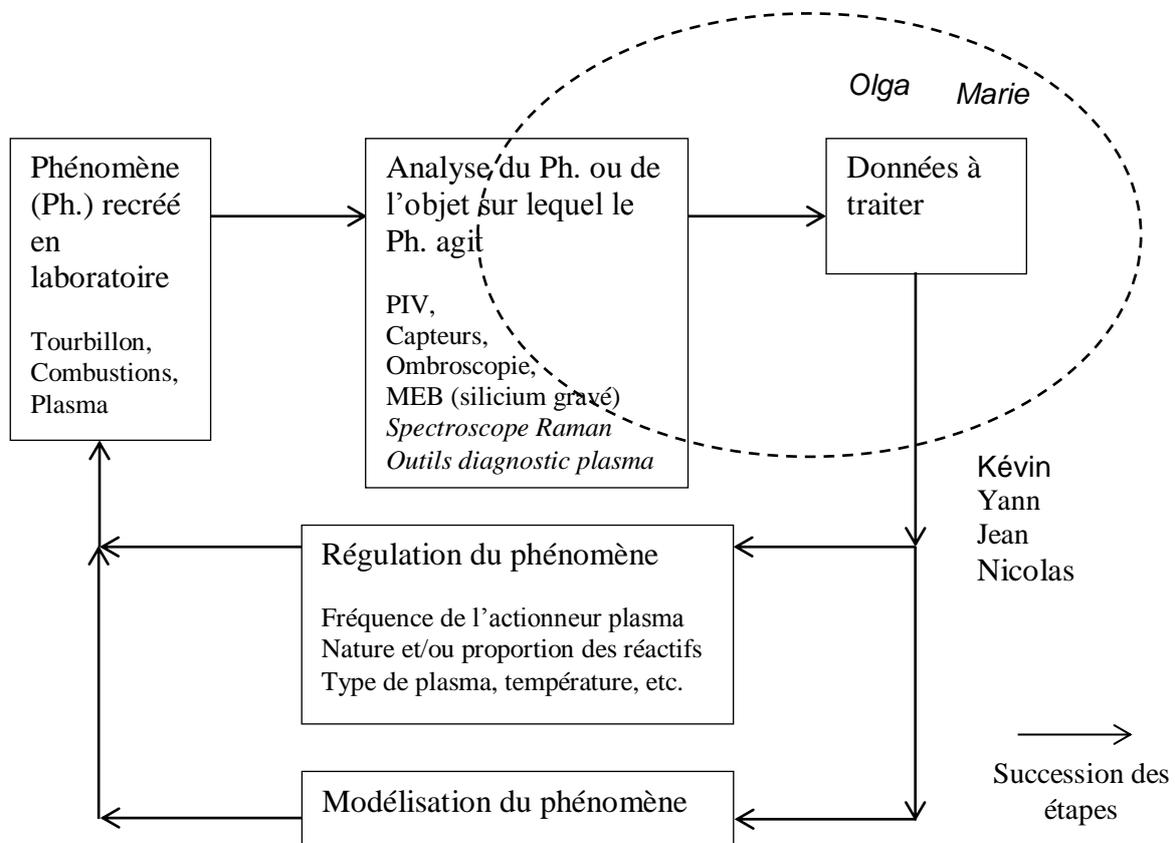
Les phénomènes sont-ils moins présents en géologie ? Nous ne le pensons pas, puisque toutes les thèses géologiques sont basées sur une thématique générale qui correspond à un ou plusieurs phénomènes. Des réactions chimiques de la matière vivante chez Benoît, au changements climatiques, en passant par le volcanisme de point chaud pour Yann-Aurélien, la subduction et ses épisodes tardifs, respectivement, pour les cas de Giulia, d'Armel et d'Aurélien, sont des phénomènes parfois très lents, impossibles à visualiser dans leur ensemble, à l'échelle d'une vie humaine. Mais alors, quelles différences existe-t-il entre les phénomènes des recherches en géologie et celles en sciences physiques ? Nous avançons que la confrontation aux éléments naturels, en sciences de la Terre, est la cause de la nécessité d'extraction de la matière désirée, à des fins d'analyse. Une différence fondamentale, entre les thèses, des domaines de sciences physiques et de géologie comparées ici, est que dans le cadre des recherches en géologie, les chercheurs Benoît, Julie, Yann-Aurélien, Giulia, Aurélien et Armel essaient d'expliquer et de retracer un scénario de phénomène naturel, à partir des « objets » engendrés. A l'inverse, les phénomènes des sciences physiques sont recréés en laboratoire. Nous sommes dans un cadre artificiel qui exige la reproduction du phénomène, avant de pouvoir débiter les recherches et les analyses. Par exemple, le tourbillon chez Kévin, les réactions chimiques de combustion chez Jean et chez Yann, les interactions entre le plasma et le silicium chez Nicolas, l'adsorption chez Thomas sont des phénomènes envisagés de façon artificielle. Les réactions chimiques chez Benoît, l'évolution du climat chez Julie, le volcanisme pour Yann-Aurélien et la subduction chez Giulia, Aurélien et Armel sont des phénomènes appréhendés dans le contexte naturel. A noter que toutes les thèses des physiciens, précédemment évoquées, étudient des phénomènes générés par l'homme, alors que chez tous les géologues, à l'exception de Thomas, étudient des phénomènes dans le milieu naturel. Les phénomènes en sciences physiques, générés aux

débuts des recherches, imposent aux élèves leur compréhension et la confrontation à des instruments matériels sophistiqués. En géologie, des phénomènes sont également reproduits, mais ces étapes interviennent plus tardivement. Les chercheurs Giulia, Yann-Aurélien, Aurélien ont deux approches dans leur recherche : d'abord une approche analytique basée sur les données de terrain et ensuite une approche expérimentale de reproduction des conditions de pression et de température, afin de comparer les résultats obtenus sur les échantillons naturels et artificiels. Armel se base sur les données de la littérature obtenues à partir du terrain, afin de modéliser le scénario de subduction et prévoir à terme la localisation des minéralisations. Les physiciens Yann, Nicolas et Benjamin ont également l'objectif, dans une seconde partie, de modéliser les phénomènes étudiés.

Nous mettons en évidence quatre visions d'ensemble des phases des recherches qui ont traits aux moments en laboratoire proposés : des recherches axées sur des traitements de données, d'autres tentant de reconstituer un phénomène par les objets naturels, ainsi que des recherches centrées sur la régulation d'un phénomène ou de l'objet. Nous entendons par régulation d'un phénomène ou de l'objet, les modifications de paramètres, prévues dans la recherche, qui influencent la nature du phénomène reproduit ou celle de l'objet fabriqué. Par exemple, la richesse en carburant fait varier la combustion dans le moteur dans le cas de Jean et la nature chimique des pastilles de matériaux, chez Benjamin, impacte les propriétés optiques et physiques mesurées.

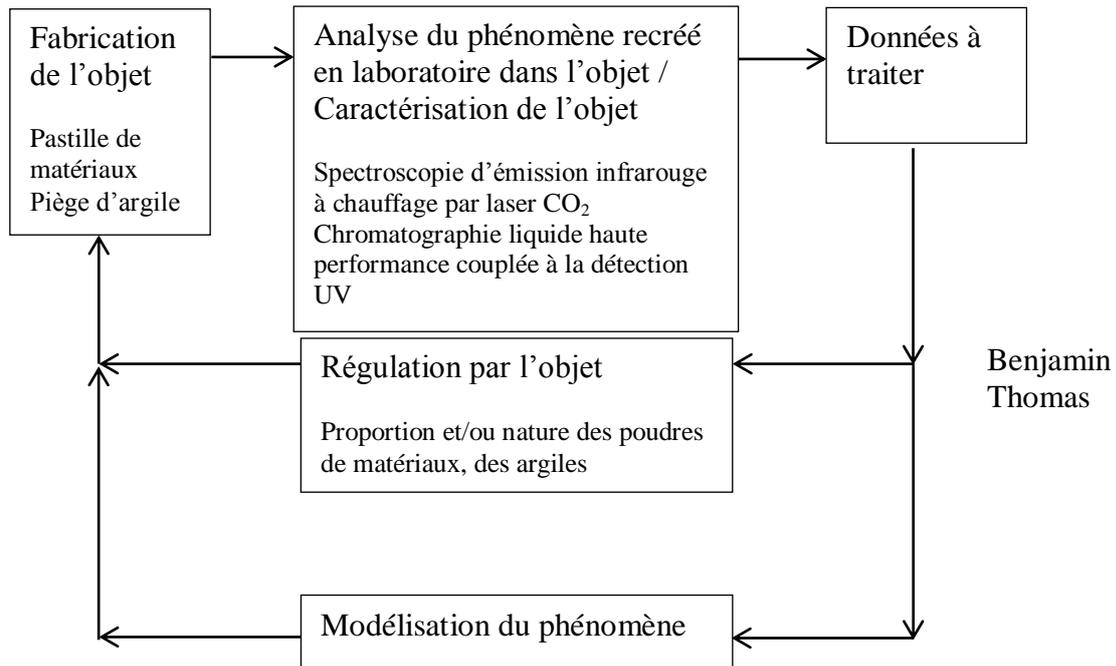
Dans le cas du groupe d'Olga, l'objectif est le développement d'une méthodologie de traitement des données issues de la spectroscopie Raman. Dans le cas du groupe de Marie, il s'agit de traiter et de croiser les données issues de quatre méthodes technologiques différentes, pour la métrologie des nanomatériaux. Les facteurs complexifiant ces recherches sont les nombreuses données issues de la spectroscopie, ainsi que la diversité des matériels de diagnostics et des méthodes, permettant d'aboutir à une caractérisation des nanomatériaux. Par conséquent, le cœur de la recherche est davantage centré sur des traitements de données que sur le matériau analysé au spectroscope ou bien le plasma généré. En revanche, pour les recherches de Kévin, de Yann, de Jean et de Nicolas, le thème central des thèses correspond à un phénomène. La démarche d'ensemble débute par la reproduction d'un phénomène en laboratoire qui est analysé et les données générées traitées. Les résultats obtenus permettent une régulation du phénomène qui sera de nouveau reproduit jusqu'à l'obtention de l'effet escompté. Parallèlement, les doctorants Nicolas et Yann modélisent éventuellement le phénomène, par des outils informatiques prédictifs dont le développement se poursuit éventuellement grâce aux résultats de la thèse.

Figure 28. Démarche d'ensemble pour les recherches doctorales, en sciences physiques d'Olga, Marie par traitement de données et de Kévin, Yann, Jean, Nicolas sur la régulation d'un phénomène.



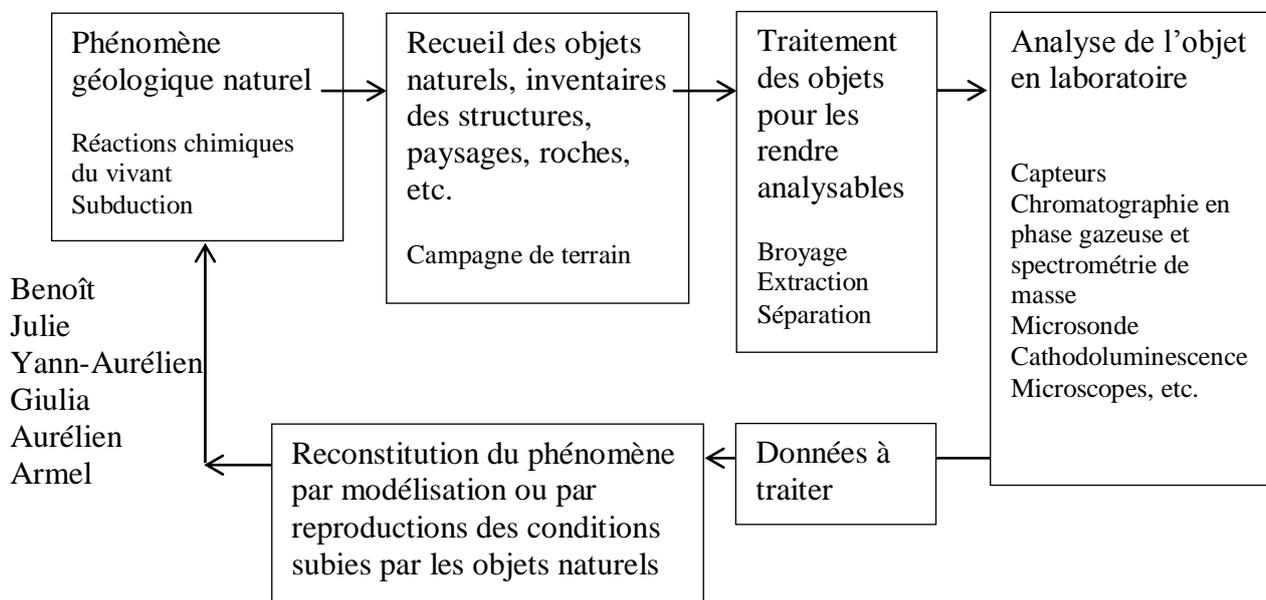
Pour les doctorants Benjamin et Thomas, la démarche débute par la fabrication d'un objet qui est analysé au moyen de matériels sophistiqués. Les données sont traitées à partir des représentations symboliques obtenues et les chercheurs effectuent ensuite une régulation par l'objet. Benjamin développe en parallèle un logiciel de modélisation du phénomène.

Figure 29. Démarche d'ensemble pour les recherches des cas de Benjamin et de Thomas : régulation par l'objet.



Pour les six cas géologues restant, la démarche démarre par un recueil d'objets naturels et l'inventaire des structures du terrain géologique. Le travail de photographie, d'échantillonnage permet ensuite, une fois au laboratoire, le travail sur la matière afin de rendre les objets naturels analysables, éventuellement par des instruments matériels sophistiqués. Les données sont traitées afin de les comparer avec des reproductions des conditions subies par les objets naturels, dans les presses ou des fours à hautes températures, ou à une reconstitution du phénomène par de la modélisation.

Figure 30. Démarche générale de recherche pour les six cas géologues de Benoît, Julie, Yann-Aurélien, Giulia, Aurélien et Armel : reconstitution du phénomène à partir des objets naturels.



Cas	Entrée de la démarche de la thèse en lien avec les moments	Mode de l'exploration des élèves
Benjamin	Objet à fabriquer	Démarche de pratiques réelles
Olga	Données à traiter	ethnographique
Kévin	Tourbillons	Concepts généraux de la thèse
Jean	Combustion	Démarche et concepts généraux de la thèse
Yann	Combustion	Concepts généraux de la thèse
Nicolas	Plasma	ethnographique
Marie	Données à traiter	ethnographique
Benoît	carottes de tourbe	Démarche de la thèse
Julie	carotte de sédiments	Démarche de pratiques réelles
Aurélien	roches, cartes, images	Démarche de la thèse
Armel	roches, cartes, images	Démarche de la thèse
Thomas	Objet à fabriquer	Démarche de pratiques réelles
Yann-Aurélien	basalte à olivines	Démarche de pratiques réelles
Giulia	roches	ethnographique

Tableau 20. Correspondance entre l'entame de la démarche de la thèse transposée dans les moments et le mode d'exploration.

Pour conclure cette discussion, nous pensons que la nature de la thèse est un élément impactant de façon majeure le devenir des moments en laboratoire, au regard des éléments analysés, à savoir la correspondance avec les caractéristiques de la recherche de référence et la nature de l'exploration des élèves. Nous mettons en évidence que les thèses en sciences physiques sont davantage centrées sur des phénomènes qui imposent, d'emblée, la nécessité de les recréer artificiellement, par l'intermédiaire d'un appareillage technologique sophistiqué. Dans deux cas axés sur des traitements de données, ce sont les lois physiques ou les mathématiques qui prédominent. Ces particularités, retrouvées dans six thèses de notre étude, conduisent à une transposition considérée délicate des caractéristiques de la recherche doctorale dans les moments en laboratoire et confrontent rapidement les élèves à des caractéristiques pointues des recherches doctorales. Dans ces cas, le doctorant peut décider de ne pas aborder sa thèse, en proposant, par exemple, aux élèves, des situations de modélisation analogique. Il peut aussi demander aux élèves des tâches techniques autour de l'outil. Les thèses en géologie comprennent, le plus souvent, une campagne de terrain d'échantillonnages d'objets naturels, à partir desquels il est possible d'effectuer des manipulations facilement transposables dans les moments en laboratoire. Par conséquent, nous inférons que la discipline de recherche de par son histoire, ses fondements épistémologiques, ses objets et phénomènes d'étude, a une influence sur l'élaboration des moments en laboratoire et les explorations résultantes. Néanmoins, le physicien Benjamin et le géologue Thomas effectuent, tous les deux, une régulation par l'objet, dans leur thèse. L'influence de la discipline de recherche se matérialise, indirectement, par l'emploi de routines et de démarches plus ou moins systématisées, qui confère aux thèses les points communs cités précédemment,

mais ne peut conformer l'ensemble des thèses, ni l'ensemble des démarches scientifiques, à l'intérieur d'une thèse.

Notre étude se borne ici aux phases qui sont reliées aux moments en laboratoire et nous n'avons pas tenu compte, par exemple, des aspects de modélisation numérique 4-D chez Armel ou de reconstitution expérimentale au moyen de l'autoclave et des presses de Paterson, de Griggs, dans les cas de Giulia, de Yann-Aurélien et d'Aurélien. Orange *et al.* (1999) constatent, à partir de l'entretien de Christian Chopin, chercheur en pétrologie et minéralogie, que le géologue combine deux formes de relation au réel avec un « réel de terrain » et un « réel de laboratoire ». Nous retrouvons également cette association dans les thèses étudiées. Nous devons néanmoins ajouter, selon les thèses, la relation à un réel modélisé ou simulé, au moyen d'outils numériques. Par conséquent, bien que les géologues combinent au moins deux des trois aspects d'un réel de terrain, de laboratoire et de simulation, dans leurs recherches, les élèves n'ont pu se représenter les recherches géologiques, pour cette première année d'immersion, qu'au travers un seul des aspects : celui du réel de terrain. Néanmoins, cela ne présage d'aucune manière qu'ils n'aborderont pas les autres aspects au cours de leurs deux autres années d'exploration restantes dans le cadre d'EDIFICE.

6. BILAN DU SEPTIEME CHAPITRE

A partir de notre étude, basée sur une analyse par complémentarité et recoupement des divers éléments du corpus pour 14 cas du dispositif, nous inférons six modes distincts d'exploration de la recherche doctorale : pour deux cas l'exploration se focalise sur l'acquisition de concepts généraux de la thèse et dans deux autres cas, les moments en laboratoire sont l'occasion de transposer de manière synthétique une démarche de la recherche doctorale. Dans un cas, les élèves sont conduits à entreprendre une démarche personnelle de problématisation. Pour quatre autres cas, les élèves explorent la recherche à un instant « t » de manière ethnographique sans qu'il y ait adaptation de celle-ci. Deux modes mixtes sont également caractérisés lorsque les élèves explorent une démarche de manière ethnographique dans quatre cas et lorsqu'ils entreprennent une démarche de la recherche doctorale afin d'acquérir des concepts propres de la discipline générale de recherche pour un cas. Par conséquent, nous inférons que dans douze cas, les élèves ont exploré les sciences en action, alors que dans les deux cas ils ont exploré des concepts spécifiques d'une discipline académique instituée.

Nous inférons également que les spécificités de la recherche doctorale influencent la nature des explorations des élèves. Tout d'abord, lorsque les recherches doctorales présentent dans leurs pratiques une phase de préparation d'échantillons ne requérant pas d'apprentissage spécifique de la part des élèves, les explorations se font le plus souvent par l'intermédiaire d'une démarche. A contrario, lorsqu'il est question de reproduire un phénomène éventuellement caché, les explorations sont de nature ethnographique ou bien portent sur des concepts généraux de la discipline de recherche. Il semblerait que l'abord d'un instrument sophistiqué, rapidement au cours de l'itinéraire, soit un agent déterminant la nature de l'exploration. De ce point de vue, les recherches physiennes étudiées étant davantage centrées sur des instruments sophistiqués, elles permettent le plus souvent des explorations de concepts généraux ou ethnographiques. A contrario, les recherches géologues étudiées ici, exigeant une phase de préparation d'échantillons, favorisent des explorations de démarches.

Par extension, l'épistémologie des disciplines de recherche peut expliquer des différences constatées dans 14 cas, si l'on considère que le terrain est une étape fondamentale pour les géologues qui tentent de reconstituer un phénomène géologique très lent, par un travail de préparation souvent accessible aux élèves sur les objets naturels. A l'inverse, dans les recherches physiennes qui se font souvent en partenariat avec des industriels, une machine sophistiquée reproduit expérimentalement un phénomène dont l'immédiateté de réalisation peut ne pas être propice à un travail préparatoire qui serait réalisable par les élèves eux-mêmes. Nous avançons donc que les explorations sont influencées par la nature des recherches doctorales, elles-mêmes tributaires de l'épistémologie de la discipline de recherche.

CHAPITRE 8

DES EXPLORATIONS EVOLUANT DANS UNE DYNAMIQUE DE PARTENARIAT EN INTERACTION AVEC LES ACTEURS EN PRESENCE

L'organisation partenariale du dispositif EDIFICE nous conduit à étudier comment les itinéraires d'exploration évoluent, en envisageant notamment les influences exercées par les acteurs réunis dans les laboratoires. Au titre du partenariat, le dispositif orléanais est le « lieu » d' « *actions communes négociées entre des parties hétérogènes qui construisent un compromis et reconnaissent la possibilité d'un conflit* » (Zay, 1994, p. 73). Ces « parties hétérogènes » correspondent aux différents types d'acteurs réunis dans les laboratoires qui sont, pour chaque cas de notre étude, un doctorant, des élèves et un enseignant accompagnateur. Même si, de manière officielle, les doctorants sont titulaires de l'encadrement des élèves et du choix de l'élaboration des moments en laboratoire, ces derniers peuvent être amenés à subir des influences de la part d'élèves et/ou de l'enseignant accompagnateur, lesquelles sont susceptibles d'impacter, à des degrés divers, la mise en œuvre effective du dispositif. Par conséquent, les divers échanges interpersonnels entre ces acteurs peuvent donner lieu à des négociations, des tensions, voire des conflits relatifs aux façons d'envisager les moments en laboratoire des élèves. De manière concomitante, ce processus dynamique d'interactions conduit également les acteurs à endosser un rôle, en tant que partenaire dans le dispositif. Dans ce contexte de partenariat, nous nous interrogeons sur les rôles joués par les acteurs et les influences qu'elles ont pu exercer sur l'exploration des élèves. En ce sens, nous considérons les périodes en laboratoire comme étant génératrices de

co-constructions progressives au niveau de l'exploration des élèves. Comme nous l'avons vu du point de vue des élèves, qui tirent des enseignements et un enrichissement culturel indéniable de leurs contacts réguliers et des échanges répétés avec leur doctorant, ces derniers ne peuvent-ils pas également bénéficier, en retour, d'enseignements de cette association avec de jeunes lycéens, lorsqu'il s'agit de les amener à se représenter la recherche scientifique ? Donc nous nous interrogeons également sur la présence d'une exploration des doctorants faite de questionnements en ce qui concerne la manière de prendre en charge les élèves et de concevoir les moments en laboratoire. Comment les doctorants verbalisent-ils leur exploration pour l'éducation aux sciences lors de cette expérience d'encadrement ? Comment les acteurs parviennent-ils à trouver leur rôle à l'intérieur du groupe ? Dans quelle mesure l'évolution des itinéraires d'exploration est-elle sujette à l'influence des différents acteurs impliqués dans les laboratoires ? Nous proposons de mettre en évidence, dans un premier temps, comment la réunion des acteurs s'accompagne, dès le début des rencontres, de prises de conscience d'ajustements nécessaires, afin de prendre en compte le niveau scientifique des lycéens. Dans un second temps, de manière plus directe, nous constatons l'intervention d'enseignants tentant d'infléchir des itinéraires d'exploration, en particulier avec des moments comportant davantage d'expérimental. La tendance générale que nous retrouvons est une convergence vers davantage d'expérimental pour chacun des itinéraires, après des périodes de moments éventuellement dévolus à l'acquisition d'une base théorique générale et qui montrent tout leur intérêt lors de l'abord ultérieur de la recherche doctorale. Mais ces premiers moments théoriques sont également l'objet d'ajustement sitôt les premières rencontres, que nous proposons de développer dans la partie qui suit.

1. DES AJUSTEMENTS JUGES NECESSAIRES AUX PREMIERES RENCONTRES

Les premières rencontres avec les élèves ont été des périodes délicates pour Jean, Thomas, Yann-Aurélien et Giulia, qui pensaient que les élèves avaient un niveau de compréhension plus élevé, vis-à-vis des savoirs attendants à leur sujet de recherche.

Par exemple, Jean constate, dès la première rencontre, une différence de niveau importante et prend conscience de l'adaptation du discours qu'il convient d'apporter, lorsqu'il explique le fonctionnement d'un moteur.

Vincent	<i>est-ce que t'as été surpris de constater le niveau des élèves ?</i>
Jean	<i>Ah ouai y a pff y a un canyon entre les deux c'est énorme (A 25-26)</i>

Dans le cas du groupe de Thomas, le premier moment basé sur la présentation et des

explications de la problématique de la thèse est également source de difficultés de compréhension d'élèves, comme il le raconte :

Thomas	<i>oubli du moins du niveau de seconde et ça je m'en suis flagellé après mais voilà chute du niveau direct (A 155)</i>
--------	--

Le professeur accompagnateur déclare, lui-aussi, avoir assisté à cette difficulté de début d'encadrement et déclare qu'il a dû intervenir pour réexpliquer certaines notions aux élèves.

enseignant accompagnateur	<i>j'avoue que lorsqu'il y avait un mot un peu trop compliqué ou qui me paraissait ne pas être du domaine de l'élève (...) parce que c'est vrai que ils ont parlé de chimie organique ou de choses comme ça que les élèves ne possèdent absolument pas en seconde (B 26)</i>
---------------------------	--

Yann-Aurélien présente son début comme ayant été chaotique, parce que les élèves peinaient à comprendre les explications sur son sujet de thèse. Il met en cause les recommandations prescrites d'EDIFICE, stipulant de ne pas vulgariser les sciences aux élèves, de l'avoir induit en erreur. Cette visée ne peut pas, selon lui, résister à l'épreuve de l'« expérience » auprès des élèves. Il déclare à ce sujet :

Yann-Aurélien	<i>j'ai eu une ou deux séances ou j'ai pataugé (...) on nous a présenté le projet en disant faut surtout pas vulgariser surtout pas que les séances édifice soient des redites ou des cours supplémentaires par rapport à ce qu'ils font en s v t (A 12)</i>
---------------	--

De même, lors de la prise de contact de Giulia avec les élèves et au cours de laquelle elle souhaite les amener à comprendre son sujet de thèse. Mais elle se rend compte qu'ils ne possèdent pas, selon elle, les connaissances de base requises.

Giulia	<i>le problème principal c'était déjà la première fois qu'on s'est vu c'était un peu pour tester leurs connaissances générales et du coup-là c'était évident que ils ne savaient pas ils ne connaissaient pas la différence entre une roche et un sédiment (A 30)</i>
--------	---

Ces premières rencontres, au cours desquelles les élèves sont confrontés aux problématiques de thèse dans les cas de Jean, de Thomas, de Yann-Aurélien et de Giulia, peuvent être associés à ceux de Kévin, de Benoît et d'Aurélien, pour lesquels nous constatons des

difficultés d'attention et/ou de démotivation face à des séances exclusivement théoriques. Par conséquent, ces moments conduisent les doctorants Kévin, Jean, Benoît et Thomas à modifier leur approche, en prenant en compte des négociations d'élèves s'effectuant par l'intermédiaire de demandes verbales directes. En revanche, dans les cas de Giulia, d'Aurélien, de Yann-Aurélien et de Yann, il n'y a pas de négociations verbalisées par les élèves, mais les doctorants prennent conscience, au travers les interactions et la nature des moments proposés initialement, de changements souhaitables. A côté de ces influences exercées par les élèves, nous constatons des négociations plus directes, émanant de l'enseignant accompagnateur, autre partenaire du groupe. Ainsi, dans les cas d'Armel et d'Aurélien, des tensions (Clénet & Gérard, 1994)¹¹⁴ apparaissent à l'issue de demandes d'enseignants accompagnateurs qui militent pour des moments expérimentaux « extraordinaires », en contrastant avec l'ordinaire scolaire. Dans le cas de Yann-Aurélien, un conflit (Clénet & Gérard, 1994 ; Berger, cité par Zay, 1994)¹¹⁵ intervient avec l'enseignante accompagnatrice qui souhaite que les élèves manipulent davantage. Chacune de ces modalités met en exergue le souhait des élèves, et/ou de leurs enseignants accompagnateurs, de voir la mise en place de moments de nature différente. Par conséquent, les doctorants modifient leur approche initiale par la mise en œuvre de moments centrés sur des pratiques expérimentales, que nous considérons se rapprochant d'activités scolaires, lorsque ce sont les élèves qui en sont à l'initiative.

2. DES CHANGEMENTS INDUITS PAR LES ELEVES CONDUISENT A DES MOMENTS EXPERIMENTAUX DE SCOLARISATION

2.1. Par des demandes verbalisées

Kévin a commencé par des cours sur les plasmas, mais les élèves lui ont manifesté leur souhait de changer la nature des moments en laboratoire, en déclarant : « *oh, encore du cours* » (A 5). Cet événement, accompagné de la remarque de l'enseignant de laisser les élèves réfléchir et de ne pas trop les aider (A 13), est l'occasion pour Kévin de mettre en place une pratique expérimentale, à partir d'un de ses souvenirs du lycée (B 97). Dans le cas de Jean, les élèves ont également vivement manifesté leur ennui et désintérêt à ces cours théoriques : « *ils me l'ont dit clairement on n'en a rien à faire ça nous intéresse pas (...)* quand ils m'ont dit bon la théorie heu ça nous intéresse pas trop bon bah j'ai fait voilà on a à disposition des bancs moteur diesel des bancs moteurs essence (A 14/42). Par conséquent, il a utilisé des fiches de travaux pratiques universitaires préexistantes (« *Du coup j'ai plutôt orienté ça après sur un cadre applicatif où on a essayé de mettre en place un tp de banc*

¹¹⁴ Terme extrait du concept de partenariat chez Clénet et Gérard (1994) : ici, divergence de point de vue verbalisée, entre la mise en œuvre effective conduite par le doctorant et celle imaginée par l'enseignant accompagnateur.

¹¹⁵ Terme extrait du concept de partenariat chez Clénet et Gérard (1994) et Berger (cité par Zay, 1994) : ici, désaccord verbalisé annonçant une mésentente entre les partenaires en conflit.

moteur pour qu'ils puissent manipuler », A 16), mais le chercheur exprime le regret de ne pas être allé jusqu'au bout de la théorie (A 46). Dans le cas du groupe de Thomas, nous constatons que les premiers moments, basés sur la présentation et des explications de la problématique de la thèse, sont également la cause de négociations, qui conduisent à la prise de conscience de la simplification à opérer pour se mettre au niveau de la compréhension des élèves.

Vincent	<i>est-ce que t'as eu des remarques d'élèves qu'auraient pu aussi infléchir ta pratique ou pas ?</i>
Thomas	<i>Bah oui oui moi j'en ai eu une toute simple à la toute première séance j'ai parlé pendant quarante-cinq minutes et on m'a dit à la fin j'ai rien compris (...) mais je leur suis reconnaissant de m'avoir prévenu directement (A 150-155)</i>

Cet événement va conduire Thomas à revoir l'organisation des moments des élèves, en leur proposant plutôt des analyses d'articles de presse grand public, alliées à des explications de notions générales (A 32). Pour le cas de Benoît, l'enseignante accompagnatrice évoque le caractère long de la phase de problématisation, en mentionnant : « *ils ont beaucoup réfléchi sur quelle problématique ils allaient choisir* » (B 36). Aussi, un élément que verbalise l'enseignante est l'ennui ressenti par les élèves, en affirmant : « *Ça a pris beaucoup de temps les élèves étaient un petit peu déçus d'ailleurs pendant les premières séances* » (B 111). Ce constat est également ressenti par Benoît qui avoue qu'il : « *y a eu une période au départ où ils en avaient un peu marre de rester dans les salles* » (A 151). Les élèves ont ensuite fait savoir au doctorant qu'ils souhaiteraient être confrontés à des pratiques expérimentales : « *si on pouvait passer à la pratique quand même si y a eu quand même à un moment cette demande* » (A 157). Cette requête fait, par conséquent, infléchir l'encadrement de Benoît qui les amène à une expérimentation basée sur le questionnement initié des élèves à partir des moments consacrés à la problématisation :

Benoît	<i>je me suis dit que si ils avaient envie (...) maintenant de toucher un peu l'aspect matériel et l'aspect expérimentation autant leur faire faire le coup d'après donc oui j'ai essayé de changer (A 159)</i>
--------	--

Cette négociation semble avoir modifié la représentation du doctorant sur le dispositif, car celui-ci dit, *a posteriori*, qu'il vaut mieux se focaliser plus rapidement sur une pratique expérimentale (« *pour qu'après les autres années on puisse peut-être se concentrer sur tout de suite embrayer sur une question une expérimentation* », A 26).

2.2. Lors d'une prise de conscience du doctorant

Yann évoque les difficultés rencontrées, lorsqu'il décide d'aborder son sujet de thèse après avoir fourni, au cours des moments des premiers temps en laboratoire, des explications théoriques sur la notion générale de la combustion : « *après je leur parlais de choses je voyais que bah ça allait pas (...) ils ont eu du mal à comprendre (...) j'ai perdu beaucoup de monde* » (A 97/18/20). Il considère qu'ils n'ont pas réussi à comprendre la démarche scientifique requise pour son objectif de thèse (« *la manière d'y arriver ça ils ont lâché* », A 38). Il semblerait que cette difficulté de compréhension soit encore plus présente lorsqu'il aborde son axe de recherche en simulation numérique (« *tout ce qui est informatique simulation modélisation forcément c'est plus obscure* », A 38). L'objectif provisoire de faire comprendre sa problématique de thèse apparaît comme non conciliable avec les visées de se mettre au niveau des élèves et de les intéresser. Par conséquent, il verbalise *a posteriori* : « *on ne peut pas placer la barre trop haut au niveau apprentissage* » (A 72) et il décide rapidement ensuite la mise en œuvre du moment de travaux pratiques de mesure d'une vitesse de flamme (« *c'était vraiment des tp de paillasse faits dans des salles de cours* » (A 60).

Yann n'évoque pas de demande particulière de la part des élèves ou de leur enseignant accompagnateur qui aurait pu exercer directement une influence sur l'encadrement. En revanche, le doctorant déclare plutôt s'être rendu compte de difficultés cognitives non verbalisées. Nous considérons ce changement comme étant un changement induit sans négociation directe, parce qu'il n'est pas la résultante de demandes ou de remarques verbalisées d'acteurs. Mais cette modification serait davantage due à une interprétation, par le doctorant lui-même, en lien avec la manière dont il se représente le rôle des moments en laboratoire comme devant plutôt faire acquérir des notions scientifiques que de concourir à une exploration de la recherche doctorale. Le même type de prise de conscience est observé au cours du premier moment de contact avec les élèves, dans le cas du groupe de Giulia. La doctorante souhaitait, conformément à une de ses visées, amener les élèves à comprendre son sujet de thèse. Cependant, elle se rend compte qu'ils ne possèdent pas, selon elle, les connaissances requises. Par conséquent, la séance d'après, elle décide d'étendre les savoirs abordés aux savoirs généraux de la géologie pour construire des connaissances chez les élèves et les amener progressivement à la compréhension de son sujet de thèse. Là encore, ce changement de trajectoire n'est pas la conséquence de verbalisations, mais celle du ressenti de Giulia qui s'aperçoit des difficultés des élèves (« *j'ai exposé mon sujet de thèse et du coup c'était clair que il y avait pas les connaissances bah c'est normal ils ont pas les connaissances spécifiques de la géologie alors j'ai préparé la première séance avec heu vraiment une introduction générale sur les roches* », A 34-42, lire aussi 30). Yann-Aurélien fait un constat similaire en déclarant : « *les premières séances (...) on est obligé de leur inculquer les notions de base (...) ce qu'on fait c'est un peu du cours (...) parce qu'on est obligé de leur montrer les différents types de roches les processus de formation de ces roches-là* » (A 64). L'autre doctorant Aurélien raconte également l'insatisfaction ressentie à la fin de

la première rencontre avec les élèves. Son ressenti est qu'il n'a pas la bonne manière de procéder.

Aurélien	<i>c'était pas simple du tout parce que (...) on a jamais fait de la pédagogie quoi ça s'apprend pas (...) je ne savais pas trop comment m'y prendre c'était la toute première session et là j'ai senti à la fin qu'ils en avaient marre déjà c'était pas le bon truc (A 10/18)</i>
----------	---

Cette intuition a ensuite été confortée par le manque de retour des élèves lors de la séance suivante, concernant les informations apportées à la première séance, comme le montrent les extraits suivants du discours du chercheur et d'un de ses élèves :

Aurélien	<i>la séance d'après je leur demande ce qu'ils ont appris de leur séance d'avant</i>
Vincent	<i>ils n'ont pas su ?</i>
Aurélien	<i>bah la plupart non (A 26-28)</i>

Vincent	<i>C'était dur cette première phase un peu théorique comme tu dis ? C'était dur de rentrer dans le sujet de la thèse ?</i>
Élève	<i>Bah c'était pas évident parce que en fait ça change tellement de ce qu'on fait habituellement (B 9-10)</i>

D'après Aurélien, cette difficulté est la conséquence d'un manque de maîtrise de notions de géologie générale, sans lesquelles les élèves ne peuvent comprendre et retenir les explications abordées liées à sa problématique de thèse.

Aurélien	<i>je ne m'en rappelais plus des notions qu'on pouvait avoir au lycée et tout ça et je me suis vite aperçu qu'ils n'avaient aucune base qu'il fallait partir de vraiment rien du tout (A 14)</i>
----------	--

Le chercheur modifie donc ensuite sa manière de procéder :

Aurélien	<i>donc c'est là que j'ai changé (...) à la place de faire des cours faire comme des t p quoi au moins ils manipulent ils voient les choses quoi et en même temps ils apprennent (A 34)</i>
----------	---

Par conséquent, nous assistons là à une modification des moments en laboratoire qui, initialement, portaient sur des explications de la problématique de thèse et correspondent ensuite à des explications de notions géologiques générales avec des pratiques

expérimentales. Dans un premier temps au cours de cette deuxième période de l'itinéraire d'exploration, nous considérons ces moments en laboratoire faits d'observations de photographie, de roches et de réalisation de dessins, etc. comme étant, à la fois, proches d'activités scolaires, mais également spécifiques de la démarche du géologue de terrain, comme nous l'avons caractérisée, au cours du deuxième axe d'étude de cette recherche. D'ailleurs, dans la partie suivante, consacrée aux négociations d'enseignants accompagnateurs, nous apprenons plus loin que le doctorant va être sollicité, afin de proposer des activités qui sortent encore plus de l'ordinaire des élèves.

3. DES ENSEIGNANTS ACCOMPAGNATEURS NEGOCIENT POUR DES MOMENTS EXPERIMENTAUX « EXTRAORDINAIRES »

3.1. Avec l'apparition de tensions

Nous constatons des influences ouvertement exercées par l'enseignant accompagnateur, dans le cas du groupe d'Armel. Par rapport à celles-ci, nous remarquons une contradiction entre la nécessité d'adaptation, que requiert la mise en œuvre de moments recréant la démarche du géologue de terrain à l'intérieur d'un laboratoire, et la volonté affichée par l'enseignant accompagnateur d'associer les élèves à une pratique expérimentale de recherche plus éloignée du registre scolaire. Le doctorant est tiraillé entre la nécessité de transposition de ses pratiques de terrain sans le terrain, les exigences de l'enseignant accompagnateur de pratiques expérimentales « extraordinaires » et le maintien d'une attitude positive des élèves envers les moments qu'il met en place. Une tension palpable concerne ici les trois types d'acteurs. Elle est évoquée, par le doctorant, dans l'extrait qui suit :

Armel	<i>pour arriver à les tenir en haleine les lycéens c'est pas évident (...) de trouver une démarche qui se suit sans terrain où y a quand même un certain nombre de séances qu'il faut préparer donc avoir de l'imagination (...) les profs de lycée (...) ils veulent manipuler ils veulent voir manipuler beaucoup de manip parce que on a eu des reproches du genre ça on peut le faire en cours donc on va dire en salle de t p donc il faut aller plus loin ça c'est pas évident toujours (A 293/337)</i>
-------	---

Cette influence est également retrouvée dans le cas d'Aurélien. Celui-ci mentionne une demande d'activités expérimentales par l'enseignant accompagnateur et indirectement de la part des élèves :

Vincent	[les élèves] <i>ils ont dit aux enseignants ce</i>
---------	--

	<i>serait bien qu'on manipule plus ? (...) les enseignants ils sont venus vous voir pour vous dire ?</i>
Aurélien	<i>non pas de vive voix c'était par mail (A 252/254/257)</i>

Ces demandes ont pour effet de modifier le registre des tâches, en passant d'activités qui, tout en reproduisant la démarche de terrain du géologue, s'avèrent proches du contexte scolaire, à des activités de mesures des déformations ductiles d'étirement au moyen de la boussole-clinomètre. A partir de ce moment-là, les savoirs en jeu sur les linéations et les foliations et ceux procéduraux d'utilisation de l'instrument, ainsi que le report des figurés dédiés sur la carte géologique contribuent à l'élaboration de moments plus spécialisés de la géologie de terrain.

3.2. Avec la survenue d'un conflit

Nous avons déjà évoqué le cas du groupe de Yann-Aurélien, par rapport à une prise de conscience relative à un début d'encadrement considéré « chaotique ». Il se caractérise également par la survenue d'un conflit avec l'enseignante accompagnatrice, portant sur la nature des moments en laboratoire qu'il convient d'élaborer pour les élèves. Deux visées s'opposent : d'un côté, le doctorant considère que l'expérimental ne doit pas intervenir trop rapidement car, pour lui, il est fondamental, dans un premier temps, que les élèves s'approprient des bases en géologie avant de manipuler.

Yann-Aurélien	<i>je me souviens de discussions que j'ai eues avec madame (...) où elle disait ils sont là pour expérimenter expérimenter (...) moi personnellement j'ai pas envie de les faire travailler là-dessus parce que elles savent pas encore ce qu'il y aura derrière et heu faire une expérimentation comme ça en autoclave si tu comprends pas ce qui se passe à l'intérieur l'autoclave quand t'es devant pendant que t'es en train de faire monter en température voilà t'es devant une machine tu tournes des boutons (A 88/96)</i>
---------------	--

De son côté, l'enseignant accompagnatrice considère que les élèves sont dans le laboratoire pour manipuler. Elle entre, par conséquent, en conflit avec Yann-Aurélien, comme elle l'indique dans l'extrait suivant :

Enseignante accompagnatrice	<i>on a eu des séances où ils n'ont pas manipulé ils sont restés assis pendant trois heures sans bouger heu bon une fois ça va deux fois ça va</i>
-----------------------------	--

	<i>mais la troisième fois ça a été de trop donc là il a fallu un peu mettre les pieds dans le plat</i> (B 111)
--	---

Pour chacun de ces neuf cas, dans lesquels les doctorants ont soit reçu des demandes verbalisées d'élèves ou de leur enseignant accompagnateur et/ou pris conscience d'une adaptation à apporter, nous assistons à une inflexion notoire de l'itinéraire d'exploration, due à un changement dans la manière de mettre en place les moments en laboratoire. De périodes axées sur des explications de notions générales dans les cas de Kévin et de Jean, d'explications de la problématique de thèse pour le cas de Yann, d'Aurélien, de Thomas, de Yann-Aurélien et de Giulia, et de problématisation dans le cas de Benoît, les explorations évoluent en se concentrant ensuite sur des pratiques expérimentales, que l'on peut assimiler à des activités de scolarisation. Cette inférence est étayée par la référence à des fiches de travaux pratiques préexistantes dans les cas de Kévin, de Jean et de Yann, l'analyse d'articles de presse grand public sur les eaux en bouteille, dans le cas de Thomas, et la réalisation d'une expérimentation guidée par un questionnement initié par les élèves dans le cas de Benoît. Dans les cas de Giulia et de Yann-Aurélien, les moments suivants correspondent également à des pratiques expérimentales et des explications, afin de faire acquérir des notions de base, jugées indispensables, avant l'abord de la problématique de thèse. Armel et Aurélien, quant à eux, décident de leur faire explorer la démarche du géologue de terrain, par le biais d'activités que nous considérons, pour les premières d'entre elles, comme faisant également parti d'un registre scolaire. Nous constatons donc que pour sept de ces neuf cas, ceux d'Armel et d'Aurélien étant mis à part, des acteurs ont, intentionnellement ou pas, fait infléchir les itinéraires en les éloignant de la thèse doctorale. Il semblerait que, pour tous ces cas, la réalisation de la visée du dispositif d'une participation des élèves aux pratiques de recherche du doctorant nécessite de leur faire acquérir au préalable des notions générales du domaine de recherche qui, en étant spécifiques des thèses, sont néanmoins raccordées dans un premier temps aux acquis antérieurs des élèves et à des savoirs abordés à l'école. Cependant, cette inflexion notable n'est pas présente chez les cinq cas non évoqués jusqu'à présent qui ont, spontanément et rapidement, abordé les savoirs généraux de leur discipline de recherche, afin de faire comprendre leur problématique de thèse.

4. LES ITINERAIRES DE PARTICIPATION AUX PRATIQUES DE RECHERCHE SANS INFLEXION DEBUTENT PAR UNE APPROCHE THEORIQUE GENERALE

Nous n'avons pas recueilli d'éléments verbaux mentionnant de facteur conduisant à une modification de l'itinéraire pour les cas des groupes des physiciens Marie et Nicolas et celui de la géologue Julie. Au contraire, pour ces cas, les acteurs verbalisent des facteurs qui auraient contribué à leur « réussite ». En revanche, pour les cas physiciens des groupes d'Olga

et de Benjamin, des difficultés cognitives d'élèves sont évoquées au commencement des itinéraires qui, cependant, ne conduisent pas à une reconsidération de l'approche initiée. Par rapport à l'ensemble de ces cinq cas, il n'est fait état d'aucune négociation qui aurait impacté leur déroulement. Par conséquent, nous considérons les itinéraires sans inflexion au regard du constat dressé pour les neuf autres cas développés précédemment.

4.1. Les facteurs de « réussite » évoqués sont associés à une approche centrée sur des savoirs généraux

Pour les cas des groupes de Marie et de Nicolas, toutes les séances en laboratoire sont organisées en deux groupes de moments distincts : une partie théorique et l'autre manipulative. La première période fait appel à des explications de notions générales et spécifiques du sujet de thèse au moyen d'une bibliographie. Ces documents écrits correspondent à des documents originaux, recueillis par les doctorants, en consultant les programmes de sciences physiques et de SVT de seconde et avec des conseils de l'enseignant accompagnateur.

Enseignant accompagnateur	<i>les deux doctorants nous ont réclamé le programme de seconde (...) ils sont partis de ça et donc ils sont allés progressivement dans le contenu la base théorique qu'ils devaient savoir (...) c'est vraiment les seuls doctorants qui nous ont demandé les références du programme et moi quand je leur ai transmis le premier questionnaire qu'ils ont eu qu'ils ont donné aux élèves c'était vraiment du niveau seconde (Nicolas/Marie C 2)</i>
---------------------------	---

La notion d'adaptation aux élèves revient de façon récurrente dans les discours des deux chercheurs :

Nicolas (avec Marie)	<i>On s'est dit que bon ça allait être compliqué pour eux dès le début parce qu'ils ne voyaient pas trop ça même le modèle atomique c'est déjà un peu des notions qu'on revoit après c'est pas forcément simple donc on a décidé très vite de repartir de la base (...) vraiment à leur niveau vraiment si on n'avait pas fait ça ils auraient été perdus tout de suite (Nicolas/Marie A 36/159)</i>
----------------------	--

L'élève interrogé confirme : « c'est des informations qu'on comprenait qu'étaient claires » (Nicolas B 6). Après avoir abordé des notions de base, le niveau croît de façon progressive. L'enseignant accompagnateur emploie, à neuf reprises, des termes relatifs à la progression

pour caractériser la manière de Marie et de Nicolas de transmettre les notions : « *je trouve que réellement c'est pas pour leur faire des fleurs mais je pense que réellement ils ont eu vraiment une bonne démarche dans la progression des difficultés* » (Nicolas/Marie C 32). Cette démarche a permis, selon l'enseignant accompagnateur, qu'ils puissent rapidement réaliser des activités expérimentales (« *j'ai vu que c'était progressif ça a surtout permis aux élèves de rapidement rentrer en expérimentations et de ne pas décrocher* », Nicolas/Marie C 14). L'intérêt pour l'enseignant est que les élèves manipulent, afin de conserver et améliorer leur motivation.

Pour le cas du groupe de Julie, les premiers moments correspondent à des cours de géologie générale (« *les premières séances en fait j'ai commencé par présenter des aspects de la géologie générale* », A 48). Le premier facteur que nous inférons dans son discours, susceptible d'avoir empêché la survenue de négociations, est une attention particulière donnée à l'équilibre entre la motivation des élèves et la nécessité d'apport de notions de bases en géologie générale, qu'elle considère comme étant une étape « obligatoire ».

Julie	<i>j'ai essayé que ce ne soit pas trop rébarbatif parce qu'ils ont des cours tout le temps et que pour moi ce n'était pas l'objectif en fait que ce soit un cours donc mais bon j'étais quand même obligé de passer par ça (A 48)</i>
-------	---

Elle choisit de traiter les notions de ses cours de première année de faculté qui sont spécifiquement en cohérence avec celles du programme scolaire, obtenues par la consultation de documents du Bulletin Officiel (« *j'ai regardé ce qu'ils faisaient aussi au lycée pour à chaque fois retomber sur des choses qu'ils avaient faites* », A 56). Les aspects de motivation des élèves sont très prégnants dans le discours de Julie : « *j pense que vraiment ma préoccupation principale c'est **qu'ils viennent motivés ici** (...) Je voulais vraiment **qu'ils aiment la science en général*** » (A 253/261). Par exemple, pour les séances de bibliographie, elle fait le choix d'articles en français plutôt qu'en anglais, malgré la présence dans le groupe de deux élèves anglicistes des classes européennes. Elle concède plutôt qu'« *ils auraient pu lire des petits morceaux en anglais* » (A 227) mais que c'était sans compter sur l'attention portée à deux de ses élèves (« *les deux autres j'avais pas envie de les complexer moi-même j'suis pas super bonne en anglais donc c'était pas l'objectif quoi* », A 227). Elle est soucieuse de ne pas laisser les élèves trop longtemps sur cette étape, considérée comme moins captivante et devant satisfaire aussi à la visée motivationnelle. A ce titre, elle dit « *je ne pense pas non plus avoir montré une image trop sévère de la science* » (A 295). A noter que la visée de motivation est associée, chez Julie, à l'exigence de rendre les élèves actifs dans des manipulations et, à ce titre, elle affirme : « *On a fait plein de manip* » (A 297). Un autre facteur, extrait du discours de la doctorante, est l'attention donnée à la compréhension de ses élèves et à l'aspect progressif des notions abordées : « *à chaque fois je faisais des points **on***

passait une demi-heure une heure à faire des points sur ce qu'ils allaient avoir besoin pour comprendre bah j'ai essayé de les emmener en fait progressivement » (A 80). La discussion, au sens d'échanges, est omniprésente dans le relationnel avec ses élèves : « *c'était des moments où on a pu rediscuter de ce qu'on avait fait avant de ce qu'on allait refaire après* » (A 305) et un des élèves nous fait remarquer : « *On a fait ça très progressivement (...) elle a bien réussi à m'expliquer* » (B 54).

4.2. Les difficultés rencontrées sont associées à des savoirs spécifiques de la thèse

Olga constate des difficultés cognitives de la part des élèves, relatives à l'approche centrée sur la spectroscopie Raman, laquelle requérant l'acquisition d'une « base » en sciences physiques. Des explications, sur les propriétés de la lumière et les calculs de longueur d'onde, de fréquence et d'énergie de la lumière, servent à la compréhension du fonctionnement de la machine Raman et de la représentation symbolique des spectres et de l'imagerie, comme le mentionne Olga : « *j'essayais de leur donner les bases leur expliquer tout ce qui se passe la spectroscopie Raman (...) c'est très important s'ils ne savent pas calculer la longueur d'onde c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas comprendre* » (A 115/153). Mais cette entrée en la matière génère les difficultés qui sont évoquées à la fois par la doctorante et l'élève interrogé.

élève	<i>Oui c'était un peu compliqué quand même le niveau était un peu plus élevé de ce qu'on voyait au lycée déjà j'ai eu un peu de mal au début (B 16)</i>
-------	---

Olga	<i>j'ai l'impression que ici les élèves ont des problèmes en maths (A 135)</i>
------	--

Dans le cas du groupe de Benjamin, aucune remarque d'élève ni de l'enseignant accompagnateur ne semble modifier la démarche que le doctorant entreprend avec les élèves. Il affirme : « *j'avais mes grandes lignes directrices à expliquer et ils ont suivi les lignes directrices* » (A 107). Il évoque bien des « zigzags » et des « petits écarts de temps en temps » (A 109), mais ces inflexions apparaissent être du ressort « normal » de moments, dans lesquels le doctorant répond aux questions des élèves et accentue les explications sur les points le nécessitant. Néanmoins, plusieurs difficultés relatives à son encadrement sont mentionnées par le chercheur. Par exemple, il affirme que les séances théoriques ont été ardues parce que les élèves avaient du mal à comprendre les notions abordées qui, rappelons-le, concernent les propriétés optiques et physiques des matériaux telles que la réflectance, la transmittance, l'émittance et l'absorption électronique, etc. (C 2-3). Il évoque aussi des difficultés d'attention des élèves qui « *avaient le nez en l'air* » (A 20) et que c'était difficile de « *les maintenir attentifs pendant deux heures sur le sujet* » (A 72). Ces attitudes

appartiennent exclusivement au domaine du non verbal et ne correspondent pas à des remarques directes. Elles ont néanmoins contraint Benjamin à explorer une manière de communiquer : « *continuellement se mettre se mettre à leur niveau* » (A 70), en diversifiant, notamment, les supports et en privilégiant, par exemple, le dessin interprétatif sur les explications orales (A 92). Il dit aussi que l'enseignant accompagnateur a été utile par son expérience lors de reformulations : « *dès que les élèves commençaient à être noyés, lui il savait comment transmettre le message* » (A 70). Le rôle retenu par l'enseignant accompagnateur est celle d'une aide apportée et ne semble pas avoir fait modifier, de même que les éléments non verbaux des élèves, la démarche entreprise.

Nous constatons, d'une part, que les trois doctorants Julie, Marie et Nicolas, qui ont mis en place des moments en laboratoire d'abord centrés sur l'abord de notions générales, n'ont pas subi de modification de l'itinéraire d'exploration due à des négociations ou des prises de conscience de la nécessité de modifier leur approche. Or, chacun de ces doctorants a pu permettre aux élèves une exploration, soit de nature ethnographique dans les cas de Marie et de Nicolas, soit par l'intermédiaire d'une démarche de pratiques réelles dans le cas de Julie. Ils ont, chacun à leur manière, permis aux élèves de participer à la recherche doctorale. D'autre part, dans les cas des groupes d'Olga et de Benjamin, il n'y a pas eu d'inflexion de l'itinéraire, lequel ayant permis aux élèves une exploration des sciences en action de manière ethnographique et par l'intermédiaire de pratiques réelles. Mais des difficultés sont relatées, comme provenant de la spécialisation des savoirs que nous considérons spécifiques des thèses abordés dès le début des itinéraires. Par rapport à ces résultats, il semblerait donc que la possibilité de faire participer les élèves aux travaux de la thèse requerrait, au préalable, d'aborder les concepts généraux de la discipline de recherche attenants à la thèse. Ainsi, s'éloigner de la problématique de thèse, dans un premier temps, pourrait être envisagé comme un passage obligé pour l'exploration ultérieure de la recherche de thèse.

5. S'ÉLOIGNER DE LA THESE DANS UN PREMIER TEMPS PERMET DE MIEUX Y REVENIR DANS UN SECOND TEMPS

Si nous portons maintenant notre analyse sur l'évolution des itinéraires des groupes de Thomas, de Yann-Aurélien, de Giulia et de Julie, nous constatons qu'ils se caractérisent tous par des itinéraires d'exploration dans lesquelles un temps relatif a été consacré à l'abord de notions générales attenantes à la thèse. Par exemple, Julie a débuté son encadrement par des explications de notions générales, avant une phase de problématisation avec bibliographie, puis d'expérimental de la thèse. Nous avons aussi précédemment évoqué les cas de Giulia, de Thomas et de Yann-Aurélien, comme ayant modifié leur approche, initialement axée sur leur problématique de thèse, vers des activités de scolarisation alliées à des explications de notions générales. Il s'avère que ces doctorants ont, dans un second temps, fait participer les élèves à leurs travaux de thèse, puisque Giulia les a intégrés à son travail de séparation des cristaux de

quartz, Thomas a élaboré avec les élèves un piège d'argile à médicaments et Yann-Aurélien a poursuivi son activité d'extraction et de séparation des cristaux d'olivine. Ils ont donc permis des explorations, soit de nature ethnographique, soit réalisées par l'intermédiaire de pratiques réelles, au moyen de moments en laboratoire préalablement consacrés à des savoirs généraux et des activités expérimentales. Nous constatons la même évolution dans les groupes d'Armel et d'Aurélien qui ont progressivement amené les élèves à des moments de la géologie de terrain de plus en plus spécialisés. Tous ces cas ont pu intégrer les élèves à des pratiques expérimentales ancrées dans la nature des recherches des thèses. Nous inférons, par conséquent, que, dans le cadre du dispositif, la mise en œuvre d'une situation basée sur des explications de notions générales de la discipline académique de recherche, mais non spécifiques de la thèse, pourraient constituer un pré-requis intéressant, en tant que facteur potentiel de réussite, afin de pouvoir aborder des pratiques de recherche proches, voire « confondues » avec la recherche doctorale. Cet élément, que nous inférons de l'étude des cas en sciences de la Terre du dispositif, est corroboré aux représentations des acteurs des cas des groupes de Julie et des physiciens Marie et Nicolas. Rappelons que, pour ces trois cas, des acteurs ont évoqué dans leur propos une « réussite », qui serait la conséquence de facteurs, tels partir de notions de base, établir une progressivité, etc. Nous observons, tout de même, une approche différente de celle du cas de Julie, pour les groupes de Nicolas et de Marie, qui ont la particularité, tout comme celui d'Olga, d'avoir proposé aux élèves une organisation de chacune des séances en deux types de moments successifs distincts. Un premier ensemble de moments est dévolu à des explications de la problématique de thèse et de notions générales, suivi d'une deuxième période de pratiques expérimentales. Ces derniers moments expérimentaux permettent aux élèves une exploration de la recherche scientifique de nature ethnographique. On peut émettre l'hypothèse que ces alternances récurrentes d'explications théoriques de notions générales alliées à de l'expérimental constituent également un facteur potentiel de réussite, afin de pouvoir aborder des pratiques de recherche proches de la recherche doctorale, à l'instar des séquences des géologues Julie, Thomas, Aurélien, Yann-Aurélien et Giulia. Mais, différemment de ces cas géologues, pour lesquels les périodes se succèdent à l'échelle de l'itinéraire, nous observons chez les physiciens une alternance instituée au milieu de chaque rencontre, avec d'abord des explications théoriques générales puis une partie expérimentale. Par conséquent, nous avançons que l'alternance au milieu de chaque séance, chez les physiciens, de moments basés sur la problématique de thèse et ses notions générales, puis de moments expérimentaux constitue une « clef » intéressante qui permettrait aux élèves la réalisation précoce de pratiques expérimentales de la thèse. Cependant, il est possible, aussi, que viser dès le départ l'expérimental de la thèse, destine davantage à des pratiques de nature technicienne. Les trois cas d'Olga, de Marie et de Nicolas, qui ont proposé ce type d'organisation, ont permis aux élèves une exploration de la recherche scientifique de nature ethnographique, non reliée à une question d'étude de la recherche doctorale et sans possibilité d'obtention de résultats, de savoirs factuels nouveaux, pour la thèse doctorale. En revanche, les trois cas des géologues Julie, Yann-Aurélien,

Thomas, à l'exclusion de ceux de Giulia, d'Armel et d'Aurélien, ont permis aux élèves une exploration de leur recherche doctorale, par l'intermédiaire de pratiques réelles, en correspondance avec les cinq caractéristiques de PSR, dont la question d'étude et avec des savoirs produits originaux.

Nous constatons donc que, pour atteindre avec les élèves une proximité avec les sciences « en train de se faire » au niveau des cinq caractéristiques de PSR, il conviendrait mieux de ne pas aborder trop rapidement des moments caractérisés par des explications et/ou des pratiques expérimentales de la problématique de thèse. Ces derniers, en étant axés exclusivement sur des explications de la problématique de thèse, génèrent rapidement le souhait d'un changement. De plus, des activités expérimentales précoces, observées dans les groupes de Marie, d'Olga et de Nicolas, semblent assignés à une nature davantage technicienne. Par conséquent, il apparaît que s'« éloigner » de la recherche de thèse dans une première période, en abordant (avec éventuellement des pratiques expérimentales dédiées) les concepts-clefs de la discipline scientifique dans lesquels les thèses sont ancrées, permet de mieux y revenir dans un second temps. En ce sens, et conformément aux résultats obtenus dans le cadre de cette étude, les moments d'explications de notions générales alliées à de l'expérimental, constatée chez Giulia, Thomas et Yann-Aurélien et ceux axés sur les notions de base chez Julie, peuvent être interprétées comme servant de « tremplin » à la réalisation de moments expérimentaux ultérieurs ancrés dans la nature des recherches scientifiques doctorales.

6. DES ITINERAIRES D'EXPLORATION MAJORITAIREMENT INFLUENCES PAR LES ACTEURS

Sur vingt-deux inflexions notoires constatées à l'intérieur des itinéraires d'exploration, quatre sont des changements qui interviennent à la suite de l'interaction entre les partenaires sans négociation verbale (le doctorant prend conscience) et sept sont des changements à la suite de négociations verbalisées. Par conséquent, nous mettons en évidence que la moitié des inflexions d'itinéraire sont exercées par des élèves et/ou des professeurs accompagnateurs. Sur ces onze changements opérés, les quatre qui sont générés sans verbalisation, ni remarques directes de la part des acteurs dans les groupes de Yann, d'Aurélien, de Yann-Aurélien et de Giulia, sont la conséquence d'une prise de conscience des doctorants, qui jugent alors que la nature des moments proposés aux élèves est inadéquate. Ces ressentis sont interprétés par les doctorants à partir d'éléments non verbaux des élèves et/ou de difficultés cognitives constatées au cours des moments en laboratoire. Les sept autres changements, sur les onze totalisées, sont la conséquence d'échanges, de remarques que nous interprétons comme étant des négociations dans le cadre de ce partenariat. Ces négociations ont eu lieu, pour les quatre cas des groupes de Kévin, de Jean, de Benoît et de Thomas, entre le doctorant et des élèves et, pour les trois cas des groupes d'Aurélien, d'Armel et de Yann-Aurélien, entre un enseignant accompagnateur et les doctorants. Dans le cas de Yann-Aurélien, les tensions évoquées avec

l'enseignant sont de l'ordre du conflit. Pour chacune des onze inflexions, avec ou sans négociation, des remarques directement verbalisées et/ou des signes plus ou moins subtils ont conduit à des remédiations, opérées par les doctorants concernés, afin de proposer des moments en laboratoires plus proches des attentes des élèves et/ou de leurs enseignants accompagnateurs. Onze autres changements n'ont pas été déclenchés par les acteurs de type élève et/ou enseignant accompagnateur ; les doctorants mentionnant qu'ils avaient initialement programmé les modifications opérées. Cependant, pour les groupes d'Olga et de Benjamin, des difficultés cognitives et/ou de lassitude des élèves sont mentionnées.

Des acteurs groupes de Marie, de Julie, de Benoît et de Nicolas verbalisent des facteur(s) de réussite. Ainsi, la consultation des programmes officiels, une amorce par la base des notions fondamentales de la thèse suivie d'une progression lente, la réalisation précoce de pratiques expérimentales, l'organisation de chacune des séances en deux moments distincts d'explications théoriques, puis expérimental sont des éléments qui auraient contribué à la « réussite » qu'ils indiquent. Nous constatons que sur les quatorze cas, les neuf cas de Kévin, Jean, Yann, Benoît, Aurélien, Armel, Thomas, Yann-Aurélien et Giulia, soit près des deux tiers, ont fait l'objet d'au moins un changement induit par la dynamique partenariale et/ou la relation éducative initiée avec les élèves. Par conséquent, les acteurs ont donc globalement exercé une action prépondérante dans la mise en œuvre du dispositif, en donnant l'impulsion à la réalisation des changements opérés.

7. UNE CONVERGENCE EXPERIMENTALE

Une inflexion globale majeure que nous constatons à l'échelle de l'ensemble des cas correspond à la mise en œuvre, plus ou moins tardivement au cours des itinéraires, de moments de nature expérimentale. Ainsi, tous les itinéraires se terminent par une phase expérimentale. Ce phénomène de convergence serait, pour partie, la résultante des influences exercées par les acteurs. Par exemple, si nous nous focalisons sur les moments en laboratoire proposés, en tenant compte des négociations ou bien élaborées à la suite d'interprétations de signes non verbaux émanant des élèves, tous comportent une part de pratiques expérimentales, soit de scolarisation, soit spécialisées. Ainsi, dans chacun des groupes de Kévin, de Jean, de Yann et de Benoît, l'inflexion opérée par des négociations se matérialise par des moments basés sur des pratiques expérimentales de scolarisation. Dans ceux de Giulia, de Thomas, de Yann-Aurélien, d'Aurélien et d'Armel, les changements aboutissent à des moments d'explications de notions générales, alliées à des pratiques expérimentales, puis correspondent, dans un second temps, à des pratiques expérimentales spécialisées de la thèse. Ces phases mixtes précèdent, dans chacun de ces cas, une dernière période caractérisée par une part encore plus importante attribuée aux pratiques expérimentales. Nous mettons donc en évidence une convergence vers « l'expérimental » dans l'évolution des séquences des neuf cas, dans lesquelles nous inférons des influences des acteurs.

Cette convergence s'observe également dans les itinéraires sans inflexion, dans les cas de

Julie et de Benjamin, qui se terminent par une période de pratiques expérimentales. Dans les groupes de Marie, d'Olga et de Nicolas, les premiers moments de chacune des séances étant systématiquement dévolus à des explications de la problématique de thèse et de notions générales, nous n'observons pas d'amplification des moments expérimentaux, ceux-ci étant l'objet d'une mise en œuvre dans la deuxième partie des séances dès le début de mise en œuvre du dispositif.

8. LES ITINERAIRES AVEC INFLEXION EN RELATION AVEC LE MODE D'EXPLORATION

Alors que dans tous les cas géologues, qui présentent des influences d'acteurs, se caractérisent par une intégration des élèves à des situations basées sur la recherche de thèse, en transposant la démarche entreprises et/ou des pratiques réelles, les cas physiciens de Kévin, de Jean et de Yann, caractérisés par la survenue de négociations, sont plutôt enclins à offrir des situations de nature scolaire. Comment expliquer cette dualité d'approche associée à la discipline de recherche ? La scolarisation des cas physiciens est la conséquence directe, sitôt les négociations et/ou difficultés rencontrées, de l'utilisation de support de travaux pratiques provenant de l'école d'ingénieur, attendant institutionnellement à ces laboratoires de recherche pour les groupes de Jean et de Yann. Pour celui de Kévin, la scolarisation se manifeste par la construction d'une activité à destination des élèves à partir des souvenirs du lycée. Par conséquent, nous mettons en évidence que ces doctorants physiciens se sont tournés, suite aux négociations ou difficultés, vers ces « matériels » préexistants, qui ont eu pour conséquence d'éloigner les moments en laboratoire de la recherche de thèse. Au contraire, tous les géologues ayant subi ces contraintes ont proposé des pratiques expérimentales « en phase » avec leur recherche de thèse.

Nous proposons plusieurs explications à ces deux phénomènes, distincts et parallèles, de scolarisation d'une part et de rapprochement à l'heuristique d'autre part. Tout d'abord, le phénomène de scolarisation inféré est la conséquence de contraintes cognitives considérées comme insurmontables par Yann (A 18/20/38/97) et par Jean (A 102-105). Ce dernier évoque même des difficultés de compréhension, pour certaines personnes de son laboratoire, dans le cadre du commencement d'une recherche (A 14). Kévin n'a pas verbalisé de difficulté mais rappelons, tout de même, qu'aucun des trois doctorants n'a débuté l'encadrement des élèves en consacrant la première période à des explications de la problématique de thèse. Donc l'hypothèse d'une projection de difficultés de compréhension des élèves est à privilégier, l'opportunité d'utilisation des supports de travaux pratiques à disposition pouvant contribuer à cet éloignement à la thèse. Une autre hypothèse que nous envisageons est reliée à la visée éducative de ces doctorants, qui ont tous verbalisé qu'ils étaient, avant tout, enclins à motiver les élèves et/ou les intéresser. Il est probable que cette visée ait joué un rôle, en évitant l'abord des caractéristiques de la recherche de thèse, les chercheurs considérant cette approche trop risquée. Peut-être devons-nous intégrer, par conséquent, la notion de prise de risque dans

l'élaboration par les doctorants des moments pour les élèves, De ce point de vue-là, nous pouvons considérer que les physiciens Yann, Jean et Kévin ont préféré se rabattre, pour plus de sûreté, sur des éléments de leur vécu ou des fiches de protocoles préexistants. Cependant, il est également possible que la nature de la recherche agisse de façon prépondérante sur le choix de ne pas aborder un expérimental spécifique de la thèse. Rappelons ici que les recherches de thèse des trois cas abordés ici sont aussi caractérisées par la reproduction d'un phénomène de combustion ou de tourbillon et que cette phénoménotechnique ne requiert pas de préparation d'échantillon. L'utilisation de l'instrument sophistiqué - à savoir la chambre de combustion sphérique dans le cas de Yann, le banc moteur pour Jean et la soufflerie dans un circuit aéraulique ensemencé de gouttelettes d'huile d'olives chez Kévin - est instantanée et ne propose aucune manipulation de gestuelle simple. La plupart de ces instruments est informatisée et commandée par écrans. Ces résultats, distinguant encore une fois des cas physiciens de géologues, sont en cohérence avec ceux exprimés précédemment, au niveau de l'axe deux de cette étude, en ce qui concerne l'influence occasionnée sur les explorations des élèves par la nature de la thèse, elle-même ancrée dans l'épistémologie d'une discipline de recherche.

9. BILAN DES CHANGEMENTS OPERES ENTRE LES PERIODES DE MOMENTS

Pour résumer certains des résultats développés dans les quatre parties précédentes, nous proposons au lecteur la consultation du tableau 21 suivant, représentant toutes les périodes de moments constituant l'ensemble des itinéraires étudiés et des changements occasionnés.

Cas / nature des périodes et chgt	période de moments 1	Chgt	période de moments 2	Chgt	période de moments 3	Mode d'exploration
Benjamin	Explications de la problématique de thèse, propriétés optiques	P	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	-	-	Démarche de pratiques réelles
Olga	Explications notions reliées à la spectroscopie Raman	P	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	-	-	ethnographique
Kévin	Explications de notions générales	N	Pratiques expérimentales SCOLARISATION	-	-	Concepts généraux de la thèse
Jean	Explications de notions générales	N	Pratiques expérimentales SCOLARISATION	-	-	Démarche et concepts généraux de la thèse
Yann	Explications de notions générales	P	Explications de la problématique de thèse	I	Pratiques expérimentales SCOLARISATION	Concepts généraux de la thèse
Nicolas	Explications de la problématique de thèse et de notions générales	P	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	-	-	ethnographique
Marie	Explications de la problématique de thèse et de notions générales	P	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	-	-	ethnographique
Benoît	Explications de la problématique de thèse	P	Problématisation avec bibliographie	N	Pratiques expérimentales SCOLARISATION	Démarche personnelle de problématisation
Julie	Explications de notions générales	P	Problématisation avec bibliographie	P	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	Démarche de pratiques réelles
Aurélien	Explications de la problématique de thèse	I	Explications de notions générales avec pratique expérimentale (SCOLARISATION)	N	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	Démarche de la thèse
Armel	Explications de la problématique de thèse et de notions générales	P	Explications de notions générales avec pratique expérimentale (SCOLARISATION)	N	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	Démarche de la thèse
Thomas	Explications de la problématique de thèse	N	Explications de notions générales avec pratique expérimentale SCOLARISATION	P	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	Démarche de pratiques réelles
Yann-Aurélien	Explications de la problématique de thèse	I	Explications de notions générales avec pratique expérimentale SCOLARISATION	N	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	Démarche de pratiques réelles
Giulia	Explications de la problématique de thèse	I	Explications de notions générales avec pratique expérimentale SCOLARISATION	P	Pratiques expérimentales SPECIALISATION	ethnographique

Tableau 21. Les itinéraires organisés en périodes distinctes de moments en laboratoire

(« P » : changement prévu par le doctorant non induit par les autres acteurs, « I » : changement induit par des élèves sans négociation, « N » : changement induit par des négociations, « - » : période non réalisée, Chgt : inflexion dans l'itinéraire, modification de la nature des moments en laboratoire).

10. LES ENSEIGNANTS ACCOMPAGNATEURS METTENT EN ŒUVRE DES ROLES DIVERS

L'analyse de l'ensemble des cas nous permet de caractériser cinq rôles des enseignants accompagnateurs au cours des itinéraires. Dans les cas de Giulia, de Marie, de Jean, de Nicolas (B 25-26/160-163), de Benjamin, de Yann-Aurélien (B 164-165) et de Thomas (B 23-26/170-171), nous constatons que les enseignants accompagnateurs ont endossé un rôle d'**interprète**, en reformulant le discours des doctorants aux élèves lorsque les explications conduisaient à des difficultés cognitives. Dans l'extrait suivant, le doctorant Jean raconte ce rôle endossé par l'enseignant : « *c'était monsieur (...) qui était avec nous aux séances parfois il m'aidait à les faire comprendre* » (A 139). Une élève de Giulia précise bien le contexte de l'aide apportée autour du séparateur magnétique : « *madame (...) a vu que je peinai du coup elle est venue vers moi et elle a tout repris elle a dit la machine fait comme ça on met ça là là ensuite quand ça va avancer ceux qui vont être attirés par les aimants ils vont aller de ce côté-là ensuite les autres de ce côté-là et là on va avoir le triage* » (B 195). L'enseignant est dans la position d'un « entre deux », comprenant le discours du chercheur et sachant le reformuler pour les élèves de Marie, tels que des élèves l'indiquent dans l'extrait suivant :

Elèves de Marie	<i>notre doctorante elle n'arrivait pas à définir un terme avec des mots plus simples (...) Y avait le notre prof qui était à côté et qui pouvait un peu mieux comprendre que nous heu ce que la doctorante elle voulait dire (Marie B 267/269)</i>
-----------------	--

Ce constat est également celui de Benjamin, qui évoque les premiers moments au cours desquels il aborde sa problématique de thèse :

Benjamin	<i>l'avantage c'est qu'on avait également le prof encadrant qui était avec nous donc lui faisait un peu la transition entre les deux dès que les élèves commençaient à être noyés heu lui comprenait ce que moi je disais et essayais de le retranscrire par son expérience aux secondes ce qui est beaucoup mieux (...) comme ça c'était bien il pouvait faire la transition car lui il savait comment transmettre le message (A 70/72)</i>
----------	--

Un autre rôle est celui de **conseiller**, que l'on retrouve dans les groupes de Kévin, de Thomas, de Yann et de Benjamin. Ces conseils suggèrent de laisser les élèves réfléchir et de ne pas trop les aider, dans le cas de Kévin (A 13), ou bien portent sur les façons de favoriser la compréhension des élèves (Benjamin A 117/132) ou de maintenir leur attention comme dans

le cas de Yann :

Yann	<i>l'enseignante m'a dit à l'avenir si tu leur expliques quelque chose (...) fais les pas s'asseoir laisse les debout au moins le temps de l'explication pas deux heures c'est sûr mais le temps de l'explication (...) ça les maintient éveillés (...) c'était un bon conseil que j'ai appliqué</i> (A 111/113)
------	---

Dans le cas de Thomas, l'enseignant semble avoir joué un rôle de « mentor », disponible et prodiguant des conseils relatifs à son expérience d'enseignement : « *nous [les doctorants] on est quand même verts au niveau enseignement voilà faut le reconnaître et donc discuter avec lui des fois relativement longtemps (...) ça fait le plus grand bien pour nous* » (A 131). De manière générale, le rôle de conseiller a été très bien accueilli par les doctorants mais force est de constater que cette relation qui « *fonctionnait de façon horizontale* » (A 139), pour reprendre les termes de Thomas, n'est pas toujours ce qui est constaté entre les partenaires du dispositif.

L'enseignant accompagnateur s'est considéré **responsable** de la conformité de la nature des moments en laboratoire par rapport à sa propre représentation, dans les cas d'Aurélien (A 254-257), d'Armel (A 337), et de Yann-Aurélien. Pour chacun d'eux, les moments doivent comporter une part importante de pratiques expérimentales de la thèse. Cela peut être à l'origine de tensions qui ont abouti à la proposition de moments en laboratoire expérimentaux plus spécialisés. Le « dialogue » suivant, reconstitué à partir de deux entretiens distincts, illustre l'influence exercée :

Enseignante	<i>on passait de groupe en groupe pour voir ce qui se passait pour voir si tout se passait bien si ils étaient actifs parce que ça nous paraissait aussi important qu'ils soient actifs</i> (C 121, lire aussi 111)
-------------	--

Yann-Aurélien	<i>elle voulait vraiment expérimentation expérimentation elle voulait que les filles fassent des choses qu'elles ne pouvaient pas faire au labo d's v t</i> (A 101, lire aussi 88)
---------------	--

Enseignante	<i>Y a un doctorant pour lequel je pense au début ça s'est mal passé mais dès qu'on lui a fait une remarque il a réagi de façon très très positive et il a pris vraiment le taureau par les cornes</i> (C 187)
-------------	--

Nous remarquons également que certains enseignants ont été des **intermédiaires ressources**

auprès des doctorants Nicolas et Marie, en diffusant le programme officiel (« *les deux doctorants nous ont réclamé le programme de seconde ils ont regardé le programme de seconde* », Marie/Nicolas C 2, lire aussi 4-6/32, A 34-36, D 4). Nous mettons aussi en évidence le rôle d'intermédiaire ressource auprès des élèves, en faisant des rappels au lycée qui ont été utilisés dans les moments en laboratoire. L'exemple suivant porte sur les notations scientifiques abordées en cours de mathématiques et sciences physiques :

Vincent	<i>Et heu tu peux me donner un exemple précis de de connaissance qui a été apporté par les enseignants ?</i>
Elève	<i>Heu bah des rappels sur les notations scientifiques par exemple heu bah la prof de maths la prof de physique (...) tous les dix exposant les nanomètres les micromètres et cetera</i>
Vincent	<i>Ah oui parce que ça vous en aviez besoin dans le laboratoire ?</i>
Elève	<i>Oui à chaque fois parce que nous on travaillait qu'avec des micromètres des fois des nanomètres</i>
Vincent	<i>D'accord et là t'as appris des choses par rapport à tout ça ?</i>
Elève	<i>Bah oui</i>
Vincent	<i>Nano micro c'est des choses que tu ne connaissais pas avant ?</i>
Elève	<i>Bah on connaissait mais enfin maintenant on le sait mieux enfin je ne sais pas trop comment dire</i>
Vincent	<i>T'as mieux intégré les notions</i>
Elève	<i>Voilà</i> (Nicolas B 168-181)

Un rôle d'enseignant accompagnateur, intermédiaire ressource au cours de la mise en œuvre du partenariat, est également constaté dans les cas de Giulia (« *Avec les profs c'était bien même quand on venait du labo après ils nous préparaient des feuilles* » B 205), de Marie (D 28/34/42), d'Armel (D 51/62/222), de Nicolas (B 21-22, C 7-8), d'Aurélien (« *les heures d'a p [accompagnement personnalisé] qui ont été utilisées pour mieux comprendre ce qu'on avait fait pendant les heures edifice (...) ça nous a aidé à comprendre ce qu'on n'a pas pu comprendre avec le doctorant* », B 166, voir aussi G 3-5). Pour Yann-Aurélien, l'enseignant a une fonction d'encadrement aussi importante que celle du doctorant : « *c'est clair que l'enseignant a une place aussi primordiale pour moi que les doctorants dans ce travail-là dans le travail d'essayer de combler les manques les lacunes que peuvent avoir les lycéens* », A 155).

Pour les cas de Benoît (B 164-167/175) et de Julie (A 425), les enseignants sont restés **non interventionnistes**. Pour le cas d'Olga, nous n'avons pas recueilli de données sur ce thème auprès des deux enseignantes accompagnatrices du lycée concerné. La doctorante n'ayant pas

non plus verbalisé la présence d'un enseignant accompagnateur, il est possible d'envisager, compte tenu de l'organisation tournante des visites des enseignants, que ce groupe ait reçu trop peu de visites pour mettre en évidence un rôle quelconque dans la mise en œuvre des moments en laboratoire.

D'un point de vue global, nous mettons donc en évidence que les enseignants accompagnateurs ont, non seulement pu influencer sur la destinée des itinéraires d'exploration, mais aussi jouer un rôle que nous considérons majeur dans la co-construction des moments en laboratoire dans onze cas sur quatorze. Cette co-construction semble concerner davantage la mise en œuvre effective de moments que leur planification pour les cas de Yann, Jean, Giulia, Benjamin et Thomas. En revanche, pour les groupes de Kévin, Marie, Nicolas, Aurélien, Armel et Yann-Aurélien, nous mettons en évidence une influence qui s'exerce sur la programmation des moments en laboratoire et sur le type d'approche qu'il convient de favoriser. Pour les cas de Marie et Nicolas, l'influence s'est exercée au cours d'une phase de préparation des moments, avant la mise en œuvre effective, alors que pour les cas d'Aurélien, d'Armel et *a fortiori* de Yann-Aurélien, l'influence a eu lieu en cours de route. Pour chacun de ces cinq cas, nous pensons que les enseignants accompagnateurs ont conditionné et/ou orienté le devenir des séquences de façon majeure, en tant que référent ressource ou en tant que responsable auto-proclamé du trio d'acteurs. Le tableau 22 suivant récapitule ces rôles possibles constatés dans notre étude.

Rôles endossés	Caractérisés par...	Cas concernés
Interprète	Une reformulation d'éléments du discours du doctorant destiné aux élèves pour le rendre plus accessible	Giulia, Marie, Jean, Nicolas, Benjamin, Yann-Aurélien, Thomas
Conseiller	Des conseils pédagogiques donnés aux doctorants vis-à-vis de leur pratique d'encadrement des élèves	Kévin, Thomas, Yann, Benjamin
Responsable	Une surveillance et une intervention pour garantir la conformité des moments en laboratoire vis-à-vis de représentations personnelles	Aurélien, Armel, Yann-Aurélien
Intermédiaire ressources	Une diffusion d'informations officielles et la transmission de documents scolaires afin d'aider pour la conception des moments en laboratoire	Marie, Nicolas, Giulia, Armel, Aurélien, Yann-Aurélien,
Non interventionniste	Une attitude neutre lors de la mise en œuvre des moments en laboratoire	Benoît, Julie

Tableau 22. Récapitulatif des rôles possibles de l'enseignant accompagnateur dans les cas concernés.

11. DES EXPLORATIONS MULTIPLES RICHES D'ENSEIGNEMENTS POUR CHACUN DES ACTEURS

La dynamique du partenariat semble avoir permis des échanges, riches et diversifiés, entre des acteurs aux profils différents qui ont pu bénéficier de conseils et s'enrichir mutuellement. Cet univers de rencontres entre des « parties hétérogènes » a nécessairement contraint les acteurs à des adaptations, source de progressions puisque les élèves découvraient un monde inconnu jusqu'alors pour la majorité d'entre eux. Les enseignants accompagnateurs, spécialistes de l'enseignement et représentant des sciences dans leur établissement, se retrouvaient dans l'univers d'une discipline de recherche éventuellement référente de leur discipline scolaire. En ce sens, ils ont tiré profit de cette expérience, sous la forme d'une ouverture culturelle permettant de se représenter les sciences en action. Les doctorants ont dû apprendre à se représenter le niveau effectif d'un élève de seconde et à explorer des manières de « *transmettre le message* » (expression de Benjamin, A 70). Ces confrontations établies de façon répétée sur la durée ont, incontestablement, pour conséquence un enrichissement réciproques de chacun des acteurs, lesquels tirant parti mutuellement de la réunion avec les autres. Même si nous n'avons pas ciblé notre étude sur les enseignements dont bénéficient les acteurs, des éléments extraits de notre corpus mettent en évidence qu'ils ont réalisé des explorations chacun dans leur rôle respectif.

En ce qui concerne les doctorants, ils sont des explorateurs dans le domaine de l'éducation aux sciences à destination des lycéens :

Benjamin	<i>continuellement se mettre à leur niveau (A 70)</i>
Olga	<i>j'ai essayé d'expliquer d'une façon qui permettait finalement de mieux comprendre le sujet (...) j'essayais de leur expliquer donc de manière plus simple (A 143/328)</i>
Yann	<i>c'est un projet à mon avis profitable autant pour l'enseignant que pour l'élève et que la didactique c'est un peu dans les deux sens on a appris des choses sans qu'ils le veuillent on a appris enfin moi j'ai appris beaucoup de choses (A 161)</i>
Benoît	<i>j'ai pas mal discuté avec Julie comment elle faisait comment je faisais d'essayer de voir voilà d'essayer de se donner des pistes à chacun de voir comment l'autre faisait d'essayer d'interagir (A 145)</i>
Yann-Aurélien	<i>j'avais jamais fait donc c'est la première fois que j'encadrais en plus des lycéens donc fallait vraiment réussir à vulgariser être synthétique mais être efficace (A 191)</i>

Aurélien	<i>la première fois (...) je leur montre les choses au début et après ils reproduisaient quoi alors qu'à un moment j'ai changé un peu la chose aussi (...) c'est que je leur montrais des choses mais je ne réexpliquais pas et je leur laissais la réflexion (...) je trouve ça assez aussi important que que j'avais pas fait au début quoi donc c'est des petits changements (A 141/149/151)</i>
Jean	<i>pour nous c'est pas trop mal parce que ça ça nous oblige à on va dire vulgariser à se mettre à une échelle on va dire d'un point de vue étude on est obligé de redescendre pour heu pour se replacer à leur niveau et puis essayer de essayer d'expliquer les choses le plus simplement (A 26)</i>
Giulia	<i>c'était un exercice aussi pour moi d'essayer d'expliquer (A 46)</i>

De leur côté, les enseignants sont des explorateurs des sciences en train de se faire par l'intermédiaire des recherches doctorales, comme l'illustrent les extraits d'entretiens suivants :

élève de Nicolas	<i>une fois au labo bah ils [les enseignants] étaient plus comme nous enfin pas des élèves mais ils s'instruisaient eux aussi (B 156)</i>
élève de Marie	<i>les professeurs souvent ils nous regardaient parce que nous on travaillait beaucoup avec la doctorante (...) ils étaient surtout spectateurs (B 272)</i>
Yann-Aurélien	<i>je me souviens de discussions que j'ai eues avec madame (...) où elle disait ils sont là pour expérimenter expérimenter (...) Nous on a des contraintes au labo de recherche qu'en fait ils n'ont pas conscience de ça les profs (A 88/90)</i>
élève d'Armel	<i>de temps en temps les profs ils rentraient dans la salle ils s'asseyaient puis ils écoutaient avec nous et même de temps en temps comme ils avaient pas suivi c'était eux qui posaient les questions (...) C'était nous qui répondions (rire) (B 201)</i>

Le partenariat tire donc des bénéfices d'une organisation qui permet aux acteurs de s'enrichir mutuellement, alors qu'ils n'ont initialement pas vocation à se côtoyer. Dans le cadre d'EDIFICE, c'est une relation suivie, durable et évolutive qui est établie et prévue pour durer trois années. Elle contribue aux explorations de chacun, nées du besoin généré lors des rencontres avec les autres partenaires dans les laboratoires.

12. BILAN DU HUITIEME CHAPITRE

Nous constatons que les enseignants accompagnateurs et les élèves exercent une influence majeure dans la mise en œuvre des itinéraires d'exploration. Pour six cas, des ajustements sont jugés nécessaires sitôt les premières rencontres, lorsque le doctorant prend conscience de la différence de niveau ou lorsque des élèves verbalisent soit leurs difficultés cognitives soit un ennui ressenti face à des moments en laboratoire exclusivement théoriques. Sur l'ensemble de l'itinéraire, quatre cas se caractérisent par des demandes verbalisées d'élèves et quatre autres cas par une prise de conscience du doctorant d'un changement à opérer. Par conséquent, nous assistons à une inflexion de l'itinéraire d'exploration par la mise en œuvre de moments expérimentaux de scolarisation, éventuellement associés à des explications de notions générales. Dans trois cas, dont deux sont évoqués précédemment, des enseignants accompagnateurs sont à l'origine de tensions (voire entrent en conflit dans un cas) parce qu'ils souhaitent des moments expérimentaux « extraordinaires ». Ces négociations vont amener les doctorants à proposer des moments expérimentaux spécifiques de leur travail de thèse dans un second temps. Au total, ce sont donc neuf cas sur quatorze qui se caractérisent par une inflexion notoire de la nature des moments en laboratoire, à cause de l'influence des enseignants accompagnateurs ou des élèves.

Les cinq autres cas se caractérisent par une absence d'influence ayant modifié la nature des moments en laboratoire. Des inflexions sont constatées mais celles-ci sont uniquement du ressort des doctorants eux-mêmes. Trois de ces cas se caractérisent, au commencement des itinéraires, par des explications de savoirs généraux. Les deux autres cas, qui ont débuté par des savoirs spécifiques de la thèse, sont tout de même caractérisés par la présence de difficultés cognitives d'élèves.

Par ailleurs, nous mettons en évidence que tous les itinéraires se terminent par des moments de nature expérimentale que nous qualifions de convergence vers « l'expérimental ». Pour les neuf itinéraires infléchis, cette convergence est la conséquence directe des influences exercées par les acteurs.

Nous avançons, par rapport à l'ensemble des cas étudiés, que pour atteindre avec les élèves une proximité avec des pratiques de recherche de la thèse, il conviendrait mieux de ne pas aborder trop rapidement des moments caractérisés par des explications ou des pratiques expérimentales de la problématique de thèse, car celles-ci génèrent rapidement soit un souhait d'un changement soit des moments principalement de nature technique. Au contraire, l'abord des concepts généraux des thèses alliés à de l'expérimental de scolarisation constituerait un « tremplin » pour la suite, avec la réalisation ultérieure de moments expérimentaux proches des pratiques des recherches doctorales.

Enfin, cinq rôles peuvent être endossés par les enseignants accompagnateurs au cours de leur participation au partenariat : ils sont interprètes dans sept cas, conseillers dans quatre, s'autoproclament responsables du trio d'acteurs dans trois cas et servent d'intermédiaire ressources dans six cas. Dans deux cas, l'enseignant accompagnateur est considéré comme non interventionniste.

Nous constatons aussi que chacun des acteurs a pu réaliser une exploration à son niveau. Nous avons focalisé notre étude sur les explorations des élèves, mais les enseignants ont aussi pu bénéficier de cette expérience en laboratoire pour explorer la recherche doctorale et les sciences en train de se faire. De leur côté, les doctorants ont exploré activement les manières d'encadrer les élèves, profitant alors, à leur tour, des conseils des enseignants. Ces explorations multiples mettent en exergue l'intérêt du partenariat par l'enrichissement mutuel qu'il occasionne.

CHAPITRE 9

DISCUSSION GENERALE

1. CORRESPONDANCE DES NOTIONS D'EXPLORATION

Nous avons élaboré deux types d'exploration des élèves en laboratoire par l'intermédiaire de nos axes de recherche 1 et 2. La première de ces explorations se caractérise par la construction de représentations sur la nature des sciences et les pratiques sociales des chercheurs scientifiques. La deuxième porte spécifiquement sur les pratiques de la recherche doctorale en laboratoire. Nous avons, en outre, évoqué des explorations des enseignants et des doctorants, chacune en dehors de leur domaine de compétence puisque les enseignants explorent également la recherche doctorale, ainsi que les sciences en action lorsqu'ils intègrent le laboratoire, et les doctorants explorent les manières d'encadrer des élèves. Cette diversité des acteurs et des terrains est en phase avec la définition générale que nous avons donnée à cette action d'exploration, en nous basant sur une recherche bibliographique élargie. Elle y est définie comme une expérience d'ouverture sur le monde qui questionne, instruit et construit l'individu mu par sa curiosité.

1.1. Face à l'exploration en didactique des sciences

Nous devons faire remarquer aussi que les explorations des élèves, dans EDIFICE, ne correspondent pas à la notion telle qu'elle est élaborée par Coquidé (1998, 2000) à l'intérieur de la caractérisation des modes des activités expérimentales. Dans cette acception, l'exploration y est définie, à l'intérieur du mode de familiarisation empirique, comme étant un

ensemble d'activités dans le but, entre autres, de familiariser l'élève avec des objets, des phénomènes, de développer un questionnement scientifique en proposant notamment des situations variées et diversifiées, en relançant le questionnement, en introduisant le doute et en aidant à reformuler (p. 153). Or, nous avons considéré qu'aucune activité expérimentale des 14 cas étudiés ne proposait ce type didactique d'exploration. C'est-à-dire que les explorations des élèves correspondent bien à notre définition générale, mais ne s'accordent pas avec celle pour le cadre scolaire de Coquidé, fondée notamment sur le fait que les élèves répondent par eux-mêmes à des questions qu'ils se sont posés. Rappelons que, dans le cas de Benoît, les élèves sont amenés à problématiser à partir d'une bibliographie et que, dans le cas de Kévin, une question est dévolue aux élèves qui sont conduits à effectuer une modélisation analogique à leur portée. Mais, dans ces deux cas, nous caractérisons l'expérimental relevant globalement du mode de l'investigation empirique et non de celui de familiarisation empirique incluant l'exploration de Coquidé. Pourtant, plusieurs points communs avec la notion de Coquidé sont retrouvés dans ces différents cas. Par exemple, Benoît vise également l'expérimentation, lorsqu'il conduit les élèves à adopter une posture de chercheur problématisant. Il ne vise pas à présenter des données ou des savoirs, rendant compte de résultats dans sa recherche, mais son objectif est le vécu de la lente construction des idées et du tâtonnement de la recherche. Enfin, les explorations, telles que nous les avons construites pour EDIFICE sont également en phase avec celles de Coquidé, car il n'y a pas une vérification des acquis cognitifs ou des compétences par le biais d'une évaluation sommative. Dans ce sens où il n'y a pas autant d'exigence de performance que dans le cadre scolaire, les explorations d'EDIFICE, même si elles ne sont pas exactement celles définies par Coquidé, possèdent certaines des caractéristiques communes fondamentales.

1.2. Face à l'exploration de Stebbins

Autre distinction, nous avons précédemment évoqué que l'objectif du dispositif de l'enseignement de MPS portait sur une acquisition de méthodes propres aux sciences. En parallèle, nous avons envisagé que la mise en œuvre de l'exploration, au sens de Stebbins (2001) en tant que méthodologie de recherche scientifique, était cohérente avec la visée de l'enseignement de MPS. Proposer aux élèves l'expérience d'une méthode scientifique portant sur cette exploration apparaissait être une activité adaptée afin de respecter la visée de l'enseignement de MPS d'une acquisition de méthodes propres aux sciences. Nous avons, en quelque sorte, envisagé que les élèves puissent explorer, dans le cadre du partenariat, EDIFICE, une participation à une recherche de thèse doctorale débutante. Dans 21 cas sur 26, il s'agit de la première année de recherche doctorale (Tableaux 5-A,B,C). Or, il n'en est rien, puisqu'un seul itinéraire d'exploration semble avoir permis aux élèves une exploration dans le sens de Stebbins, lorsque Benoît engage les élèves dans un processus de tâtonnements et de problématisation. Donc, dans l'ensemble du dispositif, les méthodes scientifiques qui ont été explorées ne relèvent pas majoritairement de ce processus caché, pourtant largement employé

dans les sciences en action. La plupart des doctorants a finalement donné à vivre soit une expérimentation avec le raisonnement hypothético-déductif, en se servant des hypothèses élaborées initialement dans le cadre de leurs recherches, soit une élaboration procédurale contribuant à l'acquisition de méthodes spécifiques (Tableaux 15-A et 15-B). Ainsi, pour la majorité des cas, l'exploration de Stebbins demeure cachée, malgré son caractère fondamental dans le processus scientifique. Effectivement, le caractère mental de ce processus exploratoire semble difficilement transposable avec les élèves, du fait qu'il soit propre aux individus. De plus, est-il possible que les élèves puissent comprendre et envisager la présence de ce processus fondamental des sciences en action, sans faire l'expérience, eux-mêmes, de cette exploration scientifique, comme dans le cas de Benoît ?

1.3. La nature des moments est le résultat d'un compromis

Ce constat nous amène à penser que la nature des moments est le résultat d'un compromis et que les choix faits, en matière de transposition de la recherche doctorale, permettent de faire se représenter certains aspects, à l'exclusion d'autres et réciproquement. Nous avons précédemment extrait la notion *sensu stricto* d'expérimentation du mode de l'investigation empirique, dans un souci d'adaptation au contexte d'exploration de recherches doctorales et parce que les hypothèses de travail des moments en laboratoire sont le plus souvent celles du doctorant dans sa recherche¹¹⁶. Dans ce contexte, les élèves ne sont pas conduits à problématiser, comme dans l'investigation empirique, mais le doctorant fait part de ses hypothèses de travail ou les fait assimiler par les élèves pour l'expérimentation. Cette distinction va de pair avec la visée de faire participer les élèves aux travaux de la thèse mais, si tel est le cas, ils ne peuvent pas participer à la phase de problématisation étant donné la discontinuité temporelle des itinéraires et le haut niveau scientifique requis pour l'étude de la bibliographie de recherche. En ce sens, il existerait une certaine contradiction observée, dans le cadre de notre étude, entre les élèves ayant été conduits à problématiser et ceux ayant expérimenté sans cette étape préalable. Dans les cas de Julie, de Giulia, de Benjamin, de Thomas et de Yann-Aurélien, qui ont proposé une expérimentation, celle-ci est associée à des explorations ancrées dans la recherche de thèse, alors que les investigations empiriques sont des recherches originales adaptées : associées à des explorations non reliées à la recherche doctorale vis-à-vis de la question d'étude et des savoirs produits dans le cas de Benoît, relié à aucune des cinq caractéristiques de PSR, dans le cas de Kévin. Concernant les premiers, l'expérimentation est proche de la thèse, sans que les élèves aient pu faire l'expérience de la construction des hypothèses de travail ; alors que pour les seconds, la problématisation ne peut aboutir à une expérimentation proche des activités de la thèse. Par conséquent, nous mettons en évidence que deux visées s'opposent dans le dispositif : soit les élèves explorent une phase de problématisation, menant à une expérimentation originale mais éloignée de la

¹¹⁶ Cf. Chapitre 7 / 1. Le cadre analytique de l'exploration

recherche de thèse, soit ils expérimentent avec le doctorant en participant à la recherche de thèse, sans avoir pu participer à la phase de problématisation et d'émergence d'hypothèses.

1.4. Les recherches doctorales proposent un expérimental diversifié

Pour en revenir à la préconisation d'Astolfi (1991) et de Coquidé (1998) sur la diversification des activités expérimentales pour le scolaire, les résultats de notre étude mettent en évidence qu'effectivement, d'autres types d'« expérimental » sont retrouvés dans les sciences de laboratoire, minimisés, voire cachés, dans le cadre scolaire. Par exemple, nous avons évoqué la résistance du réel, omniprésente dans les recherches en sciences, en relation avec les vivants ou avec la matérialité (Coquidé, Bourgeois-Victor, & Desbeaux-Salviat, 1999). Cette résistance du réel a tendance à être effacée dans le cadre scolaire, par l'emploi d'activités systématiquement réussies, donnant une certaine image « aseptisée » des sciences. Or, la résistance du réel est une caractéristique des sciences ayant été le plus évoqué par les élèves après leur expérience en laboratoire (dans 19 groupes - Tableau 13). Par exemple, les matériels ne fonctionnent pas tout le temps et un temps conséquent peut être utilisé à leur réparation, avant même de commencer à expérimenter et ce, malgré la présence de personnels techniques dans les laboratoires. Le cas de Marie est éloquent sur ce point, étant donné que la doctorante est chargée de la construction et du paramétrage de sa machine. Les élèves sont conduits à réaliser, eux-mêmes, ces tests qui correspondent à un expérimental de tests de paramétrages n'existant pas dans le contexte scolaire. De même, en ce qui concerne l'élaboration de protocoles techniques, par exemple dans le cas de Giulia, avec une nécessité de phase de détermination du protocole de séparation des cristaux de quartz. Celle-ci dure plusieurs semaines, avec des batteries d'expériences de séparation par modifications des paramètres du séparateur magnétique et elle exige le recueil de nombreuses données, dans le but de les comparer. Elle fait partie du travail de la recherche, afin de déterminer les réglages optimaux pour concentrer le plus efficacement possible les cristaux, puis réaliser les analyses ultérieures. Les élèves ont pu participer à cette démarche, en acquérant une procédure de détermination du protocole mais qui n'aboutit pas à un savoir factuel. Les élèves interrogés dans cette étude remarquent qu'ils ne peuvent se représenter, dans le cadre scolaire, la lenteur ou le travail conséquent qu'exige une détermination d'un élément protocolaire de réglage matériel, d'un dosage ou d'une concentration donnée. Dans un cadre scolaire, ces données sont souvent transmises à l'avance et ce qui compte, *in fine*, est, le plus souvent, un savoir factuel qu'un savoir sur le protocole. Même si nous sommes conscients que de nombreux protocoles ou pratiques scientifiques utilisent des recettes largement employées et systématisées, le caractère novateur des recherches met également en œuvre un ensemble de tâches expérimentales de nature procédurale. D'un point de vue, là-encore exploratoire, les doctorants découvrent aussi de nombreux matériels au cours de leur thèse qu'ils doivent apprendre à maîtriser. Cette découverte, à ce niveau d'étude, est fondamentale pour la réussite et il nous paraît peu probable qu'il n'en soit pas de même aux niveaux universitaires et

scolaires antérieurs. Par conséquent, nous soutenons l'idée d'Astolfi et de Coquidé qu'une diversification des modes expérimentaux est souhaitable pour l'école, mais différemment d'Astolfi, qui base son argumentaire sur l'apprentissage rendu plus efficace par cette diversification : force est de constater, aussi, que considérer l'expérimental scolaire par le prisme d'un seul mode survalorisé est une vision réductrice qui ne permet pas de générer des représentations prenant en compte la diversité des rapports à l' « expérimental » des sciences qui se font.

2. FACE AUX ENJEUX DE L'ÉDUCATION SCIENTIFIQUE

Nous avons précédemment abordé quatre enjeux de l'éducation scientifique, dont celui de développer la culture scientifique auprès des jeunes. Les résultats de notre premier axe de recherche mettent en évidence que les jeunes du dispositif EDIFICE ont, généralement, construit des représentations riches et variées sur les sciences en action. Notons tout de même, sur ce plan, que l'aspect culturel englobe non seulement les représentations de la nature des sciences, mais également toutes les nouvelles connaissances que les élèves ont pu élaborer, au cours de leur exploration sur des sujets divers, représentatifs des thématiques des recherches doctorales et que nous n'avons pas développées dans le cadre de cette recherche. A ce titre, et conformément aux données récoltées dans les écrits des élèves, le dispositif apparaît très propice à l'acculturation aux sciences, faisant d'EDIFICE une solution potentielle face à cet enjeu de l'éducation scientifique.

2.1. Les sciences perçues comme utiles et bénéfiques à la société

Mais qu'en est-il vis-à-vis des autres enjeux que nous avons définis ? Que penser de l'expérience EDIFICE, en termes d'attitude des jeunes envers les sciences ? Si l'on reprend les écrits de Venturini (2004) mettant en évidence une « fracture », entre les sciences en train de se faire et les sciences à l'école, ils concluent que les élèves, dans les pays occidentaux, ont une attitude plutôt positive envers les sciences dans la société, tout en ayant une attitude plutôt négative envers les sciences à l'école. Nos résultats de recherche nous permettent de penser que l'expérience vécue par les élèves pourrait avoir une influence sur cette fracture. Tout d'abord, cette expérience a permis aux jeunes de contextualiser des savoirs scientifiques dans la société, en leur conférant une utilité concrète. Les sciences ne sont alors plus vues comme séparées de la société, mais comme étant en interrelation directe. Ce décloisonnement opéré l'est également vis-à-vis du contexte scolaire, où des savoirs qui y sont enseignés sont maintenant considérés comme utiles aux recherches de laboratoire. De même, par rapport aux technologies dont certaines ne sont pas spécifiques des laboratoires, mais ont des applications dans la vie courante comme, par exemple, le tube Pitot¹¹⁷ évoqué par Kévin et les élèves (D 1-

¹¹⁷ Le tube Pitot est utilisé en aéronautique et dans l'automobile pour mesurer la vitesse de l'air de certains appareils.

2, B 154-158/164-190). Par conséquent, nous pensons que cette expérience a une capacité de déssectoriser les domaines et de montrer une interdépendance et des relations inextricables, tissées entre le scolaire, les sciences en action, l'ingénierie et les technologies. Certains savoirs sont maintenant envisagés comme utiles en dehors de l'école, ce qui renforce leur caractère nécessaire à l'apprentissage des élèves. Les sciences en général sont maintenant considérées avec l'utilité dont elles font preuve dans la société par l'identification de domaines d'application dans la vie courante. De ce point de vue, il nous apparaît probable que l'expérience EDFICIE modifie favorablement l'attitude des élèves envers les sciences à l'école.

L'autre élément, sur lequel nous pouvons nous appuyer, contraste avec les résultats de Le Hebel, Montpied et Fontanieu (2014) sur le scepticisme, exprimé dans les pays industrialisés par les élèves de quinze ans, par rapport aux effets nuisibles des sciences et des technologies et la confiance accordée aux scientifiques. Est-il possible de ressentir du scepticisme face aux sciences, lorsque la majorité des 26 recherches, explorées par les élèves dans EDIFICE, auraient plutôt pour impact des progrès sociaux ou seraient précurseurs de la transition énergétique dans la société ? Comment ne pas voir de progrès dans la recherche de Benjamin visant à déterminer une composition de matériau de four réfractaire conduisant à diminuer leur consommation en énergies fossiles ? Dans la recherche d'Amal, il s'agit de produire des tissus en fibre de lin résistants dans le temps, pour les sièges automobiles en remplacement des fibres synthétiques dérivées du pétrole. Le caractère bénéfique est présent dans l'objectif de la recherche de Kévin dont l'objectif est d'éviter les sprays d'alcool à 90 degrés sur les chaînes de conditionnement dans l'agroalimentaire. Pour Yann, la visée est également ancrée dans une amélioration sociétale, afin de prévoir l'apparition des polluants émergents à l'issue d'explosions qui toucheraient certains types de sites industriels. Chez Jean, il est question de parvenir à contrôler la combustion *HCCI* moins émettrice de NO_x . La thèse de Thomas vise à dépolluer les effluents des stations d'épuration de leurs molécules médicamenteuses. Nicolas tente de déterminer la méthode de gravure pour des diodes de haute puissance, là-aussi, moins consommatrices d'énergie. Pour Marie, il s'agit de caractériser les nanoparticules pour protéger les utilisateurs. Julie effectue une recherche sur les modifications climatiques d'une transition géologique passée qui pourrait permettre une meilleure compréhension du changement actuel. Dans le cas de Benoît, les liens avec les préoccupations sur le réchauffement climatique sont directs, puisque ses résultats pourraient permettre de compléter des modèles futurs de prévision climatique, en incluant le comportement des tourbières face au réchauffement. De plus, les recherches au Centre de Biophysique Moléculaire ont des applications dans le médical. Comment les explorations d'un tel éventail de recherches aux visées clairement bénéfiques pour la société et source de progrès pourraient-elles permettre d'envisager les sciences comme négatives ? Nous pensons que, par rapport aux résultats sur les explorations des élèves, les sciences sont maintenant davantage vues comme bénéfiques et profitables à la société plutôt que l'inverse.

2.2. Un élargissement du cadre de référence des filières et carrières potentielles pour l'orientation

Le troisième enjeu est de susciter des vocations de chercheurs et d'ingénieurs scientifiques, et nous avons déjà mis en évidence l'impact des explorations sur l'élargissement des possibilités d'orientation. Effectivement, allant de pair avec le décloisonnement évoqué précédemment, nous pensons que les élèves ont pu raccorder les recherches doctorales à des applications technologiques permettant d'ouvrir le cadre de référence à l'industrie et à un panel de carrières, autres que celle de chercheur ou celles des laboratoires. Par exemple, le domaine de la construction automobile est directement relié à la thèse de Jean ; l'automobile, l'aéronautique et l'agroalimentaire sont aussi des domaines omniprésents dans la thèse de Kévin et visés dans une remarque d'élève, lorsqu'elle indique par rapport aux techniques de mesure du laboratoire : « *on se rend compte que ces choses sont un peu partout ou entouré autour de nous sans s'en rendre compte* » (D 1). Le domaine médical a également subi un élargissement de ses contours, en le recoupant à la biologie moléculaire dans le laboratoire du CBM, dont le libellé, lui-même, joint le préfixe « bio- » au suffixe « physique » (dans le terme de biophysique) et associe des physiciens, des chimistes et des biologistes pour focaliser ses recherches. Les représentations du domaine médical sont également modifiées, par l'intermédiaire de l'exploration dans ce laboratoire, avec des travaux de recherches à l'échelle moléculaire ayant, par exemple, des applications en oncologie médicale. Par ces quelques exemples non exhaustifs, nous souhaitons illustrer le fait que les élèves ont subi des influences vis-à-vis de leur orientation. Même s'ils étaient déjà des élèves intéressés par les sciences en général, nous considérons que cet élargissement des possibilités d'orientation va dans le sens du troisième enjeu, en permettant de susciter des vocations de scientifiques de haut niveau dans des domaines différents de ceux des filières privilégiées par les élèves actuellement. Sur ce point, la part des thèses en sciences physiques ne peut qu'être vue de façon positive, étant données les pertes subies par ces filières et paradoxalement aux relations qui sont établies avec les industriels et aux débouchés potentiels.

2.3. Une cohérence forte par rapport aux visées prescrites

Ce résultat d'un élargissement du cadre de référence des élèves vis-à-vis des filières et des carrières scientifiques potentielles est en cohérence avec les intentions nationales de l'enseignement d'exploration par rapport auquel nous avons, en première approximation, fait remarquer le caractère réducteur d'EDIFICE. Il apparaît maintenant erroné d'affirmer que, contrairement à la visée affichée de l'enseignement de MPS d'enrichir les représentations des métiers, des activités professionnelles et des voies de formation scientifiques (Ministère de l'Education nationale, 2010b, p. 2), le partenariat ne cible que le contexte des laboratoires de recherche. En effet, nombreuses sont les recherches doctorales, notamment en sciences

physiques, qui tissent des relations avec des industries et par rapport auxquelles, il est aisé d'envisager et de se représenter un domaine professionnel scientifique, en dehors de la recherche doctorale. Par exemple, nous pouvons évoquer l'industrie automobile dans le cas de Jean, celle du verre dans les cas de Kholoud, de Hao et de Benjamin. L'industrie de pointe des textiles d'origine végétale est susceptible d'intégrer les représentations des élèves après leur exploration auprès d'Amal. Cependant il est possible, conformément aux résultats obtenus sur les différentes professions inhérentes aux laboratoires, que les élèves ne puissent pas, en détail, se représenter des métiers ou des activités professionnelles précises. En ce sens, la visée de l'enseignement de MPS n'apparaît pas réalisée entièrement. En revanche, cet élargissement du cadre est parfaitement en phase avec la volonté d'EDIFICE de faire découvrir « *le large champ professionnel qui s'ouvre à eux* » (Université d'Orléans, 2012). C'est-à-dire que, même s'ils n'ont pas une idée précise des métiers, ils envisagent maintenant l'importance des champs scientifiques dans la société leur permettant, peut-être, d'imaginer une profession future dans l'un de ces champs.

2.4. Une incitation des élèves à la réflexion sur la question de leur orientation

EDIFICE favorise-t-il l'attitude d'orientation active, c'est-à-dire une attitude tournée vers la prise en charge des questions relatives à l'avenir scolaire, étudiantin ou professionnel ? Nous considérons que le pari, fait sur la liberté laissée aux élèves pour explorer, est une réponse adaptée pouvant potentiellement les conduire à développer une attitude d'explorateur sur ces questions. Nous pensons que cette expérience de l'exploration est favorable à développer chez eux une capacité à explorer, de même lorsque des méthodes sont abordées, par exemple. Les individus ne reproduisent-ils pas systématiquement dans leur vie, des habitudes prises ou des méthodes acquises antérieurement ? Dans ce cadre-là, l'exploration en elle-même est à la fois un moyen d'apprentissage des élèves tout en étant l'un des buts poursuivis. Outre l'acquisition culturelle qu'ils en retirent, il est possible qu'après cette opportunité d'ouverture sur un laboratoire de recherche, ils puissent avoir l'idée d'en franchir d'autres, en étant enclins à transposer cette expérience d'exploration ailleurs. L'autre argument sur lequel nous nous appuyons est que la « cible » explorée correspond à une période charnière, à cheval entre le monde étudiantin et le monde professionnel, avec des gestes, des procédures et des méthodes, à la fois propres à un étudiant doctorant, apprenti chercheur, qui s'avèrent être également celles des chercheurs confirmés. Dans ce contexte, l'exploration cible à la fois des filières d'études, mais aussi une profession si l'on se focalise sur celle de chercheur. Nous avons donc, ici, un point d'entrée, à la fois dans le monde professionnel et dans les filières d'étude scientifique, élargissant l'exploration des élèves, en les amenant à se représenter les filières d'études antérieures à celles du doctorants, ainsi que les débouchés ultérieurs, en association avec l'élargissement du cadre de référence des filières et carrières potentielles évoquées précédemment. Par conséquent, nous pensons que, bien que n'ayant pas spécifiquement porté notre recherche sur l'orientation des élèves, ni sur l'évolution de leur

attitude, le contexte dans lequel ils ont été immergés les a contraint à se positionner et à se représenter à la fois étudiant et professionnel. Par conséquent, nous considérons que ce positionnement est déjà révélateur d'une attitude, d'une posture de projection dans l'avenir, pour prendre en charge des questions relatives à leur avenir scolaire, étudiantin et professionnel.

3. LE CURRICULUM SE CARACTERISE PAR UNE DIVERSIFICATION DES CONCEPTIONS ET DES MISES EN ŒUVRE

3.1. Des visées personnelles

Notre étude nous permet également de mettre en évidence une capacité de diversification d'un curriculum prescrit lors d'une mise en œuvre effective et au-delà. Ce constat semble même amplifié par la nature partenariale du dispositif, dans lequel, différemment d'un contexte scolaire classique, nous avons ici trois types d'acteurs en situation. Sans même évoquer l'émergence d'EDIFICE, en tant que forme d'organisation possible de l'enseignement d'exploration de MPS, cette diversification s'observe au niveau du curriculum potentiel des doctorants qui ne conçoivent pas des moments de nature similaire, si nous nous focalisons sur les sept caractéristiques analysées. A ce niveau curriculaire, la visée des doctorants est une des sources de la diversification constatée, puisque certains comme Thomas souhaitent, entre autres, donner une image réaliste de leur recherche, alors que d'autres se focalisent sur la motivation des élèves comme Kévin et Jean. Mais, si on analyse l'ensemble des visées évoquées par les doctorants, aucun système de visées n'est le même, parmi les quatorze cas ayant fait l'objet de cette étude spécifique (Tableaux 15-A et 15-B). En outre, il apparaît que ces visées sont aussi influencées par la nature de la thèse : lorsqu'Olga souhaite utiliser le spectroscope Raman ou lorsqu'Armel et Aurélien ambitionnent de transposer leur démarche de géologue de terrain. Si l'on prend également en compte les contraintes spécifiques des thèses et, conformément aux conclusions accompagnant les résultats de notre deuxième axe de recherche, nous mesurons, dans ce cas, l'importante diversification dont peut faire l'objet le dispositif, au stade des projections de mises en œuvre effectives du curriculum potentiel.

3.2. Des représentations du concept de sciences

Dans notre étude, nous mettons aussi en évidence que, même dans le cas où les acteurs respectent la visée institutionnelle, celle-ci peut être diversement interprétée en fonction des représentations individuelles. Par exemple, nous avons mis en évidence que douze doctorants considéraient avoir permis aux élèves une exploration de leur recherche doctorale en respectant la visée institutionnelle. Or, cette visée de faire vivre et participer les élèves aux travaux de la thèse est déclinée en fonction de manières spécifiques de se représenter les

sciences, en tant que processus rationnel, routinier ou de tâtonnements. Pour les deux autres cas, les sciences sont considérées comme un ensemble de savoirs institués. Par conséquent, nous mettons en évidence une diversification importante due, pour partie, à la complexité du concept de sciences qui, même à travers les rapports institutionnels¹¹⁸, est source d'approximations et de conclusions que nous considérons maintenant partiellement erronées, lorsqu'ils évoquent une désaffection des jeunes pour les filières scientifiques (Boilevin & Ravanis, 2007 ; Convert & Gugenheim, 2005).

3.3. Interrelations des niveaux curriculaires

La mise en œuvre effective est un processus de co-construction entre acteurs, du fait des interactions entre les personnes qui apparaît être également tributaire des personnalités et des rôles endossés, en cours de route, conformément à l'organisation partenariale. Par conséquent, la diversification opérée au niveau des projections du curriculum potentiel par le doctorant est confrontée à l'épreuve des réceptions par les élèves et par les enseignants accompagnateurs qui, en interaction, peuvent également agir par des verbalisations directes, pour modifier la nature des projections du doctorant. Dans d'autres cas, ce dernier peut prendre conscience d'ajustements nécessaires. Dans le cadre du partenariat, nous mettons en évidence une interaction assez forte, entre le niveau des projections de mise en œuvre et les mises en œuvre effectives avec aussi une évolution dans le temps. Elle montre que la co-construction concernerait également, dans une certaine mesure, le curriculum potentiel, étant donné les éléments verbalisés et les conseils prodigués par les acteurs. Dans ce sens, nous avons indiqué que les doctorants étaient à l'origine d'un curriculum potentiel en imaginant les mises en œuvre, mais nous constatons maintenant que les enseignants accompagnateurs et les élèves possèdent également leurs idées sur la façon dont les moments sont à concevoir. Par exemple, nos résultats mettent en évidence que des élèves ont tendance à imaginer des moments en laboratoire comportant davantage d'expérimental. En revanche, certains enseignants accompagnateurs considèrent que les moments doivent comporter une part d'expérimental « extraordinaire », c'est-à-dire qu'ils doivent être spécifiques des thèses et ne pas correspondre à des activités scolaires. Nous mettons en évidence une influence de ces acteurs, exercée sur la façon des doctorants de concevoir les moments en laboratoire, et ayant impacté les mises en œuvre au niveau du curriculum co-produit.

3.4. Les médias de l'exploration

Nous devons faire remarquer le caractère finalement réducteur conféré à l'exploration, eu égard aux aspects étudiés, mais aussi par rapport à notre méthodologie de recherche basée sur des écrits des élèves, d'entretiens semi-dirigés, en ce qui concerne notre premier axe de recherche. Il s'agit d'explorations reconstruites à partir de verbalisations et d'écrits, en

¹¹⁸ Lire par exemple le rapport de la Commission Européenne (2004)

réponse à des questions rendant compte d'une partie de l'exploration effective des élèves, mais nécessairement réductrice. De la même façon, les itinéraires de moments, que nous avons construits dans notre deuxième axe, ne tiennent pas compte de la majorité de la communication « anodine » ou informelle, associée et également source d'enseignements pour les élèves, ainsi que toutes les observations dans le laboratoire. Nous devons distinguer ici, plusieurs types d'explorations, entre celles effectivement effectuées, celles verbalisées ou écrites. Même dans l'éventualité où nous aurions pu réaliser des observations suivies lors des mises en œuvres, elles ne seraient pas nécessairement promptes à rendre compte des explorations effectives, eut égard au caractère caché qu'elles revêtent. Notre méthodologie se voulait globale, en employant une variété de vecteurs, textuels ou autres, mais sans enregistrements vidéos, lesquels présentaient des difficultés à la fois logistique et technique. Gardons en mémoire que d'autres prolongements demeurent cachés dans les explorations des élèves et que les résultats de ce manuscrit de recherche sont un aspect reconstruit important, mais ne tenant nécessairement pas compte d'autres acquisitions, dont l'étude aurait exigé une recherche nouvelle à part entière.

3.5. La continuité de l'évolution des explorations

Cet élargissement est, par exemple, envisageable au niveau de la durée totale du dispositif de trois années et rappelons, à ce sujet, que notre recherche cible uniquement la première année de mise en œuvre, pour la caractérisation des itinéraires d'exploration de la recherche doctorale et leurs évolutions dans le temps. Mais qu'en est-il, lorsque les élèves sont de nouveau encadrés par le doctorant l'année d'après, alors qu'ils sont en classe de première ? Quelles évolutions constate-t-on, à un an d'intervalle, en ce qui concerne la nature des moments en laboratoire et les explorations résultantes ? Il nous est possible d'apporter ici quelques compléments, du fait de l'intégralité du corpus recueilli, dont une part reste à être étudiée en dehors de cette recherche de thèse.

Lors de la mise en œuvre du dispositif EDIFICE en classe de Première, dans le cadre, cette fois-ci, des Travaux Personnel Encadrés (TPE), nous mettons en évidence que les élèves sont encore davantage impliqués dans une démarche scientifique et/ou davantage acteurs d'une recherche personnelle. Nous nous basons, pour cela, sur la mise en œuvre d'une méthodologie similaire à celle décrite dans ce manuscrit, sur la deuxième année de participation des élèves de la première cohorte. Ce recueil de données nous permet d'inférer que pour les cinq cas de Benjamin, Olga, Jean, Benoît et Armel, l'exploration devient ou demeure une démarche personnelle de problématisation, utilisant éventuellement l'instrument central de la thèse, comme dans les cas d'Olga et de Jean (Tableau 23). Autre évolution : nous ne constatons pratiquement plus d'exploration ethnographique (excepté dans le cas de Giulia). Celles-ci ont évolué, soit en démarches de pratiques réelles (cas de Nicolas, Marie), soit en démarches personnelles de problématisation (cas d'Olga), soit en un nouveau mode d'exploration par

l'intermédiaire d'une démarche procédurale (cas de Giulia). Ce nouveau mode, qui apparaît au cours de la deuxième année du dispositif, se caractérise par la mise en œuvre d'une expérimentation, dont la question de recherche est exclusivement centrée sur des méthodes d'utilisation d'instruments matériels spécifiques. C'est-à-dire que les élèves sont guidés par un questionnement méthodologique, les conduisant à utiliser des instruments spécifiques et à élaborer des savoirs procéduraux. Nous n'avons pas caractérisé ce mode, au cours de la première année, parce que les investigations, portées sur la construction de savoirs procéduraux, étaient aussi associées à des moments de nature ethnographique. Au cours de la deuxième année, les moments ne sont plus ethnographiques, puisque les élèves utilisent les instruments par rapport à un questionnement de méthode, qui n'appartient plus à la thèse mais à une recherche originale.

Cas	Mode d'exploration pour la classe de seconde	Mode d'exploration pour la classe de première
Benjamin	Démarche de pratiques réelles	Démarche personnelle de problématisation
Yann	Concepts généraux de la thèse	Démarche procédurale du domaine de recherche
Kévin	Concepts généraux de la thèse	Démarche procédurale du domaine de recherche
Olga	Ethnographique	Démarche personnelle de problématisation avec le spectroscope Raman
Jean	Démarche et concepts généraux de la discipline de recherche	Démarche personnelle de problématisation avec banc moteur
Nicolas	Ethnographique	Démarche de pratiques réelles
Marie	Ethnographique	Démarche de pratiques réelles
Thomas	Démarche de pratiques réelles	Démarche de pratiques réelles
Julie	Démarche de pratiques réelles	Démarche de pratiques réelles avec une campagne de terrain
Yann-Aurélien	Démarche de pratiques réelles	Démarche de pratiques réelles
Benoît	Démarche personnelle de problématisation	Démarche personnelle de problématisation
Giulia	Ethnographique	Démarche procédurale avec séparateur magnétique + Ethnographique (alternativement)
Armel	Démarche de la thèse	Démarche personnelle de problématisation
Aurélien	Démarche de la thèse	Démarche de la thèse

Tableau 23. Comparaison des modes d'exploration entre la première et deuxième année de mise en œuvre EDIFICE pour les 14 cas.

Ces évolutions sont susceptibles d'être causées par d'autres influences, non considérées jusqu'à présent, comme la nature du dispositif scolaire, dans lequel s'insère le partenariat. Pour la deuxième année, l'utilisation du dispositif des TPE et la présence d'une évaluation

finale, comptant pour le baccalauréat, a pu jouer en la faveur d'explorations davantage tournées vers une démarche entreprise par les élèves eux-mêmes, conformément à la volonté des textes prescrits régissant le dispositif national. L'autre influence pourrait également provenir des acquis antérieurs des élèves ayant déjà exploré les caractéristiques de la recherche doctorale. Peut-être sont-ils, maintenant, plus prompts à entreprendre une recherche originale dans le laboratoire. Par exemple, si l'on prend les cas du groupe d'Olga, les élèves ont mené une recherche originale en se demandant si des médicaments étaient décelables au spectroscope Raman. Avec Jean, les élèves ont élaboré une problématique originale exigeant l'utilisation du banc moteur pour l'obtention des données nécessaires. Dans ces deux cas, les élèves ont donc transposé l'utilisation de l'outil principal dans un autre cadre que celui de la thèse de référence. Ajoutons que le mode d'exploration ne change pas pour le cas de Julie, si ce n'est qu'elle emmène les élèves faire une campagne de terrain, conformément à l'épistémologie de sa discipline des sciences de la Terre.

4. PERSPECTIVES

Les données recueillies au cours de notre « campagne de terrain » sont nombreuses puisqu'elles concernent, comme nous l'avons évoqué, la première cohorte au cours de ses deux premières années de participation au dispositif et la deuxième cohorte au cours de la première année de mise en œuvre. La nouvelle méthodologie déployée ressemble à celle développée dans cette thèse mais elle permet davantage de recoupements. Par exemple, pour la deuxième cohorte, nous avons systématiquement réalisé des entretiens avec tous les élèves, ce qui n'était pas le cas pour ce travail de thèse. Pratiquement tous les élèves ont complété un questionnaire pré et post-test sur la nature des sciences et ont rédigé plusieurs réponses à un ensemble de questions ouvertes. Tous les supports recueillis étant nominatifs, ce déploiement méthodologique nous permet de recouper l'évolution des représentations des élèves des sciences, à leurs représentations initiales et leur expérience vécue, c'est-à-dire au mode d'exploration, au laboratoire fréquenté, au domaine scientifique de la thèse, aux visées du doctorant, etc. Ces données ne pouvaient faire l'objet de la recherche exposée dans ce manuscrit de thèse, étant donné la cohérence nécessaire, par rapport à une deuxième année de mise en œuvre d'un dispositif partenarial comprenant, pour partie, les mêmes laboratoires et se servant de retours d'expérience de l'année passée. En ce sens, il nous paraissait fondamental d'étudier, dans un premier temps, la première année de mise en œuvre. Cette thèse est donc la première partie d'une recherche de plus grande envergure sur le partenariat scientifique, que nous réaliserons ultérieurement.

CONCLUSION

En guise de conclusion, nous proposons trois points fondamentaux d'ajustement et de précision, au niveau curriculaire et épistémologique, mis en évidence par cette recherche.

Tout d'abord, nous avançons que, pour l'enseignement des disciplines scientifiques et technologiques, le curriculum prescrit ne devrait pas réduire les approches éducatives au seul terme d'investigation, malgré la demande d'une généralisation des enseignements dédiés à cette approche, au niveau européen, afin de favoriser l'intérêt des élèves pour les sciences (Rocard *et al.*, 2017)¹¹⁹. En France, elle s'est généralisée sous l'appellation de démarche d'investigation, au primaire en 2002, puis au collège en 2005, puis dans les prescriptions de la réforme du lycée de 2010. Elle est ainsi préconisée pour toutes les disciplines scientifiques (mathématiques incluses) et technologiques (Ministère de l'Éducation Nationale, 2005, 2008), malgré les incohérences constatées (Lebeaume, 2006, p. 104-113). Or, l'éducation scientifique et technologique ne saurait se limiter à une seule démarche qui, d'ailleurs, n'inclue pas, sous sa forme prescrite française, de phase d'exploration, étant donné qu'elle débute par une situation-problème choisie par l'enseignant.

Nous souhaitons attirer l'attention sur le fait que l'exploration est fondamentale dans des sciences et qu'elle peut contribuer également à l'éducation scientifique et technologique des élèves, en intégrant les représentations sur les sciences qui se font. Par conséquent, il y a lieu de développer les activités d'exploration à l'intérieur du curriculum prescrit, compte tenu des possibilités d'amélioration qu'elles présentent pour le développement de la culture scientifique, sur l'attitude des jeunes envers les sciences, pour susciter des vocations professionnelles de scientifiques, d'ingénieurs et pour favoriser l'orientation active. Aujourd'hui, cette activité est cantonnée, dans l'enseignement secondaire en France, au dispositif des EE en classe de seconde générale et technologique. Elle peut aussi avoir lieu lors de la première phase de la mise en œuvre des TPE en classe de première. Mais, ces dispositifs sont régis par des textes qui, soit n'évoquent pas l'exploration (cas des TPE), soit permettent difficilement aux enseignants de se représenter cette activité (cas des EE). De plus, il n'est pas suffisant d'invoquer le terme, comme dans le cas EE (Ministère de l'Éducation Nationale, 2011), étant données les interprétations multiples, dont sont susceptibles de faire l'objet les textes prescrits. D'ailleurs, cette recherche met en évidence le potentiel d'innovation et de diversification, dont font preuve les curriculums potentiels et co-produits d'EDIFICE, par rapport au curriculum prescrit de l'enseignement d'exploration de Méthodes et Pratiques Scientifiques. Par conséquent, une explicitation de la notion apparaît nécessaire, afin que la communauté enseignante puisse interpréter, de manière plus adéquate, les prescriptions nationales et relativement aux intentions qui y sont affichées.

¹¹⁹ Il est écrit dans le rapport européen que « *Renverser la pédagogie utilisée pour enseigner les sciences à l'école, en la faisant passer de méthodes essentiellement déductives à des méthodes basées sur l'investigation permet d'augmenter l'intérêt des jeunes pour les sciences* » (p. 4).

De plus, nous considérons fondamental d'attirer l'attention sur les ambiguïtés générées par le concept de sciences qui, à tous les niveaux, est source de confusions et exigerait une clarification, ou bien une entente sur ses contours. Outre l'orthographe différenciée dont il est fait usage pour ce terme, entre un emploi au pluriel ou au singulier, sa signification est floue, lorsque les rapports des instances politiques évoquent une désaffection pour les sciences sur la base des disciplines des sciences physiques, de la chimie et des mathématiques (Communiqué conférence de l'OCDE, 2005). Cette représentation du concept de sciences n'est-elle pas non plus celle des élèves ou même des chercheurs, lors des interrogations sur les ressentis des cours de sciences, dans le cadre d'études sur les attitudes par exemple ? Les sciences imprègnent la société dans nos vies de tous les jours, en interrelation avec les technologies et l'on peut légitimement penser que les disciplines scolaires, aussi structurantes et nécessaires soient-elles, présentent l'inconvénient de réduire le concept de sciences, dans les représentations des élèves, à ces seules disciplines. Aussi, il nous paraît urgent de travailler sur les représentations, afin que les sciences ne soient plus assimilées aux seules disciplines précédemment citées, mais intègrent aussi, par exemple, des domaines professionnels scientifiques, en relation avec les disciplines précitées, mais qui emploient leur corpus spécifique de notions et de techniques, peu représenté au niveau du lycée général. C'est dans cette optique qu'est conçu le dispositif d'enseignement de Méthodes et Pratiques Scientifiques en ouvrant le cadre de référence à la découverte de métiers, d'activités professionnelles et de voies de formation du domaine des sciences et des technologies (Ministère de l'Éducation Nationale, 2010b, 2010d). A ce titre, nous avons mis en évidence les liens établis entre certaines recherches du cadre d'EDIFICE et l'industrie (comme par exemple l'ingénierie textile dans la thèse d'Amal). Nous pensons aussi que d'autres partenariats, proposant des explorations dans des domaines professionnels et scientifiques variés devraient être tentés, conformément à l'esprit de l'enseignement de MPS.

Enfin, nous avons évoqué, au tout début de ce manuscrit, l'expédition de Charles Darwin, comme ayant été à l'origine de la formulation de la théorie de la Sélection Naturelle. Nous souhaitons préciser que, d'un point de vue épistémologique, l'exploration ne désigne pas un accès direct au réel, qu'il suffirait de découvrir, afin d'en formuler les lois cachées. L'exploration de Darwin lui a permis la formulation de sa théorie, mais son ouvrage *L'origine des espèces* a été publié en 1859, soit 23 ans après son retour en Angleterre. La Sélection Naturelle, dans sa forme originale, a donc été murie et élaborée tout au long des années par le naturaliste anglais. Elle a subi des compléments et elle se construit encore aujourd'hui. Par conséquent, l'exploration ne doit pas être assimilée à une découverte du réel, mais elle doit être perçue comme un moyen pour la construction du réel, accessible par l'intermédiaire des représentations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Articles de revues, livres et chapitres de livres, actes de colloque, rapports de recherche, mémoires de thèses ou d'habilitation à diriger des recherches

ABRAHAM, L. M. (2002). What Do High School Science Students Gain from Field-Based Research Apprenticeship Programs ?. *The Clearing House : A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 75(5), p. 229-232.

ABBOTT, C., & SWANSON, M. (2006). A Rewarding Partnership. *Science Teacher*, 73(4), p. 32-35.

AINSWORTH, M. D.S., BLEHAR, M. C., WATERS, E., & WALL, S. (1979). *Patterns of Attachment : A Psychological Study of the Strange Situation*. New York : Psychology Press. 410 p.

ALEMANI, L. (1986). L'initiation technologique à l'école élémentaire. *Revue française de pédagogie*, 74(1), p. 5-22.

ASTOLFI, J.-P. (1991). Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences. L'exemple de la géologie à l'école élémentaire. *Aster*, n° 13, p. 157-186.

ASTOLFI, J.-P., & DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences* (6^e éd.). Paris : Presses Universitaires de France. 127 p.

AURÉGAN, P., JOFFRE, P., LOILIER, T., & TELLIER, A. (2008). Exploration prospective et management stratégique : vers une approche projet de la stratégie. *Management & Avenir*, n° 19, p. 91-113.

BACHELARD, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : Presses universitaires de France.

BACHELARD, G. (1953). *Le matérialisme rationnel*. Paris : Presses universitaires de France.

BARAB, S. A., & HAY, K. E. (2001). Doing science at the elbows of experts : Issues related to the science apprenticeship camp. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(1), p. 70-102.

BARBOT, B. (2008). Structures identitaires et expression créative à l'adolescence. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 37(4), p. 483-507.

BARMA, S., & GUILBERT, L. (2006). Différentes visions de la culture scientifique et technologique : défis et contraintes pour les enseignants. In A. Hasni, Y. Lenoir & J. Lebeau me (Ed.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences* (p. 11-39). Québec : Presses de l'Université du Québec.

BARTH, B.-M., & PERETTI, A. de. (2013). *Apprentissage de l'abstraction*. Paris, Montréal : Retz.

BECKER, M. L., CONGALTON, R. G., BUDD, R., & FRIED, A. (1998). A GLOBE Collaboration to Develop Land Cover Data Collection and Analysis Protocols. *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), p. 85-96.

BEAUFILS, D., & SALAMÉ, N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ? *Aster*, n° 8, p. 55-79.

BELL, R. L., BLAIR, L. M., CRAWFORD, B. A., & LEDERMAN, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(5), p. 487-509.

BÉDUWÉ, C., FOURCADE, B., GIRET, J.-F., & MOULLET, S. (2007). Études scientifiques et marché du travail : éléments de réflexion sur la crise des formations en sciences. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 36(4), p. 503-532.

BERENFELD, B. (1994). Technology and the new model for science education: the Global Lab experience. *Machine-mediated learning*, 4(2-3), p. 203-227.

BISAULT, J. (2011). *Contribution à l'élaboration curriculaire d'une éducation scientifique à l'école primaire: modélisation des moments scolaires à visée scientifique*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan.

BISSONNETTE, S., RICHARD, M., & GAUTHIER, C. (2005). Interventions pédagogiques efficaces et réussite scolaire des élèves provenant de milieux défavorisés. *Revue française de pédagogie*, 150(1), p. 87-141.

BLAIS, M., & MARTINEAU, S. (2006). L'analyse inductive générale : Description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches qualitatives*, 26(2), p. 1-18.

BLANCHET, A., & GOTMAN, A. (2007). *L'enquête et ses méthodes. L'entretien (2è éd., chap. 2)*. Paris : Armand Colin. 126 p.

BLEICHER, R. E. (1996). High school students learning science in university research laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), p. 1115-1133.

BLUMER, H. (1986). *Symbolic Interactionism : Perspective and Method*. University of California Press.

BLUSTEIN, D. L. (1992). Applying Current Theory and Research in Career Exploration to Practice. *The Career Development Quarterly*, 41(2), p. 174-183.

BOILEVIN, J.-M. & RAVANIS, K. (2007). L'éducation scientifique et technologique à l'école obligatoire face à la désaffection : recherches en didactique, dispositifs et références. In J.-M. Boilevin & K. Ravanis, *Regards croisés franco-helléniques sur l'éducation scientifique et technologique à l'école obligatoire*. (p. 5-11). Marseille : Éd. IUFM Aix Marseille.

BOILEVIN, J.-M. (2014). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. In M. Grangeat (Ed.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation*. (p. 27-53). Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.

BORRAS, I., & ROMANI, C. (2010). Orientation et politiques publiques. Formation emploi. *Revue française de sciences sociales*, n° 109, p. 9-22.

BOWLBY, J. (1988). *A Secure Base : Parent-Child Attachment and Healthy Human Development*. Basic Books. 416 p.

BRANDT-POMARÈS, P., & LHOSTE, Y. (2013). L'éducation et l'enseignement scientifique et technologique : analyse critique des évolutions actuelles. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n° 7, p. 9-18.

BROUGÈRE, G. (1997). Jeu et objectifs pédagogiques : une approche comparative de l'éducation préscolaire. *Revue française de pédagogie*, 119(1), p. 47-56.

BRUCE, T. (1992). *Exploring Learning : Young Children and Blockplay*. Londres : Paul Chapman Publishing Ltd. 240 p.

BURGIN, S. R., SADLER, T. D., & KOROLY, M. J. (2012). High School Student Participation in Scientific Research Apprenticeships: Variation in and Relationships among Student Experiences and Outcomes. *Research in Science Education*, 42(3), p. 439-467.

BRYON-PORTET, C. (2010). Sciences humaines, sciences exactes. Antinomie ou complémentarité ? *Communication*, 28(1), p. 243-264.

CAILLOUETTE, J. (2001). Pratiques de partenariat, pratiques d'articulation identitaire et mouvement communautaire. *Nouvelles pratiques sociales*, 14(1), p. 81-96.

CALMETTES, B., & MATHERON, Y. (2015). Les démarches d'investigation : utopie, mythe ou réalité ? (dossier : Les démarches d'investigation et leurs déclinaisons en mathématiques, physique, sciences de la vie et de la Terre). *Recherches en Education*, n° 21, p. 3-11.

CARIOU, J.-Y. (2009). *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*. Thèse de doctorat, Université de Genève. 399 p.

CARTER, E. W., TRAINOR, A. A., CAKIROGLU, O., SWEDEEN, B., & OWENS, L. A. (2010). Availability of and Access to Career Development Activities for Transition-Age Youth with Disabilities. *Career Development for Exceptional Individuals*, 33(1), p. 13-24.

CASSIE, J., & HACHÉ, D. (1998). L'utilisation d'une heuristique curriculaire pour créer un apprentissage adapté à la vie. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(1), p. 75-93.

CHARNEY, J., HMELO-SILVER, C. E., SOFER, W., NEIGEBORN, L., COLETTA, S. & NEMEROFF, M. (2007). Cognitive Apprenticeship in Science through Immersion in Laboratory Practices. *International Journal of Science Education*, 29(2), p. 195-213.

- CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage. 126 p.
- CHEYNE, J. A. (1982). *Object Play and Problem-Solving: Methodological Problems and Conceptual Promise*. Karger Publishers.
- CLÉNET, J., & GÉRARD, C. (1994). *Partenariat et alternance en éducation : des pratiques à construire...* Paris : L'Harmattan.
- COHEN-AZRIA, C. (2008). Venturini Patrice. L'envie d'apprendre les sciences : motivations, attitudes, rapport aux savoirs scientifiques. *Revue française de pédagogie*. n°164, p. 177-179.
- COHEN-SCALI, V., & GUICHARD, J. (2008). L'identité : perspectives développementales. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 37(3), p. 321-345.
- CONVERT, B. (2003). La « désaffection » pour les études scientifiques, quelques paradoxes du cas français. *Revue française de sociologie*, 44(3), p. 449-467.
- CONVERT, B. (2005a). Les bacheliers scientifiques et les sciences. *Présenté au colloque : « La crise mondiale des sciences »*, Lille.
- CONVERT, B. (2005b). L'Europe et la crise des vocations scientifiques. *Politiques d'éducation et de formation*, De Boeck, p. 90-96.
- CONVERT, B. (2006). *Les impasses de la démocratisation scolaire. Sur une prétendue crise des vocations scientifiques*. Éd. Raisons d'Agir, 96 p.
- CONVERT, B., & GUGENHEIM, F. (2005). Modalités et mécanismes sociaux La crise des vocations scientifiques en France explicatifs. *Politiques d'éducation et de formation*, De Boeck, p. 21-34.
- COOLEY, W. W. & BASSETT, R. D. (1961). Evaluation and follow-up study of a summer science and mathematics program for talented secondary school students. *Science Education*, 45(3), p. 209-216.
- COQUIDÉ, M. (1998). Les pratiques expérimentales : Propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, n° 26, p. 109-132.
- COQUIDÉ, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan.
- COQUIDÉ, M. (2003). Face à l'expérimental scolaire. In J. P. Astolfi (Dir.), *Education, formation : nouvelles questions, nouveaux métiers* (p. 153-180). Paris : ESF.
- COQUIDÉ, M., BOURGEOIS-VICTOR, P., & DESBEAUX-SALVIAT, B. (1999). « Résistance du réel » dans les pratiques expérimentales. *Aster*, n° 28, p. 57-77.

- COQUIDÉ, M., FORTIN, C., & LASSON, C. (2010). Quelles reconfigurations curriculaires dans le cadre d'un enseignement intégré de science et de technologie ? *Présenté au Colloque de l'Actualité de la Recherche en Education et en Formation (AREF)*, Genève.
- COQUIDÉ, M., & RAULIN, D. (2011). France : l'avancée du Socle commun et les questions posées. Un entretien avec Maryline Coquidé et Dominique Raulin. *Centre international d'études pédagogiques*, n° 56, p. 89-99.
- CORFF, Y. L., & GINGRAS, M. (2011). L'Inventaire des préoccupations de carrière : une mesure de l'adaptabilité à la carrière. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 40(1).
- CRINON, J. (1996). Petit dictionnaire à l'usage des lecteurs du BO. *Cahiers pédagogiques*, n° 347, p. 22-23.
- CROS, F. (2001). *L'innovation scolaire*. Paris : Institut national de recherche pédagogique.
- CROS, F. (2011). « Innovation ». In P. Champy & C. Etévé, *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation : 3ème version*. Paris : Éd. Retz, p. 497-501.
- DAVEY, R. P., BRIGHT, J. E. H., PRYOR, R. G. L., & LEVIN, K. (2005). « Of Never Quite Knowing What I Might Be » : Using Chaos Counseling with University Students. *Australian Journal of Career Development*, 14(2), p. 53-62.
- DAVIS, C. O. (1924). *Junior high school education*. New York : World book company.
- DAVIS, D. D. (1999). The Research Apprenticeship Program : Promoting Careers in Biomedical Sciences and the Health Professions for Minority Populations. *Presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*, Montréal.
- DE KETELE, J.-M., & ROEGIERS, X. (2009). *Méthodologie du recueil d'informations : fondements des méthodes d'observation, de questionnaire, d'interview et d'étude de documents* (4e éd.). Bruxelles : De Boeck.
- DE VECCHI, G., & CARMONA-MAGNALDI, N. (2015). *Faire Vivre de véritables situations-problèmes*. Hachette Éducation.
- DELIGNIÈRES, D. (2004). Difficulté de la tâche et performance In J. La Rue & H. Ripoll, *Manuel de Psychologie du Sport*, t. I. Paris : Éd. Revue EPS, p. 85-112.
- DÉPELTEAU, F. (2010). *La démarche d'une recherche en sciences humaines : De la question de départ à la communication des résultats*. Bruxelles: De Boeck Université.
- DESCOLONGES, M. (1996). *Qu'est-ce qu'un métier ?* Presses Universitaires de France.
- DEVELAY, M. (2004). *De l'apprentissage à l'enseignement*. France : Éditions Sociales Françaises.
- D'HAINAUT, L. (1977). *Des fins aux objectifs de l'éducation*. Bruxelles : Labor.

D'HAINAUT, L., NOËL, B., & DEROUAIX, C. (1980). *Les Activités d'exploration : observation de démarches exploratoires spontanées et expérimentation de deux méthodes d'enseignement des activités d'exploration dans le premier cycle de l'enseignement secondaire*. (Recherche en Education, n° 16). Bruxelles : Ministère de l'Education Nationale et de la Culture Française.

DIJKSTRA, E., & GOEDHART, M. (2011). Evaluation of authentic science projects on climate change in secondary schools: a focus on gender differences. *Research in Science & Technological Education*, 29(2), p. 131-146.

DOLAN, E. L., LALLY, D. J., BROOKS, E., & TAX, F. E. (2008). PREPping Students for Authentic Science. *Science Teacher*, 75(7), p. 38-43.

DONAHUE, T. P., LEWIS, L. B., PRICE, L. F., & SCHMIDT, D. C. (1998). Bringing Science to Life Through Community-Based Watershed Education. *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), p. 15-23.

DOREY, S. (2012). *Les logiciels de visualisation moléculaire dans l'enseignement des sciences de la vie : conceptions et usages*. Thèse de doctorat, École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan.

DOUDIN, P.-A., & MARTIN, D. (1999). Conception du développement de l'intelligence et formation des enseignants. *Revue française de pédagogie*, 126(1), p. 121-132.

DUREY, A., & MARTINAND, J.-L. (1994). Un analyseur pour la transposition didactique entre pratiques de référence et activités scolaires. In G. Arsac, J.-L. Martinand, Y. Chevallard, & A. Tiberghien (Éd.), *La transposition didactique à l'épreuve*. La Pensée Sauvage éditions.

DURU-BELLAT, M., & KIEFFER, A. (2000). La démocratisation de l'enseignement en France : polémiques autour d'une question d'actualité. *Population*, 55(1), p. 51-79.

ERIKSON, E. H. (1968). *Identity : Youth and Crisis*. W.W. Norton & Company.

FALLOON, G., & TREWERN, A. (2012). Developing School-Scientist Partnerships : Lessons for Scientists from Forests-of-Life. *Journal of Science Education and Technology*, 22(1), p. 11-24.

FAMOSE, J.-P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris : Institut national du sport, de l'expertise et de la performance.

FARJAUDON, A.-L., & SOULEROT, M. (2011). La gestion du dilemme exploitation/exploration en pratique : le cas d'une entreprise de produits de grande consommation, *Management & Avenir*, n° 42, p. 13-32.

FERRAND, J. L. (1997). Partenariat et formation professionnelle continue : de l'inexistence d'un concept. *Education permanente*, n° 131, p. 63-80.

FLUM, H., & KAPLAN, A. (2006). Exploratory Orientation as an Educational Goal. *Educational Psychologist*, 41(2), p. 99-110.

- FORQUIN, J.-C. (2008). *Sociologie du curriculum*. Presses universitaires de Rennes.
- FOUREZ, G., MAINGAIN, A., & DUFOUR, B. (2002). *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*. Bruxelles : De Boeck Université.
- FUCHS-GALLEZOT, M. (2009). *Génomique, post-génomique : enjeux de formation et prise en charge curriculaire pour les SVT*. Thèse de doctorat, École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan.
- GAILLARD, J. (2010). La prise en compte de l'expérience corporelle et la sensibilité lors d'apprentissages techniques en éducation physique et sportive. *Explicit*, n° 85, p. 6-18.
- GALIANA, D. (1999). Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996). *Aster*, n° 28, p. 9-32.
- GAUTHIER, R.-F. (2010). Philippe Jonnaert, Moussadak Ettayebi, Rosette Defise, Curriculum et compétences. Un cadre opérationnel. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, n° 54, p. 26-28.
- GAUTHIER, R.-F. (2011). Une autre façon de penser l'éducation. *Centre international d'études pédagogiques*, n° 56, p. 31-40.
- GENGARELLY, L. M., & ABRAMS, E. D. (2008). Closing the Gap : Inquiry in Research and the Secondary Science Classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), p. 74-84.
- GIORDAN, A. (1977). Libération et conceptualisation [problème de la transmission du savoir scientifique]. *Revue française de pédagogie*, 40(1), p. 5-14.
- GIRAULT, Y., & LHOSTE, Y. (2010). Opinions et savoirs : positionnements épistémologiques et questions didactiques. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (1), p. 29-66.
- GLASER, B., & STRAUSS, A. (1967). *The Discovery of Grounded Theory : Strategies for Qualitative Research*. New York : Aldine Transaction.
- GODFRIND-HABER, J. (2006). La voix de l'interprétation. *Revue française de psychanalyse*, 70(1), p. 73-82.
- GOUJON, C. (2016). Devenir du savoir source dans la médiation scientifique. Un modèle de la circulation des eaux souterraines à la Fête de la science. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (13), p. 71-701.
- GRANGEAT, M. (2015). *L'éducation scientifique pour une citoyenneté responsable : les six objectifs clés, les préconisations et les questions de recherche*. Traduction partielle du rapport du groupe d'experts sur l'éducation scientifique pour la commission européenne (p. 6-11 et 38-40).
- GREEN, J., TONES, K., & MANDERSCHIED, J.-C. (1996). Efficacité et utilité de l'éducation à la santé à l'école. *Revue française de pédagogie*, 114(1), p. 103-120.

GRINDSTAFF, K., & RICHMOND, G. (2008). Learners' Perceptions of the Role of Peers in a Research Experience : Implications for the Apprenticeship Process, Scientific Inquiry, and Collaborative Work. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(2), p. 251-271.

GROTEVANT, H. D. (1987). Toward a Process Model of Identity Formation. *Journal of Adolescent Research*, 2(3), p. 203-222.

HADJI, C. (1991). *Innovover pour réussir. Des acteurs parlent aux acteurs*. Paris : Éditions sociales françaises.

HASNI, A. (2006). Statut des disciplines scientifiques dans le cadre de la formation par compétences à l'enseignement des sciences au secondaire. In A. Hasni, Y. Lenoir et J. Lebeaume (dir.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences* (p. 121-156). Québec : Presses de l'Université du Québec.

HAY, K. E., & BARAB, S. A. (2001). Constructivism in Practice : A Comparison and Contrast of Apprenticeship and Constructionist Learning Environments. *Journal of the Learning Sciences*, 10(3), p. 281-322.

HEBEL, F. L., MONTPIED, P., & FONTANIEU, V. (2014). Les attitudes des élèves de 15 ans en France à propos des sciences. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (10), p. 183-212.

HOLLAND, J. L. (1997). *Making vocational choices : A theory of vocational personalities and work environments (3rd ed.)*. Odessa, US : Psychological Assessment Resources.

HOLMES, B., & MCLEAN, M. (1989). *The Curriculum : A Comparative Perspective*. London, Boston : HarperCollins Publishers Ltd.

HOUSEAL, A. K., ABD-EL-KHALICK, F., & DESTEFANO, L. (2014). Impact of a student–teacher–scientist partnership on students' and teachers' content knowledge, attitudes toward science, and pedagogical practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), p. 84-115.

HSU, P.-L., ROTH, W.-M., & MAZUMDER, A. (2009). Natural Pedagogical Conversations in High School Students' Internship. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(5), p. 481-505.

HSU, P.-L., & ROTH, W.-M. (2010). From a Sense of Stereotypically Foreign to Belonging in a Science Community: Ways of Experiential Descriptions about High School Students' Science Internship. *Research in Science Education*, 40(3), p. 291-311.

HSU, P.-L., VAN EIJCK, M., & ROTH, W.-M. (2010). Students' Representations of Scientific Practice during a Science Internship : Reflections from an Activity-Theoretic Perspective. *International Journal of Science Education*, 32(9), p. 1243-1266.

HUBERMAN, A. M. (1973). *Comment s'opèrent les changements en éducation om contribution à l'étude de l'innovation*. Paris : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture.

HUTT, C. (1990). *Play, Exploration and Learning : A Natural History of the Pre-school*. Routledge.

JACQUIN, P., & JUHEL, J. (2013). Développement de carrière et construction de sa vie : une nouvelle méthode pour l'orientation tout au long de la vie. *L'orientation scolaire et professionnelle*, (42/2).

JAY, L. (2014). Pratiques somatiques et écologie corporelle. *Sociétés*, (125), p. 103-115.

JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, n° 8; p. 29-53.

JONNAERT, P. (2011). Curriculum, entre modèle rationnel et irrationalité des sociétés. *Centre international d'études pédagogiques*, (56), p. 135-145.

JONNAERT, P., ETTAYEBI, M., & DEFISE, R. (2009). *Curriculum et compétences : Un cadre opérationnel*. Bruxelles : De Boeck.

KADDOURI, M., (1997). Partenariat et stratégies identitaires : une tentative de typologisation. *Education permanente*, (131), p. 109-126.

KARPLUS, K., & THIER, H. D. (1967). *A New way to look at Elementary School Science*. Chicago : Rand McNally and Co.

KERR, R. A. (2013). Geophysical Exploration Linking Deep Earth and Backyard Geology. *Science*, 340(6138), p. 1283-1285.

KRACKE, B., & SCHMITT-RODERMUND, E. (2001). Adolescent career exploration in the context of educational and occupational transitions. In J-E Nurmi (Ed.), *Navigating through Adolescence* (p. 141-165). New-York & London : Routledge Falmer.

KUHN, T.-S. (1962). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.

KUNNEN, S. E., & BOSMA, H. A. (2006). Le développement de l'identité : un processus relationnel et dynamique. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 35(2), p 183-203.

LABELLE, J.-M. (2004). L'Approche expérimentée de l'éducation. *Tréma*, (23), p. 59-67.

LAHANIER-REUTER, D. (2005). Enseignement et apprentissages mathématiques dans une école Freinet. *Revue française de pédagogie*, 153(1), p. 55-65.

LANDRY, C. (1993). « Dimensions et indicateurs du degré des relations interorganisationnelles dans une action de formation en partenariat », *Communication au colloque Etablissement et partenariats : stratégies pour des projets communs*. Paris : Institut national de recherche pédagogique.

LANDRY, C., & GAGNON, B. (1999). Les notions de partenariat et de collaboration induisent-elles un nouveau mode de recherche entre l'université et le milieu ? *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 6(2), p. 163-188.

LANDRY, C., & MAZALON, E. (1997). Les partenariats école-entreprise dans l'alternance au Québec : un état des recherches. *Education permanente*, (131), p. 37-49.

LANDRY, C., SERRE, F., & CONGRÈS, A. (2000). *Ecole et entreprise : vers quel partenariat ?* Sainte-Foy, Québec : Presses Universitaires du Québec.

LANGE, J. M., & MARTINAND, J.-L. (2014). Principes d'élaboration et de structuration d'une éducation au développement durable scolaire. In J. Brégeon et F. Mauléon (coord.), *Développement durable, compétences 21, comprendre et développer les compétences collectives* (p. 129-145). Paris : ESKA.

LANNEGRAND-WILLEMS, L. (2008). La question de la construction identitaire à l'adolescence à deux paliers de l'orientation : la troisième et la terminale. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 37(4), p. 527-544.

LARCHER, C., & CRINDAL, A. (2004). Nouveaux dispositifs, nouvelles rencontres avec les connaissances. *Aster*, n° 39, p. 3-9.

LATOUR, B., & WOOLGAR, S. (1996). *La vie de laboratoire : La production des faits scientifiques*. Paris : Editions La Découverte. 299 p.

LATOUR, B. (2005). *Les sciences en action. Introduction à la sociologie des sciences*. Paris : Editions La Découverte. 464 p.

LAUGIER, A., & PASDELOUP, M. (1994). « Expérience-découverte » : combustions et transformations de la matière à l'école élémentaire. *Aster*, n° 18; p. 97-117.

LAVOIE, D. R. (1999). Effects of Emphasizing Hypothetico-Predictive Reasoning within the Science Learning Cycle on High School Student's Process Skills and Conceptual Understandings in Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(10), p. 1127-1147.

LAWLESS, J. G., & ROCK, B. N. (1998). « Student Scientist Partnerships and Data Quality ». *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), p. 5-13.

LEBEAUME, J., FOLLAIN, O., & DIAZ, C. (2000). Jeux d'étiquettes, jeux de Kim, jeux de familles puzzles ou devinettes à l'école : Découverte du monde, sciences et technologie aux cycles II et III. *Aster*, n° 31, p. 197-215

LEBEAUME, J., & MAGNERON, N. (2004). Itinéraires de découverte au collège : à la recherche de principes coordinateurs. *Revue française de pédagogie*, 148(1), p. 101-118.

LEBEAUME, J., MAGNERON, N., GLOMERON, F., GRUGIER, O., LAURENT, J., SARIAN, M., TAUPIN, F. (2003). *Travaux croisés « itinéraires de découverte » Exploration de nouveaux dispositifs au collège* (83 p.). UMR STEF ENS Cachan - INRP - IUFM Orléans-Tours.

LEBEAUME, J. (2006). Les sciences et la technologie au collège : la question récurrente de leur unification ou de leur différenciation. In A. Hasni, Y. Lenoir et J. Lebeaume (dir.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies au secondaire dans le contexte des réformes par compétences* (p. 97-117). Québec : Presses de l'Université du Québec.

LEBRUN, J. (2005). La nouvelle donne curriculaire : quels impacts pour la formation et la recherche en didactique ? (Editorial). Canada : *Lettre de la Chaire de recherche du Canada et du Centre de recherche sur l'intervention éducative*.

LEBRUN, M. (2005). *eLearning pour enseigner et apprendre : Allier pédagogie et technologie*. Belgique, Louvain-la-Neuve : Éd. Academia.

LEGENDRE, M.-F. (1995). Analyse d'une activité d'apprentissage en physique à l'aide du modèle de l'équilibration. *Revue des sciences de l'éducation*, 21(3), p. 473-502.

LÉONTIEV, A. (1976). *Le développement du psychisme*. Paris : Editions Sociales.

LEPLAT, J., & HOC, M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de psychologie cognitive*. 3(1), p. 49-63.

LEWIS, J. R., KOTUR, M. S., BUTT, O., KULCARNI, S., RILEY, A. A., FERRELL, N., FERRARI, M. (2002). Biotechnology Apprenticeship for Secondary-Level Students: Teaching Advanced Cell Culture Techniques for Research. *Cell Biology Education*, 1(1), p. 26-42.

LOARER, E. (1998). L'éducation cognitive : modèles et méthodes pour apprendre à penser. *Revue française de pédagogie*, 122(1), p. 121-161.

LUYCKX, K., GOOSSENS, L., SOENENS, B., BEYERS, W., & VANSTEENKISTE, M. (2005). Identity Statuses Based on 4 Rather Than 2 Identity Dimensions: Extending and Refining Marcia's Paradigm. *Journal of Youth and Adolescence*, 34(6), p. 605-618.

MAGNERON, N., & LEBEAUME, J. (2004). Les élèves et les itinéraires de découverte. Entre temps extraordinaire et postures moins ordinaires. *Aster*, n° 39, p. 153-172

MANGEZ, E. (2008). *Réformer les contenus d'enseignement : Une sociologie du curriculum*. Paris : Presses Universitaires de France.

MARCH, J. G. (1991). Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science*, 2(1), p. 71-87.

MARCIA, J. E. (1980). Identity in Adolescence. In *Handbook of Adolescent Psychology*. New York : Wiley.

MARCIA, J. E. (1993). The ego identity status approach to ego identity. In *Ego Identity : A Handbook for Psychological Research* (p. 1-21). New York : Springer-Verlag.

MAREN, J.-M. V. DER. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. De Boeck Supérieur.

MAROY, C. (1997). Le partenariat : concept ou objet d'analyse ? *Education permanente*, (131), p. 29-36.

- MARTINAND, J.-L. (1981). Pratiques sociales de référence et compétences techniques. À propos d'un projet d'initiation aux techniques de fabrication mécanique en classe de quatrième. In A. Giordan (coord.). *Diffusion et appropriation du savoir scientifique : enseignement et vulgarisation. Actes des Troisièmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique*. (p. 149-154) Paris : Université Paris 7.
- MARTINAND, J.-L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires. In G. Delacôte & A. Tiberghien (coord.), *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international* (p. 227-249). Paris : Editions du CNRS.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière: des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Paris : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. (2000). Production, circulation et reproblématisation des savoirs. *Présenté au colloque : Les pratiques dans l'enseignement supérieur*, Toulouse.
- MARTINAND, J.-L. (2001). Pratiques de référence et problématique de la référence curriculaire. In A. Terrisse, *Didactique des disciplines les références au savoir* (p. 17-24). Bruxelles : De Boeck.
- MARTINAND, J.-L. (2003a). La question de la référence en didactique du curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(2), p. 125-130.
- MARTINAND, J.-L. (2003b). L'éducation technologique à l'école moyenne en France : Problèmes de didactique curriculaire. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 3(1), p. 101-116.
- MARTINAND, J.-L. (2012). Éducation au développement durable et didactiques du curriculum. *Conférence XIX^e Colloque AFIRSE*, Lisbonne.
- MARTINAND, J.-L. (2014). Point de vue : Didactique des sciences et techniques, didactique du curriculum. *Éducation & didactique* (8), p. 65-76.
- MAURINES, L., & BEAUFILS, D. (2011). Un enjeu de l'histoire des sciences dans l'enseignement : l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (3), p. 271-305.
- MAURINES, L., GALLEZOT, M., RAMAGE, M.-J., & BEAUFILS, D. (2013). La nature des sciences dans les programmes de seconde de physique-chimie et de sciences de la vie et de la Terre. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (7), p. 19-52.
- MCMILLER, T., LEE, T., SAROOP, R., GREEN, T., & JOHNSON, C. M. (2006). « Middle/High School Students in the Research Laboratory: A Summer Internship Program Emphasizing the Interdisciplinary Nature of Biology ». *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(2), p. 93-88.
- MCNUTT, M. (2013). Accelerating Ocean Exploration. *Science*, 341(6149), p. 937-937.

- MEANS, B. (1998). Melding Authentic Science, Technology, and Inquiry-Based Teaching: Experiences of the GLOBE Program. *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), p. 97-105.
- MÉRINI, C. (1993). Le partenariat comme objet d'étude ? Vers un fondement théorique. *Les cahiers du DEA*, revue de la formation doctorale, UFR 8 Sciences de l'Éducation, Paris : Université Paris VIII à Saint-Denis, n° 1, p. 7-36.
- MÉRINI, C. (1999). *Le partenariat en formation : de la modélisation à une application*. Paris : L'Harmattan.
- MÉRINI, C. (2001). Le partenariat : histoire et essai de définition. *Actes de la journée de l'OZP*.
- MIGNE, J. (1994). Pédagogie et représentations. *Éducation permanente*, n°119, p 11-29.
- MONS, N., DURU-BELLAT, M., & SAVINA, Y. (2012). Modèles éducatifs et attitudes des jeunes : une exploration comparative internationale. *Revue française de sociologie*, 53(4), p. 589-622.
- MONTPIED, P., HIOLLE, V., GRAS, R., & TIBERGHEN, A. (2011). Profils d'attitudes et Orientations motivationnelles : les dynamiques d'engagement à l'égard des sciences chez des élèves de troisième, de seconde et de première. *Éducation et didactique*, 5(1), p. 45-70.
- MOSS, D. M., ABRAMS, E. D., & KULL, J. A. (1998). Can We Be Scientists Too ? Secondary Students' Perceptions of Scientific Research from a Project-Based Classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 7(2), p. 149-161.
- NASIR, A., & CAETANO-ANOLLÉS, G. (2015). A phylogenomic data-driven exploration of viral origins and evolution. *Science Advances*, 1(8).
- NAUTA, M. M. (2007). Career Interests, Self-Efficacy, and Personality as Antecedents of Career Exploration. *Journal of Career Assessment*, 15(2), p. 162-180.
- NIEMANN, M. A., MILLER, M. L., & DAVIS, T. (2004). « The University of Alabama at Birmingham Center for Community Outreach Development Summer Science Institute Program: A 3-Yr Laboratory Research Experience for Inner-City Secondary-Level Students ». *Cell Biology Education*, 3(3), p. 162-180.
- OBIN, J-P. (1993). *La crise de l'organisation scolaire. De la centralisation bureaucratique au pilotage par objectifs et projets*. Hachette Éducation.
- OPERTTI, R., & DUNCOMBE, L. (2011). Vision du curriculum. Perspective d'ensemble et débats contemporains. *Centre international d'études pédagogiques*, (56), p. 101-110.
- ORANGE, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, n° 40, p. 3-11.

ORANGE, C., BEORCHIA, F., DUCROCQ, P., & ORANGE, D. (1999). « Réel de terrain », « réel de laboratoire » et construction de problèmes en sciences de la vie et de la Terre. *Aster*, n° 28, p. 107-129.

PALLADINO SCHULTHEISS, D. E. (2005). Le rôle des relations socio-émotionnelles dans les transitions scolaires et professionnelles. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 34(3), p. 353-373.

PANISSAL, N., BROSSAIS, E., & VIEU, C. (2010). « Les nanotechnologies au lycée, une ingénierie d'éducation citoyenne des sciences ». *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n° 1, p. 319-338.

PAPALIA, D., OLDS, S. W., & FELDMAN, R. (2010). *Psychologie du développement humain (7e édition)*. Bruxelles : De Boeck.

PASTORI, M. (2014). Faire pratiquer une démarche d'investigation en classe en mathématiques: un exemple de coopération entre enseignants et chercheurs. In M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe* (p. 45-58). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

PEKER, D., & DOLAN, E. (2012). Helping Students Make Meaning of Authentic Investigations: Findings from a Student-Teacher-Scientist Partnership. *Cultural Studies of Science Education*, 7(1), p. 223-244.

PELLETIER, G. (1997). Le partenariat : du discours à l'action. *Revue des Echanges*, 14(3), p. 2-8.

PIERRARD, M.-A. (1993). Modéliser les activités scientifiques à l'école élémentaire ? *Aster*, n° 16, p. 47-75.

PLUMELLE, B. (2008). PISA 2006 : l'évaluation des attitudes et de l'engagement pour les sciences. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, (47), p. 13-17.

RAHM, J., MILLER, H. C., HARTLEY, L., & MOORE, J. C. (2003). The value of an emergent notion of authenticity: Examples from two student/teacher-scientist partnership programs. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(8), p. 737-756.

RAVANIS, K. (2000). La construction de la connaissance physique à l'âge préscolaire: Recherches sur les interventions et les interactions didactiques. *Aster*, n° 31, p. 71-94.

REUTER, Y. (2007). La conscience disciplinaire. *Éducation et didactique*, 1(2), p. 55-71.

REUTER, Y., COHEN-AZRIA, C., DAUNAY, B., DELCAMBRE-DERVILLE, I., & LAHANIER-REUTER, D. (2010). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. De Boeck Supérieur.

REY, O. (2014). *Scolarité obligatoire et socle commun après la loi de refondation Quelques éléments de réflexion issus de la littérature de recherche* (25 p.). Lyon : Ifé.

RICHIT, N. (2014). L'éducation à l'orientation dans le cadre d'un enseignement d'exploration en seconde. *Recherches en Didactiques*, n° 18, p. 101-118.

RICHMOND, G., & KURTH, L., A. (1999). « Moving from outside to inside: High school students' use of apprenticeships as vehicles for entering the culture and practice of science ». *Journal of Research in Science Teaching*, 36(6), p. 677-697.

RITCHIE, S. M., & RIGANO, D. L. (1996). « Laboratory apprenticeship through a student research project ». *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), p. 799-815.

ROSS, A. (2000). *Curriculum : Construction and Critique*. London : Falmer Press.

RUSSELL, C. T., RAYMOND, C. A., AMMANNITO, E., BUCZKOWSKI, D. L., SANCTIS, M. C. D., HIESINGER, H., YAMASHITA, N. (2016). Dawn arrives at Ceres: Exploration of a small, volatile-rich world. *Science*, 353(6303), p. 1008-1010.

SADLER, T. D., BURGIN, S., MCKINNEY, L., & PONJUAN, L. (2010). « Learning science through research apprenticeships: A critical review of the literature ». *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), p. 235-256.

SAVICKAS, M. L., NOTA, L., ROSSIER, J., DAUWALDER, J.-P., DUARTE, M. E., GUICHARD, J., BIGEON, C. (2010). Construire sa vie (Life designing) : un paradigme pour l'orientation au 21e siècle. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 39(1), p. 5-39.

SAVOIE-ZAJC, L., & DOLBEC, A. (1999). La recherche en partenariat : de nouveaux liens à développer entre universitaires et personnels scolaires. *Nouveaux c@hiers de la recherche en éducation*, 6(2), p. 189-202.

SCHNEEBERGER, P., & RODRIGUEZ, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental: un exemple en première s. *Aster*, 1999, n° 28; p. 79-105.

SCHUBAUER-LEONI, M. L., & LEUTENEGGER, F. (2010). *Expliquer et comprendre dans une approche clinique / expérimentale du didactique ordinaire*. De Boeck Supérieur.

SHELL, D. F., SNOW, G. R., & CLAES, D. R. (2010). The Cosmic Ray Observatory Project: Results of a Summer High-School Student, Teacher, University Scientist Partnership Using a Capstone Research Experience. *Journal of Science Education and Technology*, 20(2), p. 161-177.

SPENCER, S., HUCZEK, G., & MUIR, B. (1998). « Developing a Student-Scientist Partnership: Boreal Forest Watch ». *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), p. 31-43.

STAKE, J. E., & MARES, K. R. (2001). Science Enrichment Programs for Gifted High School Girls and Boys: Predictors of Program Impact on Science Confidence and Motivation. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(10), p. 1065-88.

STAKE, J. E., & MARES, K. R. (2005). Evaluating the impact of science-enrichment programs on adolescents' science motivation and confidence: The splashdown effect. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), p. 359-375.

STEBBINS, R. A. (2001). *Exploratory Research in the Social Sciences*. (Sage University Papers Series on Qualitative Research Methods, Vol. 48). Thousand Oaks, CA: Sage. 67 p.

ST-PIERRE, M., & BRUNET, L. (2004). *De la Décentralisation Au Partenariat : Administration en Milieu Scolaire*. Presses Universitaires du Québec.

STREBELLE, A., DEPOVER, C., & NOËL, B. (2001). *Mise au point et validation d'un référentiel de compétences en activités d'éveil*. Mons : Université de Mons.

SUPER, D. E. (1960). The Critical Ninth Grade: Vocational Choice or Vocational Exploration. *The Personnel and Guidance Journal*, 39(2), p. 106-109.

SUPER, D. E. (1964). Goal Specificity in the Vocational Counseling of Future College Students. *The Personnel and Guidance Journal*, 43(2), p. 127-134.

SUPER, D. E. (1980). A life-span, life-space approach to career development. *Journal of vocational behavior*, 16(3), p. 282-298.

SUPER, D. E. (1990). A life-span, life-space approach to career development. In *Career choice and development : Applying contemporary theories to practice, 2nd ed* (p. 197-261). San Francisco : Jossey-Bass.

SUPER, D. E., & OVERSTREET, P. L. (1968). *The Vocational Maturity of Ninth-grade Boys*. Columbia University Teachers College Press.

TEMPLIN, M. A., DORAN, R. L., & ENGEMANN, J. F. (1999). A Locally Based Science Mentorship Program For High Achieving Students : Unearthing Issues That Influence Affective Outcomes. *School Science and Mathematics*, 99(4), p. 205-213.

TINKER, R. F. (1997). « Student Scientist Partnerships: Shrewd Maneuvers ». *Journal of Science Education and Technology*, 6(2), p. 111-117.

TOCHON, F. V. (2003). *L'enseignante experte, l'enseignant expert*. Paris : Nathan.

TOCHON, F. V. (1989). A quoi pensent les enseignants quand ils planifient leurs cours ? *Revue française de pédagogie*, 86(1), p. 23-33.

TOURMEN, C. (2007). Activité, tâche, poste, métier, profession : quelques pistes de clarification et de réflexion. *Santé Publique*, n°19 (hors-série), p. 15-20.

TRUDEL, L., & VONARX, N. (2007). La recherche qualitative est-elle nécessairement exploratoire ? *Actes du colloque recherche qualitative : les questions de l'heure. Recherches qualitative*, n°5 (hors-série), p. 38-45.

TYTLER, R., & PETERSON, S. (2004). From "Try It and See" to strategic exploration: Characterizing young children's scientific reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(1), p. 94-118.

- VAN SCHIJNDEL, T. J. P., & RAIJMAKERS, M. E. J. (2016). Parent Explanation and Preschoolers' Exploratory Behavior and Learning in a Shadow Exhibition. *Science Education*, 100(1), p. 153-178.
- VARELA, F., THOMPSON, E., & ROSCH, E. (1993). *L'Inscription corporelle de l'esprit. Sciences cognitives et expérience humaine*. Paris : Seuil.
- VENTURINI, P. (2004). Attitude des élèves envers les sciences : le point des recherches. *Revue française de pédagogie*, 149(1), p. 97-121.
- VENTURINI, P. (2009). L'envie d'apprendre les sciences à l'école : apports de la recherche et perspectives pour la formation dans le secondaire. In J. Clanet. *Recherche / Formation des enseignants. Quelles articulations ?* (p.143-151). Presses universitaires de Rennes.
- VIGNES, M. (1993). Des systèmes informatiques... aux montages électriques simples: quelques contenus d'enseignement pour l'école élémentaire. *Aster*, n° 17, p. 165-187.
- VIVIER, J. (1988). La tâche de l'élève et l'auto-contrôle. *Revue française de pédagogie*, 82(1), p. 61-64.
- VOGT, W. P. (1999). *Dictionary of Statistics & Methodology : A Nontechnical Guide for the Social Sciences*. SAGE.
- VOIROL, O. (2011). L'information comme exploration et comme oblitération. *Quaderni. Communication, technologies, pouvoir*, (74), p. 47-59.
- WATERMAN, A. S. (1993). Developmental Perspectives on Identity Formation : From Adolescence to Adulthood. In *Ego Identity* (p. 42-68). New York : Springer.
- WEIL-BARAIS, A. (1997). *Les méthodes en psychologie*. Paris : Bréal, p. 170-186.
- WESTBROOK, S. L., & ROGERS, L. N. (1994). Examining the development of scientific reasoning in ninth-grade physical science students. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), p. 65-76.
- WOLTON, D. (2012). *Indiscipliné : 35 ans de recherches*. Odile Jacob.
- WOSKA, J. R., COLLINS, D. M., CANNEY, B. J., ARCARIO, E. L., & REILLY, P. L. (2005). « Partners in Science: A Model Cooperative Program Introducing High School Teachers and Students to Leading-Edge Pharmaceutical Science ». *Journal of Science Education and Technology*, 14(4), p. 409-414.
- WRIGHT, E. L. (1978). The influence of intensive instruction upon the open exploration behavior of ninth grade students. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(6), p. 535-541.
- WRIGHT, E. L. (1981). The long-term effect of intensive instruction on the open exploration behavior of ninth grade students. *Journal of Research in Science Teaching*, 18(6), p. 557-561.

ZAY, D. (1994). Etablissement et partenariats en France. In Landry C. et Serre F. (Dir.). *École et entreprise. Vers quel partenariat ?* (p. 61-72). Sainte-Foy, Québec : Presses Universitaires du Québec.

ZUBROWSKI, B. (1982). An aesthetic approach to the teaching of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(5), p. 411-416.

ZUBROWSKI, B. (2009). *Exploration and Meaning Making in the Learning of Science*. Springer Science & Business Media.

Textes institutionnels

Organisation de Coopération et de Développement Économique

OCDE. (1998). Les technologies du XXI^e siècle Promesses et périls d'un futur dynamique : Promesses et périls d'un futur dynamique. Paris : Éditions OCDE. 194 p. [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur <http://www.oecd.org/fr/prospective/35629763.pdf>

OCDE. (1999). L'économie mondiale de demain : vers un essor durable ? Paris : Éditions OCDE. 219 p. [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur <http://www.oecd.org/fr/prospective/35637313.pdf>

OCDE. (2004). Orientation professionnelle et politique publique. Comment combler l'écart ? Paris : Éditions OCDE. 189 p. [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur <http://www.oecd.org/fr/education/innovation-education/34050180.pdf>

OCDE. (2014). De quoi les élèves sont-ils capables en sciences ? Panorama du PISA 2009, Paris : Éditions OCDE. 100 p. [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://www.oecd-ilibrary.org/education/panorama-du-pisa-2009_9789264200579-fr

Union Européenne

Commission européenne. (2004). L'Europe a besoin de scientifiques : un plan d'action communautaire. Bruxelles : Commission européenne. [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://europa.eu/rapid/press-release_IP-04-444_fr.htm

ROCARD, M., CESRMLEY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WELBERG-HERNIKSSON, H., & HEMMO, V. (2007). L'enseignement scientifique aujourd'hui: Une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe. Bruxelles : Commission européenne. 28 p. [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_fr.pdf

Journal officiel de l'Union Européenne. (2008). Mieux inclure l'orientation tout au long de la vie dans les stratégies d'éducation et de formation tout au long de la vie. *Conseil du 21 novembre 2008* [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?qid=1497470342651&uri=CELEX:42008X1213\(02\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?qid=1497470342651&uri=CELEX:42008X1213(02))

Commission européenne. (2015). Science education for Responsible Citizenship. Luxembourg : Commission européenne. 88 p. [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_science_education/KI-NA-26-893-EN-N.pdf

Assemblée Nationale

Assemblée Nationale. (2005). Loi n° 2005-380 du 23 avril 2005 d'orientation et de programme pour l'avenir de l'école. *Journal Officiel n°96 du 24 avril 2005, page 7166* [En ligne]. Consulté le 13 juillet, 2017, sur <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000259787&dateTexte=&categorieLien=id>

Assemblée Nationale. (2006). Rapport d'information déposé en application de l'article 145 du Règlement par la commission des affaires culturelles, familiales et sociales sur l'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire [En ligne]. Consulté le 18 juin, 2017, sur <http://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3061.asp>

Assemblée Nationale. (2008). Avis présenté au nom de la commission des affaires culturelles, familiales et sociales sur le projet de loi de finances pour 2008 (n° 189) tome IV enseignement scolaire [En ligne]. Consulté le 18 juin, 2017, sur <http://www.assemblee-nationale.fr/13/budget/plf2008/a0277-tIV.asp>

Éducation Nationale

Ministère de l'Éducation Nationale. (2002). Préparation de la rentrée 2002 dans les collèges et mise en œuvre des itinéraires de découverte. *Encart du Bulletin officiel n° 16, 10 avril 2002* [En ligne]. Consulté le 18 juin, 2017, sur <http://www.education.gouv.fr/bo/2002/16/default.htm>

Ministère de l'Éducation Nationale. (2005). Programmes des collèges. *Hors-série n°5 du 25 août 2005, volume 2* [En ligne]. Consulté le 21 juin 2017, sur <http://www.education.gouv.fr/bo/2005/hs5/default.htm>

Ministère de l'Éducation Nationale. (2008). Programmes des enseignements de mathématiques, de physique-chimie, de sciences de la vie et de la Terre, de technologie pour les classes de sixième, de cinquième, de quatrième et de troisième du collège. *Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008* [En ligne]. Consulté le 21 juin 2017, sur <http://www.education.gouv.fr/cid22120/mene0817023a.html>

Ministère de l'Éducation Nationale. (2010a). Ressources pour la classe de seconde générale et technologique - Principes fondamentaux de l'économie et de la gestion [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://media.eduscol.education.fr/file/PFEG/86/0/LyceesGT_Ressources_2_Exploration_Eco-Gest_148860.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale. (2010b). Ressources pour la classe de seconde générale et technologique - Méthodes et pratiques scientifiques -Introduction [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://cache.media.eduscol.education.fr/file/MPS/21/3/LyceesGT_Ressources_2_Exploration_MPS_0-1_introduction_152213.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale. (2010c). Le nouveau lycée. Repères pour la rentrée 2010 [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://media.education.gouv.fr/file/reforme_lycee/91/8/Nouveau-lycee-Reperes-pour-la-rentree-2010_133918.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale. (2010d). Programme d'enseignement de la classe de seconde. Enseignements d'exploration : présentation. *Bulletin officiel spécial n° 4*, 29 avril 2010 [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://media.education.gouv.fr/file/special_4/74/9/methodes_pratiques_scientifiques_143749.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale. (2011). Travaux personnels encadrés. Classe de première des séries générales : mise en œuvre pédagogique à compter de la rentrée 2011 – Note de service n°2011-091 du 16 juin 2011 [En ligne]. Consulté le 21 juin 2017, sur <http://www.education.gouv.fr/cid56642/mene1116130n.html>

Inspection Générale de l'Éducation Nationale. (2011). Mise en œuvre de la réforme des lycées d'enseignement général et technologique - *Rapport n°2011-010* [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://media.education.gouv.fr/file/La_reforme_du_lycee/89/4/Mise-en-oeuvre-de-la-reforme-des-lycees-d-enseignement-general-et-technologique_170894.pdf

Inspection Générale de l'Éducation Nationale. (2012). Suivi de la mise en œuvre de la réforme du lycée d'enseignement général et technologique - *Rapport n°2012-003* [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://media.education.gouv.fr/file/2012/96/8/Rapport-IG-Suivi-de-la-mise-en-oeuvre-de-la-reforme-du-lycee-d-enseignement-general-et-technologique_209968.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale. (2016a). Organisation et horaires de la classe de seconde des lycées d'enseignement général et technologique et des lycées d'enseignement général et technologique agricole. *Arrêté du 27 janvier 2010* [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021751664&dateTexte=20160422>

Ministère de l'Éducation Nationale. (2016b). Cahier des charges de la formation des maîtres en institut universitaire de formation des maîtres. *Arrêté du 19 décembre 2006* [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000615529&dateTexte=>

Université d'Orléans

Université d'Orléans. (2012). Appel à projets des Investissements d'Avenir « *Initiatives D'Excellence en Formations Innovantes* » (IDEFI) [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/Universit%C3%A9/documents/projet_edifice.pdf

Dictionnaires

DUBOIS, J. (1989). *Dictionnaire Lexis*, Paris : Larousse

REY, A. (1995). *Le Robert dictionnaire d'aujourd'hui*, Paris : Le Robert

Magazines

APMEP. (2011). *Bulletin de l'Association des Professeur de Mathématiques de l'Enseignement Public*, n°495.

Le Journal du CNRS. (1998). n° de mars 1998, (p. 35)

Microscop. (1998). lettre d'information de la Délégation Centre Auvergne Limousin du CNRS, n°32, 1998 (p. 4) [En ligne]. Consulté le 15 juin 2017, sur http://www.centre-poitou-charentes.cnrs.fr/plus_microscop/numeros/MS32.pdf

Covalence. (1998). Revue d'information sur la Culture Scientifique, Technique et Industrielle en région Centre, n°27, 2-4.

Pour la science. (2004). Darwin. L'arbre de la vie, trimestriel février- mai, n°18.

Sitographie

Centre National de Ressources textuelles et Lexicales accessible sur <http://www.cnrtl.fr/>

CNRS/Sagascience. (2009). Charles Darwin - Le voyage d'un naturaliste autour du monde. [En ligne] consulté le 14 juin 2017 sur http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosdarwin/contenu/alternative/alter3_credits.html

Communiqué de presse de la conférence mondiale de la science de l'OCDE. (2005). Conférence sur l'éducation. « *La désaffection des jeunes pour les études scientifiques et technologiques : Réalité, causes et solutions* », 14-15 Novembre 2005. [En ligne] consulté le 21 juin 2017 sur <http://www.oecd.org/fr/science/sci-tech/conferencesurleducation.htm>

Titre : Etude d'activités d'exploration de pratiques de recherche de scientifiques dans le cadre d'un partenariat

Mots clés : exploration, partenariat, nature des sciences, laboratoire, élève du secondaire, doctorant

Résumé : Le dispositif des enseignements d'exploration de la réforme du lycée de 2010 se distingue des enseignements traditionnels par la liberté octroyée dans sa conception au niveau de curriculum potentiel et parce qu'il s'apparente à une éducation à l'orientation par l'exploration de cursus et d'activités professionnelles. Un partenariat, nommé EDIFICE, conçu par l'université d'Orléans, est une forme curriculaire potentielle du dispositif d'enseignement d'exploration de Méthodes et Pratiques Scientifiques pour la classe de seconde. Dans sa tranche n°1, il regroupe des laboratoires de recherche avec des lycées d'enseignement général et technologique, et vise la participation d'élèves à des activités de recherches de doctorants au cours de moments en laboratoire. Chaque doctorant encadre deux à six élèves accompagnés par un enseignant du lycée. Le contexte éducatif des laboratoires nous conduit à définir l'action d'exploration, afin de constituer le fondement théorique relatif à ce travail. Nous questionnons ensuite la mise en œuvre du dispositif EDIFICE par rapport à une approche curriculaire associée à la notion de pratiques sociales de référence: 1) Comment les élèves explorent les pratiques sociales de référence des laboratoires ? 2) Comment ils explorent les pratiques de recherche doctorale ? 3) Comment les explorations en laboratoires sont co-produites par les trois types d'acteurs impliqués : le doctorant, les élèves et l'enseignant accompagnateur ? Notre recueil de données porte sur la totalité des 26 groupes doctorant, élèves et enseignant accompagnateur de la première année de mise en œuvre du dispositif. Nous analysons, selon la question de recherche, des réponses écrites des élèves, des entretiens réalisés avec les trois

types d'acteur, des observations lors d'un congrès des élèves et dans les laboratoires visités. Des cahiers de laboratoire et les diaporamas du congrès des élèves sont également étudiés, ainsi que des articles de recherche, des supports de présentations et des thèses des doctorants. Tout d'abord, nous constatons que les élèves élaborent des représentations nombreuses sur les sciences et la pratique sociale des chercheurs, puisqu'ils se rendent compte de l'importance des écrits, des flux d'informations en réseau et entretiennent maintenant le laboratoire comme un espace de collaborations. La rencontre avec la résistance du réel et la phénoménotechnique contribuent à décloisonner les sciences, les technologies et la société. Les sciences en action sont considérées, pour certains, comme imaginées et inventées et cette expérience permet globalement un élargissement des possibilités d'orientation. Ensuite, nous inférons quatre modes distincts d'exploration de la recherche doctorale. Un mode se focalise sur l'acquisition de concepts généraux de la thèse, un autre transpose de manière synthétique une démarche de la recherche doctorale. Un troisième mode correspond à une démarche personnelle de problématisation. Dans le mode ethnographique, la recherche est explorée à un instant donné, sans adaptation. Les explorations des élèves apparaissent tributaires de l'épistémologie de la discipline de recherche. Enfin, les enseignants accompagnateurs et les élèves exercent une influence majeure sur la nature des explorations lors du processus de co-production qui conduit à des modifications sur la conception du curriculum potentiel. La possibilité pour chacun des acteurs d'explorer est discutée en lien avec l'enrichissement mutuel conféré par le cadre partenarial.

Title : Study of exploration activities of scientific research practices in the context of a partnership

Keywords : exploration, partnership, nature of science, laboratory, graduate student, PhD Student

Abstract : French High Schools experienced a national reform plan in 2010 incorporating exploration courses breaking with traditional teachings. This granted more freedom in their conception as potential curriculums because these courses can involve career choice and thus enable students to explore both curriculums and professional environments. A partnership, named EDIFICE, set up by the University of Orléans, France, is a potential curricular form of the course entitled "Scientific methods and practices" for 10th grade students. In the first phase of the project, a partnership between research labs and High Schools has been set up in order to involve High School students in the research activities of PhD Students in their labs. Each PhD student works with two to six students who are themselves chaperoned by a High School teacher. The educational context of the labs makes it necessary to define the exploration, in order to constitute the theoretical foundation of this work. The implementation of the EDIFICE project is then questioned and compared to a curricular approach associated to the notion of social practice of reference: 1) How do the students explore the social practices of reference in the labs? 2) How do they explore the practices of PhD research? 3) How are the explorations in labs co-produced by the PhD student, the students, and the chaperoning High School teacher? Our data covers the 26 groups of PhD students, High School students and chaperoning teachers over the first year of implementation of the project. Data analysis consisted of the written answers provided by the students, the interviews of the three types of participants, the observations' notes made during a conference of the High School students and the labs.

Lab notebooks and slide shows from the High School students' conference are also studied, as well as research articles, presentation materials, and the PhD thesis from the PhD students involved in the project. First of all, it can be observed that students have numerous representations of sciences and the social practices of researchers since they have realized the importance of the written medium, of the flows of networking information and are now able to perceive the lab as a space for collaboration. The experience of the resistance of the real and phénoménotechnique contribute to remove the partitions between sciences, technologies, and society. The sciences in action are considered, by some, as imagined or invented and this experience enables, more generally speaking, to enlarge the possibilities of course and career choices for the High School students involved. Then, four distinct modes of exploration of PhD research are inferred. One mode is focused on the acquisition of general concepts of the thesis, another one transposes synthetically one approach of the PhD research. A third mode corresponds to the personal approach of the formulation of the research question. In the ethnographic mode, the research is explored at a given moment, without adaptation. The explorations of the students seem dependent on the epistemology of the researched discipline. Finally, the chaperoning teachers and the students have a major influence on the nature of the explorations during the process of co-production which leads to modifications of the conception of the potential curriculum. The possibility for each and one of the participants to explore is discussed in connection with a mutual enrichment made possible by the partnership framework of the EDIFICE project.

