



HAL
open science

Comment donner du sens aux activités expérimentales ?

Patricia Marzin-Janvier

► **To cite this version:**

Patricia Marzin-Janvier. Comment donner du sens aux activités expérimentales ?. Education. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2013. tel-00966001

HAL Id: tel-00966001

<https://theses.hal.science/tel-00966001>

Submitted on 25 Mar 2014

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.

Mémoire

Présenté devant l'Université Joseph Fourier – Grenoble 1

Pour l'obtention de l'

Habilitation à Diriger des Recherches

(Arrêté ministériel du 25.04.2002

Modifiant l'arrêté du 13.07.1995, 13/02/1992, 23.11.1988)

Par

Patricia MARZIN-JANVIER

Comment donner du sens aux activités expérimentales ?

Soutenue le 7 juin 2013

Devant le jury :

Eric BRUILLARD (Rapporteur)
Philippe DESSUS (Président)
Christian ORANGE (Rapporteur)
Patricia SCHNEEBERGER (Examinatrice)
Pierre TCHOUNIKINE (Examinateur)
Andrée TIBERGHIE (Rapporteur)

UMR 5217

Laboratoire d'Informatique de Grenoble

A Pauline et Jeanne,
Mes deux princesses malicieuses

A Yannick.

Remerciements

De nombreuses personnes m'ont entourée et soutenue tout au long de cette aventure, qu'ils en soient ici remerciés.

Je remercie les membres du jury, Philippe Dessus, Patricia Schneeberger qui a aussi accepté de me donner son avis éclairé sur le chapitre 5 et Pierre Tchounikine pour ses nombreux conseils et tout particulièrement Andrée Tiberghien pour les précieux conseils qu'elle m'a donné sur le chapitre 3, Christian Orange et Eric Bruillard qui ont tous les trois accepté la tâche de rédiger un rapport sur ce mémoire.

Je tiens à remercier chaleureusement Anne Imberty, qui a accepté que mon dossier soit examiné par la commission d'HDR de biologie qu'elle préside et dont l'engagement a permis que je soutienne à l'Université Joseph Fourier en biologie.

Je remercie celles et ceux qui m'ont accueillis au cours de ma carrière : Philippe Sabatier, Claude Comiti, Bernard Cornu, Roger Barlet, Nicolas Balacheff et Brigitte Plateaux.

Ce travail n'existerait pas sans les nombreuses interactions que j'ai quotidiennement avec mes collègues. Je remercie donc chaleureusement Cédric d'Ham, Isabelle Girault, Muriel Ney et Claire Wajeman qui m'ont accueillis et avec qui je travaille avec beaucoup de plaisir et avec une grande confiance et Hamid Chaachoua avec qui j'échange de nombreuses idées dans la bonne humeur ainsi que tous les membres de l'équipe Metah, pour leur convivialité.

Je remercie mes collègues de l'IUFM que je côtoie depuis une vingtaine d'années et particulièrement mes collègues biologistes actuels, Hervé Albertin, Eric Triquet et Catherine Lamy.

Je remercie Marie Sacadura, Rym Laribi, Gwendaël Chapel, dont j'ai co-encadré la thèse et Reinaldo Javier Saavedra Gomez que j'encadre actuellement et dont les échanges stimulants ont permis de faire avancer ma réflexion, ainsi que tous les étudiants avec qui je travaille quotidiennement et qui sont de plus en plus jeunes !

Je remercie tous les enseignants qui ont ouverts leurs classes, Daniel Devallois, Claudine Héritier, Denis Michel, Réjane Monod-Ansaldi, Michèle Prieur, François Tilquin.

Un grand merci à mon amie Jacqueline Forestier, qui a accepté de relire pas à pas et de façon méticuleuse ce manuscrit et qui m'a stimulé pendant toute la rédaction.

Je remercie mes amis toujours présents.

Merci à ma famille, mes parents qui m'ont aidé et soutenu, mon beau-père qui m'a accueilli dans ses demeures pour travailler, mes enfants et mon mari.

Table des matières

Chapitre 1 - Introduction.....	10
Chapitre 2 - Synthèse des travaux de recherche.....	14
2.1 Introduction.....	14
2.2 Modélisation des connaissances dans une situation d'interaction langagière entre vétérinaire et éleveur : étude de dialogues en situation de conseil vétérinaire pour valider un système expert en pathologie animale.....	14
2.3 Travaux effectués à la suite de la thèse, en tant que maître de conférences à l'UJF.....	17
2.3.1 <i>Education pour la santé dans l'enseignement et dans la formation des enseignants : analyse de la prise en compte des connaissances du domaine par les enseignants</i>	18
2.3.2 <i>Conception et analyse de situations de travaux pratiques innovantes guidées par un EIAH. Modélisation des connaissances des élèves lors de la création d'objets symboliques personnels</i>	21
Chapitre 3 - La construction du sens dans les apprentissages en travaux pratiques	28
3.1 Introduction.....	28
3.2 Le contexte institutionnel.....	30
3.2.1 <i>Introduction</i>	30
3.2.2 <i>Les années 1980 : le grand écart entre expériences et théories</i>	31
3.2.3 <i>Les années 1990 : l'introduction des TICE et une mise en avant de l'apprentissage de la démarche expérimentale</i>	31
3.2.4 <i>Les années 2000 : l'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat</i>	32
3.2.5 <i>Les années 2010 : la démarche d'investigation et l'apprentissage par problème, la prise en compte des conceptions</i>	33
3.2.6 <i>Un regard par dessus l'épaule sur le contexte institutionnel</i>	35
3.3 Les objectifs d'apprentissages assignés aux activités expérimentales	36
3.4 Le rôle des activités pratiques dans les apprentissages.....	40
3.5 Comment la mise en œuvre des activités expérimentales permet-elle d'apprendre ?.....	41
3.6 L'efficacité des activités expérimentales dans les apprentissages	42
3.7 Acquisitions, apprentissages et difficultés des élèves dans la mise en œuvre des activités expérimentales.....	44
3.7.1 <i>Introduction</i>	44
3.7.2 <i>La mise en œuvre et la cohérence de la démarche d'investigation</i>	45
3.7.3 <i>Le rapport des élèves aux données expérimentales</i>	46
3.7.4 <i>Un exemple de résolution de problème impliquant plusieurs variables</i>	47
3.8 Les conditions à mettre en œuvre pour que l'expérimentation soit génératrice de sens et d'apprentissages.....	52
3.8.1 <i>La globalité de la démarche : sérier les problèmes et accompagner</i>	52
3.8.2 <i>L'accès au modèle</i>	52
3.8.3 <i>L'élaboration de représentations symboliques</i>	54
3.9 Verrous et points d'appui.....	54
3.10 Conclusion	55
Chapitre 4 - La conception expérimentale par les élèves : analyse de la tâche, élaboration et tests de deux Travaux Pratiques de Sciences de la Vie et de la Terre	58
4.1 Introduction.....	58
4.2 La tâche de conception expérimentale.....	60
4.3 Analyse de la tâche. Résolution de problème et conception expérimentale.....	62
4.3.1 <i>L'activité de conception de protocole, une activité métacognitive : le point de vue des psychologues</i>	62
4.3.2 <i>Un arbre des tâches pour décrire les étapes de résolution du problème</i>	63
4.3.3 <i>Une liste de critères</i>	64

4.3.4	<i>Résolution de problème</i>	65
4.3.5	<i>Activité de conception</i>	68
4.3.6	<i>Deux exemples d'arbre des tâches</i>	70
4.4	La conception de protocoles expérimentaux par des élèves de terminale S.....	75
4.4.1	<i>La mesure de l'angle facial</i>	75
4.4.2	<i>Le complexe antigène-anticorps</i>	86
4.5	Leçons à tirer et recommandations par rapport à l'activité de conception de protocole....	90
4.6	Modèle Problème-Conception-Représentation (PCR).....	93
4.7	Le logiciel Copex, la plateforme LabBook.....	99
4.8	Recherches en lien avec les outils, prolongements possibles, nouvelles questions.....	102
4.8.1	<i>Diagnostic des conceptions</i>	102
4.8.2	<i>Tests d'utilisabilité</i>	102
4.9	Conclusions.....	102
Chapitre 5 - Les représentations symboliques : vers la prise en charge par des EIAH		106
5.1	Introduction.....	106
5.2	Produire des représentations pour structurer sa pensée.....	107
5.2.1	<i>La production de sens vue par des psychologues</i>	107
5.2.2	<i>Les registres de représentation sémiotiques</i>	108
5.2.3	<i>Des travaux de didactique sur le rôle des productions symboliques</i>	110
5.3	Intérêt des productions multimodales pour formaliser les perceptions des élèves : un exemple pour introduire une approche personnelle et esthétique en cours de S.V.T.	117
5.3.1	<i>Le cadre des « Science Literacy »</i>	117
5.3.2	<i>Les carnets de vécu : productions multimodales (textes et photographies) sur le thème de l'organisme en fonctionnement en classe de seconde</i>	120
5.4	Argumentation lors de la construction de représentations : rôle de la verbalisation lors de la production d'ELO sur la plateforme d'apprentissage SCY-Lab.....	124
5.4.1	<i>Introduction</i>	124
5.4.2	<i>Contexte du travail : le projet européen SCY</i>	125
5.4.3	<i>L'analyse de la forme et du niveau scientifique des arguments produits par les élèves dans les ELOs</i>	127
5.4.4	<i>Analyse du rôle des interactions argumentatives entre élèves alors qu'ils sont engagés dans la production d'ELOs</i>	131
5.5	Conclusion.....	148
Chapitre 6 - Etayer la conception expérimentale à l'aide d'un EIAH.....		152
6.1	Rôle et avantages d'un étayage informatisé.....	152
6.1.1	<i>La notion d'étayage</i>	152
6.1.2	<i>La notion d'étayage dans des travaux de didactique</i>	154
6.1.3	<i>Catégorisation de l'étayage : différents éléments à prendre en compte</i>	156
6.1.4	<i>Etayer la démarche d'investigation à l'aide d'un EIAH</i>	157
6.1.5	<i>Un exemple d'étayages mis en place et expérimentés dans le projet SCY</i>	159
6.2	Synthèse et propositions pour étayer la démarche d'investigation expérimentale.....	163
6.2.1	<i>Concepts et raisonnements</i>	163
6.2.2	<i>Les démarches et les méthodes</i>	165
6.2.3	<i>Les activités réflexives et métacognitives</i>	167
6.3	Conclusion.....	167
Chapitre 7 - Conclusion et prospective.....		170
7.1	Analyse épistémologique du concept d'ADN.....	171
7.2	Conception expérimentale et apprentissage via un EIAH.....	174
7.3	Modélisation pour l'accompagnement des décisions didactiques par les enseignants.....	176
Bibliographie		178
Liste de Publications.....		195

Chapitre 1 - Introduction

Ce mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches vise à approfondir la question de la conception expérimentale et des conditions à mettre en œuvre pour que les élèves donnent du sens aux activités pratiques qu'ils réalisent en classe. Construire du sens c'est s'approprier, c'est faire sien des éléments qui *a priori* sont extérieurs à soi. Nous voulons clarifier le rôle des représentations symboliques dans les apprentissages en travaux pratiques (T.P.) en Sciences de la Vie et de la Terre (S.V.T.), qui sont un des moyens de cette appropriation, quand ils sont produits par les élèves à l'aide d'un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain, ou sans. Dans ce contexte nous proposons une modélisation didactique pour élaborer et pour analyser des situations qui intègrent de la conception expérimentale, médiatisées par un environnement informatique.

Dans le chapitre 2, je présente de façon synthétique mon parcours de recherche depuis la thèse jusqu'à aujourd'hui. Je présente les différents projets dans lesquels j'ai été impliquée, les collaborations, les principales problématiques travaillées, les cadres théoriques utilisés et les principaux résultats obtenus.

Dans le chapitre 3, je précise le rôle des activités pratiques dans les apprentissages et je présente un état de l'art à propos des difficultés d'apprentissages et une analyse des possibles raisons à l'origine du déficit de sens dans les travaux pratiques. Dans cette partie j'inclurai les résultats suite à la mise en œuvre de plusieurs situations d'apprentissages où les élèves conçoivent des protocoles en T.P.

Dans le chapitre 4, je présente une analyse de la tâche de situations d'apprentissage incluant la conception expérimentale afin de définir plus finement les activités cognitives mises en œuvre par les élèves. Nous expliquons pourquoi c'est à la fois, une activité de résolution de problème et une activité de conception.

Dans le chapitre 5, je définis ce que j'entends par représentation symbolique personnelle en précisant leur rôle dans les apprentissages en T.P. en sciences expérimentales. Je précise en particulier pourquoi les productions cognitives et les représentations symboliques (Le Ny, 2010) sont importantes pour l'apprentissage et comment elles interviennent dans la construction du sens. Je propose une classification des productions. Je m'appuie en particulier sur les travaux anglo-saxons en « *science literacy* », « *writing to learn* » et « *multimodal representation* » ou les travaux en didactique des sciences et des mathématiques sur les registres sémiotiques. Ces différents travaux étudient le rôle des productions symboliques par les élèves dans les apprentissages scientifiques. Je donne plusieurs exemples d'analyses de productions cognitives au travers de plusieurs types d'activités (langagières, écritures, photographiques, ...), que nous avons conçues et analysées. Je propose un modèle et je précise le rôle de chaque type de production en fonction du type d'activité à réaliser.

Dans le chapitre 6, j'explore la notion d'étayage en général puis en didactique et dans un contexte informatisé. Enfin dans le dernier chapitre, je présente les projets en cours et les questions de recherche que je souhaite aborder aujourd'hui.

Chapitre 2 - Synthèse des travaux de recherche

2.1 Introduction

Mon activité de recherche dans le domaine de l'enseignement et de l'apprentissage de la biologie a commencé en 1987, lorsque j'ai préparé et obtenu le DEA de didactique des disciplines, à l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1, puis lors de ma thèse préparée au laboratoire Bio-Informatique de l'école Vétérinaire de Lyon et soutenue à l'Université Claude Bernard-Lyon 1. Les recherches que j'ai menées depuis 1987 se situent dans le champ de la didactique des sciences, elles sont centrées sur les mécanismes de transmission et d'appropriation de savoirs principalement en biologie mais aussi dans d'autres disciplines en sciences expérimentales. Les questions auxquelles je m'intéresse concernent l'étude de raisonnements d'apprenants lorsqu'ils effectuent des activités pratiques. Un autre aspect de mon travail concerne l'évaluation et la conception d'outils technologiques pour l'apprentissage. Les problématiques transversales à mon travail sont :

- comment intégrer des savoirs nouveaux, des méthodes et des outils innovants dans les pratiques professionnelles en tenant compte des contraintes institutionnelles et de caractéristiques personnelles des acteurs ?
- quels sont les obstacles à la construction de concepts par les élèves lors d'activités pratiques¹ en sciences expérimentales ?
- quelles aides didactiques proposer pour améliorer la construction du sens par les élèves lors d'activités expérimentales ?
- comment modéliser l'activité d'apprenants impliquées dans des activités de productions cognitives en travaux pratiques ?

Cette problématique recouvre plusieurs cadres théoriques qui seront précisés dans cette note.

2.2 Modélisation des connaissances dans une situation d'interaction langagière entre vétérinaire et éleveur : étude de dialogues en situation de conseil vétérinaire pour valider un système expert en pathologie animale.

Au cours de mon travail de thèse effectué au laboratoire Bio-Informatique de l'école vétérinaire de Lyon, j'ai analysé des dialogues entre vétérinaires et éleveurs dans des situations de conseil vétérinaire. Le point de départ et la finalité de la thèse étaient la validation du système expert porci@act, dont le but était de faire du diagnostic pathologique en élevage porcin. Ce système expert à base de règles a été développé dans le langage Le_Lisp par deux chercheurs de l'INRA à partir du recueil de l'expertise de plusieurs vétérinaires experts. Le but de ce système expert était de fournir une expertise sanitaire pour des élevages

¹ Les activités pratiques peuvent être menées au cours de démarches expérimentales, scientifiques, d'investigation ou de projet. Ces termes ainsi que la nature des activités seront précisés dans le mémoire.

porcins hors-sol. L'élevage est abordé dans le cadre systémique de l'écopathologie (Figure 1). Selon ce modèle, l'élevage est modélisé à partir de six pôles représentés sous la forme d'un hexagone. Chaque pôle est évalué lors de la visite d'élevage à partir de mesures ou d'observations effectuées. Au cours de ce diagnostic il s'agit d'objectiver les troubles zootechniques à partir de l'histoire de l'élevage, de l'examen de signes d'appels des pathologies monofactorielles et par la recherche de facteurs de risques.

Le système expert proposait des résultats exprimés sous forme de facteurs de risques de l'élevage (Sabatier, P., Forestier, J., Marzin, P. 1994). Ce diagnostic pouvait être exploité par le vétérinaire pour confirmer le sien ou pour l'éleveur. Le système expert porciact a aussi été conçu pour former les jeunes vétérinaires à la visite d'élevage. En effet l'obtention d'un résultat nécessite la détermination d'un certain nombre de paramètres qui doivent être recueillis de façon systématique et rigoureuse au cours de la visite. Le système expert utilise la démarche suivie par un vétérinaire expert quand il fait une visite d'élevage pour faire un diagnostic. Le système expert indique une démarche à suivre, il rappelle les paramètres à observer et à mesurer ainsi que les indicateurs à connaître pour faire un diagnostic d'élevage. Il constitue donc une méthodologie à la visite d'élevage que les élèves vétérinaires peuvent s'approprier en la mettant en œuvre.

Figure 1 : les six pôles de l'élevage à observer durant les enquêtes écopathologiques.

Dans ce contexte, mon travail de thèse (Marzin P., 1993) a consisté à étudier le fonctionnement des savoirs dans une situation de conseil vétérinaire. Par l'analyse didactique et langagière des dialogues entre vétérinaires et éleveurs je me suis attachée à répondre aux questions suivantes : comment le modèle écopathologique est intégré dans les pratiques d'éleveurs ? Quels sont les raisonnements utilisés par les éleveurs face aux problèmes pathologiques auxquels ils sont confrontés ? Quels obstacles cognitifs identifiés pourraient être à l'origine de malentendus entre vétérinaire et éleveurs ? J'ai étudié les conceptions des éleveurs comparativement à celles des vétérinaires en situation de conseil vétérinaire (Marzin P., 1994). J'ai également analysé les connaissances en jeu dans les dialogues dans le cadre de l'analyse pragmatique du langage (Moeschler J., 1985 ; Searle J. R., 1972 ; Grice H. P., 1975).

Cette étude a permis de modéliser des raisonnements d'éleveur à propos de problèmes sanitaires en terme d'actions effectuées et d'explications développées sur un problème pathologique donné (par ex. Figure 2 à propos de l'arthrite des porcelets). Pour cela un modèle d'analyse didactique des dialogues a été conçu dans le cadre de l'analyse pragmatique des dialogues. Le modèle est composé des éléments suivants :

- un relevé des thèmes abordés et leur représentation sous la forme d'une carte chronologique indiquant la succession des thèmes et les liens entre eux,
- la désignation des différents problèmes sanitaires abordés. Pour chaque problème il est indiqué la personne qui l'a formulée ainsi que la formulation précise utilisée,

- une analyse topographique selon Moeschler comprenant l'étude de la structure du dialogue à partir de la construction d'un arbre de dialogue et une étude des actes de langage,
- une analyse du sens et des interactions comprenant :
 - o une analyse du contexte et de l'implicite, afin de mettre en évidence des échanges implicites entre vétérinaire et éleveur. Le degré d'implicite peut être un indicateur d'une proximité entre les deux acteurs ;
 - o une analyse des oppositions : les thèmes où il y a opposition de point de vue sont relevés
 - o une analyse des accords,
 - o une analyse des conceptions, représentant les éléments de connaissances, reliés entre eux de façon logique, mobilisés par les acteurs (Figure 2).

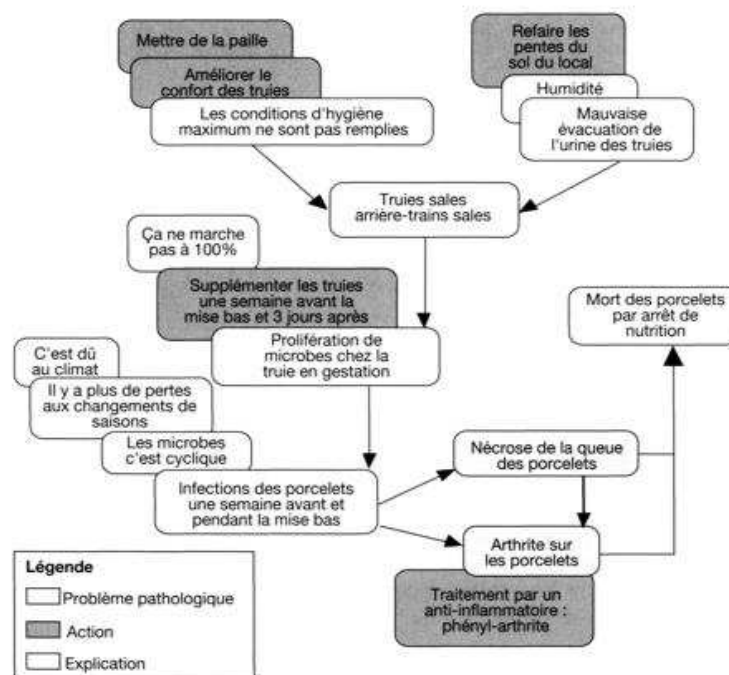


Figure 2 : réseau sémantique de l'éleveur n°1 à propos de l'arthrite des porcelets

Ces différents éléments permettent de modéliser les dialogues. Trois situations de conseil ont été analysées, comprenant au total l'étude de 12 séquences de dialogue. Les analyses effectuées ont mis en évidence que les éleveurs connaissent un grand nombre de normes produites par les vétérinaires et que celles-ci ont été intégrées dans leurs pratiques. Certaines normes ne sont pourtant pas appliquées en raison de contraintes diverses, dont des contraintes économiques fortes qui pèsent sur leurs décisions.

Nous avons pu mettre en évidence des différences entre les raisonnements produits par les vétérinaires et les éleveurs. En particulier nous avons montré une gestion ponctuelle du temps et parcellaire de l'espace chez les éleveurs alors que le modèle écopathologique s'appuie sur un modèle évolutif et global (Marzin P., & Sabatier P., 1994). Un autre aspect qui fait obstacle est le fait que le modèle écopathologique propose de se passer de modèle explicatif causal et de considérer l'élevage comme une entité à part entière. Cette conception n'est pas

partagée par les éleveurs qui ne se représentent pas l'élevage comme un système, mais comme une addition d'éléments.

La gestion ponctuelle peut s'illustrer par le fait que les éleveurs ne notent pas l'état de santé de tous les animaux de l'élevage de façon exhaustive, ils notent uniquement les animaux qui ont des problèmes pathologiques. Les éleveurs observés sont centrés sur l'animal ou la pathologie plutôt que sur l'évolution des pathologies dans l'élevage. Cette façon de faire empêche la réalisation d'études comparatives, de calculs statistiques et elle est un obstacle à une surveillance sanitaire à long terme.

La modélisation des connaissances des éleveurs a permis de montrer la cohabitation de deux conceptions simultanées dans le raisonnement des éleveurs : une conception causale pasteurienne où le microbe est cité comme le principal agent de la maladie et une conception causale environnementale où chaque facteur environnemental est relié de façon causale aux pathologies d'élevages. L'obstacle à l'origine de ces conceptions est le fait que les facteurs de risque sont reliés de façon statistique aux pathologies. Nous avons pu mettre en évidence l'adaptation par les éleveurs du modèle écopathologique qui fait appel à un raisonnement en terme de facteurs de risques à un raisonnement causal utilisé initialement. Ce qui se traduit par le fait que les éleveurs appliquent un coefficient de certitude à chaque facteur de risque. Ce travail en didactique, tel que nous l'avons mené, sur les pratiques professionnelles, a contribué à améliorer la situation de conseil vétérinaire. Il a aidé les protagonistes à prendre conscience des différents niveaux de savoir de chacun, et des obstacles que cela peut entraîner. L'autre retombée de ce travail a été la validation, sur le terrain, du système expert porci δ act en comparant les résultats proposés par le système avec celui du vétérinaire. Un modèle d'analyse des dialogues dans ce contexte particulier a été construit. Enfin d'un point de vue social ce travail avec l'outil a permis de renforcer la relation éleveur-vétérinaire et de valoriser les compétences des acteurs.

2.3 Travaux effectués à la suite de la thèse, en tant que maître de conférences à l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1

Après avoir soutenu ma thèse en février 1993 j'ai été recrutée en septembre de la même année à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres (I.U.F.M.) de l'académie de Grenoble. Mes recherches ont eu pour objet la formation des enseignants, et l'apprentissage de notions scientifiques par les élèves. Les recherches que je mène en didactique de la biologie sont des ressources pour les enseignements que je dispense à l'IUFM avec les jeunes professeurs certifiés et agrégés de sciences de la vie et de la terre ainsi qu'auprès des étudiants en master de didactique des sciences qui selon leur parcours R (recherche) ou P (professionnel) se destinent à la recherche en didactique ou bien se trouvent dans une dynamique de formation ou de reconversion professionnelle après plusieurs années de pratique d'enseignement.

Les problématiques sur lesquelles j'ai travaillées, se situent dans trois champs thématiques : l'étude des pratiques des enseignants de S.V.T. en éducation pour la santé, l'intégration et

l'utilisation d'environnements informatiques et la conception de protocoles expérimentaux en travaux pratiques de sciences. La première thématique n'est plus développée actuellement en recherche mais elle est toujours présente dans les thèmes que j'aborde en formation initiale ou continue des enseignants du premier et du second degré, ainsi que dans les enseignements de la spécialité didactique des sciences du master IC2A.

2.3.1 Education pour la santé dans l'enseignement et dans la formation des enseignants : analyse de la prise en compte des connaissances du domaine par les enseignants

La mise en œuvre de séances ayant pour objectif « l'éducation à ... » est préconisée dans les programmes d'enseignement de l'école primaire et secondaire depuis plusieurs décennies. Ces séances ont la particularité de viser une réflexion sur les comportements individuels dont la finalité est la préservation de sa santé et la maîtrise des connaissances liées. Elles ont des prolongements dans la vie quotidienne des élèves. Elles ont pour objectifs que les élèves prennent des décisions conscientes dans la gestion de leur santé et qu'ils acquièrent des attitudes, des compétences et des connaissances qui les aident dans la conscientisation des comportements. La mise en œuvre, par les enseignants, de situations d'éducation pour la santé implique une évolution de leur rôle d'enseignant vers un rôle d'éducateur. En effet de nombreux travaux ont montré que l'approche cognitive stricte n'est pas pertinente pour faire de la prévention (Leselbaum, N. 1990 ; Brix, O., Sandrin-Berthon, B., & Baudier, F., 1996 ; Rumelhard, G., 1998 ; Marzin, P., 2001). Ce changement de posture nécessaire implique des concepts et des méthodes pédagogiques particulières dont la plupart ont été élaborées à partir de résultats obtenus par des chercheurs en sciences psycho-sociales et dans le domaine de la santé publique. Les recommandations produites à la suite de ces travaux proposent la mise en œuvre de démarches d'accompagnement des élèves, qui consistent en particulier à s'appuyer sur leurs questions et sur leurs représentations. Les travaux ont en effet montré qu'il était inefficace d'imposer des représentations et des connaissances extérieures aux élèves mais que les connaissances apportées doivent être proposées en réponse à des questions et à des besoins exprimés par les élèves. Il existe différents moyens pour faire exprimer les questions, besoins et demandes des élèves (photo langage, jeux de rôles, boîte à questions, jeux, logiciels, enquêtes, ...) qui pourraient être utilisés dans un cadre scolaire.

Dans ce contexte il nous est apparu utile d'effectuer une analyse de l'existant et de clarifier les caractéristiques d'une situation de prévention en milieu scolaire. La finalité de ce travail est de faire des propositions didactiques et pédagogiques pour la formation des enseignants qui soient réalisables par les enseignants et pertinentes pour les élèves.

Nos travaux ont porté sur quatre volets complémentaires : une analyse du cadre institutionnel, une étude de la transposition didactique des savoirs enseignés au collège et au lycée, une étude des représentations et des pratiques des enseignants de lycée et collège et une étude des modules de formation proposées dans les I.U.F.M. en France (Jourdan et al 2004).

L'analyse du cadre institutionnel proposé aux enseignants sur le thème de l'éducation à la santé au collège et au lycée (Marzin 2001, p. 210), a mis en évidence la préconisation d'approches qui peuvent apparaître complémentaires car elles poursuivent le même objectif mais dont les modèles de référence sont différents voire contradictoires. En effet les programmes de S.V.T. ont pour objectif la connaissance des fonctions et des organes de la reproduction. Dans les préconisations il n'y a pas d'indication sur la façon d'impliquer les élèves ou de prendre en compte leurs conceptions. Pour la séance d'éducation à la sexualité et de prévention du Sida au collège, qui s'adresse aux mêmes élèves, la circulaire préconise une démarche d'accompagnement et il est clairement indiqué de s'appuyer sur les questions et les demandes des élèves.

Dans la continuité l'étude de la transposition didactique des savoirs enseignés au collège et au lycée, des représentations et des pratiques des enseignants dans la perception de leur rôle d'acteur de prévention du Sida ont permis la catégorisation de plusieurs approches utilisées par les enseignants (Riou-Kérangal 1995 ; Marzin & Méchin 1998). Ces approches ont été reliées à des idéaux-types auxquels se réfèrent les enseignants qui peuvent être par exemple le médecin, le scientifique, l'animateur(trice) de planning familial, l'écrivain, ... La mise en évidence de ces idéaux-types montrent que la dimension personnelle prend le dessus sur la dimension professionnelle. Cette analyse a montré que les enseignants rencontraient des difficultés et des obstacles de différents ordres. Il est apparu que les enseignants n'avaient pas de repère clair sur la conduite à tenir et qu'ils devaient affronter de nombreux tabous. Nous avons pu mettre en évidence une importante hétérogénéité dans les pratiques et dans les contenus abordés. Par exemple les enseignants aimeraient donner plus la parole aux élèves, mais ils ont des difficultés à le faire, il existe un écart entre ce qu'ils font faire aux élèves et ce qu'ils aimeraient qu'ils fassent. Ils placent les élèves dans une situation d'observateurs alors qu'ils aimeraient qu'ils soient acteurs (Cogérino, Marzin, & Méchin 1998 ; Sacadura, Marzin & Charbonnier 2000 ; 2005 ; Sacadura 2002). L'ensemble des résultats montre que les enseignants appliquent les programmes et ont la volonté de bien faire mais que la plupart n'ont pas de référence professionnelle claire, qu'ils ne connaissent pas les concepts, méthodes et ressources proposés par les organismes de santé publique ou de prévention.

Nous avons ensuite effectué une étude des formations proposées dans tous les IUFM de métropole et d'outre-mer. Cette étude a été effectuée par des questionnaires adressés aux directeurs adjoints chargés des formations et aux formateurs potentiellement impliqués dans ce type de formation. Cette étude a montré une grande hétérogénéité entre les formations proposées. Les résultats de l'étude ont été communiqués à la conférence des directeurs d'IUFM pour pointer un déficit au niveau des plans de formation. Elle a eu pour conséquence que dans de nombreux IUFM, un chargé de mission pour les questions d'éducation pour la santé a été nommé. Ce travail a donné lieu à un ouvrage collectif (Jourdan et al 2004) et il a également permis d'identifier des personnes ressources à partir desquelles nous avons construit un réseau de formateurs en éducation pour la santé.

L'ensemble de ces travaux a permis d'identifier des obstacles et des besoins en formation, ils ont abouti à des recommandations dont l'élaboration d'un modèle pour la formation des enseignants. Nous avons aussi élaboré des ressources en ligne destinées spécifiquement aux enseignants, qui ont été mis à leur disposition dès la formation initiale. La Figure 3 ci-dessous synthétise ce modèle où sont représentées les disciplines impliquées, les thématiques à construire et les objectifs à atteindre. Cette rosace sert de trame pour former les enseignants à l'éducation pour la santé. Plusieurs actions de formations initiales et continues d'enseignants de l'enseignement primaire et secondaire ont été mises en œuvre en s'appuyant sur les contenus décrits dans le schéma ci-dessous : le cadre institutionnel de l'éducation à la santé définissant le rôle de l'enseignant ; les concepts de santé et d'éducation pour la santé ; des exemples de démarches et méthodes, des apports théoriques et mises en situations pratiques ; des connaissances à propos des ressources et des outils ; les principaux partenariats ; des apports de connaissances sur l'adolescence et sur la prise de risque par les adolescents ; les connaissances épidémiologiques sur les conduites à risque ; des apports sur la loi sur les maltraitances. Les principaux thèmes au programme de l'école, du collège et du lycée en France et dans plusieurs pays d'Afrique ont été traités à partir de ce cadre. Dans le champ de l'éducation à la santé, j'ai encadré deux mémoires de DEA (Riou-Kerangal 1995 ; Sacadura 1998) et une thèse (Sacadura 2002). Ces travaux ont donné lieu à 13 publications.

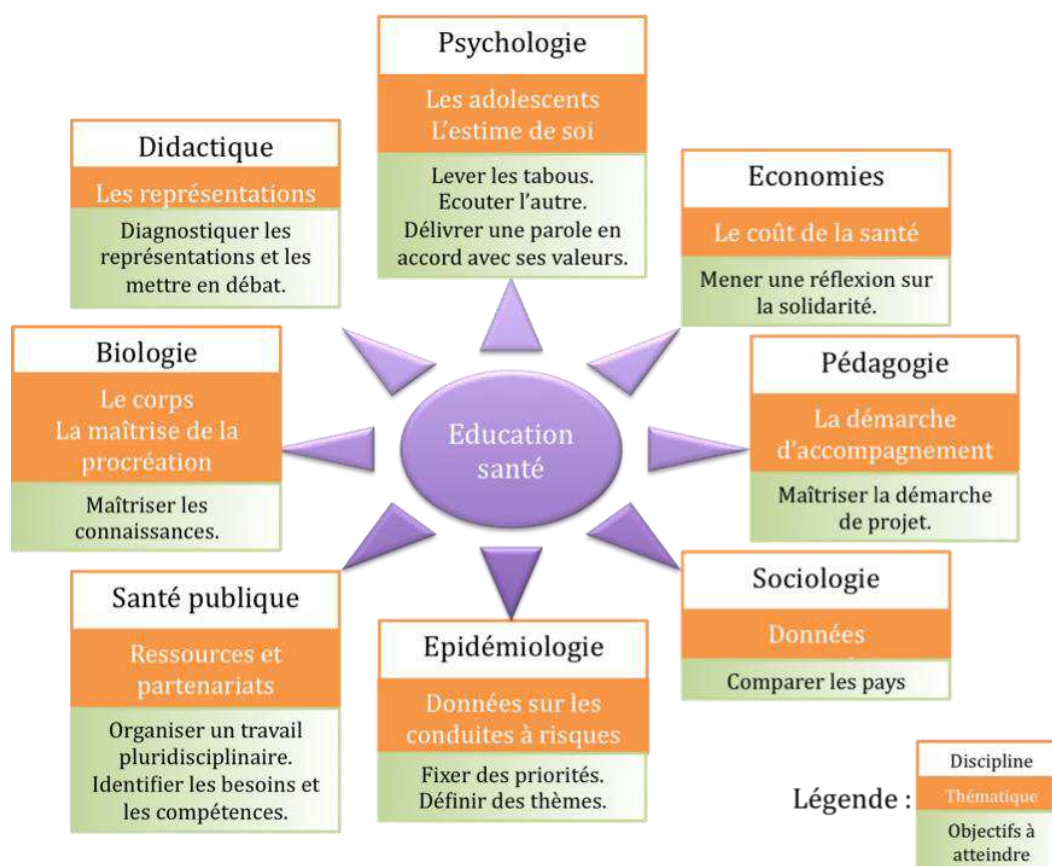


Figure 3 : les disciplines, les thématiques, et les objectifs à atteindre par les enseignants du primaire et du secondaire en formation sur l'éducation pour la santé.

2.3.2 Conception et analyse de situations de travaux pratiques innovantes guidées par un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain. Modélisation des connaissances des élèves lors de la création d'objets symboliques personnels.

De nombreux travaux ont pointé le déficit d'apprentissage de concepts scientifiques dans les travaux pratiques (T.P.). Même si tous les travaux pratiques ne font pas nécessairement appel à des concepts scientifiques d'un haut niveau, le problème qui est posé est celui du sens que les élèves donnent aux activités expérimentales qu'ils réalisent, et donc de la mobilisation des connaissances pour comprendre les phénomènes en jeu dans les activités expérimentales. Cette difficulté est en particulier dû au fait que les élèves sont placés dans une situation de faire des activités en suivant des directives données par les enseignants. Certains auteurs qui se sont intéressés à cette question ont utilisé le terme de « cookbook labwork », ou « TP recettes de cuisine » pour caractériser ces T.P.

Les élèves sont en effet le plus souvent habitués à suivre des directives que l'enseignant donne plutôt qu'à prendre des décisions ou à faire des choix raisonnés en T.P. Cela a pour conséquence que les élèves sont peu impliqués dans la recherche du sens dans les activités pratiques qu'ils effectuent. Ils perdent souvent le fil de ce qu'ils cherchent, ils oublient le problème de départ et ils apprennent finalement peu de concepts. Cela pose au final le problème de l'efficacité pédagogique et didactique des travaux pratiques pour l'apprentissage des sciences. Quand les notions sont apportées par l'enseignant à la suite des activités, elles apparaissent souvent plaquées et sans lien apparent avec les activités réalisées. Ce lien est évident pour l'enseignant mais s'il reste implicite, il peut ne pas exister pour les élèves. Il s'agit aussi de dépasser le caractère artificiellement motivant de la seule mise en activité lors des travaux pratiques. Or nous pensons que les élèves peuvent apprendre des notions complexes en T.P. Cela est conditionné par le fait que les élèves soient mis en situation de productions cognitives à différentes étapes de la démarche de T.P. que nous identifierons. Nous présenterons plusieurs situations que nous avons élaborées et nous montrerons comment et pourquoi ces situations permettent aux élèves de construire des notions en T.P.

Ce phénomène n'est pas propre à la France et a été étudié dans de nombreux pays. Pour Tiberghien (2001), qui a étudié les différents objectifs d'apprentissage en analysant de fascicules de T.P. dans plusieurs pays d'Europe, la mise en tension entre le monde des objets et le monde des modèles ne se fait pas facilement en particulier parce que les élèves sont souvent mis en situation d'appliquer des protocoles « clé en main » sans appropriation du problème posé ni des concepts en jeu. D'autres travaux, centrés sur les apprentissages réalisés en T.P., ont montré que les élèves ont tendance à atomiser les actions, ce qui leur fait perdre de vue l'objectif initial du T.P. et les connaissances visées (Séré & Beney 1997). Les liens avec les connaissances en jeu sont évidents pour les enseignants mais ils restent souvent implicites. Pour Hodson (1990), à la racine du problème il y a un défaut de réflexion à propos de l'utilisation du travail de laboratoire. Pour Millar (2004) les idées et les explications n'émergent pas spontanément des données expérimentales, il est donc nécessaire que les

enseignants guident les élèves pour que ces derniers établissent ces liens. Etkina (2010) propose que les élèves élaborent des productions cognitives en T.P. pour faciliter l'apprentissage de connaissances scientifiques et pas seulement de savoir-faire techniques.

Les expérimentations à l'origine des résultats présentés ci-dessous ont été effectuées dans le cadre de trois projets successifs :

- Le projet INRP sur l'étude de la pratique expérimentale dans la classe proposé en 1996 (resp. C. Larcher et D. Beaufils) et auquel j'ai participé avec Bernard Darley et une équipe d'enseignants de plusieurs lycées grenoblois (Darley & Marzin 1998). Nous avons mis en place et analysé une situation de T.P. où les élèves devaient traiter un grand nombre de données.

- Le projet CoPEX² (réponse à l'ACI « Education-formation et TICE, 2005). A la suite de ce projet il a été fourni une liste de recommandations qui a permis l'élaboration du cahier des charges du logiciel CoPEX (<http://copex.imag.fr>) qui a été développé en 2008. Le logiciel CoPEX a été intégré dans la plateforme LabBook (<http://LabBook.imag.fr>) qui propose un environnement informatisé pour étayer l'apprentissage en travaux pratiques puis dans la plateforme SCY-Lab en cours de développement.

- Enfin le projet européen SCY (Science Created by You – IP du FP7-ICT Call 1-Responsible Ton de Jong) qui a commencé en mars 2008 et qui est terminé depuis mars 2012.

Les recherches effectuées dans cette thématique ont donné lieu à 25 publications.

J'ai co-encadré deux thèses : la thèse de Rym Laribi soutenue en 2009, qui a donné lieu à trois publications (un article et deux communications) et la thèse de Gwenda-Ella Chapel qui sera soutenue le 21 juin 2011 et dont les travaux ont donné lieu à cinq communications. J'ai également encadré le mémoire de master2R de Denis Michel, soutenu le 1^{er} juillet 2008 et dont le travail a donné lieu à une communication.

Nos travaux ont donc porté sur plusieurs types de productions cognitives par les élèves lors d'activités expérimentales : l'activité de traitement des données (Darley & Marzin 1998), la prise de photos en seconde (Denis 2008) et la conception de protocole. Nos travaux ont en effet montré que la conception de protocole est déterminante, alors que ce n'est pas une tâche que les élèves réalisent couramment en classe. Le protocole a un rôle de formalisation et de structuration de la pensée, c'est une procédure que les élèves construisent et formalisent à partir de leurs « idées ». D'autres activités comme l'élaboration d'un plan expérimental, le traitement et la représentation des données, l'anticipation des résultats participent à la résolution du problème par l'élève à partir de ses « idées » et de ses connaissances. En résumé, le fait de s'approprier un problème, d'envisager ses modes de résolution par la mise à l'épreuve des hypothèses change la façon dont les élèves s'impliquent et apprennent en travaux pratiques.

L'analyse d'un échantillon représentatif de fascicules de travaux pratiques à l'université a aussi montré que la conception de protocoles expérimentaux n'était pas une tâche

² CoPEX : Concevoir de Protocoles EXpérimentaux pour apprendre les sciences expérimentales à l'aide d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain : prise en compte des usages.

habituellement donnée aux étudiants (Girault et al 2011). A la suite de cette étude nous avons conçu et analysé des situations où les élèves devaient concevoir des protocoles d'expérience pour étudier un problème scientifique qui leur était donné. Il s'agissait soit d'un protocole construit par anticipation avant de réaliser les mesures ou les expériences, soit d'un protocole qu'ils rédigent simultanément à l'expérimentation, soit un protocole conçu pour réaliser une expérience fictive dans le cadre d'une expérience de pensée. Nous avons expérimenté différentes modalités (schémas, dessins, photos, textes, ...) de productions de représentations externes par les élèves, portant sur différentes notions en biologie (mesure de l'angle facial en paléontologie, réaction antigène-anticorps, adaptation de l'organisme à l'effort, transmission du message nerveux). Dans ces différentes situations, par la formalisation de représentations externes, les élèves mobilisent des connaissances, sur lesquelles ils s'appuient pour prendre des décisions et pour réaliser les tâches requises (Marzin, d'Ham & Sanchez 2007 ; Laribi et al, 2007 ; Chapel, Marzin, & Ney 2008 ; Michel 2008 ; Marzin & de Vries 2008).

Ces travaux ont montré que le niveau de détail et de précision des protocoles produits par les élèves est d'autant plus grand que la cible à qui est destinée le protocole est éloignée et inconnue des élèves. Les protocoles sont beaucoup plus détaillés s'ils sont destinés à des élèves plutôt qu'à un enseignant, ils sont aussi plus détaillés et plus précis si les élèves appartiennent à un autre lycée inconnu des élèves. L'analyse des situations montre que la conception expérimentale comprend trois étapes non-interdépendantes : la réflexion sur le modèle, la formalisation du protocole, la mise en œuvre de l'expérience. Lors des deux premières étapes, les élèves produisent des objets symboliques (textes, schémas, dessins, ...), qui formalisent des choix et explicitent des paramètres (Figure 4). Ils mobilisent alors des connaissances et des conceptions qui conditionnent les décisions qu'ils prennent pour structurer le protocole, pour formuler des hypothèses et pour effectuer des choix expérimentaux (Marzin & de Vries 2008).

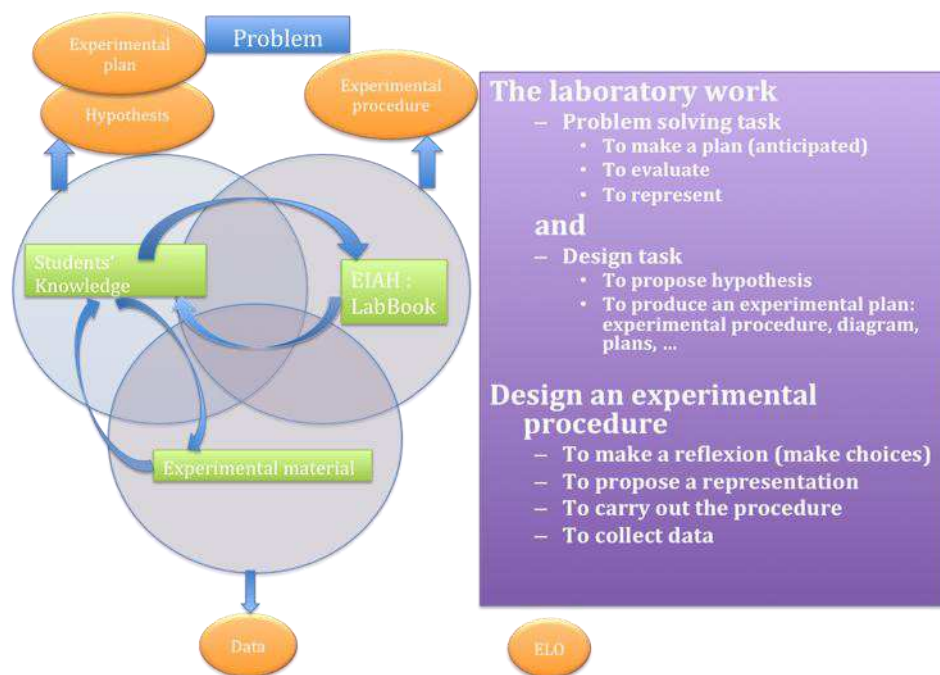


Figure 4 : modélisation de l'activité de l'élève en travaux pratiques incluant la conception de protocoles. ELO = Emerging Learning Objet (objet produit par les élèves en cours d'apprentissage)

Nos travaux ont permis de proposer des recommandations pour créer des situations intégrant la conception de protocoles par les élèves. Nous avons défini des critères auxquels les élèves peuvent se référer pour l'évaluation du protocole qu'ils conçoivent : le protocole doit être pertinent (il répond à la question posée), il doit être exécutable (il est adapté aux objets qui constituent son champ d'application), il doit être reproductible (permet d'obtenir des résultats identiques lorsqu'il est utilisé dans les mêmes conditions) et il doit être communicable (avec un niveau de précision adapté à son destinataire).

Nous avons aussi proposé une procédure pour concevoir une situation qui intègre la conception de protocole.

Pour élaborer une situation où les élèves conçoivent un protocole il est nécessaire de :

- faire une analyse du savoir combinée à une analyse de la tâche,
- évaluer la distance entre les tâches à faire en T.P. et les connaissances à acquérir,
- sélectionner les tâches qui seront à la charge des élèves et celles qui seront à la charge de l'enseignant,
- permettre aux élèves de représenter leurs idées,
- anticiper les difficultés que les élèves vont rencontrer, afin de leur proposer des retours du milieu didactique,
- proposer une situation de communication en indiquant explicitement la cible du protocole. (Marzin & de Vries 2008).

A partir de mars 2008, j'ai été impliquée avec plusieurs membres de l'équipe MeTAH dans le projet européen SCY. J'ai été responsable pendant 18 mois du WP 8 qui élabore les contenus pédagogiques de la plateforme SCY-Lab (le système d'apprentissage créé par SCY), puis j'ai été responsable du WP9 (recherche) pour le partenaire UJF. SCY était un projet européen impliquant douze partenaires à travers l'Europe et le Canada. Ce projet SCY avait pour objectif le développement d'un environnement informatique novateur pour l'apprentissage des sciences par diverses démarches, telles l'investigation, la conception, le jeu ou la collaboration. Le public visé est les élèves de collège et lycée (12-18 ans). Les élèves engagés dans SCY doivent résoudre une mission dont l'objectif est de répondre à une question liée à des problématiques actuelles de notre société, comme, par exemple : "Comment construire une maison à émission réduite en CO2 ?". L'activité de l'élève va alors se dérouler dans le SCY-Lab qui est l'environnement comportant les outils de communication entre acteurs, de régulation de l'activité (planification et contrôle) et de manipulation des données (collecte, modélisation, simulation, représentation...). Deux idées sont au cœur de la création de l'environnement SCY : d'une part, les élèves doivent être placés dans une situation où leur activité aura les caractéristiques d'une activité scientifique, avec des phases de recherche, de design, de production, etc., cela afin de favoriser l'acquisition de connaissances liées à la réalité de la démarche scientifique. D'autre part, l'apprentissage est soutenu par des activités de collaboration entre les élèves. Le SCY-Lab fournit les outils qui rendent possibles ces activités et propose des systèmes d'étayage afin d'aider les élèves à atteindre leurs objectifs.

L'environnement SCY a donc un rôle de facilitateur de la tâche par la structuration de celle-ci et par les rétroactions qu'il fournit à l'apprenant. Quatre missions ont été développées. La mission 1 porte sur la conception d'une maison émettant peu de CO₂, la mission 2 fait travailler les élèves sur l'écosystème d'une mare, la mission 3 porte sur le thème de l'alimentation et propose aux élèves de concevoir une pizza diététique, et la mission 4 implique les élèves dans une situation d'investigation policière où ils doivent résoudre une énigme en analysant de l'ADN par l'utilisation de la technique des enzymes de restriction. Deux expérimentations ont été mises en œuvre en France pour tester les missions 1 et 4 de SCY. Mes recherches portent sur la modélisation des connaissances des élèves dans une situation d'interaction langagière alors qu'ils travaillent sur la plateforme SCY-Lab, et sur les conditions favorisant la production d'ELO (Emerging Learning Object) en mobilisant des connaissances scientifiques (Marzin & Julien 2011 ; Marzin 2010 ; Marzin & van Joolingen 2010). Le master 2R de Reinaldo Saavedra-Gomez soutenu le 21 juin 2011, il porte sur l'étude de l'évolution des conceptions d'élèves de 3^{ème} sur l'ADN alors qu'ils sont impliqués dans la mission 4. Nous avons utilisé le cadre de la problématisation de Orange (2000) pour faire l'analyse didactique de la situation.

Chapitre 3 - La construction du sens dans les apprentissages en travaux pratiques

3.1 Introduction

Ce chapitre a pour but de développer une réflexion sur le rôle des travaux pratiques dans les apprentissages, la place institutionnelle qui est faite et une analyse des causes d'un déficit de sens chez les élèves. En effet la question générale qui nous préoccupe est la construction du sens par les élèves alors qu'ils réalisent des activités pratiques, et plus précisément comment la production d'objets symboliques personnels pour structurer les activités réalisées va les aider à construire du sens. Cette question a en particulier émergé à la suite des nombreuses observations que j'ai pu effectuer dans les classes de lycée ou de collège lors des visites de formation que j'effectue dans les classes auprès d'étudiants ou de stagiaires en formation initiale lors de leurs stages. J'ai en effet l'habitude de questionner les élèves soit pendant le cours, soit à la fin du cours, en collège ou en lycée, avec toujours les mêmes questions : qu'êtes-vous en train de faire, d'observer ? Qu'est-ce vous comprenez ? Que retenez-vous de la séance qui vient de se passer ?

Les réponses sont souvent :

- « on observe euh ... des cellules Madame ! »
- « oui en effet mais quoi comme cellules ? »
- « je ne sais pas ... euh ... du tissu animal » ... « du muscle ? »

Et bien non c'étaient des cellules d'épiderme d'oignons ...

Ou bien à la sortie d'une séance de T.P. en lycée à la question : « qu'avez-vous retenu de la séance ? » J'obtenais souvent les réponses : « on a fait des dessins », « on a respiré dans un tube », « on a regardé une vidéo, c'était trop bien ! ».

Mais très rarement : « on a observé et identifié les différents éléments d'une cellule végétale à l'aide d'un microscope » ou « on a mesuré pour les comparer les différentes amplitudes de la ventilation pulmonaire lors d'un effort » ou « on a observé pour les caractériser deux types d'éruption volcanique ». Ces observations peuvent suggérer que les élèves ne s'étaient pas appropriés le problème et qu'ils n'avaient pas donné le sens attendu aux activités qui leur étaient proposées. Un autre exemple, pour prolonger l'illustration, que j'ai relevé à la fin du film intitulé « Entre les murs » de Laurent Cantet, où à la question posée par François Bégaudeau qui joue un enseignant de français dans le film, « qu'avez-vous appris cette année ? », un élève répond qu'il a appris de la chimie, qu'il a mélangé des colorants dans un tube à essai et que la liqueur de Fehling changeait de couleur ...

Cette expérience personnelle résonne avec des préoccupations de la communauté de recherche et de l'institution éducative. En effet de nombreux travaux de recherche s'intéressent à la question du sens dans les activités pratiques. Jean-Pierre Astolfi (1992) a observé le même type de discours dans les classes et celui-ci serait dû, selon lui, à un fonctionnement insuffisamment opératoire des savoirs scolaires. Il attribue cela à un déficit de

théorie. Il propose paradoxalement de rendre les séances expérimentales plus théoriques et surtout de faire fonctionner les savoirs : « *Ce qui rendrait les savoirs scolaires vraiment théoriques, ce qui leur confèrerait – à eux aussi – un caractère fondateur et vivant, serait le développement de leur dimension opératoire : le fait qu'ils puissent servir, qu'on les fasse fonctionner* » (p. 38). Pour lui les savoirs ne sont pas utilisés comme des outils intellectuels disponibles mais comme des « *propositions logiquement connectées, se contentant d'énoncer des contenus* » (ibidem, p. 39). Aussi « *il est exceptionnel que les élèves retirent l'expérience d'une vraie pratique théorique, avec ce que cela suppose comme utilisation d'un concept pour construire du sens à partir de données, ou comme élaboration d'un modèle d'interprétation de faits (...)* » (ibid., p. 39).

Les élèves utiliseraient donc peu leurs connaissances ou les concepts lors des activités expérimentales, là où ils pourraient en effet le faire, c'est-à-dire quand ils forment des hypothèses, quand ils effectuent des mesures et quand ils traitent des données pour les interpréter. Les élèves seraient privés de la construction du sens par un déficit de ce qu'Althusser appelle des « *pratiques théoriques* ». Les savoirs seraient enseignés à l'école de façon disjointe des activités pratiques et rarement connectés entre eux. Cette entrée en matière nous donne un premier point de vue, en réponse à la question de la construction du sens par les élèves. Au niveau international ce problème se retrouvant dans plusieurs pays, de nombreux auteurs se sont penchés sur la place et la fonction des activités pratiques, sur les objectifs que l'on peut leur assigner et sur les difficultés rencontrées par les élèves en travaux pratiques. Une fois ce constat posé, que nous faisons nôtre, nous verrons qu'il se répète et en quoi il est à l'origine de nombreux travaux de didactique en France et à l'étranger.

Notre analyse didactique et épistémologique sera plus largement développée dans le chapitre suivant et plus particulièrement dans le paragraphe 4.6., nous la présentons ici succinctement. Nous postulons que les aspects théoriques et les aspects pratiques ne peuvent être disjoints et qu'ils peuvent être abordés conjointement au sein des mêmes activités. L'apprentissage des sciences expérimentales comprend des connaissances et des capacités qui peuvent être des méthodes, des techniques et des attitudes. Il y a un lien entre connaissances et expériences par le biais du questionnement et des hypothèses formulées par les élèves à partir de leurs connaissances (et de leurs conceptions). La démarche d'investigation implique les élèves dans un questionnement et une recherche de solutions par le biais de l'utilisation d'un référent empirique qui peut être réel ou virtuel. C'est la mise en relation d'une démarche de résolution de problème (P) avec une activité de conception expérimentale par les élèves (C), structurées par des représentations externes (R) qui ont pour objectif de formaliser les productions des élèves sous des formes variées et adaptées aux styles cognitifs des élèves. Le modèle Problème, Conception, Représentation (PCR) nous servira de référence dans nos diverses analyses. Faisons dans un premier temps un détour par le contexte institutionnel afin de regarder plus précisément quel rôle est assigné aux activités pratiques par l'institution scolaire.

3.2 Le contexte institutionnel

3.2.1 Introduction

La notion de travaux pratiques et leurs activités ont été introduites par les programmes en France en 1902, ils sont rendus obligatoires en 1905 (Coquidé 2000, p. 23 ; Boilevin 2010, p. 44 ; Robardet & Guillaud 1997, p. 41). Mais leur introduction dans les pratiques effectives des enseignants n'a pas été immédiate (Coquidé 2000, p. 23). Néanmoins les travaux ayant étudiés la place des activités pratiques dans l'enseignement secondaire au cours de l'histoire, montrent que les activités pratiques ont depuis toujours été présentes dans les programmes (Galiana 1999, Goffard 2007, Johsua & Dupin 1993). Ces travaux montrent aussi que la place et la fonction des activités pratiques ont évolué au cours du temps. Il faut donc distinguer la volonté politique d'introduire l'expérience dans les *curriculums*, d'abord en lien avec des applications pratiques et industrielles de l'introduction dans les pratiques effectives, qui se sont développée à partir années 1950 sous l'impulsion de l'inspection générale. Une deuxième étape importante a lieu dans les années 1980 à la suite de la loi Defferre sur la régionalisation qui a eu pour conséquence un investissement des régions dans les équipements des lycées (Coquidé 2000, p. 24). Les pratiques de T.P. ont été étendues de façon continue depuis le début du 20^{ème} siècle. En biologie il est observé une certaine constance dans les expériences utilisées en classe. En effet il existe une persistance de certaines expériences représentées dans les manuels pendant 150 ans. Galiana (1999) cite l'exemple de la manipulation de Bonnet (1720-1793) qui consiste à observer des bulles de gaz à la surface des feuilles d'un rameau de vigne placé dans l'eau au soleil, alors que le même dispositif placé à l'obscurité ne produit pas de gaz. A partir de 1992, la même expérience est toujours présente dans les manuels mais elle est réalisée grâce à un dispositif Exao (*ibid*, p. 11). La constance de cette expérience au cours du temps peut s'expliquer par son statut d'expérience prototypique qui permet une présentation directe de sa phénoménologie permettant une interprétation directe des phénomènes en jeu. Becu-Robinault & Tiberghien (1998) ont mis en évidence la même stabilité avec l'expérience de la chute libre de Galilée en physique.

Des changements sont observés en ce qui concerne le statut des expériences dans l'enseignement et dans l'apprentissage des sciences. En effet, au début du siècle l'expérience consistait à décrire des appareils. Puis les enseignants ont utilisé des expériences pour illustrer des phénomènes, cette pratique monstrative avait une fonction illustrative et servait aussi à donner une certaine scientificité à leur discours. Puis l'expérience a été utilisée pour faire redécouvrir aux élèves les concepts et les phénomènes. Il a évolué d'une pratique déductive (la manipulation est utilisée comme une illustration du cours, elle a un statut de preuve) vers une pratique de redécouverte entre 1951 et 1980 (l'expérience précède la théorie). Pour les personnes à l'origine de la pédagogie de la redécouverte (Lazergue 1953) les élèves disposent des connaissances et c'est l'éducation qui va leur permettre de passer du concret à l'abstrait (Johsua 1989, p. 32). A partir des années 1980, le fait de faire réaliser des expériences par les élèves, plutôt que de les leur montrer, aiderait les élèves dans le fait qu'ils y mettent plus de « croyance » (*ibidem*, p. 32). L'activité expérimentale effectuée par les élèves aurait aussi une fonction implicative ou motivationnelle.

3.2.2 Les années 1980 : le grand écart entre expériences et théories

A partir de 1981 les approches proposées sont plus théoriques, l'expérience si elle est toujours présente perd de l'importance. Le rôle de l'expérience est de faire émerger des connaissances qui seraient déjà présentes chez les élèves, à une fonction de monstration où l'expérimental semble déconnecté du théorique. Johsua parle à ce propos de « *grand écart entre méthode et démarche inductive d'une part, la volonté de rénovation des contenus et la mise en ordre du jour de la vision structurelle de la physique de l'autre* » (Johsua 1989, p. 45). Les instructions officielles de 1978 expriment clairement cette disjonction, on peut y lire que « (...) *les sciences physiques sont des sciences expérimentales et doivent être enseignées comme telles. On ne cherchera pas dans cet enseignement des théories et des formules* » (ibid., p. 46). Tout est dit, il n'y a pas de lien entre expériences et théorie et surtout l'une n'aurait pas besoin de l'autre.

3.2.3 Les années 1990 : l'introduction des TICE et une mise en avant de l'apprentissage de la démarche expérimentale

La réforme de 1992 est caractérisée par l'introduction de la méthode Exao et des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement en général et dans les travaux pratiques de S.V.T. en particulier. De nombreux pays ont introduit l'utilisation de l'informatique pour le contrôle et le recueil des données (Cox, 2012), et l'EXAO est aujourd'hui une des principale catégorie d'applications pédagogiques des T.I.C. (Bruillard, Komis & Lafférière 2012). Les instructions officielles du lycée (Arrêté du 17 janvier 1992 modifié par l'arrêté du 11 mars 1994, BO n°4 du 23 septembre 1993 et BO n°14 du 7 avril 1994) indiquent comme objectif la maîtrise de la démarche expérimentale : « *l'enseignement des sciences de la vie et de la terre s'appuie largement sur des activités pratiques et expérimentales, sur une référence constante au concret, sur l'appel à des thèmes d'actualité. Fondé sur une investigation à partir de problèmes scientifiques, il favorise le développement, chez l'élève, d'une attitude rationnelle, condition d'une autonomie indispensable à un choix responsable* ».

Les programmes du collège réformés en 1996 et adaptés en 1998, indiquent que l'élève acquière « *l'esprit expérimental* » : « *qu'il ait appris à s'informer, en particulier à observer ; à raisonner, notamment à classer, relier, adopter une démarche expérimentale, faire preuve d'esprit critique ; à réaliser des manipulations, des montages expérimentaux simples, des mesures, des élevages, des cultures ; à communiquer (...)* ». Ces instructions expriment clairement l'importance de la pratique expérimentale au collège et au lycée. La mise en œuvre concrète reste floue et la fonction des T.P. pour l'apprentissage de notions et concepts de S.V.T. n'est pas indiquée. Il est seulement précisé que les démarches d'investigation doivent être menées en fonction de problèmes scientifiques.

L'analyse des manuels montre que les protocoles, quand ils sont présents, semblent aussi avoir un statut particulier. A partir de 1992 ils sont présents de façon hétérogène dans les manuels. Ils sont néanmoins présents et dans certains manuels, il est demandé aux élèves de

les critiquer. Avant cette période les protocoles pouvaient être présents avec un statut illustratif (Galiana 1999). D'autres travaux de didactique menés à la suite de cette réforme montrent que les pratiques mises en œuvre dans les classes restent encore résolument inductives (les lois sont construites à partir d'activités expérimentales le plus souvent prototypiques) malgré le souhait exprimé par différents acteurs du système éducatif d'introduire la démarche expérimentale dans les enseignements de S.V.T. (Larcher & Goffard 2004).

Les travaux effectués dans le cadre de la recherche INRP intitulée « La pratique expérimentale dans la classe » qui avait pour objet l'étude de la construction en classe d'un champ empirique de référence à divers niveaux scolaires dans différents champs disciplinaires (resp. C. Larcher, département de didactique des disciplines), et qui visait aussi l'introduction d'outils informatisés dans l'enseignement secondaire (resp. D. Beaufils, département Tecné), posent la question des conditions de l'efficacité des travaux pratiques pour la compréhension des concepts et la compréhension du fonctionnement des sciences qui reste récurrente (Goffard 2004). Impliqués dans cette recherche, nous nous sommes attachés à étudier l'exploitation des données par le traitement graphique par les élèves (Darley & Marzin 1998). Lors de cette étude nous avons mis en évidence les difficultés des élèves à suivre une démarche expérimentale cohérente, et à avoir une vision globale de la démarche. Pour les élèves avec lesquels nous avons travaillé la représentation est une fin en soi. De même, les élèves ont eux des difficultés à gérer plusieurs paramètres et à les hiérarchiser. Ces résultats suggèrent que les activités de modélisation devraient être davantage développées. Cette question, et les travaux qui s'y rapportent, seront repris dans la suite de ce mémoire dans le paragraphe 3.7.

3.2.4 Les années 2000 : l'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat

La réforme de 2000 introduit une épreuve expérimentale au baccalauréat (l'évaluation des capacités expérimentales, ECE), qui consiste à faire refaire aux élèves un protocole qu'ils ont déjà réalisé au cours de l'année. Il est intéressant de noter qu'il n'est pas demandé aux élèves d'interpréter les résultats expérimentaux qu'ils ont obtenus. Seules des compétences techniques sont évaluées. Cette épreuve existait d'ailleurs depuis plus de dix ans dans l'enseignement agricole.

Le texte officiel indique que « L'évaluation des capacités expérimentales (ECE), partie de l'épreuve de S.V.T. au baccalauréat, évalue de façon spécifique des compétences acquises par les candidats au cours de leur formation. Les sujets s'inscrivent dans le cadre d'un problème ou d'une question scientifique à résoudre qui donne au geste sa justification, mais sans chercher à évaluer la restitution de connaissances scientifiques, largement prise en compte à l'écrit. En cela, l'ECE ne se confond pas avec les travaux pratiques (T.P.). Elle vise à évaluer les compétences méthodologiques et techniques acquises au cours de la formation, alors que les travaux pratiques ont pour but la construction du savoir à travers des activités mettant en

œuvre ces compétences. Un sujet d'ECE n'est donc pas le prototype d'une fiche de TP. » (BO n°13 du 29 mars 2001).

Encore une fois la distinction n'est pas claire : les élèves sont préparés à cette épreuve lors des séances de travaux pratiques au cours de l'année, elle est guidée par un problème ou une question scientifique, mais c'est le geste qui est évalué.

Nos travaux ont montré qu'il était impossible, au moins pour les deux sujets d'ECE que nous avons testés, que les élèves mettent en œuvre les protocoles sans que des connaissances soient mobilisées. Dans cette étude nous avons montré que la non maîtrise des connaissances et des modèles sous-jacents entraîne des erreurs de manipulations chez les élèves (Marzin & de Vries 2008 ; Sanchez, Marzin, Monod-Ansaldi, Devallois 2008). Nous développerons cet aspect dans le chapitre suivant et nous montrerons en particulier comment les connaissances des élèves interviennent dans la conception expérimentale.

3.2.5 Les années 2010 : la démarche d'investigation et l'apprentissage par problème, la prise en compte des conceptions

En 2007, paraît le rapport Rocard qui fournit des recommandations sur l'enseignement des sciences en Europe dont le but est de proposer des solutions pédagogiques pour pallier à la désaffection des jeunes en général et des filles en particulier, pour les sciences. Ce rapport développe un point de vue qui ne sépare pas théorie et pratique mais qui intègre les deux dimensions. La citation ci-dessous indique que les objectifs de l'enseignement des sciences sont en lien fort avec la formation des citoyens. *« Néanmoins, le problème principal est de doter chaque citoyen des aptitudes nécessaires pour vivre et travailler dans la société de la connaissance et ce, en lui offrant la possibilité de développer une pensée critique et un raisonnement scientifique qui lui permettront d'effectuer des choix en toute connaissance de cause. L'enseignement des sciences permet de lutter contre les erreurs de jugement et de renforcer notre culture commune fondée sur le raisonnement rationnel.* » (Rocard et al 2007, p. 6).

Le rapport préconise la mise en place d'un enseignement des sciences basé sur la démarche d'investigation (IBSE : Inquiry-Based Science Education) et un apprentissage basé sur des problèmes (problem based learning). A la suite de ce rapport les pays qui n'avaient pas encore adopté ces démarches les ont introduites dans leurs programmes et elles sont devenues la règle. En France la démarche d'investigation était déjà présente dans les programmes avant 2007 mais elle est présentée de façon beaucoup plus détaillée dans les programmes de collège publiés en 2008, en tout cas dans la partie concernant les S.V.T.

En effet dans l'introduction des programmes S.V.T du collège, parus en 2008 (BO N°6 du 28 août 2008) une page entière est consacrée à la démarche d'investigation. L'accent est mis sur le questionnement des élèves sur le monde réel. Il est indiqué que *« Les investigations réalisées avec l'aide du professeur, l'élaboration de réponses et la recherche d'explications ou de justifications débouchent sur l'acquisition de connaissances, de compétences*

méthodologiques et sur la mise au point de savoir-faire techniques. Dans le domaine des sciences expérimentales et de la technologie, chaque fois qu'elles sont possibles, matériellement et déontologiquement, l'observation, l'expérimentation ou l'action directe par les élèves sur le réel doivent être privilégiées. Une séance d'investigation doit être conclue par des activités de synthèse et de structuration organisées par l'enseignant, à partir des travaux effectués par la classe. Celles-ci portent non seulement sur les quelques notions, définitions, résultats et outils de base mis en évidence, que les élèves doivent connaître et peuvent désormais utiliser, mais elles sont aussi l'occasion de dégager et d'explicitier les méthodes que nécessite leur mise en œuvre. » (ibidem, p. 4)

Dans le texte très long définissant la démarche d'investigation, les moments à suivre sont précisés, en particulier une phase d'appropriation du problème est décrite. Il est indiqué que « *L'enseignant guide le travail des élèves et, éventuellement, l'aide à reformuler les questions pour s'assurer de leur sens, à les recentrer sur le problème à résoudre qui doit être compris par tous. Ce guidage ne doit pas amener à occulter ces conceptions initiales mais au contraire à faire naître le questionnement.* » (ibid.) Cette précision nous paraît être un élément positif, par le fait qu'il est précisé très explicitement que le problème doit être celui de l'élève, que le sens que chacun y met doit être vérifié et que le questionnement doit naître des conceptions des élèves. Les éléments de ce texte indiquent également que dans les instructions officielles, il n'y a plus de séparation entre théorie et pratique expérimentale dans l'enseignement et l'apprentissage.

Il y aurait donc ici selon nous, un lien entre connaissances et expériences par le biais du questionnement et des hypothèses formulées par les élèves à partir de leurs connaissances (et de leurs conceptions). La mobilisation de connaissances est aussi explicitée plus loin. Un autre point important est nouveau : la démarche d'investigation décrite dans les programmes, propose aux enseignants de permettre aux élèves d'analyser le problème, par la formulation d'hypothèses, la conception de protocoles d'expériences, le contrôle et l'isolement des paramètres et leur variation, l'explicitation des méthodes et l'exploitation des résultats, la synthèse et la structuration des résultats.

Il est aussi préconisé des phases de débat et une phase d'acquisition et d'analyse critique des différents éléments mis en œuvre au cours de la démarche, ainsi qu'une phase de structuration des connaissances et de réinvestissement à partir d'un nouveau problème. La théorie n'apparaît plus comme émergeant d'une expérience prototypique mais que des éléments de connaissances sont mobilisés et structurés lors de différentes phases de la démarche d'investigation.

Les programmes de seconde parus en 2010 (BO spécial n°4 du 29 avril 2010), ont été perçus par certains enseignants comme une régression quantitative des activités expérimentales. Le nombre d'heures d'enseignement des sciences en seconde a en effet diminué et une partie des activités expérimentales a été transférée, sous une forme différente, dans des modules optionnels du type des méthodes et pratiques scientifiques (M.P.S.). L'option M.P.S. propose

aux élèves de les initier à la démarche scientifique dans le cadre d'un projet. Le but de cet enseignement d'exploration interdisciplinaire est de les aider dans leur orientation professionnelle et de leur faire connaître des méthodes et des approches croisées.

Dans les textes, en sciences de la vie et de la terre, la nécessité d'effectuer des activités pratiques est affirmée et la démarche d'investigation est introduite comme la principale démarche à enseigner aux élèves dans la continuité de l'école primaire et du collège. Sa mise en œuvre est moins détaillée que dans les programmes de collège de 2008 mais les différents éléments sont présentés plus succinctement : *« L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Ainsi, l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée. »* Il est à noter que d'une part la conception de protocole par les élèves est présentée comme un élément clé de la démarche. D'autre part le projet de programme de S.V.T. pour les classes de premières reprend mot pour mot les termes rédigés dans l'introduction du programme de seconde.

3.2.6 Un regard par dessus l'épaule sur le contexte institutionnel

L'expérience est donc passée successivement d'une fonction illustrative déductive, puis à un objet utilisé dans une démarche de redécouverte à partir de connaissances qui seraient déjà présentes chez les élèves, à une fonction inductive où l'expérimental serait relativement déconnecté du théorique. Enfin les nouveaux programmes réintroduisent la démarche d'investigation, hypothético-déductive, au collège et au lycée. Des éléments d'analyse et de mobilisation de connaissances par les élèves semblent présents, les détails de la démarche sont répertoriés et explicités. Les paragraphes précédents montrent qu'il faut distinguer, la séparation ou non des temps d'enseignement (cours et TP programmé dans les programmes) et les différentes fonctions. Plus précisément si les objets d'apprentissage de la théorie et de la pratique sont différents et séparables, ce qui est un point de vue épistémologique fort, en ce sens la démarche d'investigation (ou l'IBST) peut être considérée comme une rupture car il y a affirmation que l'enseignement et l'apprentissage de ces deux aspects doivent être conjointement menés dans les mêmes activités.

Les journées internationales sur la mise en place des démarches d'investigation (Loisy, Trgalova & Monod-Ansaldi 2010) ont par exemple montré que les enseignants avaient encore tendance à beaucoup guider les élèves lors de la conduite de la démarche, et que les élèves restaient encore trop passifs pour expérimenter, pour échanger, pour se poser de nouvelles questions, ... (Calmette 2010). D'autres chercheurs ont pointé le problème du cadre qui est proposé dans les programmes comme une liste de moments et qui pourrait se révéler trop rigide si les enseignants l'utilisaient comme une démarche linéaire de type OHERIC à suivre étape après étape et du problème du lien entre théorie et pratique (Marzin 2010b). De nombreux travaux et projets ont pour objet l'ingénierie et l'étude de situations de démarches

d'investigation ouverte ou guidée, utilisant ou non des technologies avant et après la publication du rapport Rocard. Ce rapport a eu pour conséquence le développement de projets de recherches soutenus par l'Europe, et visant la mise en place de la démarche d'investigation

Nous avons effectué plusieurs travaux et participé à plusieurs conférences en France et à l'étranger sur le thème de l'investigation (Marzin & van Joolingen 2010 ; d'Ham, Marzin & Wajeman 2009). Le projet européen SCY (Science Created by You) dans lequel j'ai été impliquée, avait pour objectif de proposer une plateforme informatique qui permette aux élèves de mettre en œuvre une démarche d'investigation de manière autonome. SCY a été désigné projet phare par la commission européenne. Les résultats des travaux menés dans le cadre de ce projet seront développés dans le chapitre 5 du mémoire.

Une fois le contexte historique posé, ce qui a permis de mettre en évidence le statut de l'expérimental dans l'institution scolaire depuis le début du vingtième siècle, nous regardons la question de la place et du rôle des activités expérimentales dans la littérature. Nous regardons en particulier les types d'objectifs assignés aux travaux pratiques et les différentes catégorisations proposées par les auteurs. Ces catégorisations nous renseignent sur les intentions implicites ou explicites assignées aux activités pratiques et sur la façon dont les auteurs priorisent les objectifs. La confrontation des différentes catégorisations permet aussi de dégager des points communs, voire des invariants, à partir desquels nous proposerons notre propre catégorisation en lien avec le point de vue épistémologique présenté au début de ce chapitre.

3.3 Les objectifs d'apprentissages assignés aux activités expérimentales

Une première catégorisation des objectifs d'apprentissages est politique, elle est proposée par plusieurs auteurs dont Millar (2004) qui analyse les choix politiques par l'étude des *curriculums*. Il avance que dans la plupart des pays les curriculums introduisent les activités scientifiques avec deux principaux objectifs : un objectif d'éducation scientifique et d'apprentissage des principaux concepts qui permettent de comprendre le monde moderne en tant que citoyen éclairé et un objectif de préparation au monde professionnel qui nécessite des connaissances scientifiques et une expertise approfondie. Il est évident que le chercheur peut et doit se positionner vis à vis des choix politiques, il est parti prenante d'un système et son point de vue personnel intervient dans ses analyses. Les résultats des chercheurs peuvent aussi influencer certains choix politiques. Ils peuvent en tout cas les éclairer et montrer les limites ou les avantages de certains choix.

Ce double objectif politique est questionné par de nombreuses recherches où il est repris par d'autres auteurs dans des termes similaires (Woolnough 1991 ; Goffard 2004 ; Millar 2004). La problématique est la suivante : l'école doit-elle former des citoyens éclairés capables de comprendre les enjeux scientifiques de la science moderne et les débats qui l'animent ou bien doit-elle former des futurs professionnels experts dans un domaine scientifique. Doit-on former ou informer ? Doit-on former tout le monde ? Ces questions sont politiques, les

chercheurs peuvent les éclairer même si ce n'est pas à eux de faire des choix de base. Ils peuvent donner un éclairage différent sur ces choix politiques et en analyser les conséquences sur l'apprentissage, sur l'enseignement et sur les retombées que cela peut avoir sur la société. Dans ce cas quels sont les coûts engendrés ? Se pose alors la question de l'efficacité des activités pratiques par rapport aux apprentissages qui est remise en question régulièrement (Bates 1978 ; Hodson 1991) et dont les conditions à mettre en œuvre pour qu'il y ait apprentissage sont définies de façon différente selon les auteurs et selon les objectifs que l'on choisit de leur assigner.

Pour d'autres auteurs, qui ont travaillé à une époque antérieure, où le contexte politique vis à vis des sciences était différent, proposer aux jeunes élèves des activités expérimentales favorise le développement de leurs capacités logiques. « *La démarche expérimentale étant supposée correspondre à une forme de raisonnement très élaborée, on cherche à en favoriser l'accès chez les élèves. C'est l'occasion de leur faire approcher ce que peut être une preuve scientifique. On apprend ainsi aux enfants à prendre en compte les données empiriques dans leurs argumentations, à se méfier des idées a priori, des arguments d'autorité ou d'évidence, à comprendre que l'attitude expérimentale permet de choisir entre le très vraisemblable et le peu raisonnable, ceci non en partant d'axiomes mais de la réalité elle-même.* » (Cauzinille-Marmeche, Mathieu, & Weil-Barais 1983, p. 3).

Si l'on étudie les objectifs didactiques assignés aux activités pratiques, de nombreux écrits dressent des listes d'objectifs. Ces objectifs ont évolué au cours des trois dernières décennies avec les changements de curriculums dans les pays et en particulier à la suite de la généralisation de la démarche d'investigation au collège et au lycée. Un autre facteur est en lien avec l'évolution des connaissances sur la cognition et sur l'apprentissage. Un dernier facteur de l'évolution de ces objectifs assignés aux activités pratiques est lié à la prise en compte récente du désintérêt pour les sciences de la part des élèves en général et des filles en particulier dans tous les pays industrialisés.

Les objectifs peuvent être regroupés en trois catégories : la compréhension des concepts scientifiques, l'acquisition de compétences méthodologiques et techniques en science (connaissances scientifiques) et la compréhension du fonctionnement de la science (connaissances à propos des sciences).

Un grand nombre d'auteurs (Hofstein & Lunetta 1982, 2004 ; Hodson 1994 ; Millar 2004) s'accordent à proposer une liste d'objectifs d'apprentissage convergeant autour des points suivants : acquérir des connaissances, des lois et des concepts, des techniques et des méthodes, des raisonnements, une attitude critique, développer une motivation, apprendre à travailler en groupe, travailler de façon autonome.

Lazarowiz & Tamir (1994) proposent quatre groupes d'objectifs pour les activités expérimentales :

- « *Science laboratories should provide concrete experiences and ways to help*

students confront their misconceptions.

- *Science laboratories should provide opportunities for data manipulation through the use of microcomputers.*
- *Science laboratories should provide opportunities for developing skills in logical thinking and organization, especially with respect to science, technology, and society (STS) issues.*
- *Science laboratories should provide opportunities for building values, especially as they relate to the nature of science. »*

White (1996) présente une autre catégorisation d'objectifs d'apprentissage possibles. Il ajoute des compétences sociales (savoir coopérer) et savoir résoudre un problème scientifique. Il propose cinq grands types d'objectifs qui peuvent être travaillés lors d'activités pratiques : l'apprentissage de méthodes scientifiques, l'apprentissage de l'abstraction et de procédures de raisonnements, la mémorisation, faire des connexions entre différents éléments de la science et motiver les élèves.

D'autres auteurs ont proposé des catégorisations des types d'objectifs d'apprentissage que l'on peut proposer en travaux pratiques, Tiberghien et al. (2001) ont effectué une typologie des objectifs d'apprentissage en sciences physiques en deux grands types : les objets et les événements d'une part et les modèles et les théories d'autre part. Ces choix sont fondés sur une analyse épistémologique de la modélisation en physique.

Ils définissent trois types de contenus :

- identifier le matériel de laboratoire et connaître son utilité
- identifier les objets et les phénomènes et se familiariser avec eux
- apprendre des savoirs :
 - faits
 - concepts
 - relations
 - modèles et théories

et six types de processus :

Learn how

- to use a standard laboratory instrument or piece of apparatus [utiliser des instruments de laboratoire ou des outils]
- to carry out a standard procedure [suivre un protocole]
- to plan an investigation to address a specific question or problem [planifier une recherche en lien avec une question ou un problème]
- to process data [traiter des données]
- to use data to support a conclusion [utiliser des données pour élaborer une conclusion]
- to communicate the results of labwork [communiquer des résultats]

Il serait possible de discuter de la place de la catégorisation des objectifs en contenus et des processus. On peut poser la question de la place de l'interprétation des données en tant que méthodes. Cette classification pourrait d'ailleurs être découpée en objectifs plus fins.

Les situations d'apprentissage ne visent pas toutes les mêmes objectifs.

Hodson (1994) et Nott & Wellington (1996) proposent de catégoriser les travaux pratiques en trois catégories :

Les TP « expériences » destinés à observer, expérimenter et augmenter la base des connaissances en faits expérimentaux ;

Les T.P. « exercices » qui peuvent être un genre de recette de cuisine au cours desquels les élèves exécutent et apprennent un certain nombre de savoir-faire et procédures expérimentaux ;

Les T.P. « investigation » qui permettent de résoudre des problèmes ouverts.

Maryline Coquidé (2000) propose elle aussi une classification selon trois niveaux en fonction du lien entre activités pratiques et de la place des concepts.

- Mode de familiarisation pratique : expérience pour voir, essayer, explorer. Première initiation scientifique, apprentissage d'un outil, d'un instrument

- Mode d'investigation empirique : expérience pour tester, contester, argumenter. Pratiques d'investigation, recherche problématisée, initiation à des démarches scientifiques.

- Mode d'élaboration théorique : expériences pour démontrer, conceptualiser, modéliser. Elaboration conceptuelle ou modélisante : contribuer à la construction théorique des sciences

Depuis la fin des années 90 et le début des années 2000 les dimensions sociales, personnelles et affectives ont été introduites en lien avec les activités pratiques. Nous proposons la classification suivante des objectifs qui tient compte de la dimension personnelle et interpersonnelle introduite récemment, qui pourraient être construits chez les élèves par l'intermédiaire d'activités pratiques.

Etre autonome dans sa démarche : objectifs centrés sur l'expérimentation (l'expérience et la démarche)

Comprendre le problème, se l'approprier

Construire une démarche de résolution du problème

Formuler des éléments de résolutions de problème et les représenter

Mettre en place un plan expérimental

Anticiper les résultats, faire des prédictions

Apprendre des gestes et des techniques : manipuler, expérimenter.

- Apprendre à utiliser des instruments et du matériel spécifique.

Se confronter à des faits : observer

Concevoir ou appliquer un protocole

Obtenir des résultats : analyser des données, raisonner, établir des relations.

- Acquérir des données
- Mesurer et exploiter des données

- Représenter des données
- Interpréter des données
- Comprendre les erreurs de mesure : critiquer les données.

Etre autonome dans son apprentissage : objectifs personnels

Connaître les objectifs d'apprentissages et les modèles utilisés ou visés et se les approprier
Etre capable de formuler ses propres idées, de les expliquer et de les justifier en fonction des résultats obtenus

Raisonnement, mémoriser des informations

Evaluer ses connaissances et ses lacunes

Etre impliqué dans une activité : s'approprier la situation

Prendre du plaisir à apprendre et à comprendre des phénomènes

Etre autonome dans sa relation aux autres : centré sur la dimension sociale

Travailler en groupe :

- collaborer pour résoudre une tâche complexe,
- partager le travail,
- assumer différents rôles.

Echanger, argumenter, confronter ses idées à celles des autres

Etre autonome dans sa relation au monde : centré sur compréhension du fonctionnement de la science

Décoder le langage des scientifiques

Connaître les différentes spécialités et les différents métiers

Comprendre les enjeux éthiques, économiques et sociaux de la science

Connaître le fonctionnement social et politique de la science.

Apprendre à utiliser la science pour mieux comprendre son environnement et le Monde.

3.4 Le rôle des activités pratiques dans les apprentissages

Les activités pratiques ont un rôle important dans l'apprentissage, mais suffit-il de faire pour apprendre ou est-ce qu'apprendre c'est faire ? Le terme de « *learning by doing* » utilisé par les anglo-saxons peut le faire penser. Dans les projets comme « la main à la pâte » ou « Pollen », la réalisation d'expériences concrètes par les élèves de l'école primaire est centrale. Il est important dans un premier temps de définir de quels apprentissages il s'agit et comment ces activités interviennent dans les apprentissages.

Les activités pratiques permettent d'acquérir des notions scientifiques, des méthodes, des techniques et des attitudes ainsi que de comprendre le fonctionnement de la science (ses valeurs, les problèmes éthiques, l'universalisme de la science, les principes, ...). Concernant ce point nous ne reviendrons pas sur les nombreux travaux questionnant l'image de la science véhiculée par l'école, et tous les travaux qui ont montré que l'école pouvait donner une image réductrice et dogmatique de la science (Lazarowitz & Tamir 1994 ; Orlandi 1994 ; Coquidé 1998), ainsi que les travaux sur l'étude du fonctionnement de la science ou « *nature of*

science » (Osborne et al 2003). Or les élèves ne sont pas dans la même posture que celle adoptée par les scientifiques en particulier parce qu'ils construisent des notions déjà connues. Les enseignants ne sont pas non plus des chercheurs, ils connaissent la réponse aux problèmes qu'ils posent aux élèves et les élèves le savent. Néanmoins ces connaissances ne sont pas connues dans la communauté d'élèves à laquelle ils appartiennent. L'introduction de débats scientifiques entre élèves au sein de la classe est à ce titre tout à fait pertinent, c'est une clé proposée par de nombreux auteurs pour construire du sens par les élèves.

3.5 Comment la mise en œuvre des activités expérimentales permet-elle d'apprendre ?

Au niveau international, les auteurs qui se sont penchés sur cette question se réfèrent à Piaget, mais aussi à la cognition située par exemple, pour expliquer pourquoi les activités pratiques sont essentielles à la compréhension du monde. Maryline Coquidé (2000) a exploré le rôle des activités pratiques dans les apprentissages, elle a précisé comment l'expérimental intervient dans les apprentissages en biologie. Pour elle « *Il est classique de considérer que l'action est source de connaissances. Ainsi dans la théorie piagétienne, l'enfant construit son intelligence depuis la naissance, par interactions entre ce qu'il est à un moment donné et la réalité qui l'entoure, c'est-à-dire par son activité, et par l'adaptation continue des schèmes d'assimilation.* » Millar (2004) reprend lui aussi la théorie piagétienne à son compte « *Through action on the world, we generate sensory data which can either assimilated into existing schemas or require that these be changed to accommodate the new data, in order to re-establish equilibrium between the internal and external realities* » (Ibidem, p. 7). [Le fait de manipuler des objets et de faire des activités pratiques construit chez l'élève des données sensorielles qui sont intégrées et assimilées dans des schémas existants]. Millar (ibid., p. 7) souligne que si la construction de ces représentations est dans un premier temps individuelle, elle peut par la suite être réinvestie dans d'autres activités pratiques. Les connaissances acquises sont mises à l'épreuve et renforcées lors d'interactions interpersonnelles. Les connaissances pour être ancrées solidement ont donc besoin d'avoir été partagées et validées par les autres. Cet autre peut être la communauté des élèves, mais ce peut aussi être l'enseignant. Pour Coquidé (2000) : « *Ce que développe le rapport au réel :*

- *des pratiques effectives et authentiques permettent la découverte de techniques et de leurs contraintes et contribuent à des choix et des orientations professionnelles positives.*
- *Conduire les élèves à la nécessité de gérer la matérialité des sciences, élément indispensable de toute culture scientifique et technique.*

L'expérimentation, ou mise à l'épreuve d'hypothèses par conception et réalisation de protocoles, nécessite, dans la théorie piagétienne une pensée formelle » (p.103).

On voit ici que si l'action est utile elle n'est pas suffisante et surtout qu'elle doit intervenir dans un contexte particulier et à un moment déterminé du développement de l'enfant. « *Les enfants se remémorent très bien les expériences qu'ils effectuent eux-mêmes, mais pour que cela s'avère efficace, ils doivent tirer personnellement les conclusions d'expériences qu'ils ont conçues eux-mêmes* » (Rocard 2007). Cette remarque est à mettre en relation avec ce que

Piaget propose comme acception au terme être actif, ce doit être compris comme « *accepter, ou se donner, un but, plus ou moins précis d'ailleurs, et organiser soi-même son activité afin de l'atteindre* » (Cauzinille-Marmèche, Mathieu & Weil-Barais 1985, p. 183). La notion de but à atteindre, qu'il soit donné ou qu'il soit construit, nous paraît tout à fait important à souligner. Même si, comme nous l'avons montré précédemment, la construction du but (ou son appropriation), ou l'analyse des expériences ne va pas de soi et nécessite un apprentissage spécifique. Dans un contexte expérimental, l'aspect organisationnel est aussi important.

3.6 L'efficacité des activités expérimentales dans les apprentissages

La notion d'efficacité en pédagogie et en didactique est complexe. Quand et comment peut-on décider qu'une situation d'apprentissage est efficace ? Un premier critère qui peut être utilisé est la mesure de l'écart au but : une situation d'apprentissage est efficace quand elle a atteint son but. La mesure de l'efficacité peut donc être définie par l'écart entre le but fixé et le but réellement atteint. L'analyse de l'efficacité pourra se porter sur la recherche des raisons de l'écart au but. La question est alors reportée vers la définition des objectifs. Nous avons vu plus haut la multitude d'objectifs assignés par différents auteurs aux activités expérimentales. L'efficacité ne sera pas mesurée de la même façon s'il s'agit d'évaluer les objectifs centrés sur l'expérience ou ceux centrés sur la relation aux autres ou sur la relation aux sciences. Pour évaluer l'efficacité des activités expérimentales il convient donc dans un premier temps de définir le type d'objectifs à atteindre, la nature des activités réalisées et les objectifs attendus pour chaque activité. Ensuite l'évaluation ne sera pas la même selon l'outil de mesure que l'on utilise. Pour évaluer l'efficacité des travaux pratiques, Abrahams et Millar (2008) réutilisent avec l'accord des auteurs, un modèle proposé par Tiberghien et al (2001), pour évaluer l'efficacité des activités pratiques. Ils proposent deux niveaux d'efficacité le niveau 1 permet de mesurer l'écart entre ce que les enseignants voudraient qu'ils fassent et ce qu'ils font vraiment et le niveau 2 mesure l'écart entre ce que les enseignants assignent comme objectifs d'apprentissage aux élèves et ce que les élèves apprennent réellement (Figure 5).

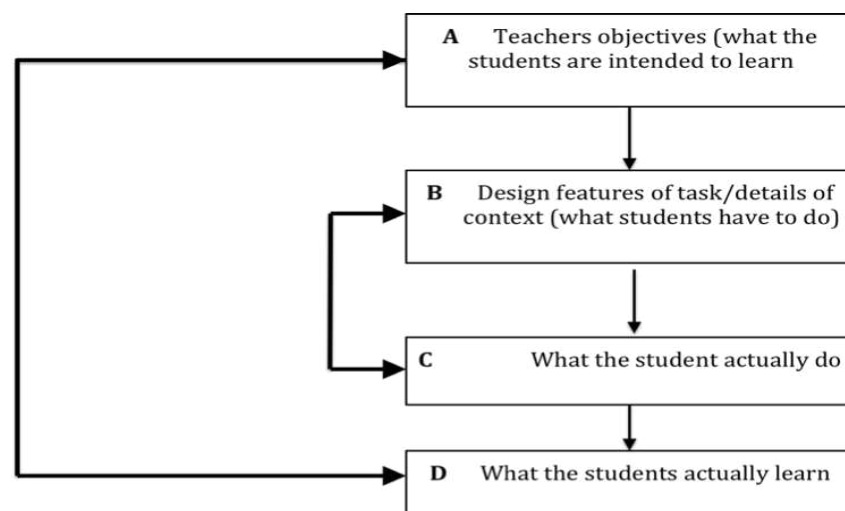


Figure 5 : model of the process of design and evaluation of a practical task (Abrahams & Millar, 2008)

Nous proposons les items suivants (Tableau 1) pour évaluer l'efficacité des activités expérimentales. Nous avons construit notre proposition en nous appuyant sur le modèle proposé par Tiberghien et al qui fait apparaître la prise en compte des objectifs d'apprentissage et les éléments de la situation à prendre en compte qui peuvent être des éléments du registre empirique, des éléments du modèle et les conceptions des élèves. Nous avons ajouté des éléments sociaux, ainsi que des éléments personnels et qui se réfèrent à la relation aux sciences, qui renvoient à des attitudes comme nous l'avons indiqué plus haut. Enfin la dimension motivationnelle peut aussi être prise en compte. Elle est de plus en plus présente dans les situations proposées aux élèves qui se rapprochent de situations réelles ou de jeux de rôles dont le but est d'introduire des éléments du quotidien dans des situations scolaires. Enfin nous avons ajouté l'évaluation d'habiletés cognitives qui sont essentielles si l'on intègre les activités liées à la conception expérimentale et qui permettent aux élèves d'organiser eux-mêmes leurs activités, et les habiletés perceptives qui permettent de prendre en compte comment l'élève interagit avec le référent empirique, ou à partir de quels observables il va élaborer des conclusions.

Comme nous l'avons défini plus haut l'efficacité se mesure en relation avec la définition des objectifs à atteindre. Il s'agit de définir la finalité des activités proposées : le but est-il de construire des compétences expérimentales, sociales, personnelles ou par rapport au fonctionnement de la science ? L'objet de l'évaluation est-il l'enseignant, l'élève, un artefact, une situation ? Les objectifs sont de nature cognitive, affective, ou technique. Les contenus visés sont aussi à définir et le cadre théorique dans lequel cette évaluation va être réalisée.

Tableau 1: éléments des travaux pratiques pouvant être pris en compte dans une évaluation

Finalité des activités proposées	Expérimentale	
	Sociale	
	Personnelle	
	Nature Of Science	
Objet de l'évaluation	Professeur	
	Elève	
	Artefact	
	Situation	
Nature des objectifs	Cognitive	J'ai compris
		J'ai appris
		J'ai retenu
	Affective	J'ai aimé
		J'ai apprécié
Technique et méthodologique	J'ai réalisé	
Objectif d'apprentissage	Concept 1	
	Concept n	
	Habilitété 1	
	Habilitété n	

La définition des quatre items définis dans le tableau va indiquer un profil d'activité expérimentale à réaliser.

Le schéma ci-dessous (Figure 6) indique les éléments à prendre en compte pour mettre en œuvre et évaluer dans une situation expérimentale. Ils sont obtenus à partir d'une analyse fine de la tâche. Cette analyse est à la fois épistémologique (analyse du modèle mobilisé et de ses difficultés) et didactique (analyse des prérequis et des éléments à construire).

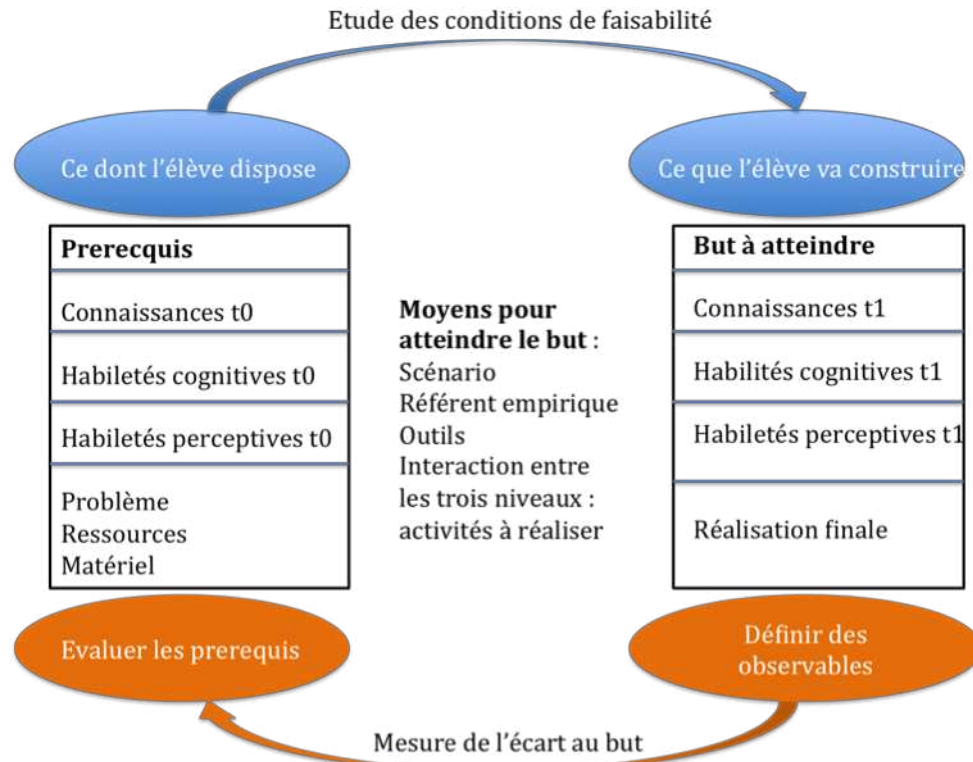


Figure 6 : mise en œuvre et évaluation des apprentissages dans des situations expérimentales

3.7 Acquisitions, apprentissages et difficultés des élèves dans la mise en œuvre des activités expérimentales

3.7.1 Introduction

De nombreux auteurs s'accordent sur le fait que les élèves aiment réaliser des activités expérimentales et que ça constitue pour eux une source de motivation pour les sciences. Mais l'étude des apprentissages réalisés montre que si les élèves se reméorent bien les expériences qu'ils réalisent eux-mêmes, ils n'en tirent pas forcément un bénéfice en termes d'apprentissage des notions. Pour White (1996) en effet les T.P. sont sources de motivation et d'amusement, mais selon lui le travail en laboratoire ne doit pas seulement être une salle de jeu, l'objectif de ces activités est l'apprentissage des sciences et cet objectif ne doit pas être perdu de vue. En effet, l'analyse des activités des élèves alors qu'ils réalisent des activités pratiques montre des déficits au niveau de la mise en relation entre les activités réalisées et les

notions construites. Ce constat a induit une critique de certains auteurs (Bates, 1991 ; Hodson, 1991) sur la pertinence d'organiser des activités pratiques en classe.

Par ailleurs d'autres auteurs déplorent un déficit d'évaluations récentes des activités expérimentales. Certains travaux en France et à l'étranger ont testé la réalisation de certains aspects de la démarche d'investigation par les élèves. Pour Hodson (1990), à la racine du problème il y a un défaut de réflexion, de la part des élèves, à propos de l'utilisation du travail de laboratoire. Pour Millar (2004) les idées et les explications n'émergent pas spontanément des données expérimentales, il est donc nécessaire que les enseignants guident les élèves pour que ces derniers établissent ces liens. C'est en effet ce que montrent les résultats d'auteurs ayant étudiés dans le détail la réalisation de chaque élément de la démarche expérimentale par les élèves.

3.7.2 La mise en œuvre et la cohérence de la démarche d'investigation

Les élèves ont du mal à s'approprier la démarche d'investigation comme une tâche de découverte pour eux-mêmes, ça reste souvent une tâche à effectuer pour satisfaire la demande de l'enseignant (Millar 1996). D'autres travaux, centrés sur les apprentissages réalisés en T.P., à l'université avec des étudiants en DEUG, ont montré que les étudiants ont tendance à atomiser les actions, ce qui leur fait perdre de vue l'objectif initial du T.P. et les connaissances visées (Séré & Beney 1997). Les liens avec les connaissances en jeu sont évidents pour les enseignants mais ils restent souvent implicites et ils ne sont pas perçus par les élèves.

Les travaux de Devallois (1997) portent sur l'étude de la mise en œuvre d'une démarche hypothético-déductive en biologie (la respiration du poisson platy) chez des élèves de 6^{ème}. Il a étudié ce qu'il a appelé la cohérence interne et la cohérence externe. Il a caractérisé la cohérence interne par le fait qu'il existe un lien logique entre les parties proposées par l'enseignant (hypothèse, proposition d'expérience et anticipation des résultats). Il a défini la cohérence externe par la cohérence entre les consignes fournies et les connaissances mobilisées pendant le travail de l'élève. Les résultats obtenus indiquent qu'une minorité d'élèves sont capables de faire preuve à la fois de cohérence interne, externe et de faire appel à un témoin (8/96), 23 élèves/96 font preuve de cohérence interne et 27 élèves/96 font preuve de cohérence externe. Au final ces résultats montrent qu'un élève sur cinq a développé les capacités attendues sans apprentissage particulier puisque cette recherche a été effectuée au début de l'enseignement de biologie de la classe de sixième.

Des travaux plus récents ont montré que les élèves n'ont pas une idée claire du but de leur travail en TP. Souvent les élèves ne font pas la relation entre le but de leur activité expérimentale et le contenu du protocole qu'ils ont mené. Ils ne font pas de lien entre les expériences (Flandé 2000). L'intérêt principal des activités expérimentales est souvent perçu comme suivre les instructions, ou obtenir la bonne réponse. De nombreux élèves s'engagent en effet dans des activités de laboratoire dans lesquels ils suivent des recettes, rassemblent des

données sans véritablement comprendre le but et les procédures de leur investigation. Car l'approche « *recette de cuisine* » est en effet la plus fréquente.

Finalement le rôle et le statut du recours à l'expérience ne sont pas évidents pour les élèves. Ils ne semblent guère envisager « spontanément » d'avoir recours à l'expérience ou à la mesure pour étayer une affirmation, ou alors les élèves font des expériences pour vérifier une hypothèse qui ne fait pas consensus. Mais pour reprendre l'expression de Millar, il est évident que la connaissance n'émerge pas des données ou des activités. Pour Coquidé (2003), la mise en œuvre d'une dialectique entre empirisme et raison n'est pas suffisamment développée. Nous avons montré (Darley & Marzin 1998) que l'analyse des données est une étape nécessaire pour faire le lien entre le référent empirique et les modèles qui les décrivent. L'activité d'analyse des données est mal maîtrisée par les élèves car c'est une activité qui est complexe et qui est peu pratiquée par eux en classe.

D'autre part l'apprentissage de la démarche d'investigation nécessite la maîtrise de nombreuses compétences qui seront plus facilement acquises si les connaissances en jeu sont maîtrisées par les élèves. C'est une tâche très complexe qui mobilise de nombreux objectifs de difficultés différents. Certains objectifs sont maîtrisés spontanément par les élèves alors que d'autres nécessitent un apprentissage, qui s'effectuera sur du long terme. Il convient donc de préciser les objectifs d'apprentissage et d'évaluer les compétences scientifiques et les habiletés cognitives maîtrisées *a priori* par les élèves et celles à construire.

3.7.3 Le rapport des élèves aux données expérimentales

3.7.3.1 Le statut des données et leur traitement

Plusieurs autres auteurs ont aussi étudié le rapport des élèves aux données expérimentales. Ils ont montré que les élèves ne voient pas la nécessité de construire des preuves expérimentales. Ils restent au niveau d'une recherche personnelle, ils ne se donnent pas les moyens de rendre public leurs résultats et de passer à un niveau de recherche qui doit être communiquée à d'autres (Millar 1996). Cette difficulté a peut-être aussi sa source dans la nature des activités proposées habituellement aux élèves par les enseignants. En effet il est rarement demandé aux élèves de remettre en question les résultats qu'ils obtiennent ou de discuter de leur domaine de validité. Peu d'élèves vérifient ou essaient d'améliorer la qualité de leurs données, même quand ils auraient pu facilement le faire. Il apparaît donc que la notion de preuve expérimentale n'est pas naturelle pour les élèves et que la seule obtention des données suffit comme objectif par rapport à la réalisation expérimentale. Il y a peu de réflexion sur la validité des données obtenues. Les données sont rarement questionnées ou critiquées et rarement remises en question. Ça ne dérange pas les élèves que leurs données soient incertaines et peu valides, ils concluent alors qu' « *on ne peut pas conclure clairement* » (Millar 1996, p. 25). Les élèves ne répètent pas les mesures et ils ne perçoivent pas la nécessité de le faire. Les variabilités intra-groupes posent problème. Les élèves ne mettent pas en œuvre les savoir-faire qu'ils connaissent comme l'ordination des mesures, le classement, le calcul de moyennes, la construction d'histogrammes (Cauzinille-Marmèche, Mathieu & Weil-

Barais 1983). Ces constats indiquent des difficultés liées au traitement des données nombreuses (Kanari, & Millar 2004). Des travaux sur la mesure (Maisch 2010 ; Buffler 2009) ont analysé la nature épistémologique de la tâche et ont étudié les difficultés que rencontrent les élèves confrontés à la mesure. Cela peut aussi s'expliquer par un effet de contrat didactique et par déficit d'entraînement à ce type de tâche, en effet il existe peu de cas où l'on demande aux élèves de répéter plus d'une fois les mesures. D'autre part les outils mathématiques permettant de traiter un grand nombre de données est peu accessible aux élèves avant la fin du lycée. Millar (1996) a d'ailleurs montré que la capacité à comprendre le but d'effectuer des mesures de façon répétée augmente avec l'âge et avec l'apprentissage.

3.7.3.2 Les activités cognitives en jeu dans la prise en compte de données

Les travaux de Cauzinille-Marmèche, Mathieu & Weil-Barais (1983) portent sur l'analyse des activités cognitives des élèves de 11 à 13 ans lors de la mise en œuvre de plusieurs démarches scientifiques. Ils montrent que les élèves ont des difficultés à effectuer des comparaisons entre des individus. Ils ne savent pas calculer des moyennes ni les comparer. Les auteurs observent les mêmes difficultés pointées par Millar (1996) concernant les erreurs de mesure. Par ailleurs les élèves ont tendance à n'envisager qu'une seule observation par condition expérimentale. Le problème de la répétition de la mesure ne se pose pas. Les élèves s'interrogeant sur deux hypothèses ont tendance à conclure à la validité de la seconde à partir d'une seule condition expérimentale infirmant la première. Ils concluent ainsi à partir de données insuffisantes.

Ces mêmes auteurs remarquent aussi que les élèves construisent des plans expérimentaux pour tester une seule variable et ils font varier plusieurs facteurs, en réalisant des expériences de types « 1V nK ». Les élèves de 11 à 13 ans n'arrivent pas à se construire un plan expérimental où ils anticipent le test de plusieurs variables. Ils réalisent un test et change de variable en fonction des résultats du premier test. « *La planification est réalisée au coup par coup* » (ibid., p. 118). Les élèves ne définissent jamais spontanément plusieurs observations par conditions expérimentales.

La dispersion des résultats de mesure pose problème car les élèves ne prêtent pas attention aux sources possibles de dispersion. Les élèves ne ressentent pas le besoin de répéter une mesure et il est plus facile pour eux de conclure à la dépendance de deux variables, qu'à l'indépendance.

Les élèves ont des difficultés à mettre en œuvre une démarche systématique et exhaustive. Ceci serait dû à des difficultés cognitives qui se retrouvent aussi chez les adultes : « *enfants et adultes ont tendance à arrêter leurs recherches dès qu'ils estiment avoir trouvé un facteur qui compte.* » (ibid., p.176).

3.7.4 Un exemple de résolution de problème impliquant plusieurs variables

Les travaux décrits ci-dessous ont été effectués dans le cadre de l'appel à association proposée par l'INRP en 1996, à laquelle nous avons participé (Darley & Marzin 1998). Au cours de ce travail nous avons impliqué 104 élèves répartis dans six groupes de classe de première S

option sciences expérimentales et 7 enseignants de S.V.T. qui appartiennent à 5 lycées de l'académie de Grenoble. Cette recherche sur l'expérimental dans la classe a été menée entre 1996 et 1999. Le but de notre travail était de faire travailler les élèves sur l'exploitation des données par la construction d'un graphique. L'objectif était de faire travailler les élèves sur un problème accessible à leur niveau mais dont la résolution est complexe et passe par le traitement de données complexes. Nous les avons fait travailler sur la mesure de l'intensité respiratoire en leur demandant d'étudier la question de la relation entre intensité respiratoire au repos et performances sportives d'un individu. Le problème qui leur est posé est le suivant : à performances égales, filles et garçons ne sont pas notés de la même façon. Au-delà des différences morphologiques, peut-on envisager l'existence d'un indicateur physiologique qui serait le reflet (ou l'explication ?) de ces différences ? La séparation filles/garçons intervient comme support au raisonnement suivant proposé par l'enseignant : si l'intensité respiratoire (IR) est, comme on le suppose, un bon indicateur de performance et sachant que l'on a constaté des différences de performances entre filles et garçons, alors les IR des filles et des garçons devraient être suffisamment différentes pour que l'on puisse distinguer les deux populations. Si cette distinction est mise en évidence alors on pourra dire que l'hypothèse mérite d'être testée de façon plus fine ; dans le cas contraire elle devra être abandonnée. En fait, dans un cas comme dans l'autre, trop de variables interviennent pour que l'on puisse être aussi péremptoire ; ce qui empêche de fermer le problème et nous permet d'atteindre l'objectif que nous nous étions fixés : arriver à une non solution, laisser le problème ouvert à l'insatisfaction générale des élèves. Dans l'encadré ci-dessous nous présentons des extraits du rapport final présentant les objectifs du travail et les principaux résultats obtenus en analysant les productions des élèves.

**Apprendre à recueillir, traiter, représenter et interpréter des données expérimentales
(extrait du texte Darley & Marzin, 1999)**

L'objectif initial était de proposer aux élèves de 1^{ère} S un objet de réflexion qui conduise très rapidement à un protocole simple à mettre en œuvre, facilement reproductible, afin de consacrer un maximum de temps à un travail centré sur le recueil, le traitement et l'interprétation des données expérimentales. L'une des étapes importantes de l'apprentissage de la démarche scientifique en classe, après que le problème et les hypothèses ont été formulés et le principe du test expérimental défini, est celle qui va conduire les élèves à procéder à des mesures et à leur exploitation dans le cadre défini par la problématique. L'objectif majeur de cette exploitation est de proposer une conclusion quant à la validité de l'hypothèse. Cette exploitation des données sera essentiellement orientée vers la construction de graphiques. L'option de 1^{ère} S étant un lieu d'initiation à la démarche expérimentale, il nous a paru également pertinent de sensibiliser les élèves à l'une des constantes du métier de chercheur : l'impossibilité de conclure à l'aide des données disponibles.

BILAN

Forme

Comme on pouvait le penser, la réalisation technique des représentations graphiques n'a pas posé de problèmes majeurs. Par contre le choix de la représentation graphique (RG) est loin d'être convaincant. Si l'on considère comme pertinent avec le problème posé le fait d'avoir choisi de représenter une mise en corrélation entre IR et performance ($IR=f(\text{performance})$ ou $\text{performance}=f(IR)$), moins de la moitié des groupes de RG répondent à ce critère (17/19).

Cohérence problématique/RG/conclusion

Seulement 9 groupes/35 peuvent être considérés comme cohérents tout au long de leur travail. Pour lesquels les RG sont en relation directe avec l'hypothèse et la conclusion va dans le sens d'un rejet ou d'une validation explicite de l'hypothèse.

Dix présentent un problème de cohérence à un moment donné du déroulement de la procédure. Quatorze présentent une absence de cohérence marquée (RG sans rapport avec l'hypothèse, conclusion sans rapport avec le problème initial ou absence de conclusion).

Qualité de l'analyse et de la conclusion

Rien ne laisse penser qu'un groupe au moins a anticipé la forme probable de la RG lui permettant de définir des critères explicites de validation ou de non validation de l'hypothèse. Toutes les conclusions se font sans références à un quelconque modèle qui validerait l'hypothèse. Il semble que la RG joue le rôle d'un révélateur contenant, en soi, tous les indicateurs. Le principe du test qui n'a de sens que comparé à un référent théorique (ce que le phénomène devrait donner si l'hypothèse était vérifiée) ne semble donc pas acquis. Au moins pas à ce degré de complexité où il faut non pas anticiper des « résultats » mais l'orientation de données placées dans un système d'axes. L'analyse se fait *a posteriori* en fonction de critères implicites, pour ne pas dire subjectifs. En faisant preuve d'un minimum de sévérité dans le jugement, on peut dire que pour vingt-quatre groupes, la construction de la RG semble représenter une fin en soi. Soit définitive (il n'y a aucun commentaire pour six groupes) soit qu'elle permette d'émettre un commentaire ou une conclusion qui n'a souvent qu'un rapport lointain avec le problème initial.

Les variables secondaires

Cela a été l'une des surprises de cette analyse : la difficulté pour environ un quart des groupes (9/35) à travailler uniquement à partir des variables majeures définies dans l'énoncé du problème (sexe, IR, performances). Cette caractéristique peut être interprétée comme une difficulté à modéliser des situations complexes, à faire abstraction de certaines variables, certes pertinentes mais que l'on choisit de négliger pour rendre le test techniquement réalisable.

Conclusion

En toute rigueur on ne peut accorder à aucun groupe un satisfecit sur l'ensemble de la procédure. Six semblent maîtriser la cohérence nécessaire à la conduite d'une procédure de test mais les critères de pertinence des arguments justifiant la conclusion ne sont jamais explicités. Le problème avait pourtant été volontairement épuré, le nombre de variables réduit à trois, le protocole n'offrait pas de difficultés majeures et la représentation graphique pertinente ($IR = f(\text{performance})$ ou l'inverse) paraissait aller de soi. Il semble donc que l'on ait grandement minimisé les difficultés que ce travail en totale autonomie paraît avoir révélé :

- même si elles paraissent découler de l'énoncé du problème, la relation $y=f(x)$ entre deux variables est loin d'être transparente pour les élèves,
- la représentation graphique semble jouer un rôle particulier ; à la fois de fin en soi (le travail se termine avec sa réalisation), de révélateur absolu (« j'observe », « on voit ») et de point de rebondissement d'une procédure dont on avait perdu le fil directeur.
- La difficulté à modéliser une situation expérimentale en faisant abstraction de certaines variables. Ce qui va conduire à complexifier progressivement une situation, initialement épurée, au point de la rendre impossible à tester expérimentalement.

La première conclusion à ce travail est que le « mesurage » associé à une démarche scientifique est une activité complexe que l'on ne peut réduire à un travail de lecture sur un outil de mesure. La complexité de la tâche peut même conduire les élèves à perdre de vue le fil directeur du problème et la transformer en une activité qui devient indépendante du problème qui l'a initié, avec sa finalité propre : obtenir coûte que coûte un tableau de mesures. Une fois ce dernier obtenu, le contrat paraît rempli et l'activité s'arrête. Le processus intellectuel de résolution de problème a perdu son sens au profit d'une activité essentiellement pratique dont le terme est clairement identifiable.

La seconde porte sur la difficulté qu'ont tous les élèves, à complexité de situation comparable, à hiérarchiser et à faire des choix parmi les variables identifiées. C'est un indicateur positif qui montre que les élèves sont bien entrés dans le problème, en ont perçu la complexité et qu'ils sont à même de proposer des variables complémentaires, fruit de l'analyse qu'ils ont faite de la problématique. Et plus ils en proposeront plus ils feront la preuve de leur maîtrise du problème ; même s'ils anticipent mal les difficultés qu'il y aura à gérer simultanément un nombre élevé de variables.

C'est aussi un indicateur négatif (peut être même un obstacle) qui indique une incapacité à épurer la situation par des choix nécessaires entre variables de premier rang (celles que l'on va choisir de tester) et variables de second rang que l'on identifie mais que l'on se refuse, dans un premier temps, à prendre en compte. Et tant que cette capacité à faire des choix ne sera pas maîtrisée la gestion des variables s'avèrera impossible et, par voie de conséquence, l'anticipation explicite des résultats.

On peut donc voir grâce à cet indicateur deux étapes possibles d'apprentissage à isoler :

1 – apprendre à identifier les variables d'un problème ; et faire de cette activité une fin en soi ; l'enseignant prenant ensuite le relais pour imposer, en les justifiant, un certain nombre de choix ;

2 – conduire les élèves à hiérarchiser les variables en fonction de l'orientation privilégiée que l'on donne au problème. Cette hiérarchisation devrait conduire à choisir, parmi ces variables, celles qui seront seules prises en compte lors du test expérimental.

Le passage de 1 à 2 pouvant se faire dans le cadre de situations problèmes où c'est le trop grand nombre de variables qui devra conduire, de facto, l'élève à en réduire le nombre en justifiant ses choix. Il y a probablement là un objet d'apprentissage qui mériterait d'être traité au cours de séquences spécifiques : faire du choix explicite et argumenté des variables dans un problème donné, un objectif d'apprentissage méthodologique, au même titre que la formulation des hypothèses et l'écriture des protocoles. Ce choix raisonné des variables étant le préalable indispensable à l'anticipation explicite des résultats attendus à la suite du test expérimental.

La troisième conclusion se rapporte à la difficulté qu'ont rencontré les élèves à faire un choix adéquat de représentation graphique. Si certains de ces choix paraissent pertinents au regard du problème et du résultat attendu, rien n'indique de manière explicite comment ce choix a été fait : est-il le fruit d'un heureux hasard, était-il « évident » pour des élèves qui auraient intuitivement compris les exigences de la procédure ? Seul un travail portant sur des demandes d'explicitation permettrait de faire un état des lieux de la question.

Il n'en reste pas moins que l'essentiel des représentations graphiques ne répond pas aux exigences de la procédure de résolution du problème posé. Comme Aline Jelinski (1993)³ nous pouvons nous interroger sur les raisons pour lesquelles le diagramme circulaire est, ici, particulièrement utilisé alors qu'il est totalement inadéquat. «L'habitude de voir ce type d'image amène à les reproduire machinalement sans se poser de question, sans chercher à savoir quelle est son efficacité ou son inefficacité par rapport à d'autres constructions dans la transmission d'une information» (Jelinski, 1993). On pourrait ajouter que se poser la question de l'efficacité d'une représentation graphique nécessite une prise de conscience préalable de cette notion même d'efficacité ; notion qui n'est pas forcément familière des élèves.

Cette difficulté à faire un choix adéquat d'une représentation graphique en fonction des caractéristiques du problème posé, de la nature des variables en jeu et du traitement qui leur a été appliqué trouve probablement son origine dans une carence de notre enseignement des sciences. Trop souvent le choix de la représentation graphique s'impose comme une évidence alors qu'elle devrait faire l'objet d'un questionnement. Pourquoi un diagramme en bâton plus qu'une courbe continue ? Pourquoi une courbe plutôt qu'un nuage de points ? Quelques tests effectués, suite à cette expérimentation, auprès des enseignants stagiaires tendent à montrer que le passage à l'université n'a pas contribué à clarifier le problème. Le champ de réflexion n'est donc pas clos.

³JELINSKI A., *Diagramme circulaire ou orthogonal ? Une efficacité différente des images graphiques dans la transmission de l'information*, pp39-56, Les Sciences de l'éducation, 1-3, CERSE, Université de Caen, 1993

Ce travail montre la difficulté pour les élèves à suivre une démarche de façon cohérente. En effet, pour 24 groupes sur 35 il y a incohérence entre la représentation graphique et l'hypothèse ou entre la conclusion et le problème. Cette difficulté à établir un travail suivi et cohérent a été montrée par d'autres auteurs. Ce résultat indique qu'une réflexion est à mener quant au support à apporter aux élèves qui spontanément mènent leur travail étape après étape sans contrôler le lien entre toutes les étapes. Les élèves ont des difficultés à avoir une vision globale de la démarche. Ces résultats sont en concordance avec les nombreux travaux publiés au niveau international sur l'utilisation des graphes, et sur l'utilisation de représentations multimodales en physique (Ainsworth 2011 ; Van der Meij & de Jong 2006) et en chimie (Kozma, Chin, Russell & Marx 2000).

Ce résultat va dans le sens d'une autre difficulté identifiée à l'issue de ce travail concernant le lien entre la représentation graphique et le modèle théorique. Pour les élèves la représentation graphique est une fin en soi. Cela peut s'expliquer par le fait que les aspects de modélisation ne sont pas ou peu abordés au secondaire. Néanmoins si l'on souhaite faire réfléchir les élèves sur les notions de données et de résultats, une formation à la modélisation est incontournable. Cette piste a été largement travaillée par des didacticiens des sciences en France (Martinand 1994 ; Rumelhard 1988, 1992 ; Schneeberger & Dhouibi 2006 ; Orange 1997 ; Robardet et Guillaud 1993 ; Ney 2007), au niveau international on peut par exemple citer les travaux de Van Joolingen et de Jong (2003) à partir du logiciel SIMQUEST.

Concernant la gestion des paramètres, de nombreux auteurs ont déjà montré les difficultés que les élèves ont à gérer plusieurs paramètres simultanément. Dans le cas de notre étude il s'agissait d'identifier des variables majeures et secondaires, de hiérarchiser leur importance et de sélectionner les variables les plus importantes pour l'étude. Cette sélection nécessite une appréhension systémique des problèmes, le système étant défini comme un ensemble complexe et organisé caractérisé par des variables interdépendantes (Host 1989, p. 190).

L'élaboration de relations entre représentations graphiques, hypothèses, variables et modèle théorique renvoie plus globalement à un travail sur la modélisation et sur son apprentissage. Cette activité de modélisation est une activité importante pour faire des liens entre le champ théorique et le champ empirique. En effet Host définit le modèle comme « *toute activité de représentation, quelle que soit la nature des opérations intellectuelles réalisées : définition (espace), loi (loi des gaz parfaits), reconstruction conceptuelle (cellule). L'idée implicite des tenants de cette conception c'est que l'activité scientifique porte sur des objets construits par l'esprit humain et qui doivent être reconstruits au fur et à mesure du développement de la science.* » (Host 1989, p. 204). Pour effectuer des choix pertinents sur les représentations graphiques il ne faut pas perdre de vue les hypothèses et le problème de départ, ni le modèle qui est représenté. Cette activité nécessite la mise en place d'un raisonnement globaliste, systémique qui est peu l'objet d'apprentissage. C'est un élément de l'explication de la difficulté des élèves à relier le champ empirique et le champ théorique, nous y reviendrons plus loin (Tiberghien et al 2001 ; Millar 2004).

3.8 Les conditions à mettre en œuvre pour que l'expérimentation soit génératrice de sens et d'apprentissages

3.8.1 La globalité de la démarche : sérier les problèmes et accompagner

Au cours de cette analyse nous avons mis en évidence que la mise en œuvre d'une démarche cohérente n'est pas spontanée et elle pose des difficultés aux élèves à différents âges. L'élaboration d'un plan expérimental complexe, le choix et la hiérarchisation des variables pose des problèmes particuliers. Aussi il convient de réfléchir à la façon dont il est possible d'aider les élèves et d'envisager la possibilité d'introduire des étapes de contrôle des tâches impliquées. La partie ci-dessous synthétise différents éléments à prendre en compte qui intègre la résolution de problèmes, la conception expérimentale et l'élaboration de productions sous différents modes de représentations.

Certains objectifs ne sont jamais travaillés (manque de temps, complexité de la tâche, sous estimation de leur importance), il convient d'une part de proposer des tâches de nature et de difficulté différentes et croissantes. Aussi, si l'on souhaite mettre l'accent sur la réalisation d'expérimentations bien contrôlées, il faut laisser aux élèves un temps assez long (plusieurs semaines). D'autre part certains objectifs nécessitent un travail interdisciplinaire. Par exemple, si pour le traitement graphique des données et la modélisation, un travail en lien avec les mathématiques s'impose.

Guider les élèves en leur proposant une liste de variables sur lesquelles ils doivent s'interroger leur permet d'élaborer rapidement des expérimentations relativement bien contrôlées, à condition toutefois qu'il s'agisse d'un phénomène qui leur soit d'emblée compréhensible et qu'ils aient pu discuter, avant de commencer à expérimenter, du phénomène étudié (ne serait-ce que quelques minutes) (Cauzinille-Marmèche et al, 1985, p 174). Certains outils sont maîtrisés mais ils ne sont pas mobilisés spontanément par les élèves, par exemple certains élèves ont de bonnes intuitions statistiques.

Les compétences pour élaborer un plan d'expérience complexe impliquant plusieurs facteurs, plusieurs variables avec une recherche d'interaction entre les facteurs nécessitent un réel apprentissage dont l'école doit se saisir en mettant en place des situations de difficulté croissante. Ces compétences sont réinvestissables dans d'autres situations et dans d'autres domaines en construisant chez les élèves des habiletés cognitives comme raisonner, anticiper, planifier, contrôler, analyser, comparer, ...

3.8.2 L'accès au modèle

Le fait pour un élève de disposer des connaissances adéquates facilite la mise en œuvre de la démarche scientifique. Mais inversement le fait de mettre en œuvre une démarche scientifique aide les élèves à acquérir plus facilement des connaissances. La place du modèle et la façon de l'introduire restent donc à définir.

Pourtant même s'ils maîtrisent les modèles, les élèves ne les mobilisent pas forcément. Séré et Beney (1997) ont étudié le fonctionnement intellectuel d'étudiants de premier cycle universitaire alors qu'ils réalisent des T.P. « classique » d'optique. Ils ont montré que les étudiants avaient des difficultés à faire correspondre les actions avec les savoirs conceptuels en jeu. Ils ont observé une atomisation des actions de la part des étudiants : les actions sont découpées en actions élémentaires auxquelles correspondent des sous-buts qui sont exécutés séparément et immédiatement. Ils ont constaté une absence de phase de planification de la part des étudiants. Ils expliquent ceci par le fait que les étudiants mémorisent puis mobilisent des actions prototypiques qui ne sont pas justifiées par des lois ou par des modèles. Les actions prototypiques sont reliées à des jugements prototypiques. « *Ces actions et jugements prototypiques sont mobilisés par des étudiants, pour qui le réseau des actions peut être considéré comme extrêmement prégnant* » (ibid., p. 97)

Pour Abrahams and Millar (2008, p. 1965) les notions doivent être introduites et doivent être mobilisées ('in play') : « *An important rôle of practical work is to help students develop links between observations and ideas. But these ideas have to be introduced. And it may be important that they are 'in play' during the practical activity, rather than introduced after it to account for what has been observed.* » [Les activités pratiques jouent un rôle important pour aider les élèves à faire des liens entre les observations et les idées. Mais ces idées doivent être introduites. Il est peut-être important qu'elles soient en fonctionnement *pendant* les activités pratiques, plutôt que d'être introduites a posteriori pour expliquer ce qui a été observé.]. En conséquence la question est comment faire en sorte que les connaissances soient « in play » ? C'est-à-dire comment faire pour que les élèves mobilisent des connaissances, et qu'ils en aient conscience. Cela est possible si les connaissances leur servent à résoudre des problèmes qu'ils rencontrent dans l'action ou à prendre des décisions ou encore à contrôler les actions qu'ils réalisent.

Le constat a été effectué qu'il est nécessaire d'impliquer les élèves dans des activités métacognitives telles que planifier, anticiper, questionner, formuler des hypothèses, et concevoir des plans expérimentaux. L'objectif est d'aider les élèves à prendre le contrôle sur leur propre apprentissage et à améliorer la compréhension des actions qu'ils effectuent. White et Gunstone proposent d'introduire des activités de type PEO demonstrations « *predict-explain-observe* » [raisonnements de type prédire – expliquer – observer] (White & Gunstone 1992) et de lier des activités de réflexions aux activités pratiques : « *minds-on as well as hands-on* » [la réflexion comme la pratique] (Gunstone 1991). La planification des activités est un élément essentiel pour éviter que l'attention des élèves se trouve mobilisée uniquement par les actions et les jugements sur ces actions. Pour nous, ces activités sont primordiales pour relier les aspects théoriques et les aspects pratiques. Les activités métacognitives vont en particulier être développées au moment de l'activité de conception expérimentale qui doit comprendre des activités de planification, d'anticipation en lien avec la résolution d'un problème. On voit bien la rupture entre cette posture et celle où l'élève doit appliquer un protocole ou celle où il effectue une recherche par essais et erreurs.

3.8.3 L'élaboration de représentations symboliques

Nous proposons aussi que ces activités métacognitives soient étayées par des activités de production et de représentation personnelles (schématique, langagière, textuelle, ...) afin d'en améliorer la prise de conscience. Etkina et al (2010) proposent que les élèves élaborent des productions cognitives en T.P. pour faciliter l'apprentissage de connaissances scientifiques, ils ont identifié plusieurs activités où les élèves produisent ce qu'ils appellent « des idées ». La nécessité d'introduire des tâches de structuration est formulée par d'autres auteurs : « *On remarque à cet égard que lorsque les enfants sont guidés par un texte, ou une illustration schématisant la situation, ceux-ci définissent alors plus facilement des hypothèses portant sur des facteurs.* » (Cauzinille-Marmèche, Mathieu & Weil-Barais 1983, p.3). L'introduction d'activités métacognitives qui peuvent être formalisées par différents modes de représentations sera développée dans le chapitre 5 du mémoire.

3.9 Verrous et points d'appui

Comme nous l'avons démontré tout au long de ce chapitre, dans les paragraphes précédents, les travaux présentés dans la littérature en didactique des sciences a mis en évidence les conséquences négatives de la disjonction entre le référent empirique et celui des modèles, et nous en avons montré les conséquences sur l'apprentissage en sciences. Nous avons relevé plusieurs propositions qui permettent de rapprocher au sein de mêmes activités le registre empirique et le registre des modèles. Il nous paraît important d'aller un peu plus loin pour théoriser la question de la mise en relation entre ces deux registres, pour aller dans le sens de la modélisation proposée par Coquidé, Bourgeois-Victor et Desbeaux-Salviat (1999), pour articuler les différents registres par différents modes didactiques. La notion de matrice cognitive est pour elles un élément clé dans la modélisation proposée. Zion, Michelsky & Mevarech (2005) explicitent grâce au modèle MINT (Metacognitive-guided Inquiry within Networked Technology) pourquoi et comment introduire une dimension métacognitive dans une situation d'apprentissage en microbiologie. Ces auteurs ont montré en particulier des effets significativement positifs sur l'apprentissage quand les élèves conçoivent leurs expériences et élaborent leurs propres conclusions et qu'ils sont amenés à mettre en œuvre des activités de régulation, de contrôle, de critique de leurs processus et que des activités de planification, de surveillance et d'évaluation des activités tout au long de la démarche.

Il nous paraît important d'étayer la démarche pour que les élèves ne perdent pas de vue le problème de départ et les hypothèses qu'ils testent ainsi que les différentes étapes. Il faut préciser la place du modèle et pointer les moments où les élèves ont besoin de réaliser des activités cognitives pour contrôler les actions (retour en arrière sur l'action pour la valider ou non), pour effectuer des tâches de diagnostic et de prise d'information, pour prendre des décisions raisonnées, pour interpréter des données, pour effectuer des observations ou pour appréhender des phénomènes.

Les verrous portent en particulier sur :

- la détermination des activités métacognitives et des productions cognitives génératrices d'apprentissage.
- Les difficultés des élèves qui sont nombreuses et récurrentes, ce dont la littérature témoigne.
- Les pratiques habituelles en classe qui proposent des activités prototypiques à partir desquelles les élèves peuvent fonctionner sans raisonner.

Les points d'appuis sont :

- la motivation et l'attrait des élèves pour les activités expérimentales.
- La nécessité de propositions concrètes pour que les élèves donnent du sens aux activités expérimentales.
- Les connaissances du domaine et les nombreux travaux relatés par la littérature.
- Nos travaux personnels, les résultats obtenus.

3.10 Conclusion

A partir des différents travaux présentés, plusieurs pistes peuvent être explorées afin d'améliorer la construction du sens par les élèves lors des activités expérimentales. Dans le chapitre suivant nous nous intéresserons à la conception expérimentale, intégrant la conception de protocole, qui implique les élèves dans une activité de planification de leurs expériences. Nous présenterons plusieurs études où la tâche de conception de protocole est proposée aux élèves pour les amener à modéliser des connaissances, à prendre des décisions pour établir un plan et à anticiper les actions et les résultats futurs. Nous présenterons les caractéristiques de la situation de conception expérimentale en tant qu'aide à l'apprentissage. Nous effectuerons une analyse de la tâche, et nous proposerons une façon de la représenter.

Chapitre 4 - La conception expérimentale par les élèves : analyse de la tâche, élaboration et tests de deux Travaux Pratiques de Sciences de la Vie et de la Terre

4.1 Introduction

L'étude de l'introduction de la conception de protocole dans des situations de travaux pratiques est une question sur laquelle nous travaillons dans l'équipe de recherche MeTAH depuis le début des années 2000. En science, le protocole est une étape nécessaire pour respecter le principe de falsifiabilité (Popper 1959). Il doit décrire de façon précise les conditions expérimentales et le déroulement d'une expérience ou d'un test. La description doit être claire et suffisamment explicite pour qu'elle soit reproduite à l'identique par quelqu'un qui voudrait reproduire les mêmes résultats en suivant le même protocole et en se plaçant dans les mêmes conditions expérimentales. Le protocole est conçu à partir des hypothèses formulées.

Cette activité a d'abord été introduite et développée par Cédric d'Ham et Isabelle Girault en chimie dans le cadre du projet de télé T.P. « Educ@ffix » qui proposait un dispositif informatique permettant de piloter un robot à distance pour effectuer des dosages en chimie (d'Ham, de Vries, Girault & Marzin 2004).

Les utilisateurs devaient concevoir le protocole de dosage par spectrophotométrie avec le logiciel educ@ffix.net. Le logiciel permettait aux élèves de concevoir un protocole, il proposait aussi des cours en ligne et un retour sur leur protocole à l'aide d'un tuteur informatisé. Cet environnement conçu au départ pour former des techniciens en chimie a été testé au lycée (Marzin, et al 2005). Cet environnement a évolué vers le logiciel Copex chimie qui est utilisé depuis cinq ans par des étudiants de licence de l'Université Joseph Fourier et qui a donné lieu à plusieurs recherches exploratoires avec ce même public (d'Ham & Girault 2009).

Le domaine scientifique s'est diversifié et les questions de recherche travaillées dans le projet educ@ffix ont évolué au sein du nouveau projet Copex⁴ dont l'objectif était d'élargir les disciplines scientifiques, de mettre en œuvre et de tester plusieurs travaux pratiques dans le but de déterminer des invariants entre la biologie, la chimie, la géologie et la physique.

⁴ Copex : concevoir des protocoles expérimentaux pour apprendre les sciences expérimentales, à l'aide d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain : prise en compte des usages. Projet soutenu par le MENRT, ACI « éducation-formation et TICE », 2005, en partenariat avec l'INRP (Eric Sanchez) et le Laboratoire de Science de l'Education de Grenoble 2 (Erica de Vries). L'INRP a soutenu la coopération avec les enseignants impliqués dans le projet (Gilles Baudrant, Martine Biau, Daniel Devallois, et Réjane Monod-Ansaldi).

Les travaux effectués dans le cadre du projet Copex comprenaient deux axes de recherche. Un premier travail a consisté à analyser plusieurs fascicules de T.P. à l'Université dans les quatre disciplines concernées (Girault et al 2012). Cette étude a permis de dégager les principales caractéristiques d'un protocole en sciences expérimentales. La seconde étude a consisté à élaborer quatre T.P. à partir de la modélisation en arbre des tâches dans les quatre disciplines concernées.

Cette étude a été réalisée avec un double objectif : une visée d'ingénierie didactique pour identifier les conditions de mise en œuvre et une visée d'analyse écologique afin d'étudier les principales réussites et difficultés rencontrées par les élèves pour concevoir des protocoles en terminale S. N'ayant pas participé au premier axe car j'étais alors en congé de maternité je n'en détaillerai pas les résultats. J'ai coordonné les parties biologie et géologie du second axe, je présenterai donc avec plus de détail l'ingénierie et les analyses effectuées aux cours de deux situations de T.P. de biologie (immunologie) et de géologie (paléontologie) conçues et testées avec plusieurs classes de terminale S.

Les questions de recherche des études réalisées au sein du projet Copex étaient les suivantes :
Comment décrire de façon formelle le protocole et son lien avec le problème scientifique à résoudre ?

Quelles sont les pratiques habituelles en travaux pratiques en sciences expérimentales ?

Existe-t-il des invariants entre les disciplines ou au contraire est-ce que chaque discipline a des protocoles particuliers induits par les caractéristiques de sa discipline ?

Comment élaborer des situations où les élèves conçoivent des protocoles ?

Comment les élèves réalisent-ils cette tâche ? Quelles difficultés rencontrent-ils ?

Quelles leçons tirer de ces études pour élaborer un logiciel qui aide les enseignants à concevoir des situations incluant la conception de protocole, et les élèves à concevoir des protocoles ?

Dans les parties ci-dessous, dans un premier temps je présenterai une analyse de la tâche de conception de protocole et les modélisations utilisées, replacées dans le contexte de la littérature du domaine. Je présenterai ensuite les principaux résultats obtenus concernant l'ingénierie didactique et l'analyse de la mise en œuvre des situations de paléontologie et d'immunologie, et les nouvelles questions de recherche. Je présenterai ensuite comment ces résultats ont contribué à l'élaboration du cahier des charges et au développement de l'éditeur de protocole Copex et de la plateforme d'apprentissage LabBook dont je présenterai les principales caractéristiques. Dans le dernier paragraphe, je présenterai les principales conclusions, les leçons à tirer et les recommandations formulées à la suite de ces études, et enfin je présenterai les questions de recherche qui seront traitées dans le chapitre suivant.

4.2 La tâche de conception expérimentale

Le premier travail effectué dans le cadre du projet Copex a été l'analyse de 39 fascicules de travaux pratiques à l'université (16) et de manuels du secondaire (23) en biologie, chimie, géologie et physique). Cette étude a été effectuée à partir du modèle HTA cognitive (Hierarchical Task Analysis) de conception de protocole conçu à partir de la théorie de l'activité de Leontiev, (1978) et de la représentation de la résolution du problème à l'aide d'un arbre des tâches (Girault, d'Ham, Ney, Sanchez & Wajeman, 2012). Ce modèle accompagné de critères a permis d'évaluer comment les protocoles sont présentés aux étudiants dans les fascicules de travaux pratiques.

L'analyse des fascicules montre que les objectifs des TP ne sont pas totalement explicités dans environ 1/3 des documents analysés. Les résultats montrent beaucoup d'implicite et peu de liberté laissée aux élèves. En effet, seulement 1/3 des documents analysés montre que le problème à résoudre est explicité par l'enseignant et la totalité des tâches est à la charge des enseignants. Par ailleurs 1/3 des fascicules montre des protocoles incomplets, non pas dans un but pédagogique, par exemple pour que les élèves puissent les compléter, mais qui seront complétés ultérieurement par les enseignants en séance. Enfin un tiers des fascicules montre beaucoup d'informations complémentaires. Il semble que la biologie et dans une moindre mesure la chimie, propose les T.P. où l'implication des élèves est la plus forte.

Ces résultats permettent de formuler plusieurs constats : il n'existe pas de modèle de référence concernant les protocoles expérimentaux. En effet l'analyse qui a été effectuée montre qu'il existe une grande diversité de protocoles avec des caractéristiques différentes selon les disciplines et selon les enseignants qui les proposent. Les protocoles présentés aux élèves sont loin d'être des recettes de cuisine telles que celles mises en évidence par Andrée Tiberghien et al (2001) dans le projet LSE en 2001 à partir d'une analyse de fascicules de T.P. en Europe. La tâche de conception de protocole complet n'est pratiquement jamais laissée à la charge des élèves. Le degré d'implicite est grand et le degré de créativité laissé aux élèves est faible. Ce constat est particulièrement fort en physique et en géologie et un peu plus faible en chimie et en biologie.

Ces résultats sont en contradiction avec la volonté d'impliquer les élèves dans une démarche d'investigation ouverte. Ils posent encore une fois la question du sens que les étudiants donnent aux activités expérimentales qu'ils réalisent ainsi que la question des apprentissages réalisés lors des activités expérimentales.

Il nous paraît donc important de comprendre pourquoi et comment cette tâche est effectuée par les élèves si on la laisse à leur charge et quelles propositions peut-on faire pour changer cet état de fait du côté des enseignants ? Commençons par faire un détour par la littérature et plus particulièrement sur les travaux proposant des situations de conception de protocole.

Arce et Betancourt (1997) proposent une situation en trois temps : une phase d'exploration, une phase d'interprétation, une phase d'application. Ces trois phases sont guidées par des

questions qui aident les élèves dans leur réflexion. Leur idée est de faire faire aux élèves des recherches effectives, de leur apprendre à organiser et à analyser leurs données, à prendre les bonnes décisions, à établir des conclusions basées sur des observations et sur des faits et aussi de développer un raisonnement analytique et la créativité des élèves. Pour elles une bonne investigation expérimentale doit laisser un temps minimum à l'expérience et plus de temps à la réflexion sur la conception du protocole expérimental.

Etkina et al (2010) ont montré que la conception de protocole avait des effets notables pour des étudiants impliqués dans le projet ISLE (Investigative Science Learning Environment). Ces chercheurs ont mis en place une série de travaux pratiques dans lesquels deux groupes d'étudiants étaient impliqués sur les mêmes connaissances en physique : un groupe devait concevoir leur protocole mais pas l'autre groupe.

La comparaison des deux groupes a montré des différences significatives concernant l'acquisition de capacités scientifiques comme la prise de mesures, l'évaluation des résultats et leur communication. Cette différence est expliquée par une plus grande implication des élèves dans la résolution du problème, une plus importante appropriation des pratiques scientifiques qui s'est faite graduellement au fur et à mesure du semestre (au total les élèves ont été impliqués dans 10 séances de T.P.).

Au cours des séances les élèves sont devenus familiers de l'environnement matériel et ils ont mis en place des pratiques ritualisées, ce qui leur a demandé moins d'effort. Les élèves impliqués dans des T.P. incluant la conception de protocole passent plus de temps à discuter sur leurs expérimentations, à les critiquer et à les réviser. Les auteurs expliquent cela par le fait que l'activité de conception de protocole induit une base pour une réflexion métacognitive comme la planification et l'évaluation des méthodes et des résultats, dont ils ont pris conscience de la nécessité.

Un autre point important est que les élèves ont acquis de meilleures capacités concernant l'évaluation de l'incertitude des mesures. Ils ont de meilleurs résultats lorsqu'il leur est demandé une tâche de réinvestissement : résoudre un problème dans un autre domaine en utilisant les mêmes compétences scientifiques. Cela est dû, selon les auteurs, au fait que quand ils sont impliqués dans des activités de conception de protocole, les élèves développent des connaissances interprétatives « *interpretive knowing* » qui selon eux sont connectées à des ressources cognitives, qui sont essentielles pour résoudre des problèmes scientifiques. La conception de protocoles induit donc des activités métacognitives annexes qui aident les élèves à acquérir des capacités scientifiques essentielles pour la formation en science.

Cette idée rejoint celle de matrice cognitive développée par Jean-Louis Martinand (1996) et retravaillée par Maryline Coquidé (1999). Pour Coquidé « *Dans la phase de conception de protocole, la matrice cognitive des élèves est très sollicitée, et des difficultés relatives à la non maîtrise d'outils théoriques ou de formes de raisonnement (pensée comparative, pensée analytique, pensée hypothético-déductive peuvent apparaître). La matrice cognitive est*

également sollicitée, et des difficultés peuvent apparaître si certaines mises en relation dans celle-ci apparaissent manquantes » (Coquidé, 2000, p. 117). Pour cette auteure la conception de protocole est un élément qui nécessite la maîtrise d'outils théoriques et la mise en place de formes de raisonnement complexes. Cette maîtrise est une condition nécessaire pour sa réussite.

Cela est confirmé par les observations effectuées par Laugier et Schneeberger (2004) auprès d'élèves de seconde. Ils avancent l'idée que les difficultés rencontrées par les élèves qui ont à concevoir un protocole sont liées à des coutumes didactiques. Elles ont pour conséquence que les élèves sont rarement placés dans de réelles situations de résolution de problème. Quand les élèves doivent résoudre des problèmes en sciences expérimentales, les solutions se trouvent souvent dans le cahier de l'élève ou dans le manuel. Or pour concevoir un protocole expérimental les élèves doivent mobiliser des connaissances et ils doivent faire preuve de créativité, ce qui demande une implication personnelle importante. Par ailleurs pour ces auteurs les élèves souhaitent avant tout manipuler et c'est à partir d'une démarche de tâtonnement en procédant par essais et erreurs, en utilisant le matériel mis à la disposition des élèves qu'ils élaborent leur protocole (Ibid, p. 46). Ce point est plus délicat à traiter car les élèves n'ayant pas une pratique experte du laboratoire, ils ne connaissent pas les principaux objets et matériels du laboratoire. Comment alors faire connaître le référent empirique aux élèves sans induire le protocole par un effet de contrat ? Cette question renvoie à celle du choix de ce qui est à la charge de l'élève et de ce qui lui est donné au cours de la situation expérimentale. Nous y reviendrons dans les chapitres suivants.

Ces travaux montrent que la tâche de conception de protocole est complexe, qu'elle nécessite la mobilisation de connaissances et de raisonnements élaborés. C'est certainement pour ces raisons qu'elle n'est pas habituellement pas demandée aux élèves. Dans les paragraphes suivants nous allons présenter une analyse de la tâche de conception de protocole. Cette analyse a été réalisée dans le but de modéliser la tâche pour concevoir des situations expérimentales, pour anticiper les difficultés de sa mise en œuvre et ainsi proposer des étayages aux élèves. A l'aide de l'arbre des tâches sont formalisées les tâches de structuration, les actions et les opérations. La ligne la plus basse de l'arbre des tâches définit une suite d'opérations avec un niveau d'explicitation qui va déterminer le protocole.

4.3 Analyse de la tâche. Résolution de problème et conception expérimentale

4.3.1 L'activité de conception de protocole, une activité métacognitive : le point de vue des psychologues

Dans un premier temps nous voulons préciser la notion de métacognition, pour la définir et pour expliquer en quoi le développement d'activités métacognitives peut intervenir dans la construction du sens par les élèves. La métacognition indique que l'élève a conscience de sa manière d'apprendre et qu'il exerce des régulations et un contrôle sur celle-ci. Flavell est à l'origine de ce concept dont il donne la définition suivante « *La métacognition se rapporte à*

la connaissance qu'on a de ses propres processus cognitifs, de leurs produits et de tout ce qui y touche, par exemple, les propriétés pertinentes pour l'apprentissage d'informations et de données... La métacognition se rapporte entre autre chose, à l'évaluation active, à la régulation et à l'organisation de ces processus en fonction des objets cognitifs ou des données sur lesquels ils portent, habituellement pour servir un but ou un objectif concret. » (Flavell 1976).

Les connaissances métacognitives recouvrent des connaissances personnelles ou réflexives verbalisées ou non (connaissances de son propre fonctionnement cognitif, de son efficacité), des connaissances sur les tâches cognitives (identifier le type de tâche à réaliser et adopter une stratégie pour y arriver), des connaissances sur les stratégies efficaces pour réaliser la tâche (raisonnement, résolution de problème, ...). (Flavell 1987).

La métacognition implique des habiletés cognitives telles que la planification, le contrôle, la régulation (Baker & Brown 1982). La planification a lieu avant l'action, elle consiste à élaborer un plan d'action pour atteindre un but d'apprentissage. Elle comprend à la fois des tâches d'analyse des moyens pour atteindre l'objectif, d'anticipation et d'organisation du temps. Elle consiste également à organiser les étapes à suivre pour atteindre l'objectif. Le contrôle a lieu pendant l'action, il consiste à suivre l'exécution du plan d'action et à vérifier la pertinence de l'action. La régulation a lieu après l'action, il s'agit d'évaluer la pertinence des étapes de la démarche au regard du but visé et de porter un regard évaluatif, pour savoir si l'on garde le cap ou si on s'en éloigne.

4.3.2 Un arbre des tâches pour décrire les étapes de résolution du problème

Nous avons analysé la tâche de conception de protocole comme étant à la fois une situation de résolution de problème et une activité de conception (design). Le protocole peut être représenté comme une suite d'actions à exécuter les unes à la suite des autres. En se référant à la théorie de l'activité de Leontiev (1978) un modèle de description de la tâche en arbre des tâches a été élaboré (Girault et al 2012). Selon ce modèle une activité peut être divisée en actions, qui peuvent elles-mêmes être divisées en opérations. Les actions sont connectées à des buts à atteindre alors que les opérations peuvent être exécutées de façon routinière.

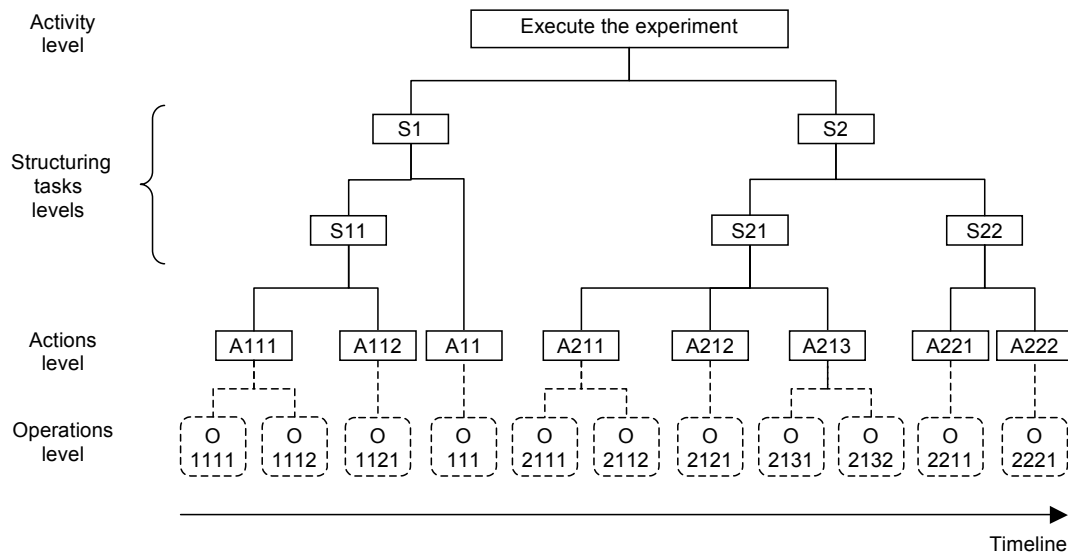


Figure 7 : description du modèle d'arbre des tâches (Girault et al 2012).

Le modèle comporte des tâches intermédiaires qui sont des tâches de structuration. Ces tâches pourront ou non être laissées à la charge des élèves en fonction des objectifs d'apprentissage visés. C'est la liste des tâches de plus bas niveau qui va constituer le protocole à exécuter, en relation avec le problème de départ.

A partir de ce modèle quatre arbres des tâches ont été conçus dans quatre disciplines en biologie, chimie, géologie et physique (Marzin et al 2007). Les deux arbres des tâches concernant les deux T.P. de biologie et de géologie seront décrits ci-dessous, ils illustrent la modélisation en arbre des tâches sur deux exemples.

4.3.3 Une liste de critères

Pour évaluer les protocoles une liste de critères a été proposée par Cédric d'Ham (Girault, I., d'Ham, C., Ney, M., Sanchez, E. & Wajeman, C. (2012) à partir de quatre rubriques :

Le protocole est caractérisé par

- son exécutabilité,
- sa communicabilité.

L'expérimentation est caractérisée par

- sa pertinence⁵,
- la qualité de l'acquisition des données⁶.

Chaque rubrique est détaillée dans le Tableau 2 ci-dessous.

⁵ "Answer the research question" (Schraagen, 1993)

⁶ "Control all sources of variance" (Schraagen, 1993)

Tableau 2 : critères pour évaluer le protocole et l'expérimentation

Evaluation du protocole	Exécutabilité
	Complétude
	Structuration
	Contraintes matérielles (disponibilité et faisabilité)
	Précédence entre tâches
	Contraintes temporelles
	Traçabilité
	Communicabilité
	Niveau d'explicitation
	Organisation de l'information
Type d'informations	
Evaluation de l'expérimentation	Pertinence
	Pertinence externe : lien hypothèses → choix des grandeurs à mesurer
	Pertinence interne : stratégie de mesure (méthodes et matériels)
	Domaine d'application : prise en compte de l'échantillon à mesurer
	Qualité de l'acquisition des données
	Justesse
Fidélité	

Ces critères ont été transposés en quatre types de critères pour être proposés aux élèves, pertinence, reproductibilité, exécutabilité, communicabilité avec les définitions suivantes. Un protocole doit être **pertinent** c'est-à-dire que l'expérimentation qu'il propose doit permettre de répondre à la question posée. La pertinence d'un protocole s'évalue donc par rapport au modèle scientifique en jeu. Un protocole doit être **reproductible**, c'est-à-dire qu'il doit permettre d'obtenir des résultats identiques lorsqu'il est utilisé dans les mêmes conditions. Un protocole doit enfin être **exécutable** et **communicable** ce qui implique qu'il soit rédigé avec un niveau de précision permettant de le réaliser sans information complémentaire et son niveau de formulation doit être adapté à son destinataire.

4.3.4 Résolution de problème

Pour Christian Orange (1997) le problème est au départ de tout apprentissage. D'une façon ou d'une autre, l'apprentissage des sciences biologiques a quelque chose à voir avec le problème et doit conduire à l'acquisition de certaines compétences. Dans une vision empiriste de la science, le problème est, tout au plus, quelque chose qui bloque ou provoque la découverte. Au contraire, les épistémologues contemporains que l'on peut qualifier de rationalistes (au sens large) donnent une place fondamentale aux problèmes dans la construction du savoir scientifique.

C'est ainsi que, à des titres divers, Bachelard (1993), Popper (1978), Kuhn (1983), ont fait du problème un élément important de la conception de la science. En première approximation, les relations entre problème et savoir sont doubles. D'une part le problème est à l'origine de la connaissance. Karl Popper indique que la science commence par des problèmes et Gaston Bachelard note que « *pour un esprit scientifique toute connaissance est une réponse à une question* ». Inversement, le problème ne naît pas uniquement du monde extérieur, mais de l'interaction entre ce monde et un arrière-plan d'éléments théoriques. Les connaissances sont ainsi le cadre d'apparition des problèmes.

Cette relation connaissance-problème a son interprétation didactique : un problème scientifique n'est pas quelque chose qui existe pour lui-même et qui peut être apporté de l'extérieur (par le maître), il est sous la dépendance de données empiriques mais aussi des conceptions des apprenants.

- Des connaissances naît un problème dont la résolution modifie la connaissance ;
- Un problème entraîne des connaissances qui modifient à leur tour le champ des problèmes.

Ce lien donne une indication du mouvement de la pensée mais ne permet pas encore de rendre compte de la conception de Bachelard (1993). Une nouvelle connaissance peut provenir de la résolution d'un problème mais, pour résoudre ce dernier, il faut déjà pouvoir le comprendre ce qui implique que la personne qui s'engage dans la résolution de ce problème possède au préalable un minimum de connaissances qui lui permettent de percevoir le problème comme tel (Popper 1978). Cela permet d'établir un schéma spiralaire qui peut représenter le mouvement de la pensée dont parle Bachelard.

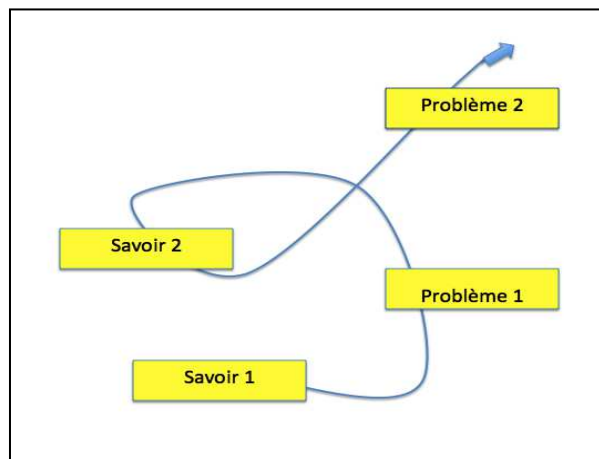


Figure 8 : lien entre problème et savoir (d'après Lhoste 2006)

Ce lien dynamique et circulaire entre les savoirs et les problèmes (Figure 8) est aussi une caractéristique de la construction des savoirs scientifiques (Lhoste 2006).

L'activité de résolution de problème comme moyen d'apprendre des sciences a donné lieu à une méthode pédagogique appelée par les anglo-saxons Problem-Based Learning (PBL ;

Barrows 1988; Hmelo & Ferrari 1997), ou en France Apprentissage Par Problèmes (APP). Simon (1969) s'est intéressé à la résolution de problème (problem solving). Pour lui la tâche de conception est considérée comme un type de résolution de problème défini par trois propriétés : « 1) *the solution to the problem has to fulfil a need*, 2) *solving the problem is a creative process, no predefined algorithm exists*, 3) *the elaboration of an external representation or plan precedes the actualisation of a solution*. » [1] La solution du problème doit répondre à un besoin, 2) la résolution de problème est un processus créatif, il n'existe pas d'algorithme prédéfini. 3) l'élaboration d'une représentation externe ou d'un plan précède la solution. (Simon, cité par Marzin & de Vries 2011, p.4).

Le premier point implique que le problème proposé soit un vrai problème et qu'il enclenche une résolution motivée par la recherche d'une solution acceptable et faisable par celui qui s'implique dans sa résolution. Le deuxième point signifie que la situation proposée soit suffisamment ouverte pour qu'il n'y ait pas une seule solution vraie mais que plusieurs solutions soient possibles et acceptées. Enfin la réponse à un problème scientifique s'effectue dans un cadre théorique donné avec une méthodologie définie. Les représentations et le plan sont définis dans ce qui correspond à la partie matériels et méthodes des articles de recherche où sont définis le matériel, les procédures utilisées et des spécifications spatiales (le schéma du plan d'expérience) et temporelles (la liste d'actions du protocole).

Derrière la notion de résolution de problème, il y a la notion d'appropriation : l'élève fait sien le problème qui lui est proposé et il met en œuvre un processus de résolution qui va impliquer la mobilisation de ses propres connaissances. Cela signifie qu'il « reconnaît » le problème, qu'il pense qu'il a quelque chose à en dire, qu'il considère que le problème lui est accessible, qu'il arrive à s'en construire une représentation mentale à partir de laquelle il va pouvoir agir cognitivement et/ou concrètement. Nous proposons que la représentation mentale soit structurée par une représentation concrète, symbolique qui va aider l'élève à structurer sa pensée et à la faire évoluer. Selon Piaget nous construisons des représentations de plus en plus puissantes et sophistiquées par l'action, à la lumière de ce que ceci produit.

Donner du sens aux activités pratiques consisterait donc à faire un lien entre l'appropriation du problème et les activités réalisées étant entendues comme éléments de résolution du problème de départ. Pour Orange (1997) « *Pour qu'un modèle soit manipulable intellectuellement, il faut qu'il soit compréhensible et qu'il existe* » des outils intellectuels pour le transformer ».

La résolution de problème par l'expérience comprend selon nous les activités en lien avec les habiletés cognitives décrites dans le Tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : activités et habiletés cognitives à mettre en œuvre pour résoudre un problème par l'expérimentation

Activités	Habiletés cognitives
Résoudre un problème par l'expérimentation	
- Lire le problème	Traiter une information
- Analyser le problème	Analyser, raisonner, mettre en relation.
o Se représenter le problème	Se représenter.
o Interpréter le problème : le relier à un problème précédemment traité	Interpréter, comparer
o Le situer le relier à un modèle dans un cadre théorique donné (implicite ou explicite)	Analyser, mettre en relation.
- Reformuler le problème en un ou plusieurs sous-problèmes pour qu'il soit expérimentalement traité	S'approprier, traiter une information.
- Envisager un mode de traitement : choisir un mode de résolution possible	Anticiper, planifier.
- Représenter une solution	Représenter, construire une représentation symbolique de l'énoncé.
Formuler des hypothèses : proposer des « idées » de résolution du problème	
Concevoir un protocole : - Construire une représentation temporelle - Construire une représentation spatiale	Représenter, construire une représentation symbolique du test.

La formulation du problème va permettre son mode de résolution. La mise en œuvre expérimentale du test de l'hypothèse passe par la conception et la construction du protocole (au sens de design). La façon d'interpréter le problème et d'envisager son traitement est en lien fort avec les modèles utilisés par les élèves pour l'analyser et pour envisager son mode de traitement. Concevoir un protocole consiste à transformer des hypothèses en un plan expérimental représenté par des informations spatiales et temporelles.

4.3.5 Activité de conception

L'activité de conception de protocole a été analysée par plusieurs auteurs comme une activité de « *design* » et fait l'objet d'une pratique pédagogique particulière intitulée « *learning by design* » (LBD), au cours de laquelle les élèves sont impliqués dans une démarche d'investigation et dans la réalisation d'un projet. Pour comprendre quel processus est mis en œuvre pour transformer une hypothèse en un protocole expérimental, il nous paraît important de regarder comment cette activité est décrite d'un point de vue cognitif. Nous regardons l'activité de conception de protocole comme une tâche de conception d'un objet particulier (le protocole) dont il faudra définir précisément les contours.

En réponse à un besoin la tâche de conception d'une expérience vise à accomplir deux buts généraux : « 1) *answer the research question and 2) control all sources of variance* » [1 répondre à la question de recherche et 2) contrôler toutes les sources de variance] (Schraagen 1993).

Le fait qu'il n'existe pas une seule solution prédéfinie implique de façon plus détaillée que :

« *In experimental design in the life sciences, although some rough categories of activities can be distinguished, such as 1) analyzing and understanding the problem, 2) operationalize variables, 3) plan a sequence of events, and 4) check upon validity issues, a sure road for finding a solution is not available (i.e. no procedure for finding a suitable procedure).* » [Dans la conception de protocole en sciences de la vie, certaines catégories d'activités peuvent être distinguées comme 1) l'analyse et la compréhension du problème 2) l'opérationnalisation des variables 3) la planification d'une succession d'actions et 4) le contrôle du domaine de validité, une façon sûre de faire l'impasse sur certaines solutions (c.-à-d. qu'il n'y a pas de procédure pour trouver une procédure appropriée).] (Marzin & de Vries 2011).

Le protocole expérimental opérationnalise les hypothèses par une phase de test expérimental. Pour concevoir un protocole expérimental les élèves doivent se représenter le dispositif expérimental : le plan d'expérience (témoins, paramètres, variables), les éléments (objets et matériels) qui vont faire l'objet de prises de mesures et les éléments qui vont prendre des mesures. Comme nous l'avons dit précédemment deux types de représentations externes sont à formaliser par des spécifications spatiales (la localisation précise des points sur le crâne ; l'organisation des puits dans les boîtes de pétri) et temporelles (la succession des actions à effectuer pour matérialiser la valeur d'un angle facial ; la succession des actions à effectuer pour montrer l'importance de la structure tridimensionnelle des molécules dans la liaison Ag/Ac). Le passage de l'hypothèse au protocole nécessite des aides et des prises en charge car comme nous l'avons montré précédemment tout ne peut être conçu par les élèves.

L'activité de design a une fonction de motivation et d'implication. Les élèves impliqués dans une activité de design sont plus autonomes et il se sentent responsables de leurs apprentissages grâce à des activités de planification, d'évaluation, et de réflexion sur les procédures utilisées (Hmelo, Holton, & Kolodner 2000). « *By means of this process, learners construct meaning and internalize the knowledge they created (Kafai & Resnick 1996)* ». [Grâce à ces procédures, les élèves construisent du sens et internalisent les connaissances qu'ils ont créées. »] (Etkina 2010, p. 57). Selon Etkina, l'activité de conception implique les élèves dans des activités métacognitives comme planifier, contrôler et évaluer, qui permettent aux élèves d'internaliser les connaissances. Enfin l'activité de conception mobilise des conceptions initiales qui préparent les élèves à de futurs apprentissages scientifiques.

L'activité de travaux pratiques impliquant la conception de protocole est donc pour nous à la fois une activité de résolution de problème et une activité de conception. Ces deux activités mettent en œuvre des activités métacognitives, mobilisent des connaissances et des habiletés cognitives. Nous allons montrer grâce à deux exemples quels choix nous avons effectués pour concevoir les situations d'apprentissage et comment les élèves ont réalisé les tâches requises.

4.3.6 Deux exemples d'arbre des tâches

4.3.6.1 La mesure d'angles faciaux

L'arbre des tâches ci-dessous représente la partie expérimentale de la résolution d'un problème de paléontologie dont le but est de déterminer l'espèce de plusieurs fossiles de crânes d'Hominidés. Lors de l'évaluation des capacités expérimentales le protocole est donné aux élèves et ils doivent le suivre pour effectuer la mesure de l'angle facial. Nous avons transformé ce T.P. de façon à ce que les élèves conçoivent le protocole qui est représenté par la suite des actions de la ligne la plus basse de l'arbre des tâches (Figure 9).

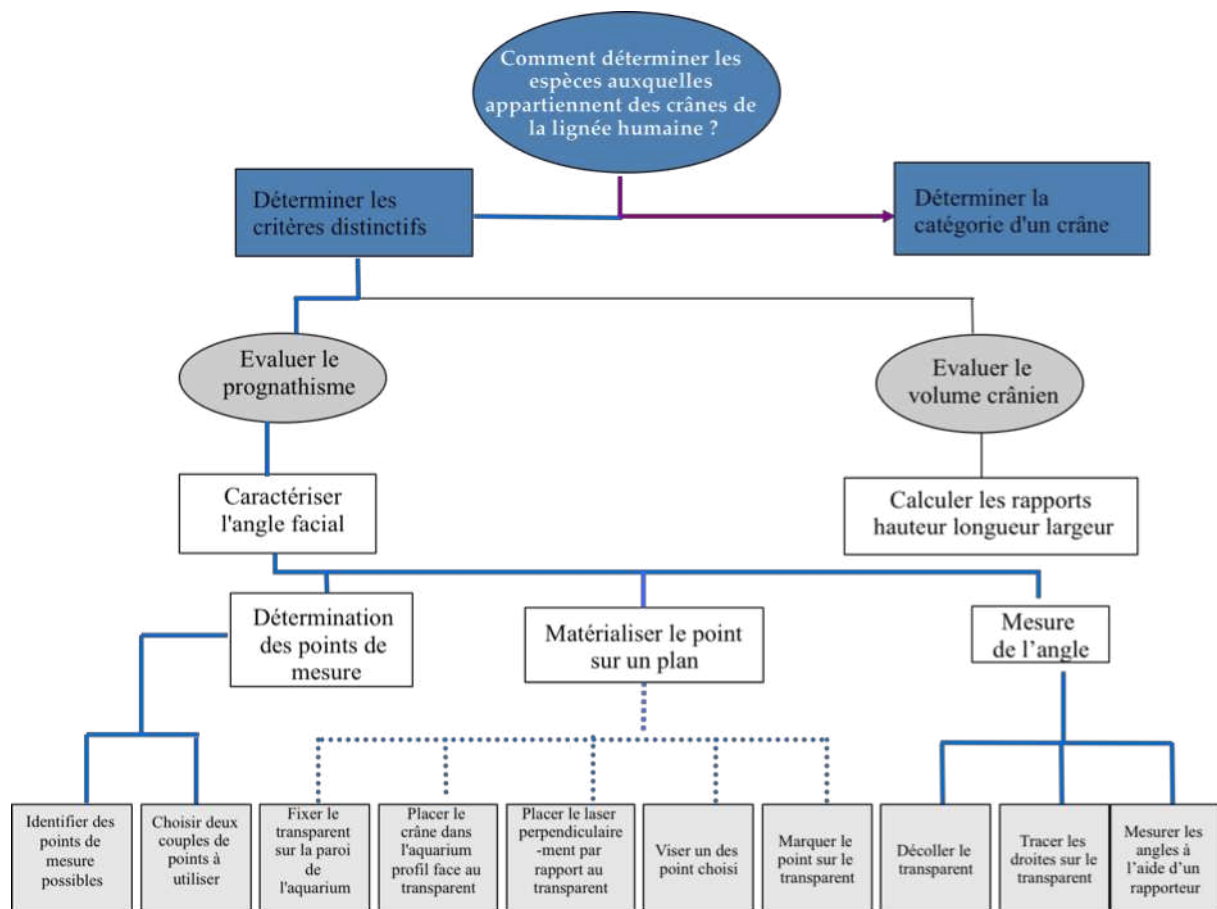


Figure 9 : arbre des tâches du T.P. mesure de l'angle facial

Cette situation réutilise un modèle théorique déjà vu par les élèves : la théorie de l'évolution et plus particulièrement l'évolution des hominidés et ses caractéristiques (notions d'espèce, d'ancêtre commun, de phylogénie des hominidés, d'actualisme). Il s'agit par ce T.P. de matérialiser l'évolution du prognathisme d'un crâne par la mesure de l'angle facial, et de se servir de cette mesure pour déterminer à quelle espèce appartiennent les crânes fossiles. Cette mesure est complétée par le calcul du rapport hauteur/longueur/largeur. Ces mesures permettent de mettre en tension le référent empirique et le modèle. En effet la détermination des points qui vont servir à la mesure de l'angle facial permet la construction de deux segments qui indiquent l'inclinaison de la face pour l'un et le plan de Francfort pour l'autre.

Le principe expérimental utilisé est l'évaluation du prognathisme par la mesure de l'inclinaison relative de la face par rapport au plan de Francfort. Cette mesure est obtenue par la construction de deux segments sur un volume (crâne) et leur projection sur un plan pour permettre la mesure d'un angle (Figure 10). L'évaluation du prognathisme est obtenue par la mesure d'un angle.

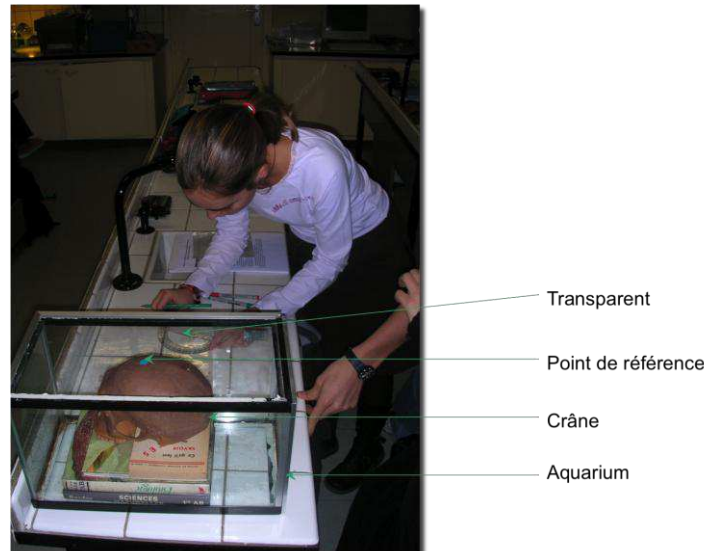


Figure 10 : dispositif technique de projection des points sur un plan

Les points doivent être les mêmes sur tous les crânes, ils doivent donc correspondre à des points remarquables et facilement repérables (Figure 11). Ils permettent de déterminer l'inclinaison de la face par rapport au plan de Francfort (qui est un référent horizontal fixe à partir duquel va être mesuré l'inclinaison de la face qui évolue en fonction du temps : plus l'évolution avance plus le prognathisme régresse et plus l'angle facial augmente). La comparaison entre les mesures prises sur les crânes et un tableau de référence de mesures d'angles prises par des paléontologues permet de faire des hypothèses sur les espèces.

<p>(A1) identifier les points de mesure possibles. (A2) choisir les deux couples de points. (A3) coller le transparent sur le plan. (A4) placer le crâne devant le plan. (A5) placer le pointeur laser perpendiculairement au transparent. (A6) viser chaque point. (A7) marquer chaque point sur le transparent. (A8) décoller le transparent. (A9) tracer les droites.</p>	
--	--

Figure 11 : protocole et points à déterminer sur le crâne pour mesurer l'angle facial α à partir de la construction de deux segments MN et OP

La construction de l'arbre des tâches et l'analyse du problème mis en relation avec les objectifs d'apprentissage, nous ont permis de prendre la décision de ne pas laisser la

technique de projection des points du crâne sur un plan à la charge des élèves. En effet cette technique complexe et inconnue des élèves ne pouvait s'inventer et surtout elle détournait les élèves de l'objectif premier que nous souhaitons leur assigner : la recherche de quatre points sur un crâne permettant de mesurer l'inclinaison de la face. Nous verrons par la suite que la recherche de ces points pose beaucoup de problèmes aux élèves, du fait de leur absence de connaissance de l'anatomie des crânes humains et du fait de leur conception de la notion d'angle.

4.3.6.2 La mise en évidence de l'importance de la structure tridimensionnelle des molécules pour la liaison antigène-anticorps.

Comme dans la situation précédente nous avons adapté un T.P. proposé dans la liste de l'évaluation des capacités expérimentales (ECE) en faisant concevoir le protocole expérimental aux élèves avant qu'ils le réalisent.

Présentation du T.P. détermination de l'importance de la structure tridimensionnelle pour la liaison antigène-Anticorps.

Extrait de Sanchez et al (2010)

Le modèle de liaison de l'anticorps avec l'antigène qui a été choisi l'a été pour plusieurs raisons : c'est un point important du programme d'immunologie de Terminale S. Il utilise les connaissances concernant la structure spatiale des protéines, notion qui a été abordée en première S et revue en terminale S lors de l'étude des conséquences des mutations dans le chapitre de génétique. Nous considérons que les élèves possèdent des connaissances suffisantes pour imaginer un protocole permettant de mettre en évidence son importance dans la liaison antigène-anticorps (liaison Ag-Ac) : par exemple, ils ont travaillé en première S sur des facteurs physiques ou chimiques qui perturbent la structure spatiale des enzymes et leur activité. Le travail effectué dans ce TP pourra donc permettre aux élèves de remettre en jeu leurs connaissances concernant la structure et l'activité des protéines, notions essentielles du programme de biologie au Lycée. Lors de la séance d'immunologie, la structure des anticorps et le fonctionnement de leur liaison à l'antigène sont connus. Les élèves ont déjà observé des résultats d'immunodiffusion par la méthode d'Ouchterlony, et ont étudié la structure tridimensionnelle des anticorps à l'aide du logiciel Rastop durant la séance précédente. La tâche proposée aux élèves est la conception et la réalisation d'un protocole expérimental permettant de mettre en évidence l'importance de la complémentarité spatiale pour la liaison Ag-Ac. Pour résoudre ce problème, ils doivent soumettre les anticorps et/ou les antigènes à des conditions permettant de modifier leur conformation spatiale, puis les mettre en contact pour en observer les conséquences sur leur liaison. Le choix des conditions de perturbation de la structure spatiale, et l'organisation de la rencontre entre les antigènes et les anticorps modifiés ou non sont les éléments déterminants de la séance. La consigne donnée est la suivante : « *Vous allez, au cours de cette séance, tenter de montrer que la liaison Antigène-Anticorps (Ag-Ac) dépend de la complémentarité spatiale de ces deux molécules* ».

Pour effectuer cette tâche, les élèves disposent de plusieurs documents qui présentent l'objectif de la séance (la conception d'un protocole), le modèle scientifique en jeu (la liaison dépendante de la complémentarité spatiale elle-même liée à la présence de liaisons hydrogènes et/ou de ponts disulfures), le problème à résoudre (la mise en évidence de l'importance de la complémentarité spatiale), une fiche sur les molécules disponibles (anticorps, molécules antigènes et agents agissant sur les protéines utiles ou inutiles que les élèves devront sélectionner) et une fiche technique sur la méthode d'immunodiffusion d'Ouchterlony (technique de mise en évidence de la formation de complexes immuns). Pour rédiger leur protocole, les élèves doivent écrire un texte et compléter le schéma des boîtes de réaction.

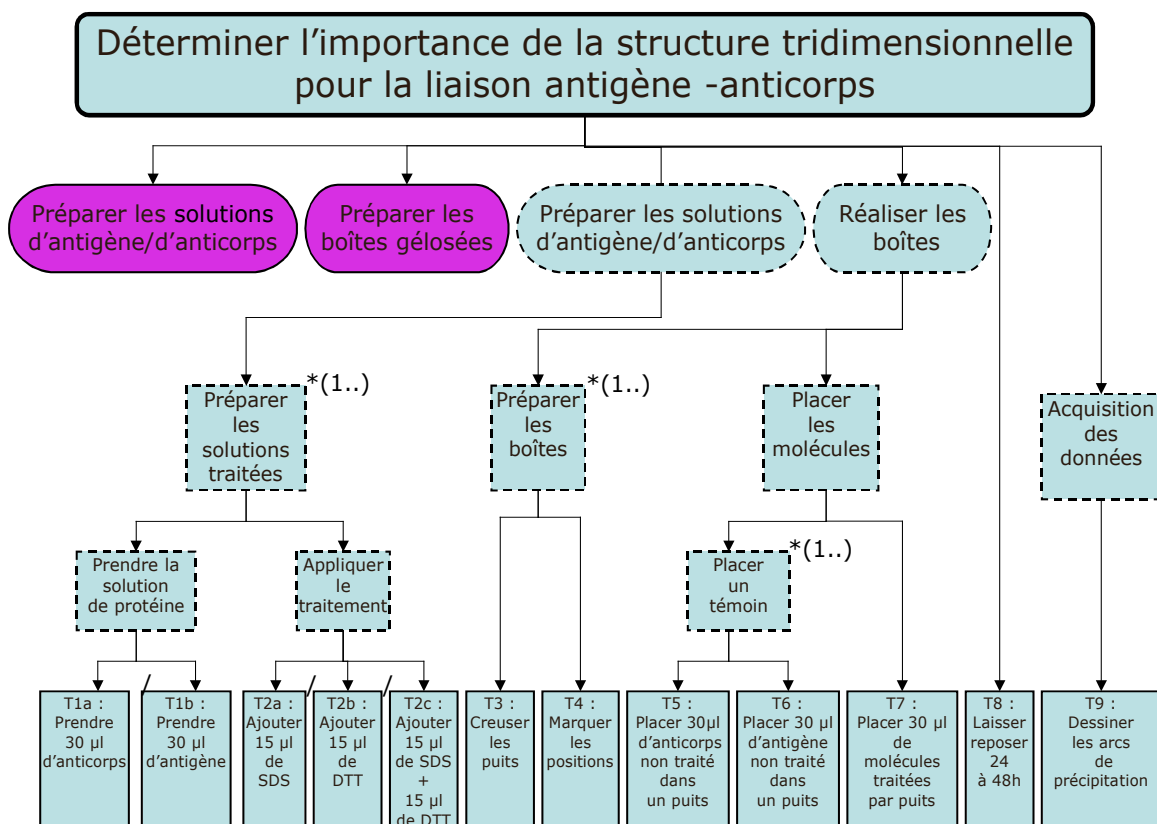


Figure 12 : un arbre des tâches du T.P. structure tridimensionnelle de la liaison antigène-anticorps

Comme dans l'exemple précédent certaines tâches de structuration n'ont pas été détaillées car elles ont été prises en charge par les enseignants : la préparation des solution d'antigène et d'anticorps ainsi que la préparation des boîtes de gélose. D'autres tâches techniques comme le creusement des puits dans la gélose ont été explicitées aux élèves. La liste des molécules utilisées est donnée ainsi que leur mode d'action sur les molécules. Les quantités requises sont aussi données aux élèves.

Extrait de la fiche technique donnée aux élèves

Coagulation

Une *température de 100°C* pendant 3 minutes provoque une coagulation des molécules de protéine. Celles-ci forment des agrégats de grande taille (elles se collent les unes sur les autres) et deviennent insolubles dans l'eau.

Coloration des protéines

Les protéines se colorent par la *réaction dite du biuret*. En milieu alcalin (hydroxyde de sodium) les liaisons peptidiques des protéines réagissent avec les ions cuivriques pour former des complexes de coloration rouge.

Mélanger 30 µl de la solution protéique étudiée et 120 µl de solution du biuret. Bien agiter, laisser les tubes pendant 30 minutes à la T° ambiante.

Hydrolyse des protéines

L'*acide chlorhydrique* à chaud HCl 6 N, à 110°C, pendant 24 à 72 heures provoque une hydrolyse acide des protéines (rupture des liaisons peptidiques). Mélanger 30 µl de la solution protéique étudiée et 30 µl de solution d'acide chlorhydrique.

Rupture des ponts disulfures

Le *Dithiotreitol* (DTT) rompt les ponts disulfures des protéines.

Mélanger 30 µl de la solution protéique étudiée et 5 µl de solution de DTT à 20 %.

Rupture des ponts hydrogène

Le *Sodium Dodécyl sulfate* (SDS = détergent) est un agent qui se fixe sur les protéines, et rompt les liaisons hydrogènes.

Mélanger 30 µl de la solution protéique étudiée et 5 µl de solution de SDS à 20 %.

Par contre le traitement des anticorps et des antigènes, le plan expérimental c'est-à-dire l'organisation des solutions à l'intérieur des boîtes, la présence d'un témoin est aussi à la charge des élèves.

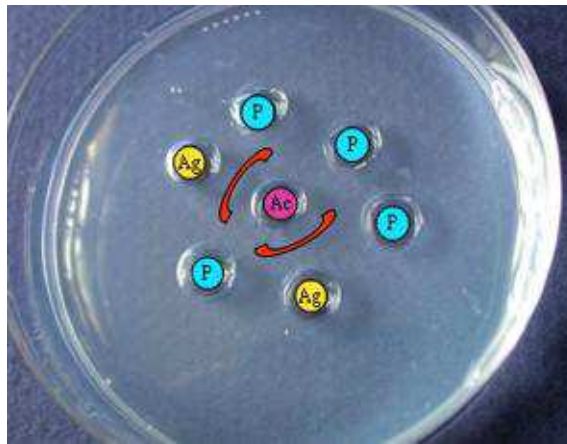


Figure 13 : principe du test Ouchterlony, double diffusion sur gel pour visualiser la formation d'un complexe immun

Le principe expérimental utilisé est la dénaturation de liaisons spécifiques qui a pour conséquence la modification de la structure des molécules sans les détruire totalement. Là encore les conceptions que les élèves ont de la structure des molécules et surtout la connaissance de leur conformation spatiale par la mise en place de liaisons fortes et faibles va être déterminante pour la conception de protocoles permettant de répondre au problème de départ.

4.4 La conception de protocoles expérimentaux par des élèves de terminale S

Dans le deuxième axe de recherche du projet Copex quatre T.P. ont été conçus et testés en Biologie, Chimie, Physique et Sciences de la Terre. Le but de ces tests était de mettre en évidence les principales caractéristiques des situations qui intègrent la conception de protocole. Dans l'extrait ci-dessous sont rédigées les questions de recherche et les types de résultats attendus au cours du projet Copex.

Extrait du rapport final du projet Copex, (Girault et al, 2008)

Les questions de recherche de cette étape du projet sont :

- Comment concevoir des travaux pratiques qui intègrent la conception de protocole par les élèves ?
 - Quelles sont les conditions à mettre en œuvre pour guider les élèves dans cette activité ?
 - Quels sont les invariants et les spécificités entre les disciplines ?
 - Quelles sont les variables didactiques de la situation ?
- Quelles sont les productions spontanées des élèves quand on leur demande de concevoir un protocole expérimental ?
- Quelles difficultés rencontrent les élèves pour concevoir un protocole ?
- L'activité de conception de protocole favorise-t-elle la mobilisation des savoirs et des modèles en jeu dans les travaux pratiques ?

Les résultats présentés concernent :

- **l'ingénierie didactique.** Nous proposons en particulier des recommandations pour concevoir une situation de travaux pratiques intégrant la conception de protocole expérimental par les élèves. Les conditions concernent la forme des fiches T.P. pour la production des élèves (textes, schéma, ...) et les guidages à proposer pour que cette production soit opératoire ; les consignes ; le découpage temporel des séances ; la transposition des critères définissant un protocole.
- **l'analyse des productions des élèves.** Elle porte sur l'étude des représentations externes des élèves quand ils formalisent un protocole, et sur les connaissances mobilisées (les conceptions) par les élèves quand ils conçoivent un protocole. Certaines analyses (en chimie et en biologie) ont porté sur les connaissances mobilisées par les élèves. Nous avons aussi étudié les apprentissages effectifs (dans le T.P. portant sur la réaction antigène-anticorps).
- **des préconisations pour l'EIAH,** qui tiennent compte des résultats précédents.

Si les objectifs et les questions de recherche sont transversaux aux quatre projets, les méthodologies utilisées et les publics sont différents pour les quatre disciplines. Nous détaillerons les situations mises en œuvre et les résultats obtenus pour le T.P. de paléontologie et pour celui d'immunologie. Cette présentation vise à montrer comment la modélisation présentée ci-dessus a permis la mise en œuvre des situations, quelles sont les réussites et les difficultés des élèves impliqués dans cette situation, les leçons à tirer et les recommandations qui en découlent et enfin les questions de recherche qui émergent à la fin du projet.

4.4.1 La mesure de l'angle facial

La conception de ce T.P. a été effectuée sur la base d'un T.P. existant et qui fait partie de la base de données des sujets de l'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales (ECE) du

baccalauréat français. Cette épreuve a pour but de tester les capacités méthodologiques et techniques des élèves (cf § 3.2.4).

Au cours de ce T.P. les élèves devaient mettre en œuvre les protocoles de mesure de l'angle facial et de mesure du volume des crânes. Les enseignants impliqués dans le projet nous ont fait part du constat que ce T.P. était mal mis en œuvre par les élèves. Les élèves positionnaient mal les points sur le crâne alors que la position des points était donnée dans le protocole. Les enseignants interprétaient cette absence de réussite par un défaut d'observation des crânes. Quand ensemble nous avons cherché un T.P. où les élèves devraient concevoir le protocole, ils ont pensé que le fait d'avoir à rechercher la position des points sur les crânes amènerait les élèves à appréhender différemment les crânes et à se construire une meilleure connaissance des sutures, des trous, des os qui constituent un crâne d'hominidés.

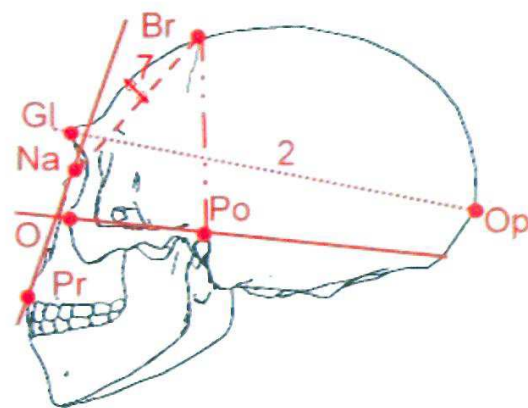
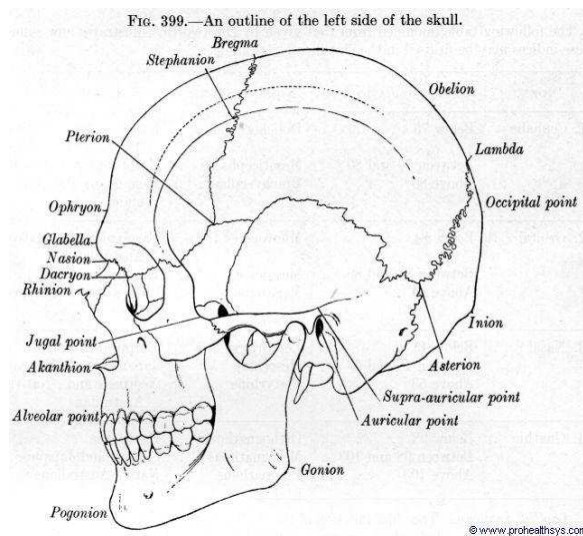
4.4.1.1 Le problème posé aux élèves et la situation

Nous avons présenté plus haut l'arbre des tâches qui a été conçu pour ce T.P. de paléontologie. La tâche concrète proposée aux élèves est de déterminer l'angle facial de plusieurs crânes d'hominidés. Pour résoudre ce problème ils doivent déterminer 4 points caractéristiques sur le crâne et projeter ces points sur un plan, pour obtenir deux segments à partir desquels ils vont mesurer l'angle alpha (Figure 11). Cette valeur mesure l'angle facial du crâne étudié, qui est un indicateur du prognathisme. La consigne donnée aux élèves est la suivante : « *Vous allez, au cours de cette séance, élaborer un protocole de mesure d'angle facial pour évaluer le prognathisme et effectuer une mesure d'angle facial. Cette mesure d'angle facial est utilisée par les paléontologues pour identifier un crâne.* » Le modèle scientifique actuellement retenu postule que plus le prognathisme est faible, plus l'angle est grand, plus l'espèce d'hominidé à laquelle appartient le crâne est apparue récemment.

Pour effectuer cette tâche les élèves disposent de plusieurs documents qui présentent l'objectif de la séance (la conception d'un protocole), le modèle scientifique en jeu (l'évolution du prognathisme dans la lignée humaine), le problème à résoudre (l'évaluation du prognathisme), des définitions (l'angle facial) et l'explication de la méthode de mesure (projection des points sur un plan). Ce travail a été effectué en collaboration avec Erica de Vries concernant la méthodologie de recueil des représentations externes des élèves dans la fiche T.P. et l'analyse des productions d'élèves.

4.4.1.2 Le protocole expert

En paléontologie, l'angle facial est défini comme « l'angle formé par l'intersection entre le segment qui lie le nasion et le prosthion avec le plan de Francfort, et il est utilisé pour mesurer le prognathisme » (medical.merriam-webster 1). Le nasion (Figure 14) se trouve à l'intersection de l'os nasal et des deux os frontaux du crâne humain. Il forme une dépression entre les deux yeux, juste au-dessus du nez. Le prosthion est le point localisé entre les deux incisives. Le plan horizontal de Francfort est « un plan utilisé en craniométrie comme le point le plus haut du canal auditif (Po) et le point le plus bas de l'orbite gauche (O) et il est utilisé pour orienter le crâne humain de façon à ce que ce plan soit horizontal. » (medical.merriam-webster 2).



Br = Bregma Op = Occipital Protuberance
 Gl = Glabella Pr = Prosthion
 Na = Nasion Po = Porion
 O = Orbitale O-Po = Plan horizontal de Frankfort

a)

b)

Figure 14 (a et b) : points remarquables sur des crânes et mesure de l'angle facial (source Naddam)

Les concepteurs des programmes ont simplifié la formulation utilisée par les paléontologues pour désigner les points et ils ne mentionnent pas le plan de Francfort.

4.4.1.3 Analyse didactique de la situation

Nous avons effectué une analyse didactique du savoir de référence et nous avons identifié les savoirs précis à mobiliser par les élèves pour obtenir une valeur de l'angle pertinente. Cette analyse didactique nous renseigne sur les décisions à prendre par les élèves, et sur les difficultés *a priori* qu'ils peuvent rencontrer.

En concevant cette situation d'enseignement, nous avons été confrontés au fait que la détermination de l'angle facial dépendait d'abord de la construction mathématique et des connaissances liées à propos des notions de points, de lignes et d'angles. En fait les élèves doivent savoir que 1) un point a une localisation précise dans l'espace, 2) une droite est infiniment fine, infiniment longue, et contient un nombre infini de points 3) une droite peut être construite à partir de deux points 4) si deux droites, sont situées dans deux plans qui ne sont pas parallèles alors il existe un point qui relie les deux droites 5) un angle est formé par deux droites qui se croisent en un point commun appelé le sommet de l'angle, 6) un angle est défini par l'inclinaison entre deux segments. Dans sa revue de littérature sur les notions d'angle dans l'enseignement secondaire, Vadcard (2002) a mis en évidence un certain nombre de difficultés dont trois pourraient jouer un rôle dans la détermination de l'angle facial.

Le modèle mathématique de la notion d'angle est un obstacle à la construction de l'angle facial

La première serait due au fait que les élèves se sont construits une notion prototypique de l'angle à partir des différentes représentations qu'ils ont rencontrées au cours de leur cursus scolaire. Pour eux un angle est avant tout un objet mathématique. En effet les élèves confondent souvent une figure et un dessin, comme l'a aussi montré Duval (1995).

Combien de points choisir ?

En mathématique, les angles sont souvent représentés à partir de trois points, l'angle étant alors mesuré au niveau du point d'intersection des deux droites. Trois points suffisent alors pour construire un angle. Or cette représentation n'est pas pertinente ici, puisque quatre points doivent être choisis pour définir deux segments à partir desquels il sera possible de construire l'angle facial : un segment à la base horizontale du crâne et un segment sur la face. Ainsi, l'intersection entre les deux segments définit un cinquième point qui peut ou non coïncider avec un des quatre points choisis.

Définir une référence horizontale interne aux crânes

La dernière difficulté décrite par Vadcard (2002) réside dans le fait de considérer l'angle en référence à une direction horizontale. En effet, il est plus difficile pour les élèves de penser la notion d'angle comme l'inclinaison entre deux directions plutôt que l'inclinaison entre une droite comparée à la direction horizontale. En construisant l'angle facial, les élèves peuvent oublier de déterminer la deuxième droite qui doit correspondre à peu près à la référence horizontale. Il est important que les élèves construisent une référence horizontale, interne au crâne, indépendamment des autres directions du crâne. C'est l'inclinaison de la direction de la face avec cette référence horizontale qui va permettre de définir l'angle facial de façon rigoureuse et reproductible sur tous les crânes. En effet cette référence sera conservée sur tous les crânes, seule l'inclinaison de la face sera modifiée en fonction de l'évolution, c'est ce qui permettra de mesurer le prognathisme.

Résumé des éléments de l'analyse a priori

- **Le problème à résoudre**
 - Déterminer les espèces auxquelles appartiennent des échantillons fossiles (crâne)
- **Le Modèle théorique : la théorie de l'évolution**
 - Notion d'espèce
 - Notion d'ancêtre commun
 - Phylogénie des hominidés
 - Actualisme
- **Connaissances mobilisées**
 - Prognathisme
 - Echantillon fossile
 - Anatomie des crânes
 - Angle : inclinaison entre deux directions
 - Représentation d'un volume sur un plan par projection
- **Référent empirique**
 - crânes (sutures, enfoncements, os),
 - aquarium,
 - crayon laser,
 - support pour le crayon laser,
 - transparent,
 - feutre,
 - rapporteur,
 - crayon,
 - données de référence des paléontologues
- **Situation expérimentale**
 - Matérialiser l'évolution du prognathisme d'un crâne par la mesure de l'angle facial (lien entre référent empirique et modèle).
- **Tâche expérimentale**
 - Construire un angle facial à partir de la projection de points repérés sur un crâne.
- **Conceptions**
 - Un angle est construit à partir de trois points et de deux droites qui se rejoignent en un point situé au sommet de l'angle.
 - Le crâne est formé d'un seul os.

4.4.1.4 Méthodologie

Trois situations différentes ont été mises en place pendant deux années consécutives en 2006 et en 2007, dans deux lycées de l'académie de Grenoble avec deux enseignants, Réjane Monod-Ansaldi (lycée Claude Bernard de Villefranche-sur-Saône, 69) et Daniel Devallois (Lycée présentation de Marie de Saint-Julien-en-Genevois, 74). L'échantillon total est composé de 99 élèves de terminale S. Pour formaliser leur protocole, les élèves peuvent rédiger un texte, compléter le schéma d'un crâne et le légènder, ou réaliser un schéma libre (Figure 15). Chaque séance d'enseignement dure quatre-vingt-dix minutes. Le protocole de référence, tel que nous l'avons défini, est composé de 10 actions (Figure 11).

Selon la version du T.P., le support proposé aux élèves sur la fiche T.P. pour détailler leur protocole de mesure comprend un schéma, une légende, et un espace vierge pour dessiner un schéma ou un dessin (Figure 15).

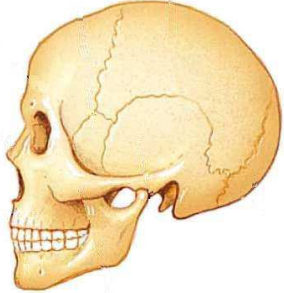
	Légende :
Schéma ou dessin avec sa légende :	

Figure 15 : schéma et cartouches à compléter par les élèves

Nous avons ainsi regardé plus particulièrement dans les productions des élèves :

La représentation temporelle : lors de cette étape nous étudions comment les élèves organisent la mesure de l'angle facial dans le temps. Pour cela, nous avons regardé si les élèves avaient produit un protocole et s'il était présenté sous forme de texte. Puis nous avons analysé les textes des protocoles rédigés en regardant plus précisément la succession des actions, leur fréquence et le nombre total d'actions utilisées dans les protocoles au cours des trois expérimentations réalisées, par comparaison au protocole expert.

La représentation spatiale a consisté à étudier la façon dont les élèves construisent l'angle facial. Pour cela ils doivent choisir des points sur le crâne et ils doivent relier ces points. Pour cette représentation nous avons utilisé les critères suivants :

- Le choix des points :
 - Le nombre de points
 - La localisation des points sur le crâne
- les liens entre les points
 - La direction des droites (la prise en compte ou non de la référence horizontale)
 - le lien entre les droites (la présence d'une représentation des lignes (segment), le point d'intersection entre les lignes).

L'expérimentation s'est déroulée en trois étapes, modifiée à partir des résultats observés dans les productions des élèves, selon la méthodologie du « *design experiment* » définie par Brown (1992), selon laquelle l'expérimentation évolue en fonction des résultats de recherche

obtenus. Au cours de ces trois étapes nous avons fait varier différents éléments de l'expérimentation. Nous avons introduit graduellement quatre critères utilisés pour définir un protocole aux élèves (pertinence, reproductibilité, exécutabilité et communicabilité), et un guidage pour la formalisation des représentations externes des élèves (Tableau 4).

Etape 1. Au cours d'une première phase exploratoire (dix-huit trinômes), nous avons testé la façon dont les étudiants conçoivent et rédigent un protocole expérimental. Les élèves devaient définir et contrôler la totalité des dix actions.

Etape 2. Une nouvelle situation (douze trinômes) a été conçue en éliminant le contrôle de la perpendicularité par les élèves : l'enseignant a pris cette tâche à sa charge et doit la contrôler pour les élèves. Nous avons choisi d'alléger le contrôle de cette tâche car il nous a semblé qu'elle n'était pas en lien direct avec le concept de prognathisme et son contrôle posait beaucoup de problème aux élèves. Nous avons introduit des retours du milieu, au sens de Brousseau (1998) en proposant des crânes sans mandibule inférieure et des mesures sur au moins deux crânes présentant des caractéristiques différentes. Ces retours du milieu avaient pour but de renvoyer des informations aux élèves sur leurs critères de choix des points sur le crâne. C'est-à-dire la non-pertinence du choix de points placés sur la mâchoire inférieure (souvent absente) ou sur le bourrelet sus-orbitaire (non en lien direct avec le prognathisme). Les retours du milieu ne portent pas sur le résultat (valeur de l'angle) mais sur la façon de l'obtenir (la pertinence du choix des points) et sur la communicabilité du protocole. La validation s'est effectuée entre les binômes quand ils ont échangé leurs protocoles et par la confrontation avec les données expérimentales de références données aux élèves dans la fiche T.P.

Etape 3. Au cours d'une troisième expérimentation (six trinômes), nous avons ajouté une situation de communication entre les élèves : le protocole devait être rédigé pour un autre groupe d'élèves d'un autre établissement scolaire, qui doivent réaliser les mesures en suivant le protocole. Les résultats présentés ici concernent uniquement l'analyse des traces écrites des élèves. Nous avons comparé les protocoles rédigés par les élèves en référence au protocole de référence.

Tableau 4 : création des conditions de la conception d'un protocole de mesure

Critères	Expérimentation 1 n = 12 trinômes	Expérimentation 2 n = 3 trinômes	Expérimentation 3 n = 18 trinômes
Pertinence (validité)	“Choisissez des points”	“Choisissez quatre points”	“Choisissez quatre points, construisez deux segments et justifiez vos choix”
Supports proposés pour les représentations externes	Un schéma avec un espace pour une légende, un espace pour le texte du protocole guidé par des lignes prénumérotées.	Une feuille blanche	Idem expérimentation 1
Reproductibilité	“Détaillez votre protocole. Répéter la mesure sur le même crâne.”	“Détaillez votre protocole. Répéter la mesure sur un autre crâne”	Idem expérimentation 2
Communicabilité	“Echanger votre protocole avec un autre groupe et effectuer des corrections.”	“ Echanger votre protocole avec un autre groupe et rédiger un protocole commun”	Idem expérimentation 2 “Le nouveau protocole sera envoyé à des élèves d'un autre établissement.

Lors de ces situations nous avons choisi de « faire vivre » les critères au travers des activités proposées dans la situation. Les élèves n’ont pas eu à prendre en charge ou à donner leur avis à propos des critères. Ils ont été présentés dans la fiche T.P., mais les élèves n’ont pas eu à les prendre en charge en tant que tel. Ils pouvaient s’en servir s’ils le souhaitaient, mais nous n’avons effectué aucun contrôle sur leur utilisation réelle.

4.4.1.5 Résultats

Représentation temporelle

Dès la première expérimentation, la plupart des élèves a réussi à rédiger le texte d’un protocole expérimental. L’étude du nombre d’actions rédigées en fonction des versions de T.P. montre un nombre moyen d’actions autour de 5 dans les premières versions (Tableau 5). Le nombre d’actions augmente lors de l’expérimentation 3. Les élèves ont rédigé en moyenne 4,5 actions dans leurs protocoles. Nous avons observé une différence entre les différents tests. Durant les tests 1 et 3 les élèves ont rédigé une moyenne de 6 actions (médian = 6,5), en fait lors du test 2 la plupart des élèves n’a pas rédigé de test (8 groupes/12). Cela est certainement dû à l’absence de guidage (présence de lignes sur la fiche T.P.) pour la rédaction du texte. Les élèves se sont contentés de placer les points sur le schéma vierge. Nous pensons que lors de cette expérimentation les élèves ont pris en compte le critère de communicabilité. Lors de cette version de T.P., les élèves devaient en effet rédiger un protocole pour des élèves d’un lycée distant. Cette analyse montre que la mise en œuvre de critères de communicabilité et

l'explication de la forme attendue du texte du protocole améliore le nombre des tâches des protocoles produits. Aucun groupe n'a rédigé un protocole complet comportant 10 actions. La fréquence d'apparition des actions augmente aussi lorsque la fiche T.P. propose un support pour le texte avec des lignes pré-numérotées.

L'étude du tableau 5 montre que toutes les actions décrites dans l'arbre des tâches n'ont pas été rédigées : seules les actions A4, A5 et A9 ont été rédigées par tous les élèves. Les actions A1 « identifier les points de mesure possibles », et (A2) « choisir les 2 couples de points » ont été présentées par l'intermédiaire du schéma, mais n'ont pas été rédigées par un texte dans le protocole. Les tâches A8 « décoller le transparent » et A10 « mesurer l'angle à l'aide d'un rapporteur » ont été globalement peu rédigées, elles sont probablement considérées comme inutiles car allant de soi pour les autres élèves.

Tableau 5 : fréquence d'apparition de chaque action (pour les tests 1 et 3, la fiche T.P. présentait des lignes préformées pour rédiger le texte).

Actions	Test 1 (n=12)	Test 2 (n=3)	Test 3 (n=18)	Total
1. Identifier les points sur le crâne	12	1	8	21
2. Choisir deux couples de points	1	0	4	5
3. Fixer un transparent sur la paroi de l'aquarium	9	3	4	16
4. Placer le crâne dans l'aquarium	8	2	7	17
5. Pointer le laser perpendiculairement à la paroi de l'aquarium	6	3	6	15
6. Viser chaque point	8	1	6	15
7. Marquer les points sur le transparent	8	1	5	14
8. Enlever le transparent	0	0	2	2
9. Tracer les droites	12	2	7	21
10. Mesurer l'angle avec le rapporteur	10	1	6	17

Représentation spatiale

Le nombre de points

Le Tableau 6 indique le nombre de points utilisés par les élèves pour construire l'angle facial. Dans la première et dans la seconde expérimentation la plupart des groupes utilisent seulement 3 points. Dans la troisième, une large majorité d'élèves choisissent d'utiliser quatre points. Cela est dû au fait que nous avons demandé aux élèves de choisir 4 points pour construire l'angle facial. Si cette précision n'est pas faite, les élèves choisissent spontanément 3 points.

Tableau 6 : nombre de points utilisés par les groupes d'élèves dans les trois expérimentations

Nombre de points	-	1	2	3	4
Expérimentation 1 (n = 12 groupes)	1	0	0	10	1
Expérimentation 2 (n = 3 groupes)	0	0	0	3	0
Expérimentation 3 (n = 18 groupes)	1	0	0	3	14

La façon dont les élèves construisent l'angle facial est largement influencée par leurs conceptions sur l'angle. La Figure 16 montre quatre types de construction de l'angle facial par les élèves. La totalité des élèves n'a pas dessiné de segments entre les points, neuf groupes dans l'expérimentation 1 et quatre groupes dans l'expérimentation 3 ne représentent pas de lien entre les points. Ces quatre exemples ont été catégorisés en trois types de conceptions.

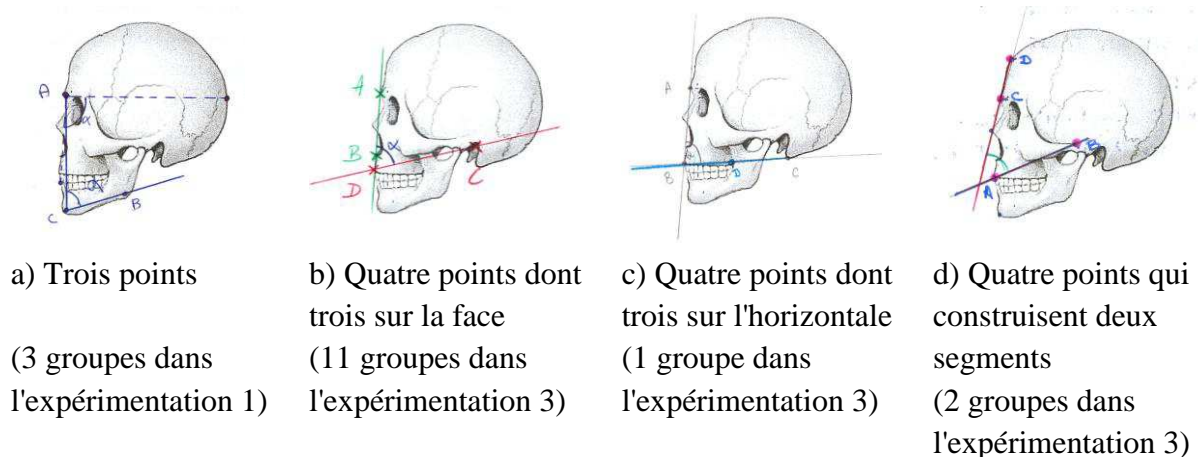


Figure 16 : quatre exemples de la construction d'angle facial par les élèves

Conceptions spontanées

Dans la première représentation, seulement trois points sont utilisés pour construire un angle (Figure 16a). Les élèves déterminent deux points sur la face et deux autres points ailleurs sur le crâne. Un des points représente le sommet de l'angle, un point ne sert à rien. Cette représentation a principalement été produite lors de l'expérimentation 1, au cours de laquelle peu de groupes d'élèves ont terminé le schéma en traçant réellement les lignes (seulement 3 groupes sur 12). Ce type de représentation correspond aux conceptions spontanées des élèves à propos de la notion d'angle à partir de trois points, dont un des trois points est à l'intersection des deux droites.

Conception intermédiaire

Dans la troisième expérimentation, les élèves ont produit quatre points comme il leur était demandé. Mais ils ne les ont pas connectés deux par deux pour construire deux segments. En reliant les quatre points les élèves utilisent un des points comme sommet de l'angle. Les deux solutions impliquent trois points sur la face et un point sur l'horizontale (Figure 16b) ou trois points sur l'horizontale et un point sur la face (Figure 16c). Ces deux constructions correspondent à une conception intermédiaire, afin de trouver un compromis entre la demande des quatre points dans la fiche T.P. et leur conception de la notion d'angle à partir de trois points. En fait, pour les élèves, aligner trois points sur quatre est plus contraignant que de choisir des points. Les élèves peuvent mettre en œuvre cette stratégie sur un crâne mais ils ne pourront la reproduire sur d'autres crânes.

Conception experte

Finally, an expert construction was built from four points to construct two segments, one on the face, the other on the horizontal. The expert construction of an angle does not require that a point corresponds to the vertex of the angle. Only two groups of students elaborated this strategy (Figure 16d). But in this construction, it seems there is a problem linked to the horizontal reference.

4.4.1.6 Discussion et conclusion

During these sessions, only a few groups of students succeeded in choosing correct points on the skull. In fact, students must face many difficulties: they have little worked on the concept of evolution, they have never had a learning situation about cranial anatomy and they lack practice in observing skulls. Moreover, their mathematical knowledge did not help them to conceive an angle as the inclination between two directions because this definition is rarely used in the math class (Vadcard 2002). The results also show that students have difficulties in constructing a horizontal reference. In fact, out of a total of 33 groups, 10 groups did not place points on the horizontal direction. In the experiment 3, most students managed to construct segments following two directions, but we cannot conclude at the end about their understanding of the facial angle.

These results show the relevance of a didactic analysis of knowledge to mobilize for students. They highlight the strong link that exists between this mobilization of knowledge and the success of the practical task. Here, the knowledge constructed in mathematics is an obstacle to the success of the task. In the present case, a study of the blank white paper of the evaluation of experimental capacities showed that students had important difficulties in executing the protocol given to measure the facial angle, because they were unable to find precisely the points, not being able to look at a skull as a paleontologist. The next step would consist in proposing to students to compare their protocol with the protocol of paleontologists and to make them reflect on the criteria used by scientists. This is what we are doing currently since 3 years, with a group of students in license 2, in a pre-master module, at the University Joseph Fourier.

The pre-structuring of the T.P. sheet with numbered lines seems to have helped students to understand the form of the text expected for the protocol writing. This result will help us in the future to conceive the Copex protocol editor. The communication situation proposed to students (send the protocol to distant students) was determinant to obtain a level of explicitation consequent in the actions of the protocol.

Behind the criterion « quality of data acquisition », there are decisions that are underpinned by knowledge. These decisions are often implicit in practical work, students are not aware of the knowledge they mobilize. For this reason they do not know if they are right or wrong. A formalization of choices and

des décisions grâce à l'explicitation des paramètres est une solution pour aider les élèves à prendre conscience de leurs difficultés pour les faire évoluer positivement. C'est aussi une voie pour faire des liens explicites entre le registre du modèle théorique mobilisé et le registre empirique de l'expérience.

4.4.2 Le complexe antigène-anticorps

La présentation de ce T.P. est moins détaillée que le précédent. Les objectifs de l'analyse sont différents de ceux poursuivis pour le T.P. de paléontologie. Dans le cas présent une analyse des conceptions des élèves en immunologie a été effectuée à l'aide d'une méthodologie pré post-test. L'analyse de la tâche conception de protocole par les élèves a été effectuée de façon moins approfondie que pour le T.P. précédent. Ce travail a fait l'objet du mémoire de master 2R de Chapel.

Le sujet de T.P. choisi est celui présent dans la base de données ECE sur la liaison antigène-anticorps. Le T.P. a été axé sur le modèle de complexe immun (comment la structure tridimensionnelle intervient dans la mise en place de la liaison antigène - anticorps). Les élèves doivent :

- Agir sur la spécificité.
- Modifier la structure, la forme de l'anticorps ou de l'antigène.

Cela afin de supprimer la structure tridimensionnelle de la molécule, nécessaire à la mise en place de complémentarité spatiale entre les deux molécules. Cette réflexion est à la base de la conception du protocole, les aspects techniques de l'expérimentation sont présentés aux élèves dans des fiches techniques. L'utilisation du test Ouchterlony a été imposée aux élèves.

4.4.2.1 Méthodologie

Expérimentation

L'expérimentation de ce T.P. d'immunologie a été réalisée lors de l'année scolaire 2006-2007 auprès des 8 élèves de M. Devallois et auprès des 36 élèves de Mme Monod-Ansaldi. Différentes fiches nécessaires à la séance de travaux pratiques ont été créées :

- Une « fiche-réponse » avec différentes questions qui conduisent les élèves à construire et réaliser un protocole à partir de leurs connaissances et des différentes fiches techniques distribuées.
- Des fiches techniques.

Dans les deux lycées, l'expérimentation s'est déroulée après la partie de l'enseignement d'immunologie du programme de terminale S portant sur les réactions immunitaires. Les expérimentations se sont déroulées le 19 mars 2007 à Villefranche-sur-Saône et le 24 mai 2007 à Saint-Julien-en-Genevois. L'enseignement d'immunologie s'est terminée par ces séances de T.P. (le T.P. en lui même et une séance d'analyse des résultats distant d'une semaine).

Pré-test / post-test

Le pré-test est formé de trois parties :

- Une partie immunologie, à réaliser en classe pendant 20 minutes. Les élèves doivent donner leurs définitions sur les termes d'immunologie abordés lors de la séance de travaux pratiques.
- Une partie T.P. – Protocole, à compléter à la maison avec des questions sur les protocoles et leur évaluation, ainsi que sur la vision des élèves sur les séances de travaux pratiques.
- Une partie d'analyse de protocole, dans laquelle les élèves doivent classer différents protocoles expérimentaux pour observer si les critères définis correspondent à ceux qu'ils utilisent. Ces critères sont ensuite comparés à ceux définis par les chercheurs.

Les mêmes questions sur l'immunologie et les protocoles ont été proposées aux élèves lors du post-test qui porte uniquement sur des questions d'immunologie et qui ne les questionne pas sur leur vision des séances de travaux pratiques ni sur le classement des protocoles.

Corpus

En ce qui concerne le pré-test et le post-test, les données sont les productions écrites individuelles des élèves. Pour la partie expérimentation, le corpus de données est composé de :

- productions écrites (tous les groupes).
- enregistrements vidéo (4 groupes).
- enregistrements audio (tous les groupes et l'enseignant).

Les données écrites sont les productions des élèves réalisées lors du T.P. ainsi que l'interprétation des résultats lors du travail à la maison. Les fiches-élèves sont remplies en partie par groupe de trois élèves et en partie par groupe de six, seule la partie sur les résultats est individuelle.

Traitement des données

Les réponses écrites des élèves au pré-test et au post-test sont comparées aux réponses attendues. Ces dernières sont complétées par les réponses des élèves qui n'avaient pas été envisagées. Ensuite, tous les termes obtenus sont regroupés par conception et classés en deux catégories : termes justes et termes faux par rapport au domaine de validité concerné.

La grille d'analyse des protocoles écrits par les élèves comporte trois parties :

- Une partie sur le respect des consignes, la compréhension générale du sujet et la réalisation du sujet dans les temps.
- Une partie sur le protocole lui-même portant sur :
 - o Une comparaison avec l'arbre des tâches.
 - o Une analyse qualitative et quantitative sur les actions mises en place par les élèves.
 - o Une analyse de la structure et de la communicabilité des protocoles rédigés.
- Une partie sur les critères d'évaluation définis dans le modèle et appliqués à l'ensemble de la fiche-réponse.

4.4.2.2 Résultats

L'ensemble des résultats est présenté ci-dessous.

Conceptions des élèves

L'analyse comparée du pré-test et du post-test, a montré que les conceptions des élèves sur les protocoles expérimentaux n'ont pas évolué après le T.P., contrairement aux conceptions en immunologie. Les tests ont mis en évidence plusieurs conceptions : pour les élèves, les anticorps sont produits par le corps et les antigènes sont portés par des corps étrangers et ont pour fonction la détection des cellules. Les conceptions modélisées par Calande *et al* (1990) et Simonneaux (2000) sur les antigènes et les anticorps se retrouvent parmi les conceptions des élèves : l'antigène est équivalent à l'anticorps, l'idée qu'un antigène agit contre les gènes, l'idée qu'un anticorps est une cellule du système immunitaire. Ces différentes conceptions mettent en évidence un problème d'échelle dans les différentes productions recueillies.

Au cours du post-test, ces conceptions n'apparaissent plus, les réponses au post-test font apparaître une représentation plus précise de la structure des anticorps (chaînes lourdes, région constante, ...) vues en cours et sur sa complémentarité spatiale avec l'antigène. Le cours et le T.P. semblent avoir permis une évolution des conceptions sur le complexe immun. Au cours du pré-test, peu d'élèves ont répondu à la question, ou l'ont assimilé avec le système immunitaire, mais lors du post-test, ils ont tous répondu et beaucoup ont fait intervenir la notion de liaison entre l'antigène et son anticorps correspondant. Cet effet se retrouve dans les conceptions sur les antigènes, quand les élèves associent antigène et cellule étrangère.

Appropriation du problème du T.P.

Le problème de départ du T.P. « la complémentarité spatiale de l'antigène avec l'anticorps correspondant dépend-elle de la structure tridimensionnelle des deux molécules » fait intervenir les différentes notions d'immunologie vues dans les tests.

Afin de s'approprier ce problème, et grâce à leurs connaissances, les élèves sont mis en situation de trouver des hypothèses pouvant le résoudre. Deux hypothèses sont ainsi exploitables et vérifiables par la suite par une expérience de type Test d'Ouchterlony :

- Tous les antigènes ont des structures tridimensionnelles différentes. Si un anticorps est mis en présence de plusieurs antigènes, dont l'antigène correspondant, un seul complexe immun se formera entre l'anticorps et son antigène.
- Si les liaisons hydrogènes et/ou les ponts disulfures de l'antigène ou de l'anticorps correspondant sont rompues, il n'y aura pas de formation de complexe immun.

L'analyse des productions écrites des élèves réalisées lors du T.P., montre que les élèves ont du mal à formuler ces hypothèses, et plus particulièrement celle sur la rupture des liaisons. Cependant, c'est l'interprétation des résultats qui permet de les relier au problème de départ. Les élèves ont réalisé correctement cette question. Cela suggère qu'au cours du T.P., grâce aux questions de la fiche-réponse et aux situations de communication mises en place, les élèves ont réussi à comprendre le problème, mais ont des difficultés à le résoudre. Une des phases de l'appropriation du problème est la réponse aux différentes parties de la fiche-réponse, et notamment la conception du protocole.

Application des critères d'évaluation aux protocoles des élèves

En confrontant les protocoles des élèves aux critères d'évaluation que nous avons proposés aux élèves, nous avons mis en évidence que deux critères sur quatre sont présents et respectés. Les deux critères qui posent problème sont la qualité de l'acquisition des données et l'exécutabilité du protocole. Le critère « qualité de l'acquisition des données » pose des difficultés aux élèves dans la mesure où nous observons que les élèves oublient de définir un témoin dans chaque boîte réalisée et que l'on constate une absence de marquage des positions de chaque molécule introduite dans les puits. Ces absences sont dues au fait que les élèves n'anticipent pas sur la lecture des résultats et ne prennent pas en compte les informations qui leur seront nécessaires à ce moment-là. Cette difficulté n'est donc pas liée au contenu du protocole lui-même mais à l'organisation de l'expérience par les élèves.

Le deuxième critère que les protocoles des élèves ne remplissent pas entièrement est l'exécutabilité du protocole conçu. Peu d'élèves indiquent les quantités de chaque produit à prélever, lors des mélanges des solutions, et lors de la dépose des produits dans les puits. Ce sont des informations que les élèves n'ont pas l'habitude de prendre à leur charge, c'est généralement l'enseignant qui s'occupe de donner les quantités et en plus, ce sont des informations qui sont disponibles dans les fiches techniques.

- Les élèves ne pensent pas à ajouter les quantités précises car ce n'est pas leur rôle d'y penser habituellement, donc ils oublient cette étape. Nous avons affaire ici à un problème de contrat didactique. Le fait de concevoir des protocoles ponctuellement change le contrat didactique et met à la charge des élèves des tâches qui sont habituellement à la charge de l'enseignant. Comme dans le T.P. précédent ces aspects techniques auraient pu être pris en charge par l'enseignant car leur gestion n'améliore pas le lien avec le modèle visé.
- Quand ils y pensent, les élèves considèrent qu'il n'est pas nécessaire de rédiger cette information dans le protocole final parce qu'elle est présente dans les fiches d'aide. Pourtant, les destinataires du protocole n'auront pas les fiches techniques à leur disposition quand ils appliqueront le protocole.

4.4.2.3 Conclusion

L'objectif de ce T.P. est de faire évoluer les conceptions des élèves sur la liaison anticorps-antigène par la conception et la rédaction d'un protocole expérimental. Nos résultats montrent une évolution des conceptions à l'issue du T.P.

Ce travail a également permis de mieux définir ce qu'est un protocole expérimental et de réinvestir les critères d'évaluation d'un protocole. La conception et l'utilisation d'un EIAH lors de séances de travaux pratiques constitueraient une solution pertinente pour aider les élèves à donner du sens aux expériences et rendre les sciences expérimentales plus accessibles et plus attrayantes.

4.5 Leçons à tirer et recommandations par rapport à l'activité de conception de protocole

Extrait du rapport final Copex (2008, pp 44-47)

1. Comment élaborer une situation de travaux pratiques qui intègre la conception de protocole par les élèves ?

La première partie de notre travail a montré que la tâche de conception de protocole n'était pas habituelle en T.P. et que pour cette tâche, quand elle était demandée aux élèves, il n'existait pas une référence commune à laquelle les élèves et les enseignants pouvaient se référer. Nous avons ainsi été amené à proposer une définition et des critères pour l'objet protocole. C'est à partir de cette réflexion et de ces définitions que nous avons élaboré des travaux pratiques centrés sur l'activité de conception de protocole par les élèves. Nous la décrivons à l'aide d'éléments (Marzin, d'Ham, & Sanchez, 2007), en référence à la théorie des situations (Brousseau, 1998).

Une situation de travaux pratiques qui intègre une activité de conception de protocoles par les élèves comprend :

- Un modèle scientifique de référence.
- Un arbre de tâches.
- Des critères d'évaluation du protocole.
- Un scénario pédagogique, qui comprend :
 - un problème de départ donné aux élèves,
 - une situation de dévolution du problème, des contraintes (temporelles, matérielles, pédagogiques) et des critères aux élèves,
 - une situation d'action qui consiste pour les élèves à concevoir puis à exécuter le protocole. Elle peut être découpée en trois phases :
 - une phase de réflexion où l'élève conçoit le protocole en mobilisant des conceptions. Il propose des hypothèses, il spécifie les grandes étapes.
 - une phase de rédaction du protocole par différents symbolismes (texte, schéma, tableau, dessin, ...) où l'élève prend des décisions et fait des choix, il définit les grandes étapes, les sous-tâches et les actions.
 - une phase d'exécution expérimentale.
 - Une situation de validation interne où les élèves utilisent les critères d'évaluation de leur protocole, ou tiennent compte des retours du milieu.
 - Une situation de validation externe par une évaluation entre pairs.
 - Une situation de communication qui est d'autant plus efficace que la cible choisie est « distante » des élèves.
 - Une situation de validation expérimentale où les élèves analysent leurs résultats,
 - Une phase d'institutionnalisation par l'enseignant.

2. Analyse didactique des connaissances

L'analyse du modèle scientifique de référence et la construction de l'arbre des tâches s'effectuent en amont du T.P. (Wajeman, Girault, d'Ham, Ney, & Sanchez, 2005). Cette analyse est complétée par une étude didactique des connaissances en jeu, qui conduit à la formulation d'hypothèses sur les conceptions et à propos des difficultés des élèves. La mise en relation du modèle scientifique mobilisé grâce à l'arbre de tâches a conduit à faire des choix sur les actions qui devaient être laissées ou non à la charge de l'élève, ces choix ont surtout été effectués pour les T.P de paléontologie et de physique. Lors du T.P. de physique les actions ont été laissées à la charge de l'élève en fonction de la difficulté de mobilisation des connaissances : tâche de niveau supérieur, tâche non pertinente pour l'apprentissage, tâche du niveau des élèves mais inhabituelle.

L'analyse didactique des travaux pratiques a conduit à l'identification de variables didactiques dont l'action a permis aux élèves une première validation de leur protocole, par un retour du milieu sur les

choix et les décisions effectuées. Cela a été effectué par exemple pour le T.P. de paléontologie où nous avons identifié trois variables didactiques : la présence de la mâchoire inférieure, l'inclinaison du crâne dans l'aquarium, les aides pour la mesure de la perpendicularité (carreaux sur la paillasse). Sans créer une véritable situation a-didactique, la mise en œuvre de ces variables a permis de réduire l'intervention de l'enseignant et de pallier aux problèmes relevés dans le T.P. de physique quant au guidage excessif des enseignants impliqués.

3. Quelles sont les productions spontanées des élèves quand on leur demande de concevoir un protocole expérimental ?

Quelle forme ?

Lors des différents travaux pratiques mis en place, il apparaît que les élèves rédigent un protocole expérimental, sous certaines conditions qui sont dépendantes ou indépendantes des contenus. **La forme des protocoles** produits change si l'on précise les formalismes attendus (texte, schéma, ...), le statut du protocole (à quoi sert-il ?), le destinataire (pour qui est-il rédigé ?). La question de la forme peut être explicitée par une pré-structuration du protocole au moyen de lignes et de pré-numérotation des actions, par exemple pour le texte, dans l'espace réponse de la fiche T.P. Cette structuration précise à l'élève que l'enseignant souhaite un texte découpé en actions successives, selon un ordre chronologique. Nous avons pu montrer que la structuration du texte du protocole est améliorée s'il existe ce guidage dans la fiche T.P. En effet, l'analyse comparée des différentes versions du T.P. de paléontologie montre que le nombre d'actions rédigées par les élèves augmente quand on leur propose un support pour le texte comportant des lignes pré-numérotées.

Le statut du protocole est un paramètre à expliciter. Le protocole va-t-il être noté ? Est-ce un espace de notes personnelles ? Va-t-il servir à refaire une expérience ?

Dans le premier cas, où il aura alors un statut de compte-rendu pour l'enseignant, nous pouvons faire l'hypothèse qu'ici l'élève va surtout rédiger ce qu'il décode du contrat didactique : des justifications théoriques de l'expérience. Le second cas a été observé lors du T.P. de chimie où il a été mis en évidence un protocole « brouillon » qui n'est pas celui exécuté et qui avait probablement pour fonction d'être conservé par les élèves. Ce protocole n'était pas destiné à être communiqué à d'autres personnes, et il ne comportait pas toutes les actions de façon détaillée. Dans le troisième cas, le niveau d'explicitation du protocole va être fonction du destinataire.

La désignation d'un destinataire du protocole : l'analyse des textes du protocole montre que les élèves ne rédigent pas le même texte s'il est destiné à leur professeur, à des élèves qui se trouvent dans la classe ou à des élèves distants. Si les élèves rédigent leur protocole pour quelqu'un qui va refaire la manipulation, alors pendant la rédaction, ils font des hypothèses sur les connaissances et sur les ressources dont est susceptible de disposer le destinataire. Le détail de rédaction des protocoles (le nombre d'actions rédigées) augmente avec la distance de la cible. Lors du T.P. de paléontologie, nous avons observé que le niveau de détail des protocoles avait augmenté lors de la version 3 du T.P., où les protocoles devaient être envoyés à des élèves d'un autre établissement. Ce résultat a été confirmé par les expérimentations réalisées en 2008.

Dans les T.P. de chimie et d'immunologie, il a été observé que les élèves ne détaillent pas les informations qui sont rédigées ailleurs, par exemple dans les fiches techniques. Tout se passe comme si les élèves ne détaillaient que ce qu'ils concevaient personnellement.

Lors du T.P. de paléontologie, il a été observé que les élèves ne rédigent pas les actions routinières (mesurer un angle avec un rapporteur) ou évidentes (enlever le transparent collé sur l'aquarium).

4. La mobilisation des critères

Le classement des protocoles lors du T.P. d'immunologie a montré que les élèves ont une utilisation empirique pertinente des critères pour classer les protocoles. En effet, dans leurs définitions spontanées, ils reprennent plusieurs éléments de la définition experte :

- La prise en compte de l'objectif d'un protocole qui est la réalisation d'une expérience.
- Le type de document qui peut être assimilé à un guide, une marche à suivre.

- L'organisation qui doit être structurée et chronologique.
- Le contenu qui comprend essentiellement des explications et des informations sur les manipulations à réaliser.

Quand on leur demande de classer plusieurs protocoles, les critères qui apparaissent le plus souvent dans leurs justifications sont :

- L'organisation en étapes qui se rapporte à la structuration.
- La présence de schémas, de phrases, la forme manuscrite qui représentent l'organisation de l'information.
- La compréhension qui est en fait le niveau d'explicitation.

On voit apparaître implicitement les critères de reproductibilité et une partie du critère de qualité de l'acquisition des données. Les critères de pertinence et de communicabilité ne sont pas formulés explicitement ou implicitement. La structuration en arbre de tâches ne devrait pas poser de problème aux élèves, car ils ont l'intuition qu'un protocole doit être structuré en actions et de façon chronologique.

Afin de pouvoir conclure sur l'utilisation des critères d'évaluation, il serait opportun de les utiliser pour étudier les protocoles des élèves produits lors d'autres T.P. pour ainsi étendre leur validité.

5. La mobilisation des connaissances pour concevoir un protocole : sources d'erreurs et de difficultés pour les élèves ou levier pour l'apprentissage

Les analyses effectuées dans les T.P. de chimie et de paléontologie montrent les implications fortes qui existent entre la mobilisation des connaissances et la qualité d'acquisition des données. Dans le T.P. de chimie, le choix de la répartition des points de mesure sur la courbe de titrage est déterminant pour obtenir la bonne valeur de pH. Dans ce TP, la démarche de l'expert serait de prendre des points plus espacés dans les parties linéaires de la courbe et des points plus rapprochés dans la zone de virage. Les résultats montrent qu'aucun groupe d'élèves n'a adopté la stratégie de l'expert. La difficulté pour les élèves est que la précision est généralement à la charge de l'enseignant et n'est pas explicitée par celui-ci.

Nous avons observé le même phénomène dans le T.P. de paléontologie : les élèves ont eu des difficultés à se donner des critères pour trouver des points précis sur les crânes. Ceci nous amène à conclure que la justesse d'un protocole est intimement liée à des connaissances expertes, qui sont cachées, mais qu'il convient d'explicitier au moyen d'une analyse didactique. Si les élèves maîtrisent approximativement ces connaissances, comme c'était le cas dans le T.P. d'immunologie, alors on voit que la conception de protocole a fait évoluer positivement leurs conceptions. Par contre, si les connaissances expertes sont trop éloignées des conceptions initiales des élèves alors la réussite de la tâche est impossible et l'évolution des conceptions n'est pas significative. La formalisation d'une représentation externe aide les élèves à faire évoluer leurs connaissances, car elle donne aux élèves un retour explicite sur leurs choix et sur les décisions qu'ils ont prises.

6. Conséquences pour l'enseignement

L'enseignant doit repenser l'organisation et le déroulement du TP. Ceci peut selon les cas impliquer :

- a. Un changement du statut du modèle scientifique sous-jacent au TP, une formalisation des représentations externes, traduisant les connaissances des élèves sur le modèle en jeu. Quand le protocole est à la charge de l'élève, le modèle ne peut pas être découvert par l'élève lors du TP, il doit être rendu explicite.
- b. Une pré-structuration du protocole (ou une partie) par l'enseignant à bas niveau (tâches) ou à haut niveau (étapes)
 - soit parce qu'elle implique un raisonnement trop complexe pour l'élève,
 - soit parce que l'utilisation d'une technique est nouvelle,
- c. Une réflexion autour de la précision en TP lorsqu'elle est à la charge de l'élève,
- d. Une réflexion autour du choix du matériel (parmi le matériel disponible).

Ceci implique une réflexion sur :

- l'action est-elle faisable avec le matériel choisi ?
- le résultat obtenu sera-t-il exact ?

- e. La mise en place d'une situation de communication adaptée :
- un travail collaboratif : un échange de protocole entre élèves peut les aider dans la validation de leur protocole,
 - bien définir à qui est destiné le protocole peut aider l'élève à savoir à quel niveau de détail il doit écrire.

7. Conséquences pour l'EIAH

A partir de l'analyse de ces TP, nous cherchons à savoir en quoi un EIAH pourrait être une aide pour faire concevoir des protocoles d'expérience à des élèves. Nous avons mis en évidence que cette activité n'était pas habituelle pour tous les enseignants et pour toutes les disciplines, mais nous en avons montré les avantages en terme de réussite du T.P.

La réussite des situations de T.P. intégrant la conception de protocole dépend d'un certain nombre de conditions que nous avons détaillées plus haut, qui peuvent être lourdes à mettre en place pour les enseignants. Nous pensons que l'EIAH peut alléger cette tâche et peut donner aux enseignants des indications et des aides.

L'aide nous semble particulièrement importante pour trois des points développés ci-dessus.

- a. La possibilité de proposer aux élèves la formalisation de représentations externes, sous diverses formes, afin qu'ils explicitent leurs connaissances et leurs hypothèses.
- b. Structuration du protocole
 - Un logiciel peut offrir une modularité qui permettra facilement à l'enseignant d'adapter la quantité d'informations données pour un même TP, en fonction des connaissances des élèves, des objectifs de la séance...
 - Une banque de sous-procédures aidera l'enseignant à choisir et donner à l'élève celles qui ne sont pas à la charge de l'élève, ou bien aidera l'élève à ne pas tout écrire en réutilisant des morceaux de procédures existantes (qu'il devra éventuellement réadapter).
 - L'utilisation d'un arbre des tâches aidera l'élève à avoir une vision d'ensemble de la procédure,
- e. La mise en place d'une situation de communication adaptée

Un environnement informatique en réseau peut enrichir le travail entre élèves, faciliter l'échange de protocoles avec un plus grand nombre d'élèves.

De plus, un tuteur artificiel pourra aider un enseignant qui ne peut pas être avec tous les élèves en même temps. Dans la prolongation de ce travail, nous devons réfléchir à la nature de ces rétroactions.

Dans le chapitre 3 nous avons mis en évidence les difficultés que rencontrent les élèves lors des activités expérimentales en général. Nous avons donné quelques éléments pour les expliquer et fait des propositions d'amélioration. Nous avons montré que les élèves doivent avoir conscience des connaissances qu'ils mobilisent et qu'il est nécessaire de mettre en place des activités métacognitives. Il s'agit finalement de faire en sorte que les élèves adoptent une pratique réflexive lors des activités expérimentales.

4.6 Modèle Problème-Conception-Représentation (PCR)

La conception de protocole implique :

- des éléments indépendants du contenu (la structure en arbre des tâches, certains critères pour évaluer les protocoles) et des éléments dépendants du contenu et qui vont définir :
 - o les objets et matériels et leurs caractéristiques (connus ou inconnus des élèves)

- la liste des opérations, des actions et des étapes qui peuvent être libres ou pré-structurées
- les types d'action (manipulation, acquisition de données, observations, mesures, ...) à réaliser

Nous avons ainsi montré que les T.P. incluant la conception d'un protocole impliquent une tâche de résolution de problème, une tâche de conception et une tâche de représentation. Nous proposons donc que pour qu'une activité expérimentale ait du sens elle doit comprendre les activités métacognitives suivantes : problématiser, anticiper, planifier, contrôler, évaluer, représenter, structurer, qui peuvent être organisées à partir de trois étapes : la résolution de problème, la conception d'un protocole, la production d'objets personnels symboliques pour structurer les tâches de conception.

La résolution de problème

Nous avons défini la résolution d'un problème par les trois éléments suivants (Simon, 1969) :

- Le problème répond à un besoin
- Il implique un processus créatif : appropriation du problème.
- Elaboration d'une représentation externe ou d'un plan : activité de design

Les activités de problématisation vont avoir lieu à différentes étapes d'une session expérimentale. La première étape a lieu lors de l'appropriation du problème par les élèves et lors de sa transformation en un problème accessible par l'expérimentation.

Dans le premier exemple, la mesure de l'angle facial, que nous avons présenté ci-dessus, la consigne a été formulée de la façon suivante aux élèves par les enseignants : « *Vous allez, au cours de cette séance élaborer un protocole de mesure d'angle facial pour évaluer le prognathisme et effectuer une mesure d'angle facial. Cette mesure d'angle facial est utilisée par les paléontologues pour identifier un crâne.* ». Cette consigne peut être problématisée de la façon suivante : déterminer les espèces auxquelles appartiennent des échantillons fossiles. Matérialiser l'évolution du prognathisme d'un crâne (variable identifiée) par la mesure de l'angle facial (valeur de la variable). Comparer les valeurs obtenues à des valeurs de référence.

Cette problématisation indique le lien entre le référent empirique (les crânes et le matériel permettant la mesure de l'angle) et les éléments du modèle. Ce problème est mis en œuvre par la tâche expérimentale : construire un angle facial à partir de la projection de deux couples de points repérés sur un crâne (volume) sur un plan.

La tâche concrète à réaliser par les élèves est la détermination des points sur le crâne à partir des critères suivants : un couple de points doit indiquer la direction de la face, l'autre couple de points doit être situé sur le plan de Francfort. Les points doivent être placés sur des éléments du crâne présents sur tous les crânes (sutures, enfoncements, bosses, ...), facilement repérables et pouvant être communiqués de façon précise (selon la perception que l'on peut en

avoir). Nous avons ici une indication du percept permettant de faire le lien entre le référent empirique et le modèle.

Dans le deuxième exemple la consigne a été formulée ainsi : « *Vous allez, au cours de cette séance, tenter de montrer que la liaison Antigène-Anticorps (Ag-Ac) dépend de la complémentarité spatiale de ces deux molécules* ». La consigne peut être problématisée ainsi : dénaturer la structure tridimensionnelle de chaque molécule. Détruire les ponts disulfures et les liaisons hydrogènes (variables) qui maintiennent la structure tridimensionnelle des molécules par des agents spécifiques. Former un complexe immun en mettant en présence les deux molécules (Ag et son Ac spécifique) dénaturées et non-dénaturées. Envisager toutes les combinaisons possibles avec leurs témoins. Visualiser la réalisation ou non du complexe immun par la technique d'Ouchterlony (partie perceptible du T.P. : visualisation du complexe immun par l'obtention d'un arc visible à l'œil nu). Il existe un lien entre le référent empirique (réactifs : sérums, protéines, agents dénaturants ; matériels : boîtes de pétri, gélose, étuve, emporte pièce, pipette) et le modèle (complexe immun, structure des protéines).

La tâche concrète à réaliser est la dénaturation des liaisons responsable de la structure tridimensionnelle des molécules à l'aide d'agents dont l'action spécifique est connue et la mise en évidence de la réaction antigène-anticorps par diffusion sur gel.

Conception : élaboration d'un plan

L'activité de conception (design) peut être caractérisée par les activités suivantes :

- Anticiper : anticiper les événements à venir, allant jusqu'au traitement et à l'analyse des résultats. Faire des prédictions sur les observables.
- Planifier : Réaliser le plan d'expérience. Organiser les événements à venir. Sélectionner les éléments (objets et matériels) et les actions de façon temporelle (protocole) et spatiale.
- Contrôler : mettre en place des phases de contrôle à différents moments de la réalisation expérimentale. Prendre des décisions.
- Evaluer : auto-évaluation, feed-back par le tuteur, évaluation par les pairs.

Dans le premier exemple l'activité de conception va être réalisée par la construction du protocole, par la désignation des couples de points et par leur représentation sur un schéma de crâne. Les éléments à sélectionner sont les localisations des points sur le crâne. Les élèves vont devoir contrôler la perpendicularité de la direction du laser par rapport au plan de projection des points. Lors de ce T.P. les élèves doivent composer avec deux inconnues : ils ne savent pas s'ils ont élaboré le même protocole que celui utilisé par les paléontologues pour obtenir leurs valeurs et ils ne connaissent pas les espèces auxquelles appartiennent les crânes. On pourrait imaginer un contrôle *a posteriori* où les élèves pourraient revoir leur protocole s'ils jugent que les valeurs trouvées sont trop éloignées des valeurs de référence. Cela implique qu'un retour leur soit fait sur les espèces auxquelles appartiennent les crânes fossiles étudiés et sur les critères utilisés par les paléontologues pour choisir les points. Ils pourraient alors revoir leurs protocoles et en proposer un nouveau.

Cette situation montre la limite de la conception expérimentale. Elle est pertinente si les élèves sont autonomes pour contrôler un minimum d'éléments, autre que technique. Un équilibre est donc à trouver entre une ouverture qui permet la mise en place d'un processus créatif et les contraintes scientifiques qui font partie des apprentissages visés.

Dans le deuxième exemple l'activité de conception va être réalisée par la construction du protocole et par la réalisation d'un plan d'organisation des puits dans les boîtes de pétri et par l'anticipation de la présence des arcs entre les puits. Les éléments à sélectionner sont les agents et l'anticipation de leur action sur la structure des protéines sur lesquelles ils vont agir. Des contrôles pourront être effectués lors du choix des agents et des conséquences prévues sur les liaisons et donc sur la conformation de la molécule. Le contrôle de l'expérience pourra se faire que lors de la lecture des résultats en observant les arcs dans les boîtes de pétri et en mettant en relation les prédictions réalisées avec les phénomènes observés.

Production d'objets symboliques personnels

Il nous paraît important de structurer certaines activités par des représentations externes réalisées par les élèves. Ces représentations vont surtout intervenir pour l'organisation spatiale de l'activité de conception. Elles vont avoir une fonction de structuration, elles vont aider les élèves à prendre des décisions et elles vont leur permettre dans certains cas d'anticiper et de faire des prédictions sur les observables. Ces représentations sont importantes pour le développement d'une posture métacognitive. Le chapitre 5 de ce mémoire sera consacré aux représentations symboliques à la détermination de leur fonction dans les activités expérimentales.

Pour les deux situations prises en exemple, les représentations sont la localisation des points sur un schéma de crâne d'une part et un schéma des boîtes de pétri avec la localisation des puits et des positions prévues des arcs.

Le Tableau 7 ci-dessous synthétise les différents éléments du modèle défini précédemment.

Tableau 7 : application des éléments du modèle Problème-Design-Représentation pour les deux situations analysées.

Situation Eléments du modèle	Mesure de l'angle facial	Réaction antigène-anticorps
Consigne	Elaborer un protocole de mesure d'angle facial pour évaluer le prognathisme et effectuer une mesure d'angle facial.	Montrer que la liaison Antigène-Anticorps (Ag-Ac) dépend de la complémentarité spatiale de ces deux molécules.
Problèmes	Détermination des espèces auxquelles appartiennent des échantillons fossiles. Matérialiser l'évolution du prognathisme d'un crâne (variable identifiée) par la mesure de l'angle facial (valeur de la variable). Comparer les valeurs obtenues avec des valeurs de référence.	Dénaturation de la structure tridimensionnelle de chaque molécule. Détruire les ponts disulfures et les liaisons hydrogènes (variables) qui maintiennent la structure tridimensionnelle des molécules par des agents spécifiques. Former un complexe immun en mettant en présence les deux molécules (Ag et son Ac spécifique) dénaturées et non-dénaturées. Envisager toutes les combinaisons possibles avec leurs témoins.
Paramètre ou variable	Prognathisme	Ponts hydrogènes et ponts disulfures.
Mesure (perceptif)	Valeur de l'angle facial	Présence d'arc dans la gélose.
Référent empirique	Objets : des crânes fossiles de différentes espèces. Matériel : laser, élévateur, plan horizontal, transparent, rapporteur, feutres.	Réactifs : sérums, protéines, agents dénaturants. Matériels : boîtes de pétri, gélose, étuve, emporte pièce, pipette.
Eléments du modèle	Théorie de l'évolution, notions d'espèce, d'ancêtre commun, phylogénie des hominidés, actualisme.	Complexe immun, structure des protéines.
Tâches à réaliser	Détermination des points sur le crâne et projection des points sur un plan.	Dénaturation des liaisons responsable de la structure tridimensionnelle des molécules à l'aide d'agents dont l'action spécifique est connue et mise en évidence de la réaction antigène-anticorps par diffusion sur gel.
Contrôles cognitifs	Adéquation entre la direction des points, l'inclinaison de la face et le plan de Francfort.	Choix des agents et prédictions des conséquences de leur action sur les liaisons et sur la conformation de la molécule.
Contrôles perceptifs	Les points doivent être placés sur des éléments du crâne présents sur tous les crânes (sutures, enfoncements, bosses, ...), facilement repérables et pouvant être communiqués de façon précise (selon la perception que l'on peut en avoir). Contrôle de la perpendicularité du laser par rapport au plan de projection.	Observation des arcs de précipitation. Mise en relation entre le prédit et le réalisé.
Organisation temporelle	Protocole (fig. 11)	Protocole (fig. 12)
Organisation spatiale	Localisation des deux couples de points sur le crâne.	Plan d'organisation des puits dans les boîtes de pétri.
Evaluation	Comparaison avec les valeurs de références.	Observation des arcs comparativement avec les prédictions réalisées.
Représentation	Représentation des points sur un schéma de crâne.	Schéma des boîtes de pétri avec la localisation des puits, la précision de leur contenu et les positions prévues des arcs.

Cette modélisation de la situation est une première étape de l'analyse didactique de la situation, en mettant en avant ce qui est spécifique de l'aspect expérimental. Elle met en évidence le lien entre concepts, percepts et objets matériels. Le percept étant défini en philosophie par Deleuze comme « *un ensemble de perceptions et de sensations qui survit à ceux qui les éprouvent.* » La modélisation proposée a pour but de comprendre comment s'effectue le lien entre ces trois éléments, quel rôle joue chaque aspect et comment le rapport à l'expérimental va permettre aux élèves de donner du sens aux problèmes qu'ils vont résoudre. C'est la prise en charge de cette classe de problèmes qui va permettre aux élèves de mobiliser des connaissances. À cette modélisation il faut ajouter une analyse épistémologique des connaissances à mobiliser : les obstacles et les conceptions des élèves.

La modélisation va permettre, à partir de l'anticipation des difficultés des élèves, des apprentissages visés et des contraintes de la situation, de déterminer la façon dont va être construite la situation expérimentale. Il va s'agir d'ajuster les variables de la situation pour l'implémenter dans un EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain). Nous décrivons dans le paragraphe suivant la plateforme LabBook qui comprend plusieurs éléments dont l'éditeur de protocoles Copex, qui peuvent être réglés par les auteurs pour les utilisateurs. Il s'agit de prévoir les réglages à effectuer, de prévoir des étayages et les aides possibles. L'une des finalités de notre travail consiste à créer les conditions pour permettre à la plateforme LabBook de proposer des rétroactions aux apprenants. Ces rétroactions pourront se faire sur des éléments indépendants du contenu (structure du protocole, application des critères) ou dépendant du contenu (les contrôles cognitifs et perceptifs, les productions traduisant l'organisation spatiale et temporelle du T.P.).

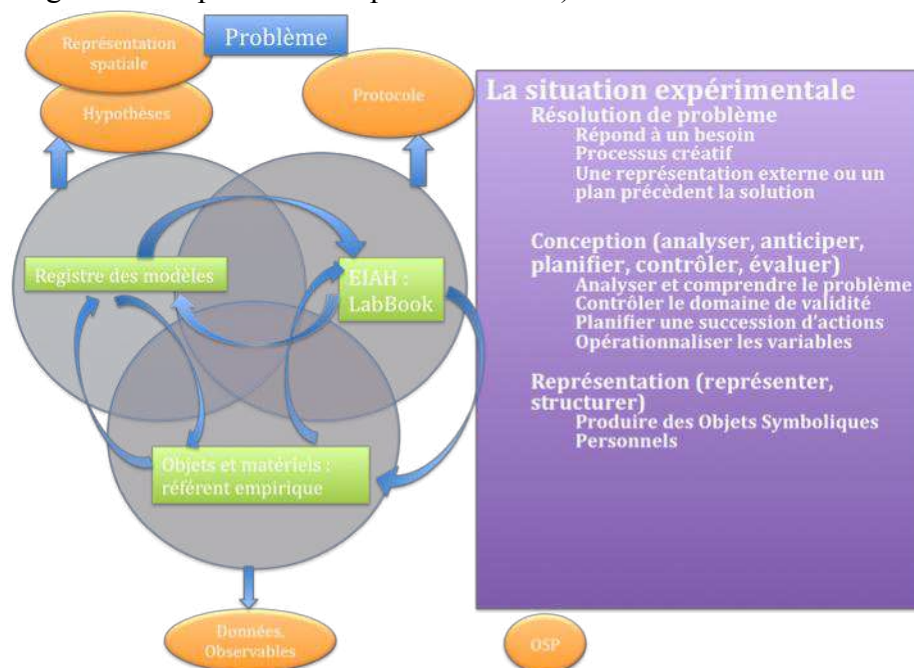


Figure 17 : modélisation de l'activité de l'élève en travaux pratiques incluant la conception expérimentale

4.7 Le logiciel Copex, la plateforme LabBook

Les études menées au sein du projet Copex ont permis l'élaboration du cahier des charges du logiciel Copex. Le logiciel Copex a pour finalité d'aider les enseignants et les élèves à concevoir un protocole expérimental. La nécessité de ce logiciel a émergé du constat qu'il n'existait pas de modèle de référence pour cette tâche. L'analyse des difficultés des élèves nous a par ailleurs montré que ceux-ci avaient du mal à structurer le protocole et qu'un étayage de sa forme en étapes, actions et opérations pourrait aider les élèves à rédiger leur protocole. La conception du logiciel Copex s'appuie sur le modèle de la tâche de conception de protocole indépendant du contenu présenté dans le paragraphe 4.3.

Copex est un éditeur de protocole, structuré à partir de trois principes :

- La formalisation de représentations externes : un éditeur de texte et de dessins permet aux élèves de formuler leurs hypothèses et de proposer une représentation spatiale de l'expérimentation.
- La structuration du protocole en étapes et en actions
 - o Permet d'adapter la quantité d'informations données pour un même T.P.
 - o Permet de décider quelles procédures sont à la charge des élèves
 - o Rend visible l'arbre des tâches

Le logiciel Copex fait suite au logiciel Copex-chimie, dont il a gardé le principe de l'éditeur de protocole avec une finalité générique : il peut être utilisé en sciences expérimentales biologie, chimie, géologie, physique. Il a été testé lors de plusieurs séances de travaux pratiques en chimie (d'Ham 2009) et en physique (Maisch, Ney et Balacheff 2009) à l'université pour étudier l'aide qu'il peut apporter aux élèves et comment ceux-ci l'utilisent. COPEX a été utilisé pour diagnostiquer le raisonnement des élèves lors d'un T.P. d'optique (Maisch 2010). Dans Copex les élèves définissent leur protocole en spécifiant les étapes et les actions. Il est aussi possible de proposer une liste de matériel à titre indicatif. Cette liste de matériel n'interagit pas avec le protocole.

L'éditeur de protocole Copex a été intégré dans la plateforme de travail LabBook, qui propose un environnement plus riche, support à une démarche de conception expérimentale. Cet environnement, un site web utilisable en T.P. est disponible à l'adresse suivante : <http://labbook.imag.fr>. Les utilisateurs peuvent utiliser quatre outils : l'éditeur de protocole Copex, un éditeur de textes, un éditeur de dessins et un outil d'édition et de traitement des jeux de données expérimentales, Fitex qui permet de gérer des données à la manière d'un tableur.



Créez et partagez vos rapports expérimentaux en ligne

Créez et modifiez vos rapports avec des outils spécialement adaptés

Assemblez vos documents expérimentaux – protocoles, tableaux de données, graphes, dessins et textes – pour créer vos rapports.

Collaborez avec vos partenaires de travail

Partagez vos rapports avec des partenaires, la version en ligne est mise à jour en continu.

Accédez à vos rapports et modifiez-les, où que vous soyez

Avec un navigateur Web, accédez à vos rapports de n'importe quel ordinateur : toutes vos ressources sont stockées en ligne, en toute sécurité.

Transmettez votre travail à votre enseignant immédiatement

Votre enseignant peut avoir accès à vos rapports et il peut y intégrer des annotations. Bien sûr, tous vos brouillons, ainsi que vos discussions avec vos partenaires sont privés.

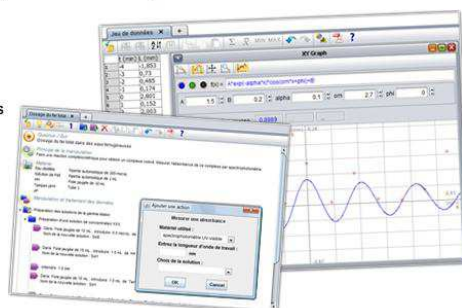


Figure 18 : page d'accueil de la plateforme LabBook

Pour résoudre le problème qui leur est proposé les élèves peuvent lire les objectifs, les principes de la manipulation, la liste du matériel. Ils peuvent ensuite accéder à l'éditeur de protocole et structurer leur protocole. Les étapes et les actions peuvent être libres (les utilisateurs rédigent les intitulés) ou pré-définies (les utilisateurs choisissent dans une liste prédéfinie). La plateforme LabBook propose par ailleurs des aides qui portent sur le fonctionnement de la plateforme et de chaque outil et des ressources (cours et leçons) que les élèves peuvent ou non utiliser.

Extrait de la page de présentation de la plateforme LabBook :

http://labbook.imag.fr/pages/en_savoir_plus.php

« LabBook est une plate-forme de travail pour créer, partager et soumettre des rapports scientifiques expérimentaux

L'objectif de LabBook

Que ce soit en travaux pratiques, ou sur des projets scientifiques de plus longue durée, élèves et étudiants doivent produire des rendus à destination de leur enseignant. Ce travail se fait généralement en collaboration avec les partenaires du groupe de travail. **LabBook** est un environnement en ligne contenant des outils adaptés à la production des rapports, ainsi que des services de collaboration permettant de fonctionner à distance avec ses partenaires et les enseignants.

Les outils sont spécifiquement adaptés pour la production de rapports scientifiques. Grâce à cela, de nouvelles activités peuvent être envisagées pour les élèves : ceux-ci peuvent ainsi concevoir les protocoles expérimentaux qu'ils testeront en laboratoire ; ils peuvent aussi traiter leurs données expérimentales avec un tableau spécialement adapté pour la modélisation des données.

Les missions, les rapports, les outils et les LabDocs

Une fois que l'élève s'est connecté, il choisit la mission (un TP, un projet...) sur laquelle il souhaite avancer. Dès lors, il accède à son espace de travail qui est dédié à la construction du rapport pour la mission choisie.

Les rapports sont constitués de différents LabDocs agrégés les uns aux autres. Les LabDocs peuvent être des textes ou des dessins libres, des protocoles d'expérimentation ainsi que des tableaux de données avec des représentations graphiques de ces données (graphes XY, histogrammes,

camemberts). Quatre outils sont fournis pour produire et transformer les LabDocs. Parmi ceux-ci, deux outils sont spécifiques du travail de l'étudiant en science et sont décrits ci-dessous.

Copex : conception de protocoles d'expérimentation

Copex permet d'éditer des protocoles expérimentaux. Ceux-ci peuvent être entièrement à la charge de l'élève, ou à compléter partiellement.

Plusieurs sections peuvent être remplies pour expliciter le sens de l'expérimentation :

- l'objectif expérimental visé ou la question à laquelle l'expérimentation tente de répondre,
- les hypothèses proposées comme réponse à la question expérimentale, qui peuvent être testées au cours de l'expérimentation,
- le principe général de la manipulation.

Le matériel doit être choisi parmi une liste, ou peut être proposé par l'élève.

Finalement, la description de la manipulation est faite par la description des tâches expérimentales selon une organisation hiérarchique : tâche principale, sous-tâches, sous-sous-tâches, etc. Suivant les missions, les tâches expérimentales peuvent être décrites avec du texte libre, ou grâce à des boîtes de dialogue définissant une pré-structuration des tâches.

Fitex : ajustement de données expérimentales avec des modèles mathématiques

Fitex permet de gérer des données à la manière d'un tableur. Les fonctions classiques sont disponibles dans l'outil (somme, moyenne, tri...).

La représentation des données est possible sous la forme de graphes XY, d'histogrammes ou de camemberts.

Une des fonctionnalités intéressantes de Fitex est qu'il est possible d'ajuster manuellement les données par des modèles mathématiques sur le graphe XY. L'ajustement manuel signifie que la fonction d'ajustement peut être définie avec des paramètres ; par exemple une fonction linéaire peut être définie par " $y = a*x + b$ ". Il est alors possible de modifier les valeurs des paramètres (a et b dans l'exemple) pour ajuster au plus près la fonction par rapport aux données expérimentales. Pour faciliter l'ajustement, Fitex calcule la distance entre la fonction et les données expérimentales. »

Il est prévu de faire évoluer la plateforme LabBook sur plusieurs aspects.

- L'aspect communication. Il est envisagé de développer la plate-forme LabBook avec ses différents services de gestion des rapports et de communication entre apprenants et enseignants ; l'accent sera mis sur l'adaptabilité de l'interface de LabBook à différents supports : ordinateur personnel et tablette tactile (pour le travail en laboratoire).
- Pour le moment le paramétrage des missions est effectué par les concepteurs-développeurs (Cédric d'Ham), la plateforme doit se voir associer un outil auteur destiné aux enseignants, ainsi que la rédaction d'un manuel d'utilisation à destination de ces mêmes auteurs.
- Il est aussi prévu d'implémenter une dizaine d'autres missions scientifiques avec l'aide d'enseignants de lycée et d'université. Ces missions pourront s'appuyer sur un travail expérimental en laboratoire pour les étudiants, ou sur l'utilisation de simulations couplées à LabBook. Ces simulations seront alors à produire dans le projet ou à adapter pour l'utilisation dans la plate-forme.

4.8 Recherches en lien avec les outils, prolongements possibles, nouvelles questions

4.8.1 Diagnostic des conceptions

Deux thèses ainsi qu'une dizaine de mémoires de master ont été soutenus en lien avec les logiciels Copex, Copex-Chimie et LabBook. La thèse de Clément Maisch porte sur un diagnostic des conceptions d'élèves de premier cycle universitaire sur des notions d'optique à l'aide du logiciel Copex (Maisch, Ney & Marzin 2007 ; Maisch 2010).

La thèse de Gwenda-Ella Chapel (2011) a porté sur le diagnostic des conceptions d'élèves de seconde sur l'ADN. Pour faire ce diagnostic elle a utilisé la plateforme LabBook à partir de laquelle elle a effectué un recueil des productions de trois types : un texte, un schéma et un protocole. L'analyse a été effectuée dans le cadre du modèle Ckø à partir duquel elle a construit un modèle formel des conceptions en lien avec une classe de problèmes sur la modification génétique. J'ai co-encadré cette thèse avec Muriel Ney. Elle a été soutenue le 21 juin 2011 à l'Université de Grenoble.

4.8.2 Tests d'utilisabilité

Il est prévu que soit testé LabBook et les outils de production scientifique en situation écologique. Les tests mettront l'accent sur l'utilisabilité de la plate-forme et des outils, ainsi que sur la pertinence des fonctionnalités développées pour l'apprentissage des sciences.

4.9 Conclusions

Au cours de ce chapitre nous avons explicité notre approche concernant la conception expérimentale. Nous avons montré les principales problématiques abordées portant sur une analyse des protocoles dans des fascicules de travaux pratiques, puis la mise en œuvre et l'analyse de T.P. intégrant la conception de protocole. Les résultats pointent un certain nombre de difficultés institutionnelles, épistémologiques et didactiques.

L'analyse des fascicules montre que la conception de protocoles est peu à la charge des élèves, qu'il y a peu ou pas d'uniformité de forme entre les protocoles analysés, que le degré d'implicite est grand et que les enseignants complètent beaucoup d'informations oralement en cours de séance, ce qui a pour conséquence une faible autonomie des élèves qui sont très dépendants des enseignants pour réaliser les expériences. L'analyse a donc montré qu'il n'existait pas de modèle de protocole de référence ce qui nous a conduit à en élaborer plusieurs. Un premier indépendant des contenus qui propose une structuration du protocole en arbre des tâches et une liste de critères utilisés pour son évaluation. Un second dépendant des contenus permet d'identifier les différents éléments des situations qui permettent aux élèves de faire le lien entre le registre empirique et les concepts et modèles mobilisés.

La conception et l'étude de deux T.P. de biologie et de paléontologie centrés sur les productions spontanées des élèves, leurs difficultés, les apprentissages réalisés ont permis d'identifier un certain nombre de verrous qui peuvent être levés, par exemple par une analyse

didactique préalable plus détaillée et ciblée sur le lien entre concepts, percepts et objets matériels. Nous avons par exemple montré comment les conceptions des élèves interviennent dans les choix et dans les décisions qui conduisent à l'élaboration de leurs protocoles. Nous avons aussi montré que ces connaissances restaient implicites et que les élèves n'en avaient donc pas conscience. Ces travaux ont montré la nécessité d'explicitier la forme attendue du protocole en proposant une pré-structuration, la nécessité d'explicitier le statut du protocole (est-ce un objet d'évaluation, ou un espace personnel de type brouillon, va-t-il servir à refaire une expérience, se suffit-il à lui même ou doit-il être complété par d'autres éléments). Il est aussi important de préciser le destinataire du protocole. Nos résultats montrent en effet des différences importantes dans le niveau de détail du protocole, son degré d'explicitation et sa précision selon qu'il est destiné au professeur, à des élèves de la classe ou à des élèves d'un autre établissement scolaire.

Ces différents éléments ont été pris en compte pour la conception et le développement du logiciel Copex puis de la plateforme LabBook auxquels nous avons contribué. Ce sont essentiellement les éléments indépendants des contenus qui ont été pris en compte pour le moment dans ces deux logiciels. Nos travaux s'orientent maintenant vers la prise en compte d'éléments dépendants des contenus, par les outils et dans la plateforme d'apprentissage LabBook afin qu'elle devienne véritablement un EIAH. Cela passe par la possibilité de faire une analyse automatique du travail des élèves et de leur proposer un retour sur ces productions.

Nous voulons insister à nouveau sur la nécessité de proposer des activités métacognitives aux élèves afin qu'ils puissent expliciter leurs connaissances et d'en avoir conscience. La structuration des tâches est effectuée par des productions personnelles, que nous appelons objets symboliques personnels. Nous allons préciser dans le chapitre suivant la fonction que peuvent avoir ces objets, à quelles étapes de la situation ils peuvent être importants, comment les faire produire par les élèves, comment les analyser. Comment introduire la création de productions personnelles dans un EIAH ? Comment structurer la production de ces objets à l'aide d'un EIAH ? Quelles sont les productions adaptées à quels apprentissages ? Pourquoi faut-il adapter le type de représentation aux types d'activités et aux types d'apprentissages ? Quelle est la valeur ajoutée ? Quel rôle ces productions vont-elles jouer dans la construction du sens lors des activités expérimentales ?

C'est à ces questions que nous allons nous intéresser dans le chapitre 5 du mémoire.

Chapitre 5 - Les représentations symboliques : vers la prise en charge par des EIAH

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons approfondir la question de la structuration des idées des élèves par des représentations quand elles sont produites par eux. Il s'agit de définir le rôle que peuvent avoir ces productions pour donner du sens aux activités pratiques, et de définir les différentes formes qu'elles peuvent prendre. Nous avons montré dans les chapitres précédents, que la conception expérimentale permettait le développement d'activités métacognitives par les élèves lors des activités pratiques et que ces activités métacognitives peuvent être formalisées par des productions personnelles. Ces représentations peuvent prendre des formes diverses : texte, schéma, dessin, photographie, geste, tableau ou interactions verbales. Dans ce chapitre, nous présentons plusieurs situations que nous avons conçues et qui mettent en jeu l'une et/ou l'autre de ces représentations.

Construire du sens c'est s'approprier, c'est faire sien des éléments qui, dans le contexte scolaire, sont *a priori* extérieurs aux élèves. Pour s'approprier les éléments travaillés dans les activités pratiques les élèves peuvent proposer des représentations symboliques dans différents registres. Aussi dans le paragraphe 5.2 nous présentons un état de la question du rôle des représentations pour structurer la pensée de l'élève et pour construire du sens : quels travaux et quels résultats ? Quelles conditions à mettre en œuvre ? Quelles difficultés repérées ? Puis nous présentons plusieurs exemples de situations, que nous avons élaborées et analysées, où les élèves se sont appropriés les éléments de la situation, soit en élaborant un lien avec leur vécu personnel, soit lors d'interactions sociales. Dans le paragraphe 5.3. nous présentons le cadre théorique des *science literacy* qui est basé sur une approche perceptive et sur des activités où les élèves représentent leurs premières compréhensions des concepts et processus à l'aide de différents modes de représentations, ou par des *multimodal representation activities*. Nous présentons une recherche effectuée dans ce cadre avec des élèves de seconde qui ont utilisé la photographie et le texte en classe de S.V.T. Dans le paragraphe 5.4 où nous montrons de façon détaillée, comment les élèves impliqués dans l'élaboration de représentations, s'approprient dans le dialogue, les éléments de la situation et élaborent un objet de savoir au cours d'épisodes argumentatifs. C'est un autre exemple de productions multimodales, du point de vue de l'argumentation et dans le contexte de la plateforme SCY-Lab qui structure et étaye les productions des élèves. Cette recherche utilise le cadre de la problématisation de Orange pour rendre compte de l'évolution des idées au cours d'épisodes argumentatifs entre élèves. Nous montrerons dans les trois paragraphes comment le travail langagier et les aspects cognitifs sont étroitement imbriqués.

5.2 Produire des représentations pour structurer sa pensée

5.2.1 La production de sens vue par des psychologues

Nous définissons ce que l'on entend par « construire du sens » ou « produire du sens » et le rôle des représentations symboliques dans la construction du sens. Cette acception recouvre des contenus différents selon les points de vue et selon les disciplines concernées. Le Ny (2005) propose un état des lieux actualisé de la production du sens en prenant l'exemple de la compréhension d'un énoncé. Pour lui, la perception constitue un premier stade de traitement de l'information, sauf dans les activités de pensée qui ont un statut interne (anticipation raisonnée, résolution purement mentale de problèmes, ...). Ce qui est compris ce sont des énoncés, « *il faut distinguer comprendre appliqué à un énoncé de comprendre appliqué à un apprentissage, par exemple celui de nouvelles connaissances un peu difficiles* » (ibidem, p. 99). « *Il s'agit, dans ce second cas, de l'élaboration de concepts et de propositions, et de leur intégration dans le système des connaissances d'un individu.* » (ibid., p. 100). Dans le cas d'un apprentissage, le sens se construit à partir de connaissances antérieures.

Pour lui, la production de sens est liée à l'intention exprimée par le locuteur. « *A l'origine de tout énoncé se trouve un état de l'esprit du locuteur qu'on peut appeler un sens à exprimer « ce qu'on veut dire » « une intention sémantique de dire » : par ces expressions on distingue un sens initial implicite, généralement involontaire et peu conscient* ». (Ibid, p. 100). « *La meilleure façon de le faire est sans doute de supposer que le sens initial est très semblable au sens terminal, c'est-à-dire à la représentation mentale qui se trouve à l'autre bout du schéma de communication cognitive, au produit de la compréhension* » (ibid., p.101).

La production de sens peut être momentanée, elle intervient en particulier lorsque l'élève fait un lien entre les connaissances qu'il mobilise et la façon dont il l'exprime. « *Dans le questionnement le plus habituel, l'élève a en mémoire une représentation – en principe des connaissances – et la question du professeur le conduit à en extraire une partie : c'est celle-ci qui constitue ce qu'il a l'intention de dire. Le rôle du professeur est d'inférer, à partir de ce qui a été réellement dit par l'élève, ce qui est dans sa mémoire. Il doit, si possible, dissocier pour cela les trois composantes qui contribuent à cette réponse : les connaissances, qui en forment la source, le sens particulier et momentané que l'élève a cherché à exprimer, qui dépend essentiellement de l'organisation de ces connaissances et de la façon dont il les a explorées et sa façon de l'exprimer* » (ibid., p. 101). Le Ny met en avant la façon dont l'élève exprime ses connaissances, donc la façon dont il les représente.

Pour Peterfalvi (1988), les outils graphiques ont un rôle important dans la mise en place d'un raisonnement qu'elle définit dans un sens extensif comme une suite « *d'opérations de pensée impliquées par la tâche* » et pas seulement ses aspects logiques. L'utilisation d'outils graphiques permet de réduire la charge cognitive, de libérer l'espace de traitement et permet ainsi de traiter des unités sémantiques plus globales (Mendelsohn 1988). Des outils graphiques de différentes formes pouvaient être utilisés par les élèves comme « *instrument*

anticipatoire d'une tâche expérimentale ». En effet, « *la valeur d'aide des outils peut néanmoins varier considérablement d'un individu à l'autre en fonction des styles cognitifs* » (Peterfalvi 1988, p. 47).

5.2.2 Les registres de représentation sémiotiques

Les travaux de Raymond Duval ont permis de regarder la question des interactions entre pensée et symboles d'une façon approfondie. Il a regardé la question de l'élaboration de représentations symboliques par le sujet et les conditions par lesquelles cette élaboration est favorable à une évolution des connaissances. Ses travaux ont pour champs d'application les mathématiques et le français, mais les relations entre différents systèmes sémiotiques et leurs rôles dans l'apprentissage ont une portée qui, à notre avis, peut dépasser ces deux disciplines.

Les travaux de Duval (1995) s'inscrivent dans la continuité des travaux de Piaget (1924-1926) sur les représentations mentales. Ils se situent à la suite des travaux sur les représentations internes (Broadbent 1958 ; Chomsky 1974), et dans la lignée de ceux de Benveniste et de Peirce qui distinguent trois types de signes, les icônes, les symboles et les indices et dont les travaux ont contribué à fonder la sémiotique.

Duval souligne l'intérêt, mais aussi les limites de ces différents travaux, par le fait qu'ils ne s'intéressent pas « *au rôle de la diversité des systèmes sémiotiques dans le fonctionnement de la pensée, ni à la complexité de la conversion des représentations d'un système à un autre* » (Duval 1995, p. 20). Pour Duval, l'évolution des connaissances et le développement de plusieurs systèmes sémiotiques vont de pairs. Pour cela, il cite Granger : « *Ainsi la formation de la pensée scientifique est inséparable du développement de symbolismes spécifiques pour représenter les objets et leurs relations* » (Granger 1979). Pour modéliser cette relation, il introduit les notions de sémosis et de noésis, qu'il définit ainsi : « *si l'on appelle sémosis l'appréhension ou la production d'une représentation sémiotique et noésis les actes cognitifs comme l'appréhension conceptuelle d'un objet, la discrimination d'une différence ou la compréhension d'une inférence, il semblerait alors évident d'admettre que la noésis est indépendante de la sémosis ou tout au moins la commande* » (Duval 1995, p. 2).

Pour Duval, les actes cognitifs ne seraient possibles que grâce au recours à des systèmes sémiotiques à la condition qu'ils soient coordonnés par le sujet lui-même. Mais cette activité n'a rien de spontanée, aussi un travail d'apprentissage centré sur la diversité des systèmes de représentations et sur leurs « traductions » est donc pour lui nécessaire. Il a introduit la notion de « registre de représentation sémiotique » pour désigner des représentations qui sont « *relatives à un système particulier de signes et qui peuvent être converties en des représentations équivalentes dans un autre système sémiotique, mais pouvant prendre des significations différentes par le sujet qui les utilise. La notion de représentation sémiotique présuppose donc la prise en compte de systèmes sémiotiques différents et celle d'une opération cognitive de conversion d'un système sémiotique à l'autre* » (ibidem, p.17). Ce sont deux idées essentielles : le fait que chaque système de représentation peut prendre un sens particulier pour le sujet et qu'ils ne sont pas équivalents entre eux, et le fait que le passage

d'un système à l'autre va induire des opérations cognitives particulières. La mise en place de ces opérations et la réussite de la coordination des systèmes sémiotiques va être génératrice d'apprentissage.

Les systèmes sémiotiques qui permettent d'accomplir les trois activités cognitives suivantes sont appelés registres de représentation sémiotique : « *tout d'abord constituer une trace ou un assemblage de traces perceptibles qui soient identifiables comme une représentation de quelque chose dans un système déterminé. Ensuite transformer les représentations de quelque chose dans un système déterminé. Ensuite transformer les représentations par les seules règles propres au système de façon à obtenir d'autres représentations pouvant constituer un apport de connaissances par rapport aux représentations initiales. Enfin, convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système, de telle façon que ces dernières permettent d'explicitier d'autres significations relatives à ce qui est représenté* » (ibid., p. 20).

Les registres de représentations sémiotiques ont les trois fonctions cognitives suivantes :

- la fonction de communication
- la fonction de traitement de l'information
- la fonction d'objectivation ou de prise de conscience (pour soi).

La prise en compte de représentation sémiotique implique la confrontation de trois phénomènes qui sont **la diversification des registres de représentation sémiotique**, car les différents systèmes (langage naturel, langues symboliques, schémas, figures géométriques, graphes cartésiens, tableaux) posent des questions d'apprentissage spécifiques ; **la différenciation entre représentant et représenté** (entre forme et contenu d'une représentation sémiotique) n'est pas acquise spontanément quel que soit le registre de représentation et quel que soit le stade de développement. Enfin, **la coordination entre les différents registres** demande que soient connues les règles de conversion ce qui est nécessaire mais qui n'est pas suffisant pour qu'ils soient mobilisés ensemble.

Pour Duval, il peut exister un grand décalage entre les représentations mentales d'un sujet et les représentations sémiotiques qu'il produit, car les fonctions d'objectivation et d'expression sont indépendantes. Duval distingue trois activités cognitives fondamentales de représentation liées à la sémosis : **la formation** de représentations dans un registre sémiotique particulier ; **le traitement** « *lorsque la transformation produit une autre représentation dans le même registre* » (ibid., p. 36) et **la conversion** « *lorsque la transformation produit une représentation dans un autre registre que la représentation initiale* » ; « *La conversion est la transformation de la représentation d'un objet, d'une situation ou d'une information donnée dans un registre en une représentation de ce même objet de cette même situation ou de la même information dans un autre registre* », « *la conversion est donc une transformation externe par rapport au registre de la représentation de départ* » (ibid., p. 40). Pour Duval, ces trois activités cognitives sont complémentaires et il est nécessaire qu'elles soient mises toutes les trois en œuvre dans les situations d'apprentissage.

Ces activités cognitives nécessitent un apprentissage particulier, car elles ne sont pas triviales ni spontanées chez les élèves. Ce travail est nécessaire car, selon Duval, l'activité conceptuelle implique la coordination des registres de représentation. Ses observations montrent en effet que « *la conversion des représentations sémiotiques constitue l'activité cognitive la moins spontanée et la plus difficile à acquérir chez les élèves* » (ibid., p. 44). Mais il observe aussi que les activités de conversion sont très peu présentes dans les situations d'enseignement.

Certaines conditions sont à respecter pour que ce travail soit intéressant pour l'élève. Il faut en particulier respecter le critère de non congruence entre les différents registres. Pour Duval, « *il faut que le sujet soit parvenu au stade de la coordination de représentations sémiotiquement hétérogènes pour qu'il puisse discriminer (...) la représentation et le contenu conceptuel que cette représentation exprime, instancie ou illustre. L'activité conceptuelle implique la coordination des registres de représentation. L'activité conceptuelle ne peut pas être isolée de l'activité sémiotique parce que la compréhension conceptuelle apparaît liée à la découverte d'une invariance entre des représentations sémiotiquement hétérogènes* » (ibid., p. 61).

Les travaux de Duval montrent qu'il ne suffit pas de faire produire des représentations externes aux élèves. Il faudrait aussi que les élèves soient impliqués dans un processus passant par différents stades d'élaboration (formation), d'appropriation (traitement) et de transformation (conversion) des représentations. C'est le fait d'impliquer les élèves dans ce processus de conversion et de traduction des représentations d'un registre à un autre qui est déterminant du point de vue cognitif. Il est important de mettre les élèves en situation d'effectuer des actes cognitifs qui s'appuient sur des représentations.

Pour revenir à la question du sens, Duval la place dans le cadre d'une analyse fonctionnelle permettant d'étudier « *la constitution des objets pour la conscience* » (p. 14) qu'il oppose aux processus automatisés et non conscients. L'étude de la construction du sens est intimement liée à l'étude de la conscientisation d'objets par le biais d'opérations cognitives coordonnées sur ces objets.

5.2.3 Des travaux de didactique sur le rôle des productions symboliques

Il faut donc distinguer l'acquisition de connaissances par la lecture de textes qui a fait l'objet de nombreux travaux (par ex. de Vries 2006) de l'influence des activités d'écriture sur la construction de connaissances (Pudelko & Legros 2000 ; Schneeberger 2002), c'est cette deuxième problématique que nous traitons dans ce chapitre.

Dans un premier temps, nous situons ces travaux dans un contexte scientifique national et international. En effet plusieurs auteurs (Duval 1995 ; Holliday, Yore & Alverman 1994 ; Keys 1999 ; Klein 2006 ; Prain 2006 ; Rebière & Jaubert 2009 ; Schneeberger 2003 ; Vérin 1995) ont montré l'importance des représentations pour l'apprentissage. Ainsworth souligne leur rôle en insistant sur les conditions de leur utilisation : « *When people are learning*

complicated new ideas, interpreting and constructing multiple forms of representation can bring unique benefits. In other words, representations are powerful tools for learning but like all powerful tools they need careful handling if learners are to use them successfully. » [Quand les personnes apprennent de nouvelles idées compliquées, l'interprétation et l'élaboration de représentations de multiples formes peuvent apporter un bénéfice important. En d'autres termes, les représentations sont des outils puissants pour l'apprentissage mais comme tout outil puissant elles doivent être manipulées avec attention afin que les apprenants les utilisent avec succès] (Ainsworth 2011). Pour Peterfalvi et Jacobi (2003), le langage et particulièrement l'écrit instrumentent la construction des savoirs. La formalisation écrite a aussi été justifiée par de nombreux travaux (Catel 2001, Glynn & Muth 1994, Keys 1999) sur « *écrire pour comprendre ou écrire pour apprendre* » et étudiée par de nombreux auteurs anglo-saxons sous l'appellation « *writing-to-learn strategies* ».

En France, un important travail de recherche a été mené en collaboration entre des didacticiens des sciences et des didacticiens du français. On peut citer la rédaction d'un ouvrage collectif dirigé par Douaire (2004) et un ouvrage dirigé par Reuter et Barré de Miniac (2006). La question des relations entre langages et apprentissages scientifiques a été travaillée au cours d'autres recherches relatées par exemple dans le numéro 44 d'Aster intitulé *Sciences et récits, des rapports problématiques*. Ces articles approfondissent quelques aspects des rôles que tiennent les récits dans la construction de savoirs scientifiques, (Orange-Ravachol et Triquet 2007). Les recherches conduites dans le cadre de l'INRP en association avec des équipes de chercheurs de différents laboratoires sont reprises dans un ouvrage intitulé *développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences, Quels enjeux pour les apprentissages à l'école ?* (Schneeberger et Vérin, dir., 2009), qui fait aussi référence dans la formation des enseignants.

Des recherches ont également permis la publication d'ouvrages sur l'argumentation en classes de sciences, du débat à l'apprentissage (Buty et Plantin 2008), sur l'argumentation et les disciplines scolaires (Douaire 2004) et sur le débat scientifique dans la classe (Johsua et Dupin 1989 ; Orange, Lhoste & Orange-Ravachol 2008). Les résultats de ces travaux indiquent que la mise en place de situations de formalisation écrite ou orale par les élèves participe à leur apprentissage.

5.2.3.1 Les différents types d'écrits et leurs fonctions.

Les productions écrites peuvent avoir plusieurs fonctions. Elles peuvent prendre différentes formes, elles peuvent avoir plusieurs destinataires, et elles peuvent avoir des objectifs différents en fonction de leur place dans la situation d'apprentissage.

L'écriture est à la fois la manifestation et l'instrument d'une activité cognitive en cours d'élaboration. Elle peut traduire un produit ou un processus. C'est la trace d'un savoir à reproduire, à construire ou à s'approprier. « *L'écriture est un « instrument » qui accroît les ressources du langage, et par là même de la pensée* » (Crinon 2000). L'écriture a donc une fonction d'aide pour construire des connaissances.

Les écrits peuvent avoir les fonctions de : structuration, métacognition, médiation de la pensée, enregistreur de la pensée, communication, restitution. Vérin (1995) distingue deux grands types d'écrits en science, les écrits instrumentaux ou d'investigation et les écrits expositifs de médiation. Les premiers sont surtout destinés aux élèves eux-mêmes, ils servent à retenir et à garder une trace ou à décharger la mémoire de travail alors que les seconds visent la construction d'un discours plus structuré, explicitant les éléments du raisonnement (Triquet 2001). Ils peuvent intervenir à plusieurs moments dans les apprentissages, ce sont des écrits de travail en cours d'apprentissage, des écrits de mémorisation, de réorganisation des idées, pour figer des étapes ou des écrits de restitution rédigés seul ou à plusieurs (bilan, synthèse) qui servent à agir, retenir ou comprendre. Les écrits de médiation peuvent décrire, expliquer, argumenter, prouver. Les écrits ont une fonction différente s'ils sont produits pour soi, pour d'autres élèves ou pour l'enseignant (Figure 19).

	Fonctions	Ce que permet l'écrit	Exemple d'écrits
Écrits instrumentaux pour soi	Agir	<ul style="list-style-type: none"> • Fixer un but aux actions à mener (formulation d'hypothèses, mises en relation d'hypothèses) • Définir les actions à mener • Planifier les actions en référence à ce but 	<ul style="list-style-type: none"> • Guide de travaux pratiques • Plan expérimental • Fiche d'observation • Questionnaire de visite
	Retenir	<ul style="list-style-type: none"> • Aider ponctuellement à mémoriser • Garder une trace plus complète que sans support écrit • Rendre possible un retour, un contrôle <i>a posteriori</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Croquis d'observation • Relevé de mesures • Fiche de lecture • Notes de cours
	Comprendre S'expliquer	<ul style="list-style-type: none"> • Trier, ordonner, classer • Mettre en relation pour structurer • Prendre un temps de réflexion personnelle • Faciliter la discussion et la critique collective • Rendre synoptique des observations, des interprétations 	<ul style="list-style-type: none"> • Écrits utilisant une symbolisation (schémas, diagrammes, tableaux) • Synthèse rédigée de notes personnelles • Carnet de bord
Écrits expositifs pour d'autres	<p>Faire comprendre Expliquer à d'autres</p> <p>Faire savoir qu'on sait</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formuler explicitement (réduire l'implicite, éliminer l'accessoire) • Relire pour vérifier l'adéquation avec le projet • Retravailler une version provisoire pour l'améliorer • Mettre au propre ses idées 	<ul style="list-style-type: none"> • Dossier • Compte rendu d'expérience • Compte rendu de visite • Affiche, poster • Devoir rédigé

Figure 19 : fonctions des écrits d'après Vérin (1995)

Le rôle de la production d'écrits comme outil cognitif pour l'apprentissage a donc été montré par plusieurs auteurs en France et à l'étranger. L'écriture permet de construire du sens et favorise les changements conceptuels (Catel 2001 ; Keys 1999). L'écriture exploratoire qui

traduit des écrits intermédiaires (non définitifs), des écrits de travail parfois désignés écrits réflexifs (Chabanne & Bucheton 2002) permettent de clarifier la pensée, en activant des connaissances premières et en les reliant à de nouvelles informations avec des connaissances plus structurées dans la mémoire à long terme (Catel 2001 ; Hollidays & al 1994 ; Keys 1999 ; Prain & Hand 1996). L'écriture exploratoire permet aussi une analyse critique et le développement d'un raisonnement mettant en jeu la signification des données de laboratoire (Catel 2001). L'écriture permet de formaliser les représentations des élèves et d'établir des liens entre elles (Shawn & al 1994 cité par Catel 2001). Enfin l'écriture dans le contexte des sciences permet la communication des connaissances. Par ailleurs, la traduction d'une forme sémiotique à une autre s'accompagne de reformulations et donc nécessairement de déplacements cognitifs.

5.2.3.2 Le rôle de la production d'outils graphiques

S'appuyant sur des résultats de la psychologie cognitive, Peterfalvi et Vérin (1989) étudient l'emploi ou la construction par les élèves d'outils graphiques (dessins, schémas, organigrammes, tableaux, ...) dans le contexte de la classe. Elles proposent quatre intérêts à la production d'outils graphiques :

- intérêt lié aux propriétés synoptiques « (permettant d'embrasser d'un seul coup d'œil de façon synchronique tout un ensemble d'informations, ce qui favorise une vision globale des concepts représentés et une distanciation)
- pouvoir structurant (qui apporte une aide importante à la structuration des idées)
- caractère imageant (proche de la perception, rendant leur évocation aisée et facilitant par là l'appropriation)
- caractère concret immédiatement disponible ».

La transposition d'un langage verbal en un langage graphique joue un rôle crucial dans l'appropriation et dans la structuration des idées, comme nous l'avons aussi montré dans le chapitre précédent.

Le rôle des productions graphiques dans le cas particulier de la mise en œuvre d'une démarche expérimentale a aussi été étudié. Pour plusieurs auteurs, la production graphique permet aux élèves de mettre en œuvre des tâches d'anticipation lors de la démarche expérimentale. Cette activité permet aux élèves de prendre de la distance par rapport aux activités manipulatoires. Pour Peterfalvi (1988), cela aide les élèves à « *ne pas s'enliser dans l'aspect manipulatoire de l'expérience aux dépens de sa signification* » (*ibidem*, p. 48). Pour elle, cette activité permet de placer les élèves dans une véritable activité expérimentale (procédure de vérification d'hypothèses) plutôt que dans une activité expérientielle (par essais et erreurs). Car, avant la phase expérimentale, le raisonnement doit être préfiguré ou anticipé sous forme hypothético-déductive à partir des données hypothétiques.

La production graphique a un rôle de médiation entre l'organisation intellectuelle de la tâche et l'organisation pratique, qui toutes deux sont d'abord anticipées, puis réalisées effectivement. La production sert à passer de la conception à la réalisation. Pour distinguer les différents plans de l'analyse de la tâche, Vermersch fait la distinction entre logique

conceptuelle et logique de l'action (Vermersch 1979, cité par Peterfalvi 1998, p. 83). En s'appuyant sur cette distinction, Peterfalvi (1988) fait la distinction entre les outils d'anticipation « *pragmatique* » qui caractérisent ce qu'il y a à faire pratiquement, par opposition à ce qui relève d'une anticipation « *intellectuelle* » qui spécifie les différentes étapes intellectuelles à mener lors d'un raisonnement hypothético-déductif réalisé à partir des données expérimentales ou à partir d'objets et matériels utilisés pour construire les différentes conclusions possibles. Dans ses travaux, elle a mis en évidence que selon leurs besoins les élèves vont utiliser l'un, l'autre ou les deux outils. Ses résultats montrent que pour certains élèves qui ont la capacité de reconstituer l'ensemble du raisonnement, il n'est pas nécessaire de matérialiser l'anticipation intellectuelle, alors que l'anticipation pragmatique sera utile. Pour d'autres, un soutien intellectuel peut au contraire être plus efficace quand cette sphère est moins solidement structurée mentalement (ibid., p. 81). Elle propose la modélisation suivante pour articuler les différents plans (Figure 20).

Figure 20 : modélisation des interactions entre outil graphique et tâche expérimentale (d'après Peterfalvi, 1988, p. 88)

Ces différents résultats montrent que les outils graphiques sont de nature différente et vont avoir des rôles spécifiques en fonction des aptitudes particulières des élèves. Ces résultats montrent aussi que la production d'outils graphiques participe à la mise en œuvre d'activités métacognitives. Les productions graphiques ont aussi une fonction synoptique qui peuvent intervenir avant l'activité, elles ont alors une fonction d'anticipation, en cours d'activité comme élément régulateur, ou *a posteriori* pour donner une vision globale d'une démarche effectuée et donc pour construire (de façon stable) une connaissance sur les procédures expérimentales.

Pour Schneeberger et Vérin (2009b), « *l'écrit permet de mémoriser des informations, des idées, de réorganiser ses idées, de faire des comparaisons, d'établir des liens entre des acquis ponctuels* » (p. 70). Ces connaissances peuvent être « *élaborées antérieurement mais (elles) s'actualisent et se structurent de façon plus systématique et plus globale par l'élaboration des outils graphiques* » (Peterfalvi 1988, p. 90).

L'écriture peut devenir une source de difficulté quand elle doit répondre à des contraintes strictes de forme et qu'elle doit se conformer à des normes. On peut alors opposer l'écriture spontanée issue de la création et de la réflexion spontanée de l'élève et l'écriture formalisée, bien que les deux types d'écrits existent dans les pratiques sociales de référence. Chez les chercheurs, comme en particulier chez Pasteur, les écrits de travail (les carnets de laboratoire) précèdent les textes définitifs (ouvrages, revues scientifiques). Les deux formes d'écrits sont utiles et ont chacune une fonction spécifique. Néanmoins, il existe une réelle tension entre deux positions antagonistes : initier les élèves aux pratiques normatives ou amener les élèves à construire leur propre discours scientifique par une pratique personnelle d'écriture (Prain & Hand 1996, Catel 2001).

De façon plus générale, de nombreux auteurs ont montré que la formalisation par un objet symbolique est, pour les élèves, une aide pour penser et pour apprendre, un médiateur intermédiaire « *permettant aux élèves de clarifier et de consolider leur savoir conceptuel* » (Catel, 2001, p. 53). L'écriture « *favorise l'expression des connaissances que l'auteur découvre une fois celles-ci déposées sur le papier* » (Pudelko & Legros 2000, p.13). Néanmoins la maîtrise de cet outil nécessite aussi un apprentissage (Alcorta 1998). Nous avons observé que les élèves avaient des difficultés à rédiger un texte (Marzin & de Vries, 2011). Les élèves réduisent la rédaction à ce qui leur semble utile et quand ils ont le choix, ils privilégient d'autres formes de représentation.

5.2.3.3 La prise en compte du destinataire

Dans le cas d'un écrit de médiation, le destinataire des écrits est intégré par celui ou celle qui le rédige, plusieurs travaux ont montré l'intérêt d'avoir un destinataire effectif pour motiver l'écriture (Caravita & Guiliani 2001). Nos travaux ont montré que la rédaction d'un protocole n'était pas aussi détaillée si celui-ci était destiné à l'enseignant, à des élèves de la même classe ou à des élèves d'une classe distante. Il s'agit d'une recherche réalisée dans le cadre du projet Copex, décrit dans le chapitre précédent.

Prise en compte du destinataire dans la rédaction de deux protocoles par des élèves de Term S
Extrait de Sanchez, Monod-Ansaldi, Devallois, & Marzin 2010.

Organiser des confrontations de groupes d'élèves pour tester le critère de communicabilité

Il est difficile à un élève de juger du niveau de précision attendu par l'enseignant pour la description du protocole qu'il conçoit. Ce niveau de précision dépend du destinataire du protocole et un élément qu'il peut paraître indispensable de préciser pour un niveau donné peut être passé sous silence pour des élèves plus âgés, car il est alors considéré comme acquis. Par ailleurs, un élève pourra juger avoir exprimé un aspect avec suffisamment de précision alors qu'il subsiste une ambiguïté.



4. Rédaction collaborative d'un protocole commun

Nous avons par exemple observé que des élèves rencontraient cet écueil pour exprimer la position des points choisis sur le crâne ou pour décrire les différents traitements à appliquer aux molécules engagées dans la liaison Ag-Ac. Dans le cas de la mesure de l'angle facial, cette difficulté est augmentée par le fait qu'ils ne disposent pas du vocabulaire permettant de nommer les os de la boîte crânienne. Nous avons pallié cette difficulté en fournissant une fiche de vocabulaire sur les os de crâne

et en organisant des confrontations entre différents binômes. Nous avons pu ainsi améliorer la précision des protocoles rédigés en organisant différents types de confrontations.

Un premier type de confrontation consiste à demander à un binôme de donner le protocole rédigé à un autre binôme afin qu'il le réalise. Lorsqu'un écart important a été relevé entre les résultats obtenus, cela a pu conduire les élèves à réviser leur manière d'exprimer les procédures à employer. Une variante de cette démarche a été de demander de rédiger un protocole qui sera mis en œuvre par une autre classe. Le fait de connaître le destinataire du protocole – des élèves du même niveau plutôt que l'enseignant – a eu un effet positif par lui-même.

Un second type de confrontation, utilisé pour la séance d'immunologie, a consisté à demander à deux binômes de concevoir un protocole commun à partir du travail des deux groupes (figure 4). Ce travail collaboratif a également eu des effets positifs sur la pertinence et la communicabilité des protocoles rédigés. Les difficultés rencontrées par les élèves pour juger de la précision peuvent donc être en partie surmontées par les élèves si le dispositif mis en place les conduit à échanger sur le travail qu'ils réalisent.

Nos travaux (Sanchez et al, 2010) ont montré que la façon dont les élèves rédigent les protocoles est en lien fort avec la représentation qu'ils se font des connaissances du destinataire et des moyens dont ils disposent pour réaliser l'expérience. Le texte du protocole est d'autant plus détaillé que la méconnaissance supposée du destinataire est grande (des élèves d'un autre établissement vs des élèves du même établissement vs l'enseignant). Nous avons utilisé comme indicateur le nombre d'actions rédigées par les élèves et le niveau de détail de chaque action (Marzin & de Vries 2011).

5.3 Intérêt des productions multimodales pour formaliser les perceptions des élèves : un exemple pour introduire une approche personnelle et esthétique en cours de S.V.T.

5.3.1 Le cadre des « *Science Literacy* »

Les modes de représentations sont aussi objets de nombreuses recherches dans le cadre de travaux dans le champ des « *multi-modal representation activities* » (Lemke 1998 ; Klein 2006 ; Waldrip, Prain & Carolan 2007). Ces travaux sont poursuivis plus généralement dans le cadre du courant anglo-saxon rassemblé autour des « *science literacy* » que Klein (2006) définit comme « *the ability to read and write science texts* » [la compétence de lire et d'écrire des textes scientifiques] (p. 144). Leurs travaux s'appuient sur des activités où il est proposé plusieurs modes de représentations aux élèves. Il est demandé aux élèves de représenter leurs premières compréhensions des concepts et processus à l'aide de différents modes de représentations. Leurs travaux montrent que le fait de demander aux élèves de représenter leurs idées de différents modes de représentations permet une amélioration significative de l'apprentissage.

Ce courant encore appelé par Klein (2006) « *second-generation cognitive science* », donne un autre éclairage à propos du rôle des productions symboliques, personnelles et multimodales dans l'apprentissage des sciences. Cette « école » fait suite au mouvement « *writing to learn* » apparu aux Etats-Unis dans les années 1970 dont le but était de « *promouvoir la pratique de l'écrit dans toutes les disciplines dans le but de clarifier le sens des apprentissages et de faciliter la mémorisation* » (Catel 2001, p.17). Pour les auteurs qui s'appuient sur la perspective théorisée par Klein, la perception précède la construction de connaissances, et elle peut être un élément facilitateur ou au contraire un élément bloquant dans une phase pré-interprétative avant la compréhension (Prain & Tytler 2007). Klein (2006) fait un parallèle entre la première génération des sciences cognitives et la seconde génération et fait apparaître leurs caractéristiques respectives par contrastes (Tableau 8).

Tableau 8 : comparaison des dimensions inhérentes à la première et à la deuxième génération des sciences cognitives (d'après Prain & Tytler 2007)

Dimension	« First generation cognitive science »	« Second generation cognitive science »
Construction du sens	Calquée sur un texte scientifique	Personnelle, différente du texte scientifique
Éléments de connaissance	Concepts déterminés, bien définis, décontextualisés, liés par des structures propositionnelles	Pensée et langage sont expressifs, avec des concepts flous, contextualisés et basés sur les perceptions
Pensée	Basée sur la logique, impliquant la manipulation de symboles	Basée sur la reconnaissance et l'appropriation des formes, pensée par association utilisant analogie et métaphore
Langage	Le langage est explicite, un produit de la pensée qui est l'unité fondamentale	Langage et pensée sont entremêlées. La métaphore et les structures narratives sont centrales dans l'explication
Cerveau	Reflète, représente, interprète la réalité	Organe adaptatif. La cognition est partagée avec l'environnement
Esthétique, émotionnel	Ce qui est conceptuel et esthétique est séparé	Ce qui est conceptuel et esthétique est entremêlé

Ce tableau montre l'introduction d'une vision plus personnelle, plus intuitive et moins rationnelle dans l'apprentissage des sciences et place le langage au premier plan de la construction de la pensée. La nécessité de former sa pensée selon plusieurs modes sémiotiques est un aspect très important. Waldrip, Prain & Carolan (2007), s'appuyant sur le modèle triadique de Peirce (1931-58), proposent quatre modes de représentations : descriptif (oral, graphique, tubulaire), mathématique, figuratif (pictural, analogique et métaphorique) et kinesthésique ou gestuel. Leurs travaux montrent que le fait de demander aux élèves de représenter leurs premières compréhensions des concepts et processus à l'aide de différents modes de représentations permet une amélioration significative de l'apprentissage.

Ces auteurs insistent sur l'importance des aspects perceptifs et émotionnels dans l'apprentissage des sciences, ils proposent et testent des situations d'enseignement qui s'appuient sur des productions personnelles d'élèves. Pour eux, il est important de donner une place à l'expression personnelle qui va utiliser divers modes (variables selon les individus) en fonction des styles cognitifs de chacun. Selon eux, les conditions d'appropriation d'un savoir scientifique par l'élève et les représentations qu'il se fait de la nature de la connaissance scientifique sont ainsi fortement liées à ses conceptions du langage scientifique et au mode d'écriture qu'il adoptera au cours de son apprentissage. Cette posture nous paraît importante car elle introduit une dimension personnelle, sensible, esthétique et créative dans les apprentissages scientifiques. Nous pensons qu'introduire des productions personnelles (ou un espace d'expression comme ou la production d'arguments au cours de débats ou d'échanges

entre élèves), dans un cours de science, aidera l'élève dans son implication et dans sa motivation. Cela aidera l'élève à s'appropriier et à structurer la tâche qu'il effectue, et cela participera à donner du sens à ce qu'il fait. Nous pensons qu'il est utile de développer ces compétences dans une formation scientifique, si l'on accepte l'idée qu'une attitude scientifique intègre une dimension créative. Nous sommes d'accord avec l'idée que chaque élève a un mode de représentation qui lui est propre pour exprimer sa compréhension des concepts et donc qu'il convient de permettre à chaque élève de s'exprimer selon différents modes (texte, schéma, oral, graphique, métaphorique, gestuel). Nous pensons que cela contribuera à aider les élèves à prendre le contrôle sur leur propre apprentissage des sciences et à améliorer la compréhension des tâches qu'ils effectuent. Cela nous paraît aussi cohérent avec l'idée que la construction de savoir ne peut être séparée des pratiques langagières, que nous développons plus loin dans ce chapitre. Enfin, cela prend en compte la conscientisation par l'élève, pour reprendre la théorie des registres sémiotiques de Duval, qui a montré que la construction du sens est intimement liée à la conscientisation d'objets par le biais d'opérations cognitives coordonnées sur ces objets. Nous avons montré plus haut comment et pourquoi ce travail est nécessaire car, selon Duval, l'activité conceptuelle implique la coordination des registres de représentation. Pour toutes ces raisons nous nous inscrivons dans le cadre de la « *science literacy* » concernant la partie représentation de notre modèle.

Les objets d'étude ont dans un premier temps portés sur la caractérisation des écrits par des scientifiques (Halliday & Martin 1993) puis sur des travaux sur les écrits scientifiques à l'école et qui se sont alors ouverts à de multiples modes de représentation (verbale, textuelle, schématique, gestuelle et mathématique), qui permettent à chaque élève d'utiliser sa propre représentation. Prain (2006) s'appuie sur de nombreux travaux anglo-saxons pour argumenter l'utilisation de productions personnelles avec différents modes de représentations et en utilisant un mode d'expression qui peut être proche du langage courant. Selon les travaux cités par Prain, le fait de permettre cela aux élèves, améliore leur engagement dans la tâche. D'autre part les élèves doivent comprendre et s'appropriier différents modes de représentations des concepts et des procédures et doivent être capables de traduire l'un en l'autre pour être ensuite capable de décoder les idées des scientifiques au travers de leurs productions qui sont elles aussi multimodales. Enfin, le fait de permettre aux élèves de représenter les concepts et les procédures en utilisant leur langage de tous les jours (« *everyday langage* »), permet de valoriser l'imagination, l'anticipation, le ressenti, l'intuition qui, d'après lui, sont des compétences inhérentes aux méthodes scientifiques. Dans le chapitre suivant nous présentons une étude réalisée en classe de seconde, dans un enseignement de S.V.T. et que nous avons élaboré et analysé dans le cadre des « *science literacy* ».

5.3.2 Les carnets de vécu : productions multimodales (textes et photographies) sur le thème de l'organisme en fonctionnement en classe de seconde

Nous avons proposé à des élèves de seconde de représenter leurs idées par le biais de la photographie. Le travail dont il est fait ici référence est celui de Denis Michel dont j'ai encadré le mémoire de master 2 Recherche de didactique des sciences, à l'Université Joseph Fourier en 2008 (Michel 2008). Il s'agissait d'introduire une approche sensible, personnelle et esthétique dans un enseignement de sciences de la vie et de la terre et de donner envie à chacun de s'exprimer par la photographie commentée d'un texte dans un contexte scientifique. Ces deux modes (texte et photographie) sont proposés à tous les élèves comme un moyen d'exprimer un point de vue sensible.

L'objectif était de montrer aux élèves une autre image de la science, où la personne dans toute sa complexité, rationnelle ou moins rationnelle intervient dans l'élaboration de modèles. Il s'agit d'un moment, assez court certes, où l'élève peut exprimer ses idées, ses émotions, et les relier à l'activité scientifique qu'il est en train de réaliser. Il s'agit d'introduire une modalité d'écriture personnelle de l'élève, il s'agit de proposer aux élèves de s'engager dans un processus d'expression et de créer une situation de communication entre l'adolescent qui produit l'image et un spectateur (l'enseignant) qui la reçoit.

Le cadre théorique utilisé est celui du rapport au savoir de l'élève, des conceptions et de « *science literacy* ». La problématique générale de la recherche concerne la relation de sens qui existe entre les lycéens et le savoir qu'ils doivent apprendre au lycée.

Les questions de recherche suivantes ont été posées :

- comment l'analyse de photographies et de textes obtenus grâce à une pratique photographique autonome, peut-elle être croisée avec l'analyse des recueils de conceptions ou des bilans de savoir ?
- En quoi cette pratique photographique de l'élève réalisée pendant le déroulement de plusieurs séances d'apprentissage, peut-elle conduire à une analyse complémentaire du rapport au savoir ?
- Le type d'écriture que contiennent les feuillets du « carnet de vécu » d'un lycéen peut-il révéler à l'élève la conception qu'il se fait de lui-même face au monde ?

Denis Michel (2008) a introduit dans sa classe ce qu'il a appelé des « carnets de vécu » qu'il a présenté aux élèves de la façon suivante : « *La photo que vous avez prise correspond « à quelque chose » du cours suffisamment importante pour que vous ayez envie d'en laisser une « trace » et de l'expliquer avec un mot, une phrase, ou mieux un petit texte* ». Le carnet de vécu est « *composé de feuillets comportant une photographie et un texte par séance* ».

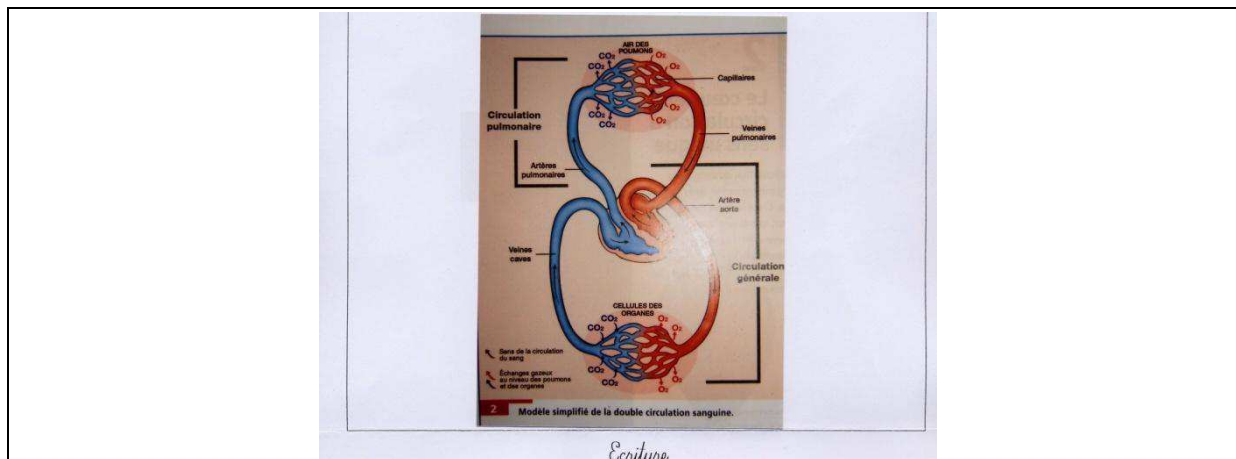
Extrait de Michel 2009

« La situation de photographie

Elle est née de cette réflexion autour de l'image photographique produite en **autonomie** par un élève, qui devient auteur d'un objet intentionnel d'une part, capable d'exprimer un regard d'autre part. Sa conception trouve ses racines dans les constats faits avec les adolescents engagés dans les parcours artistiques. Au cours de chacun d'eux, l'adolescent était conduit par l'artiste photographe, Francis Helgorsky, dans une « expression de lui-même face au monde » ; peu à peu, l'acte de prise de vue lui apparaissait comme une nouvelle modalité d'écriture personnelle, la photographie devenait à ses yeux un propos. Progressivement un constat s'imposait à nous au cours des ateliers : le fait de solliciter un élève vis-à-vis de situations vécues (il s'agissait de situations extrascolaires) en l'invitant à prendre en autonomie une photographie (une consigne précise était donnée par l'artiste), le conduisait peu à peu à **prendre conscience du regard qu'il porte sur le monde et à s'engager dans un processus d'expression**. On passait ainsi d'une pratique photographique devenue – surtout avec l'utilisation de l'appareil numérique – « pratique presse-bouton », à un **acte signifiant d'écriture**.

La situation de photographie est une situation un peu inhabituelle dans un cours de sciences : elle cherche à placer l'élève (qui a endossé sa blouse de TP), pendant le bref instant de prise de vue, dans des conditions apparentées à celles des ateliers de pratique artistique. Ce qui nous occupe dans la situation de photographie, n'est pas la maîtrise dont a fait preuve le photographe, **ce sont les images qui peuvent naître au moment de la lecture des photographies, chez leur auteur comme chez leurs spectateurs** ; c'est au moment exact de l'interaction entre le médium et le spectateur que s'installe un lien possible, une **communication** entre le corps qui produit l'image, en l'occurrence l'adolescent, et celui qui la perçoit, c'est-à-dire son spectateur, adolescent ou adulte. **C'est parce que cette interaction existe, que la phase de lecture des photographies peut revêtir une importance capitale dans la mise en mouvement d'une parole personnelle de l'élève dans l'espace de la classe.** »

L'expérimentation porte sur le chapitre « l'organisme en fonctionnement » du programme de seconde de 2001 et plus particulièrement sur la circulation sanguine. La méthodologie utilisée pour ce travail est une analyse complémentaire des conceptions des élèves sur la circulation sanguine, un bilan de savoir visant à recueillir des informations sur « *ce qui fait sens pour l'élève, ce qui a de l'importance et de la valeur pour lui* » (Chartrain & Caillot 2001) et une analyse des carnets de vécu (analyse des registres des photographies et du texte les accompagnant). L'analyse des carnets de vécu montre que les registres émotionnels et personnels sont très présents dans les productions des élèves. Ces registres se retrouvent chez tous les élèves quelque soit leur rapport au savoir, comme le montre l'exemple de carnet de vécu et l'extrait de Michel 2009, ci-dessous (Figure 21).



Le cœur, une pompe fantastique !

Aujourd'hui, on a disséqué un cœur d'agneau. Bien que je n'aime pas particulièrement, je trouve très important de connaître son fonctionnement et celui de tous les organes de notre corps, c'est un sujet particulièrement intéressant à mes yeux car je fais beaucoup de sport et je trouve que cela nous aide à mieux se connaître. Car c'est tout de même fascinant ce cycle !

Figure 21 : exemple de feuillet d'un carnet de vécu

Extrait N°2 de Michel, 2009

« Les carnets de vécu montrent que les situations de photographie peuvent donner lieu à une **double écriture** (type de photographie choisi par l'élève et type de texte écrit à partir de la photo). Si l'on envisage le type et la nature du texte écrit à partir de la photographie pour le confronter aux réponses des bilans de savoir, des pistes intéressantes peuvent être dégagées pour certains élèves. Ainsi un élève qui montre, pour le savoir en général, un rapport relevant de la modalité « Le lycée, lieu stratégique » (d'obtention d'un métier, d'un statut social), utilise les situations de photographie pour écrire des narrations courtes, centrées sur une perception plus personnelle de la séance de classe.

Pour un autre élève, cent pour cent des unités de sens identifiées dans son bilan de savoir relèvent d'une modalité appelée « Le lycée, une fin en soi » (séparation nette école/hors école) ; l'étude des pratiques langagières dans son carnet de vécu montre aussi une difficulté de dissocier expérience personnelle et expérience scolaire : pour la plupart des feuillets, les productions sont donc cohérentes avec celles des bilans de savoir. Mais un feuillet du carnet de vécu fixe un instant important pour l'élève au cours d'une séance de travaux pratiques (réussite d'une dissection) : la prise de conscience que son travail peut être pris en considération par l'enseignant, dans un domaine qu'il ne jugeait pas être le sien (il revendique une appartenance au domaine littéraire) ; moment de scolarité pendant lequel l'adolescent vit le lycée autrement (lieu de construction de soi). »

Ce travail mené avec une classe « difficile » en seconde, et avec des élèves assez peu motivés pour les S.V.T., montre que le fait de solliciter une expression personnelle a permis à certains élèves de redonner un intérêt au cours de S.V.T. En mettant en place cet outil, l'enseignant a donné à voir à l'élève un autre regard porté par l'enseignant sur l'élève. Il leur a permis de faire un lien entre deux aspects d'une même personne : l'adolescent et l'élève.

Discussion

Certains élèves ont trouvé un lien entre les activités proposées et des activités extra-scolaires, comme dans l'exemple présenté dans la Figure 21, où l'élève relie la dissection du cœur à la pratique du sport qu'il mène pendant ses loisirs. Ces résultats corroborent les préconisations des chercheurs en « science literacy ». Pour Prain (2006, p. 196) « *There is emerging evidence*

of enhanced conceptual learning gains when students are required to elaborate their understandings and reasoning processes in writing that goes beyond brief technical vocabulary, (...), connect science inquiry to their everyday world and values, and construct texts for diverse real readerships » [Il y a des preuves d'un développement d'un gain d'apprentissage conceptuel quand il est demandé aux élèves de formaliser leur compréhension et leurs raisonnements dans une écriture qui dépasse le vocabulaire technique rapide (...), de connecter l'investigation scientifique à leur univers quotidien et à leurs valeurs et de construire des textes pour un vrai lectorat qui peut être de divers types]. Pour ces auteurs, les connaissances scientifiques prennent du sens pour les élèves s'ils arrivent à faire une connexion avec leur vécu personnel et quotidien, et en utilisant leur langage quotidien (Christie 1981).

D'autres auteurs (Gee 2004 ; Halliday 1993 ; Martin 1993) mettent en garde sur le fait que le langage quotidien peut empêcher de creuser les idées dans le détail ou d'empêcher de mener des raisonnements rigoureux. Nous sommes tentée de faire un parallèle entre ces assertions et la rupture épistémologique développée par Bachelard (1938) entre ce qu'il nommait le « sens commun » et les théories scientifiques. Le sens commun qui selon Bachelard s'oppose à « la formation de l'esprit scientifique ».

Le point crucial est la possibilité pour les élèves de s'approprier les moyens de formaliser leur pensée, en utilisant un langage qu'ils maîtrisent et en reliant certains faits observés en classe de science à leur vécu quotidien. Une des difficultés de ce type de projet est d'éviter que les émois personnels ne freinent les apprentissages. Des précautions éthiques sont donc à prendre. Dans le cas cité, l'enseignant a été confronté à des confidences très intimes de la part d'élèves, ce qui fut difficile à gérer pour lui. En effet, même s'ils sont amenés à connaître des éléments de la vie des élèves, il n'est pas dans la mission des enseignants d'écouter et de résoudre les problèmes personnels des élèves. Dans le cadre présenté ci-dessus, on comprend l'intérêt d'introduire une vision personnelle et créative dans une activité scientifique, mais des conditions doivent être clairement posées, concernant le type d'écrits à produire et le fait qu'il doit exister un lien entre les écrits et le cours de S.V.T. Pour toutes ces raisons le projet a été reconduit durant l'année scolaire 2008/2009 mais il a été recentré sur l'apprentissage des S.V.T., avec la consigne suivante : « *Si vous deviez proposer une image traduisant ce travail personnel concernant les S.V.T., quelle photographie feriez-vous ? (photographie pouvant être prise dans le quotidien et faisant écho à ce que vous êtes en train d'apprendre ; objet ? paysage ?)* » (Denis 2009, p. 8). Le but de cet acte photographique est d'améliorer l'implication des élèves dans les apprentissages de sciences de la vie et de la terre.

De façon plus générale, le fait de reformuler sa pensée sous plusieurs formes, d'explicitier ses idées et de les justifier à d'autres ou à soi même, améliore la compréhension des notions (Prain 2006, p. 190). L'argumentation est une autre forme sémantique qui est mise en place au cours des processus de construction des connaissances scientifiques. Dans la partie suivante, nous analysons un travail portant sur le rôle de l'argumentation, mis en œuvre avec des élèves de seconde dans le cadre du projet européen SCY (Science Created by You).

5.4 Argumentation lors de la construction de représentations : rôle de la verbalisation lors de la production d'ELO sur la plateforme d'apprentissage SCY-Lab

5.4.1 Introduction

Dans ce paragraphe nous étudions un autre exemple de productions multimodales élaborées par les élèves sur la plateforme d'apprentissage SCY-Lab, du point de vue de l'argumentation. Nous avons insisté dans le paragraphe 5.2 sur le rôle des représentations dans l'apprentissage des sciences et sur la dimension personnelle, mais faire des sciences exige de dépasser un point de vue personnel pour construire des énoncés par le groupe classe qui peut alors être assimilé à une communauté discursive. La production d'arguments constitue une autre façon, pour les élèves, de structurer leur pensée et de la faire évoluer en la confrontant à celle des autres. Dans ce paragraphe nous présentons une étude des processus utilisés par les élèves pour produire des représentations, en analysant la dynamique argumentative d'une part et la construction de savoir d'autre part. Nous regardons avec un grain fin, comment se met en place la co-construction langage savoir. Dans un premier temps nous replaçons notre travail dans le cadre des recherches sur argumentation et apprentissage des sciences.

Les auteurs cités ci-dessous, francophones ou anglo-saxons, se sont attachés à clarifier les relations entre apprentissages scientifiques et langage. Pour Muller-Mirza (2008), l'argumentation est à la fois un moyen et un objet d'apprentissage en sciences. En effet l'argumentation est au cœur des processus de validation des concepts scientifiques, car un savoir scientifique s'appuie sur un réseau de preuves reconnues par la communauté scientifique. De plus, la construction d'un raisonnement scientifique par les chercheurs est par nature de type argumentatif, il est donc important de former les élèves à cette forme de langage.

Le langage serait-il outil de construction du savoir ou un média utilisé pour le faire connaître ? Existe-t-il une co-construction du langage et du savoir scientifique ou le langage est-il au service d'un savoir qui s'exprime logiquement et clairement ? Dans ce cas, le savoir préexisterait au langage. Les didacticiens ont tendance à penser qu'il y a une co-construction langage-savoir (Rebière & Jaubert 2009). Ce postulat, que la construction de savoir ne peut être séparée des pratiques langagières mises en œuvre et que les deux évoluent conjointement, est à la base de nombreux travaux. Ces travaux sont d'ailleurs menés conjointement par des linguistes et par des didacticiens (Plantin & Buty, dir., 2008 ; Schneeberger & Vérin, dir., 2009a).

De nombreux auteurs s'accordent aussi sur le fait qu'il existe un lien entre la capacité à produire une argumentation et l'apprentissage en sciences (Kuhn 1995a, 1985b ; Siegler 2000). Pour certains auteurs, le fait d'être engagé dans une discussion de type argumentative améliore la compréhension des notions dès l'école élémentaire (Wiley & Voss 1999 ; Zohar

& Nemet 2002 ; 1998, 2001, Kuhn & Udell 2003). L'argumentation constitue une trace de l'apprentissage, et le fait d'argumenter aide les élèves à structurer leur pensée et à faire des liens entre des idées. Certaines conditions sont à respecter si l'on veut parler d'apprentissages effectifs.

Pour Vergnaud (2010), l'argumentation est définie comme un processus de construction de connaissances car la représentation est liée à la conceptualisation. Même si pour lui la conceptualisation ne s'arrête pas à la symbolisation, en effet il y a nécessité d'une prise de décision cognitive de la part du sujet.

Pour Sangin, et al, (2008), les arguments ne sont pas tous de même nature, aussi ils ont défini trois niveaux d'arguments en fonction de leur complexité. Pour ces auteurs, il y a une relation entre une proposition formulée avec un haut niveau d'élaboration et les apprentissages parce que « *producing elaborated verbalization and explanation triggers activities such as analogies and reformulations that result in more elaborated knowledge.* » [Le fait de produire des verbalisations élaborées et des explications déclenche la réalisation d'activités comme les analogies et les reformulations dont le résultat est une connaissance plus élaborée.] En résumé le niveau d'argumentation est en lien avec le niveau de conceptualisation si les conditions énoncées ci-dessus sont respectées. C'est-à-dire si l'argumentation comporte une dimension cognitive, s'il y a une prise de décision cognitive et s'il y a production d'explications. Nous avons utilisé les trois niveaux d'arguments (haut, moyen et bas) définis par Sangin et al, pour évaluer le niveau d'élaboration scientifique des productions d'élèves impliqués dans une activité de conception (concevoir une maison émettant peu de CO₂) dans le cadre du projet européen SCY (Science Created by You). La définition de ces niveaux et la façon dont nous les avons utilisés est détaillée dans le paragraphe 5.4.3, ci dessous.

Nos travaux portent plus spécifiquement sur deux aspects : l'évaluation du « niveau scientifique » des arguments utilisés par les élèves pour justifier leurs propositions dans des productions écrites et l'analyse des arguments produits lors d'échanges verbaux entre élèves au cours du travail sur le SCY-Lab (plateforme informatique pour l'apprentissage des sciences développée dans le cadre du projet SCY). Nos recherches portent sur l'évaluation de productions écrites d'élèves et sur la modélisation des connaissances des élèves dans une situation d'interaction langagière alors qu'ils travaillent sur la plateforme SCY-Lab et sur les conditions favorisant la production d'ELO (Emerging Learning Object) en mobilisant des connaissances scientifiques (Marzin & van Joolingen 2010 ; Marzin 2010 ; Marzin & Julien 2011).

5.4.2 Contexte du travail : le projet européen SCY

Le projet SCY « *Science Created by You* » est un projet IP du programme européen « *ICT theme of the 7th Framework Program for R&D* » (dont le consortium réunit douze partenaires issus de sept pays (Allemagne, Canada, Chypre, Estonie, France, Norvège, Pays-Bas), dirigé par Ton de Jong (Université de Twente, NL). Le but du projet est de concevoir et de développer une plateforme informatique pour l'apprentissage des sciences et des technologies

guidée par la démarche d'investigation (de Jong et al. 2010). Le projet a commencé en mars 2008 et il s'est achevé en mars 2012. Notre équipe a eu en charge le groupe de travail « *Work Package* » 8 appelé « *mission* » qui s'occupait du développement des contenus pédagogiques et didactiques des quatre missions développées au cours du projet. J'ai été responsable de ce WP pendant les 18 premiers mois du projet.

SCY utilise une approche pédagogique flexible et évolutive durant laquelle les élèves travaillent en se déplaçant dans des espaces nommés LASs « *Learning Activity Spaces* » (espaces d'activités pour l'apprentissage) (Lejeune, A. et al, 2009). Chaque LAS est défini par rapport à un type d'activité donné (s'informer, s'orienter, concevoir un protocole expérimental, expérimenter, analyser des données, rédiger un rapport). En travaillant dans chacun de ces espaces, les apprenants vont concevoir des objets « *Emerging Learning Objects* » ELOs (Hoppe et al 2005), que l'on peut traduire par objets émergents pour l'apprentissage, à l'aide de différents outils informatiques (traitement de texte, éditeur de dessin, éditeur de cartes conceptuelles, grapheur, outil de traitement de données, simulations, ...). L'approche pédagogique proposée par SCY est basée sur le constructionisme qui s'appuie sur le fait que la construction de connaissances survient quand les élèves sont engagés dans la construction d'objets (Kafai & Resnick 1996).

Les supports multimédia et les environnements informatiques pour l'apprentissage sont particulièrement pertinents pour accompagner les élèves dans la production de représentations multimodales. Pour Linn (2000), les environnements informatiques apportent une aide spécifique à l'apprentissage en proposant des voies plus riches pour clarifier les concepts, les reformuler et pour pratiquer les sciences. Pour elle, de tels environnements permettent aux élèves d'étendre, de revoir, de restructurer, de reconnecter et de hiérarchiser d'une façon différente leurs modèles (ibid., p. 783).

Les programmes scolaires de différents pays, souvent à la suite des évaluations PISA⁷, mettent en avant le fait que les élèves font des liens entre les sciences faites en classe et les sciences utilisées par les citoyens dans leur vie quotidienne. Les connaissances intégrées sont pensées dans ce contexte pour faire des liens entre la science de la classe et la compréhension de phénomènes par les citoyens et donc pour importer dans la classe des outils utilisés dans le quotidien comme le web, le multimédia ou les outils de communication.

Jonassen & Carr (2000, p. 166) indiquent que les environnements informatiques mettent à disposition des élèves cinq types d'outils cognitifs pour l'apprentissage (« *cognitive tools for learning* ») : les outils pour l'organisation sémantique (bases de données, trames conceptuelles), des outils pour la modélisation dynamique (simulations, modèles virtuels), des outils pour interpréter l'information, des outils pour construire des connaissances

⁷ PISA : OECD Programme for International Student Assessment. « PISA est une enquête menée tous les trois ans auprès de jeunes de 15 ans dans les 34 pays membres de l'OCDE et dans de nombreux pays partenaires. Elle évalue l'acquisition de savoirs et savoir-faire essentiels à la vie quotidienne au terme de la scolarité obligatoire. Les tests portent sur la lecture, la culture mathématique et la culture scientifique et se présentent sous la forme d'un questionnaire de fond » (www.oecd.org).

(hypermédia, outils qui permettent de mettre en lien des concepts) et des outils de conversation (chats, discussions en ligne qui permettent de construire des communautés pour l'apprentissage et dont le but est de clarifier et de partager ses compréhensions et ses représentations).

La plateforme SCY-Lab propose aux élèves et aux enseignants une approche intégrée de ces différents outils. Le SCY-Lab propose une structure (un enchaînement de LAS), un support pour construire des objets (les ELOs) et différents outils permettant aux élèves de concevoir des productions dans différents modes. La réflexion des élèves est nourrie à partir de ressources sélectionnées par les concepteurs des quatre « missions » (nom donné aux situations proposées) disponibles dans la plateforme. La première mission propose de concevoir une maison émettant peu de CO₂, elle est intitulée « *CO₂ Friendly House* », la seconde mission propose aux élèves de confectionner une pizza diététique, la troisième mission est l'analyse de l'écosystème d'un lac et la quatrième mission consiste à effectuer une enquête policière pour déterminer si un suspect était présent sur une scène de crime à partir d'une analyse ADN. En France, nous avons testé la mission 1 et la mission 4.

Parallèlement aux aspects de développement informatique et pédagogique, un travail de recherche a été effectué par les différents partenaires. Le projet SCY a utilisé un processus itératif pour évoluer à partir des recherches effectuées à chaque phase du projet. Nous avons étudié deux aspects :

- les productions finales des élèves, en évaluant la « scientificité » des productions des élèves
- le processus mis en œuvre par les élèves lors de l'élaboration des ELO, par la modélisation des connaissances des élèves dans une situation d'interaction langagière alors qu'ils travaillent sur la plateforme SCY-Lab.

5.4.3 L'analyse de la forme et du niveau scientifique des arguments produits par les élèves dans les ELOs

Lors d'une expérimentation « papier-crayon », menée avec deux classes de seconde au lycée Madame de Staël à Saint-Julien-en-Genevois (74) dans le but de tester le déroulement pédagogique de la mission 1, nous avons fait le constat que les élèves étaient très impliqués dans le travail proposé, mais dans l'évaluation finale que nous avons proposée, le ressenti des élèves était qu'ils avaient l'impression de ne pas apprendre des sciences physiques. cela a été confirmé par l'analyse des portfolios des élèves qui a montré un déficit de contenu scientifique. Les paramètres utilisés et les choix proposés étaient souvent empiriques ou provenaient de copiés-collés issus des ressources que nous leur avons proposé (Marzin 2010a). Lors de cette mission, les élèves étaient organisés en jigsaw (alternance de groupes de conception et de groupes d'experts).

Une deuxième expérimentation avec la plateforme SCY-Lab a été menée en conditions expérimentales en juin 2010 dans les locaux de l'Université Joseph Fourier, avec un petit groupe de huit élèves de seconde volontaires. Les élèves ont travaillé pendant 11 heures

réparties sur deux journées de travail. L'organisation pédagogique en jigsaw et la répartition des élèves dans les groupes est décrite dans la Figure 22 ci-dessous. Les différents résultats de ce travail ont été présentés à Helsinki lors de la conférence ECER (Marzin & van Joolingen, 2010), à Lausanne (Marzin 2010a) et à Lyon lors de la conférence ESERA (Marzin & Julien, 2011).

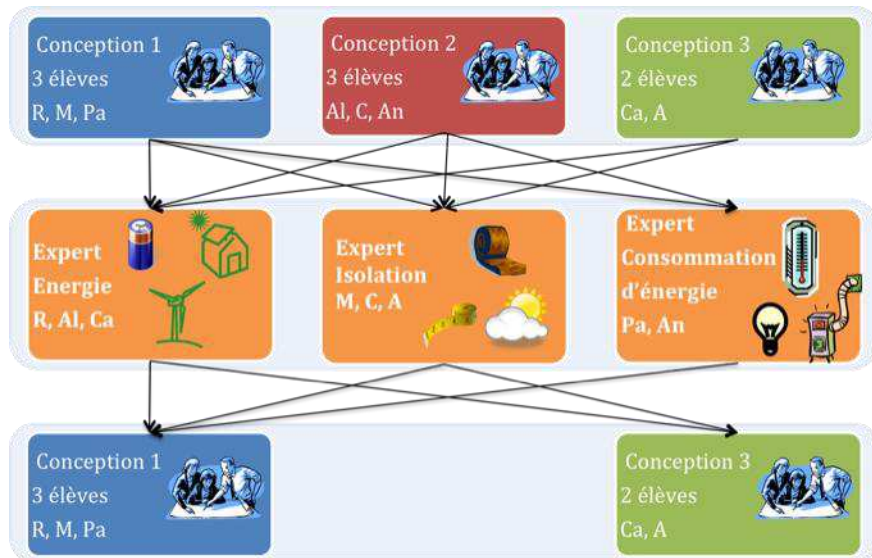


Figure 22 : organisation pédagogique en jigsaw et répartition des élèves au cours de l'expérimentation (les lettres symbolisent les initiales des élèves)

Les groupes de conception devaient, dans un premier temps, prendre connaissance du problème général de la mission et de l'objectif final (concevoir une maison rejetant peu de CO₂). Ils devaient ensuite écrire leurs premières idées pour répondre à ce problème. Puis, chaque élève devait s'inscrire dans un groupe d'expert, dont le but de leur travail était de recueillir des données dans trois domaines différents : l'apport d'énergie pour la maison, la réduction des déperditions thermiques et l'usage domestique de l'énergie dans la maison. Chaque groupe d'experts avait à sa disposition des ressources d'origines différentes : le groupe travaillant sur les apports d'énergie recueillait ses informations sur internet. Le groupe travaillant sur les déperditions d'énergie utilisait une simulation présente dans SCY-Lab. Le groupe travaillant sur l'utilisation de l'énergie dans la maison devait proposer et réaliser des expériences réelles et utiliser une simulation.

Enfin, chaque élève rejoignait son groupe de conception initial afin de présenter toutes les informations et les données récoltées dans les groupes d'experts. Les décisions finales sur la conception de la maison devant être prises en groupe de conception. Un travail de débat et d'argumentation devait naturellement se mettre en place au moment des prises de décisions.

Les questions que nous nous sommes posé sont :

- Quels arguments sont utilisés dans les ELOs « conclusion des experts » et « présentation des groupes de conception » ?

- Est-ce que les élèves réutilisent les données de leurs expérimentations, les résultats, les conclusions des expériences, la concept Map, ou des informations issues des ressources ?
- Quels types d'arguments sont utilisés ?

Tenant compte du constat issu de l'expérimentation précédente, nous avons introduit de nouvelles consignes afin d'étayer la production des élèves selon trois points :

- Sur la forme des arguments de la conclusion : en définissant un degré de scientificité attendu pour les conclusions des groupes d'experts (les arguments doivent contenir des lois, des données et doivent s'appuyer sur les résultats des expériences).
- Sur le statut de la conclusion : elle doit contenir une liste de choix avec des arguments à présenter par les experts au groupe de conception.
- Sur le moment où la décision doit être prise : les décisions doivent être prises dans les groupes de conception en s'appuyant sur les propositions des groupes d'experts.

Pour coder les arguments produits, nous avons adapté la classification proposée par Sangin et al (2008).

Nous avons classé les arguments selon trois niveaux :

- Bas niveau (technologique) : quand les propositions répètent ou reformulent une information en faisant du copier-coller.
- Niveau moyen (expérimental) : quand les propositions intègrent des éléments provenant de différentes ressources ou des données avec des liens causaux.
- Haut-niveau (scientifique) : quand les propositions intègrent des éléments pas seulement proposés dans les ressources mais ajoutés par les élèves sur la base de leurs connaissances (ou conceptions). Les élèves prouvent leurs choix par une justification quantifiée.

En utilisant cette classification, nous avons obtenu les résultats présentés dans le Tableau 9 ci-dessous. Les experts en énergie ont travaillé à partir de ressources issues du web, les experts en isolation ont travaillé à partir d'une simulation développée pour le projet, et les experts sur les usages domestiques pouvaient réaliser des expériences.

Tableau 9 : évaluation des arguments des élèves dans deux types d'Elos

ELOs	Groupes	Niveau	Choix	Loi
Conclusion des groupes d'experts	Usages domestiques	Haut	Non	Non
	Energie	Moyen	Non	Non
	Isolation	Haut	Non	Non
Présentation du groupe de conception N°1	Usages domestiques	Moyen	Oui	Non
	Energie	Bas	Oui	Non
	Isolation	Bas	Oui	Non
Présentation du groupe de conception N°3	Usages domestiques	Moyen	Oui	Non
	Energie	Moyen	Oui et Non	Non
	Isolation	Bas	Oui	Non

Le niveau d'argumentation est plus élevé dans les groupes d'experts que dans les groupes de conception. Dans les groupes d'experts, les choix sont quantifiés et basés sur des données ou des résultats des expériences, alors qu'ils ne le sont pas dans les groupes de conception. Contrairement aux expérimentations précédentes, les groupes d'experts ont présenté une liste exhaustive et les choix ont été effectués dans les groupes de conception, sauf pour le groupe énergie où il n'y a pas eu véritablement de choix dans le groupe de conception n°3 qui a gardé toutes les sources d'énergie. Cela est peut-être dû au fait qu'il n'y a pas eu de quantification et de comparaison de rendements pour chaque source d'énergie et de ce fait le groupe a conservé les quatre sources d'énergie : solaire, éolien, hydraulique et la pompe à chaleur. Le groupe de conception n°3 a choisi le solaire qui était leur idée de départ. Aucune loi physique n'est citée par les élèves dans leurs ELOs.

Lorsque l'on compare les formes et les types d'arguments utilisés, nos résultats montrent que les arguments issus d'expériences réelles ou simulées sont plus précis et formulés dans un registre plus scientifique. Ces arguments sont aussi davantage en lien avec la question posée. cela peut s'expliquer par le fait que dans les documents du web, les élèves trouvent beaucoup d'éléments provenant de différents registres (esthétiques, économiques) qui leur semblent intéressants même s'ils n'ont pas de lien direct avec le problème et qu'ils les utilisent dans leur argumentation. Cela renvoie aux résultats de Zohar & Nemet (2002) ou de Sandoval (2003) sur la difficulté des élèves à lier les données au problème et aux conclusions.

Concernant le lieu des choix de décision pour la maison, nous constatons que les consignes ont fonctionné et que les décisions ont été prises dans les groupes de conception à l'aide d'une liste de solutions possibles proposées par les groupes d'experts. Cette liste est étayée par des justifications scientifiques dans les groupes d'experts isolation et utilisation domestique. Ces résultats montrent que les élèves ont l'air d'avoir compris l'intérêt de justifier leurs arguments. Enfin, les élèves n'ont jamais utilisé des lois scientifiques dans leurs justifications. Cela peut s'expliquer par l'absence de contrainte et de besoin par rapport à la formulation de telles lois. L'organisation pédagogique en jigsaw qui donne la contrainte aux élèves de communiquer à leurs pairs est un point clé dans ce travail pour que les élèves soient impliqués dans une approche argumentative. La réutilisation des ELOs construits progressivement au cours de la mission est un point clé du projet SCY. Nos résultats montrent que cette

construction progressive amène les élèves à formuler chaque étape des raisonnements mis en œuvre au cours de la mission, et que les élèves ont toujours à l'esprit le but final à atteindre. La création des ELOs semble aider les élèves à construire leurs conclusions et leurs argumentations, qui sont en quelque sorte des synthèses du travail effectué précédemment et qui contiennent des éléments de plusieurs ELOs, comme nous le montrons par les deux exemples analysés ci-dessous.

Pour compléter ces résultats et pour mieux comprendre comment les diverses ressources proposées sont utilisées dans le processus de construction des ELOs par les élèves, nous avons analysé les interactions argumentatives entre élèves alors qu'ils étaient en train de produire leurs ELOs.

5.4.4 Analyse du rôle des interactions argumentatives entre élèves alors qu'ils sont engagés dans la production d'ELOs

Les résultats présentés ci-dessous sont en cours de publication dans un ouvrage collectif (Marzin, Buty, Greco & Julien, accepté). Le but de notre recherche est d'étudier les interactions argumentatives entre élèves quand ils travaillent sur la plateforme SCY-Lab. Il s'agit plus précisément d'établir une relation entre les différents types d'arguments produits lors des échanges entre élèves et les ressources SCY utilisées pour comprendre le processus qui guide la production des ELO par les élèves.

Pour effectuer cette analyse, nous mobilisons deux cadres théoriques complémentaires, l'Argumentum Model of Topics (AMT, Rigotti & Greco Morasso 2010) qui nous permet de caractériser la nature des échanges et de formaliser les thèses avancées par les élèves et le cadre de la problématisation (Orange, Lhoste & Orange-Ravachol 2008) qui permet d'étudier la co-construction des thèses lors des échanges argumentatifs entre élèves. Ce second cadre permet aussi de mettre en évidence le rôle des ressources et des activités réalisées sur la plateforme. La confrontation des deux cadres et leur articulation dans l'analyse constituent aussi un des enjeux de ce texte. L'analyse dans le cadre de l'AMT a été effectuée par Greco Morasso qui a traité nos données à la lumière de ce cadre théorique issu de la linguistique. Nous ne présentons pas cette analyse de façon détaillée dans ce mémoire, car elle n'a pas été réalisée par nous. Nous en présentons quelques résultats qui éclairent et complètent l'analyse que nous avons effectuée dans le cadre de la problématisation. L'organisation pédagogique mise en place dans la situation est la même que celle décrite précédemment Figure 22.

- La problématisation

Christian Orange a proposé, avec Michel Fabre, le cadre théorique de la problématisation dans un ouvrage publié en 1997. Ce cadre a été utilisé et développé dans l'équipe de didactique des S.V.T. du CREN à Nantes. Il permet de modéliser la construction de savoirs scientifiques par des élèves en situation d'apprentissage. Ce cadre propose que les savoirs scientifiques prennent leur sens dans la relation qu'ils entretiennent avec les problèmes scientifiques. Il repose sur une analyse épistémologique proposée par Bachelard (1949), Jacob

(1970) et Popper (1991). Il s'inscrit aussi dans le prolongement des travaux de Canguilhem (1965) qui propose que le savoir scientifique possède un caractère apodictique, c'est-à-dire qu'il possède un caractère de nécessité par la construction des explications qu'il permet : « *il ne peut pas en être autrement* ». Pour Orange, les élèves engagés dans un débat scientifique, construisent des raisons à partir de leurs idées « par une «*mise en tension critique* » du savoir qui consiste à articuler « *explicitement des contraintes empiriques repérées comme pertinentes, avec des conditions de possibilité des modèles explicatifs* » (Orange 2000, p. 27).

La mise en tension entre les éléments du registre empirique (identification des contraintes empiriques) et les éléments du registre du modèle (ou nécessités sur le modèle) provoque une réorganisation du savoir qui permet la construction d'un savoir scientifique en donnant accès à des principes de nécessité (Bachelard 1949). « *Les espaces de contraintes en jeu dans un débat scientifique représentent ces articulations entre le registre empirique, le registre des modèles à l'intérieur d'un registre explicatif qui organise les façons de mettre en relation les éléments du registre empirique, celui du modèle et le type d'explication avancé.* » (Lhoste, Peterfalvi & Orange, 2007, p. 3). Le statut de référent empirique a été discuté dans l'article cité ci-dessus, ainsi que celui de nécessité. Les auteurs proposent la définition suivante pour distinguer ce qui est du domaine de la contrainte et celui de la nécessité : « *nous considérons comme contrainte un déjà-là convoqué dans un raisonnement actuel, alors qu'une nécessité serait un construit nouveau, sur la base d'un raisonnement* » (*ibid*, p. 7).

Comme nous l'avons souligné précédemment ce qui vient d'être décrit est essentiellement de nature épistémologique. Puisque l'attention des chercheurs se porte sur les phases de débat dans la classe, ou sur les verbalisations, une dimension linguistique et analytique doit être introduite (Orange 2003 ; Lhoste 2006 ; Orange, Lhoste & Orange-Ravachol 2009). Le processus langagier au cours duquel la problématisation se construit est analysé, au moyen de deux types d'éléments : des concepts et des représentations graphiques.

Orange, Lhoste & Orange-Ravachol (2008) fondent leur analyse des polylogues argumentatifs en classe sur le modèle du trilogue argumentatif (Plantin 1996). Ce modèle distingue dans le discours trois rôles, assumés par des locuteurs (différents ou non), le proposant, l'opposant et le tiers ; ces rôles sont essentiellement dynamiques et évoluent au cours du débat. Le proposant émet un point de vue, que les auteurs appellent *thèse*. L'opposant cherche à réfuter cette thèse, en émettant des *objections* (auxquelles peuvent répondre des *contre-objections*), et éventuellement en proposant une autre thèse. Le tiers prend en charge les « *questions* » que soulève ce débat, les doutes, les points à discuter finalement.

En ce qui concerne les représentations graphiques, les auteurs utilisent un diagramme à deux dimensions (Fillon & Peterfalvi 2004), mettant en évidence des relations entre des énoncés ; ce diagramme est dénommé « *macrostructure argumentative* ». Les énoncés sont contenus dans des rectangles, organisés de haut en bas suivant leur apparition dans le discours. Ils sont référencés, dans leur rectangle, par le numéro du tour de parole auquel on peut les attribuer. Dans ce rectangle, on trouve également mention de la nature de l'énoncé, de sa place dans le

discours : sont ainsi représentées les catégories thèse, argumentation de la thèse, objection, dépassement de l'objection, énoncé d'une question... Les rectangles sont reliés par des flèches, orientées dans le sens chronologique (donc de haut en bas).

- *Méthodologie*

Nous nous inscrivons dans le cadre de la problématisation pour analyser les échanges entre élèves dans le contexte de SCY, et nous avons utilisé la catégorisation proposée par Orange, Lhoste & Orange-Ravachol (2008) décrite ci-dessus que nous avons adaptée. Nous utilisons la formalisation proposée par ces auteurs pour rendre compte de l'évolution d'un débat, mais nous n'étudions pas véritablement la construction du problème par les élèves. Ce qui nous intéresse c'est d'étudier comment les élèves utilisent les ressources et les consignes proposées par la plateforme SCY-Lab pour construire les représentations formalisées dans les ELO.

Pour l'analyse, nous avons sélectionné les interventions relatives aux connaissances mises en jeu dans la discussion et au cours des échanges entre élèves. Nous avons laissé de côté toutes les interventions de nature affective ou les interventions qui servent à faire fonctionner la communication entre les élèves (qui sont en position méta par rapport au contenu). Nous avons aussi codé les références aux ressources dont disposent les élèves ainsi que les références aux actions que les élèves réalisent sur le SCY-Lab. Ces deux aspects ne sont pas utilisés dans les analyses présentées ci-dessous.

La méthode analytique décrite ici vise à identifier dans le corpus oral enregistré, les thèses, objections, questions éventuelles qui apparaissent au cours du passage argumentatif. Elle se base sur une transcription écrite, sous forme de tableau, du corpus. Ce tableau comporte quatre colonnes :

- La première colonne indique le numéro du tour.
- La deuxième indique le locuteur qui énonce le tour.
- La troisième colonne transcrit le tour ; cependant, à la différence de la pratique habituelle, un tour donné est si nécessaire décomposé en plusieurs *propositions*, et chaque proposition occupe une ligne spécifique du tableau. Une proposition est un énoncé homogène, au sens où il contient une seule idée différente de la proposition voisine, ou un objectif langagier particulier. Cette décomposition des tours vient du fait qu'en un tour de parole, un locuteur peut exprimer plusieurs idées ou réaliser plusieurs actes de langage, que notre analyse a intérêt à distinguer.
- La quatrième colonne porte mention de la catégorie dans laquelle on peut ranger la proposition.

Les catégories que nous avons distinguées ont été les suivantes :

- Les thèses (Tn) : elles sont notées en gras dans le corpus ; il peut se produire qu'elles soient répétées ou reformulées dans deux tours différents ; elles sont alors numérotées de la même façon.
- Les objections à la thèse (OpTn) : elles sont notées en italique dans le corpus.
- Les dépassements d'une objection (DopTn).

- Les raisons en faveur d'une thèse (RqTn).
- Les énoncés de questions (Qm).
- Les réponses à une question (RQm).
- Les conclusions (Cn).
- Les manifestations d'un accord (An).

Les cinq premières catégories se trouvent dans l'étude de cas d'Orange & al. (2009). Nous avons ajouté les trois dernières, qui nous paraissent nécessaire pour décrire complètement le rythme de l'argumentation. Il nous a également semblé utile de marquer par une trame de fond grisée les propositions qui servent à faire fonctionner la communication entre les élèves (qui se situent à un autre niveau que les propositions relatives aux connaissances mises en jeu dans l'argumentation). Nous avons représenté graphiquement l'enchaînement des thèses en qualifiant les liens qui les unissent à l'aide des catégories présentées ci-dessus (Figure 25 et Figure 26). Les échanges sont représentés graphiquement, les thèses sont rédigées dans des carrés, les flèches qualifient les liens entre les différentes interventions.

Nous présentons dans ce chapitre l'analyse d'une partie des données correspondant aux enregistrements des interventions de l'élève A dans son groupe de conception et dans son groupe d'expert, du début à la fin de la mission, et plus particulièrement l'étude d'une notion soulevée par cette élève en début de mission et qui a été reprise et suivie tout au long de l'expérimentation par chacun des groupes : la notion de « toit vert ». Nous avons sélectionné deux extraits qui traitent des toits verts : un premier extrait où les élèves sont en groupes de conception et qui porte sur les premières idées des élèves sur la mission et l'autre extrait où les élèves finissent leur travail en groupe d'experts isolation ; ce travail porte sur la conclusion des expérimentations. Le critère de choix utilisé est la possibilité d'identifier des thèses dans les échanges entre élèves. Pour l'analyse, nous avons sélectionné deux extraits : un premier extrait se situe au début de la mission et il porte sur l'élaboration de l'ELO « premières idées » par les deux élèves du groupe de conception n°3 élèves. Le second extrait porte sur l'élaboration de l'ELO « conclusion des expérimentations » par le groupe d'experts isolation qui est composé de trois élèves.

- *Analyse du premier extrait*

Nous avons intitulé le premier extrait « mettre un toit vert ». L'échange analysé a lieu le matin du premier jour de l'expérimentation. A et Ca forment ensemble le groupe de conception n°3. Elles élaborent l'ELO « premières idées » qui consiste à faire le point sur leurs premières idées sur la maison concernant les trois domaines d'expertise. Elles essayent de remplir un champ de texte avec leurs idées sur le domaine d'expertise « énergie », et A propose de mettre un toit vert sur la maison. Après ce passage, elles se sont rendues compte qu'elles ne remplissaient pas la bonne rubrique car sur le fichier de capture vidéo (obtenu avec le logiciel « camstudio ») on les voit remplir le champ « énergie domestique utilisée dans la maison » alors que Ca pensait être dans le champ « énergie ». De plus, tout ce qui concerne le toit, les murs et les fenêtres correspondent au domaine d'expertise « isolation de la maison ». Il y a donc ici une autre erreur dans le remplissage des champs de l'ELO.

La discussion entre les deux élèves porte sur l'effet d'isolant thermique d'un toit vert.

Les ressources dont elles disposent au départ précisent :

1. Que les toits verts sont isolants phoniques.
2. Qu'ils sont étanches à l'eau et à l'air.
3. Qu'ils sont résistants au vent et au feu.

Elles n'utilisent pas la première information, qui est pourtant pertinente pour la question de l'isolation thermique. La deuxième information, que les toits verts sont étanches à l'air et à l'eau, va faire l'objet d'un débat. Les deux élèves n'utilisent pratiquement pas la troisième information, que les toits sont résistants au vent et au feu, (elle est mentionnée par A au début), qui est partiellement pertinente pour le problème.

Les ressources consultées sont proposées par la plateforme SCY-Lab. La première page lue par A et Ca se trouve à cette adresse http://fr.ekopedia.org/Toit_vert et elle contient les informations suivantes :

« Le **toit vert** (toit végétal, ou encore toiture végétalisée) est un concept de toiture utilisant de la terre et des végétaux en remplacement de l'ardoise, la tuile... Historiquement, la construction de toitures végétales se fait de manière traditionnelle dans plusieurs pays scandinaves et européens. Le mélange de terre et de végétaux enracinés sur les toits permettait de réaliser des toitures bien isolées phoniquement, étanches à l'air et à l'eau, résistantes au vent et au feu. Le tout se faisant avec des matériaux facilement disponibles. »

Figure 23 : extrait d'une ressource web sur les toits verts proposé par le SCY-Lab.

Le second texte lu par Ca qui lui a fait changer d'avis est présenté ci-dessous. Cette page est une ressource SCY proposée aux élèves sur la plateforme, elle se trouve dans une ressource intitulée « exemple de maisons à faible émission de CO₂ ». Adresse de la page http://fr.ekopedia.org/Toit_vert#Avantages.

« Avantages

Environnementaux : En absorbant la chaleur, les toits verts réduisent la charge des appareils de refroidissement des bâtiments, en plus de filtrer l'air ambiant, éliminant les particules en suspension dans l'air et le [dioxyde de carbone](#). Pendant les épisodes de fortes pluies, les villes ont souvent du mal à évacuer l'eau. Une superficie suffisante de jardins suspendus accroîtrait considérablement l'absorption de l'eau de pluie, ce qui soulagerait le réseau d'égouts. De plus, à l'échelle d'une ville, ces toits végétaux peuvent réduire l'effet d'îlot thermique, réduisant considérablement la température de la ville en été.

Économiques : Une simple diminution de 1°C de la température de surface supprime 5 % de la demande en électricité pour la [climatisation](#) et la réfrigération. Selon l'expérience européenne, les toits verts durent deux fois plus longtemps que les toits ordinaires. Ils peuvent également servir à des fins agricoles. Ainsi, l'hôtel Fairmount Waterfront (Toronto, Canada) cultive des herbes, des fleurs et des [légumes](#) sur son toit jardin et économise ainsi environ 30 000\$ CAN par an en achats de denrées.

La mise en œuvre est assez simple dans l'ensemble, et l'entretien varie selon les plantations. Ces toits végétalisés jouent le rôle d'isolant phonique.

Sociaux : Les toits verts offrent une bonne isolation acoustique ainsi qu'une oasis de verdure. La technologie offre aussi des possibilités d'[agriculture](#) en milieu urbain que l'on pourrait exploiter pour aider à nourrir les familles plus démunies. »

Figure 24 : extrait d'une ressource web sur les avantages des toits verts proposé par le SCY-Lab.

Tableau 10 : transcription de l'extrait « mettre un toit vert », échanges entre Ca et A

1	Ca	Oh ! Des toits végétaux	
2	A	Oh oui oui, je veux ça, viens on fait un toit végétal. Oh oui je veux cette maison là !	
3		<i>Lecture rapide : « Cette (?) de toiture est utilisé de la terre et des végétaux pour remplacer l'ardoise et la tuile.... »</i>	
4	A	On fait un toit vert ? Viens on fait un toit vert s'il te plait, s'il te plait ?	
5	Ca	Mais attends, ça sert à quoi ?	
6	A	Ben c'est évident là ils disent... [<i>ça remplace la terre et.. et l'ardoise et la tuile</i> »].	
		Et c'est vachement plus étanche à l'air et à l'eau.	T1
7	Ca	<i>Mais ça sert à rien, c'est pour faire joli.</i>	OT1
8	A	Arrête ! C'est écrit là.	
9	Ca	Ah ouais	
10	A+Ca	[<i>« Bien isolé phoniquement, étanche à l'air et à l'eau »</i>]	T1
11	A	C'est écrit là ! [<i>« Résistance au vent et au feu ! »</i>]	T2
12	Ca	Oui mais où c'est, où c'est que ça nous fait gagner de l'énergie ? hein ?	Q1
13	A	Et ben voilà, quand c'est étanche à l'eau et à l'air t'as, t'as t'as t'as...	R1Q1
14	Ca	Mm, ...	
15	A	Ben si c'est étanche à l'air...	R2Q1
16	Ca	t'as pas d'inondation !	T3
17	A	Attends-tends, je la refais.	
		Si c'est étanche à l'air, et ben t'as pas besoin de mettre trop de température	T4
		C'est pas comme si t'avais un radiateur permanent quoi.	R1T4
		Vous voyez ce que je veux dire merde ?	
		Est-ce qu'on peut mettre le toit vert ?	
		j'aime ça ?	
18	Ca	Non	
19	A	S'il te plait Ca ?	
20	Ca	Ça nous fait pas gagner d'énergie	T5
21	A	<i>Bien sur que si</i>	OT5
22	Ca	Non, non	OOT5
23	A	Si t'as un trou dans ton toit et que t'as, que t'as un chauffage permanent, qu'est-ce que tu fais ?	T4dev
		Ben tu fais rien, t'as toujours froid.	T4dev
		Et là, t'as le toit vert qui fait l'étanchéité !	T1dev
		Tu vois ce que je veux dire ?	
24	Ca	Ça remplace juste les tuiles.	T3dev
		Ils disaient juste ça.	
		Ils disaient pas que ça faisait gagner de l'énergie	
25	A	Ben, pfff.	
		Et là on vient de le voir dans le, dans l'article d'énergie...	
26	Ca	Non, non j'suis pas d'accord	

27	A	Moi je suis très d'accord	
28	Ca	Non ben il faut qu'on soit d'accord tous les deux	
		J'suis pas d'accord.	
29	A	Moi je suis très d'accord avec ce que je dis	
		Je vais écrire un texte dessus	
30	Ca	Ah ben attends : « en abso	
		[« <i>Avantages, avantages</i> »]	
31	A	Ah ah !	
32	Ca	[« <i>En absence de chaleur... charge des appareils... des bâtiments blalala</i> »]	
33	A	Ah ah !	
34	Ca	Bon OK OK, d'accord	A1
35	A	Et voilà, et voilà !	
36	Ca	J'avoue	A1
37	A	Ahlalala !	

La différence entre A et Ca vient de ce que la première fait le lien entre étanchéité à l'air et isolation thermique, et pas la seconde, qui met l'accent sur l'étanchéité à l'eau. Autrement dit on est en présence de cinq thèses, que l'on peut formuler comme suit, et dont la deuxième disparaît rapidement :

- T1 (A) : l'étanchéité à l'air et à l'eau est un indicateur d'isolation thermique.
- T2 (A) : la résistance au vent et au feu est un indicateur d'isolation thermique.
- T3 (Ca) : l'étanchéité à l'eau n'a rien à voir avec l'isolation thermique.
- T4 (A) : l'étanchéité à l'air est un facteur d'isolation thermique.
- T5 (Ca) : le toit vert ne nous fait pas économiser de l'énergie

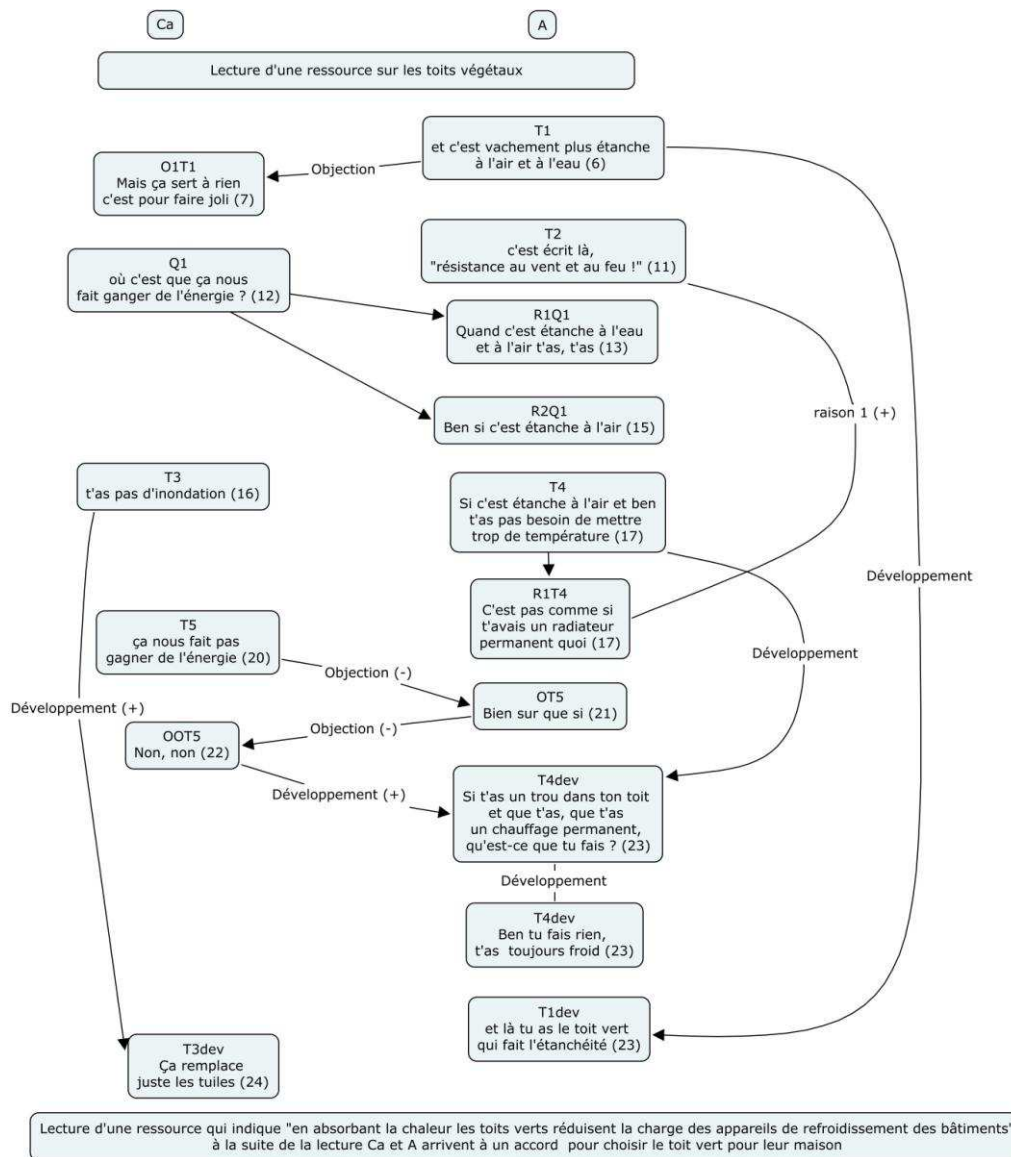


Figure 25 : représentation des thèses énoncées par deux élèves lors d'un échange argumentatif lors de l'élaboration de l'ELO « premières idées »

En recourant à la page web (Figure 24), Ca comprend que l'utilisation du toit vert a des conséquences non seulement en terme d'étanchéité, mais aussi en terme d'énergie échangée avec l'extérieur. Il est à noter que la page web traite de la climatisation (empêcher la chaleur de passer de l'extérieur vers l'intérieur), alors que les deux élèves sont en train de parler d'isolation (empêcher la chaleur de passer de l'intérieur vers l'extérieur). Mais c'est malgré tout la lecture de cette ressource qui va contribuer à construire un accord entre les deux élèves.

L'analyse AMT suggère la présence d'un conflit d'opinion dans les échanges. Sans rentrer dans les détails de la méthodologie et des résultats, nous avons pu montrer au cours de cette étude, une complémentarité entre le contenu des ressources et les arguments utilisés par les élèves lors de leurs échanges pour créer les ELOs. Les élèves utilisent les ressources dans leurs échanges et ils confrontent leur avis à celui des autres. Lors du premier échange analysé,

A veut choisir un toit végétalisé pour la maison, Ca n'est pas d'accord et un conflit d'opinion se met en place entre les deux élèves. Le contenu d'une ressource portant sur les toits végétalisés est utilisé pour régler le conflit d'opinion. Au cours de cet extrait, nous avons pu montrer que c'est l'adéquation entre le projet des élèves : définir les matériaux du toit, la consigne telle que l'a interprété Ca « ça nous fait gagner de l'énergie » et un argument retenu par les élèves, trouvé dans la ressource (l'étanchéité à l'air) qui va permettre que soit réglé le conflit d'opinion entre les deux élèves.

L'enchaînement d'évènements que nous observons est le suivant : une élève reformule à voix haute un élément de la ressource, l'autre élève retient l'argument au regard d'un élément de la consigne (par exemple « ça nous fait gagner de l'énergie ou pas ») et des buts poursuivis par les élèves (but intermédiaire : choisir un matériau pour la maison ; but final : concevoir une maison qui émette peu de CO₂). L'élément de la ressource est appuyé par un argument et l'ensemble de la proposition devient une thèse (T3 (17) : « Si c'est étanche à l'air, et ben t'as pas besoin de mettre trop de température »). La suite de la discussion va porter sur ce lien entre étanchéité à l'air et réduction de l'apport d'énergie.

L'échange, vu du point de vue de la physique, met en jeu les différents moyens de transfert de chaleur : on pourrait dire que A assimile l'isolation à la non-convection, alors que Ca ne voit pas le rapport entre ces deux phénomènes. A fait le lien entre le bilan énergétique et les mécanismes en jeu, alors que Ca s'en tient au bilan (« ça ne fait pas économiser de l'énergie »). Le conflit d'opinion a pour origine cette divergence. La différence entre A et Ca vient de ce que la première fait le lien entre étanchéité à l'air et isolation thermique, et pas la seconde, qui met l'accent sur l'étanchéité à l'eau.

Lors de cet échange argumentatif, on observe que Ca a besoin d'être convaincue par A que le toit vert est une bonne idée. Le débat est construit à partir d'arguments dont le contenu s'appuie sur des éléments trouvés dans les ressources. L'argument « ça résiste » à l'air est le seul argument utilisé par A qui va dans le sens de ce que cherche Camille : « ça nous fait gagner de l'énergie », et qui correspond à ce qui est demandé dans la consigne. Au cours de cet échange, A propose les arguments les uns après les autres et C valide ou invalide le choix.

- *Analyse du second extrait*

Le second extrait est un échange entre trois élèves du groupe d'experts « isolation » qui rédigent leurs conclusions après avoir évalué les performances de plusieurs matériaux pour la maison à l'aide d'une simulation développée pour cette mission. Il s'agit d'une co-construction d'arguments (Figure 26). Le matériau dont traite les élèves est encore le toit végétalisé. L'analyse AMT a permis de déterminer que cet échange était à visée cognitive. Les élèves complètent leur récolte de données par la recherche sur internet des performances d'un toit vert et ils commentent ce qu'ils lisent.

Nous avons découpé l'échange en 4 parties :

- Première partie : recherche sur internet. Les élèves recherchent un taux qui quantifie les performances du toit vert. Ils ne les trouvent pas dans la ressource.
- Deuxième partie : rédaction de la première partie de l'ELO à partir de la recherche sur internet indiquant la performance du toit vert comparativement à d'autres solutions.
- Troisième partie : recherche d'arguments économiques (financiers).
- Quatrième partie : rédaction de la fin de l'ELO sur les avantages d'un toit vert.

Tableau 11 : transcription de l'échange conclusion des expériences du groupe d'expert
« isolation »

1 ^{ère} partie			
1	A	On peut prendre juste les performances d'un toit vert	
2	M	Toiture végétale c'est la même chose	
3	A	Ouais c'est ça	
4	M	Avantages. Impact technique	
5	A	Ah mais c'était pas ça que j'avais vu moi. Je suis pas d'accord avec ce que... hum... Attends, une seconde. Save. Je suis sure qu'il était là, quelque part par là. Hop, non il est là alors.	
6	C	Toits végétaux	
7	A	Toits végétaux, c'est ça ?	
8	M	Ouais c'est ça	
9	A	ben c'est bizarre... y'a pas les... voilà c'est celui-là. C'est ça.	
10	M	Avantages	
11	A	Ekopedia, c'est pas la même chose.	
12	A	Là on a que les avantages	
13	C	ben fait copier-coller. C'est plus simple.	
14	A	T'as vu ! « Tonte du toit vert » et là tu vois les chèvres !	
15	M	(lecture) Ca dure 2 fois plus longtemps	
16	A	(lecture) retient la chaleur... et le dioxyde de carbone... en plus c'est bien pour l'eau « les villes ... avec l'eau, une superficie suffisante de jardins suspendus accroîtrait... »	
17	M	Ouais mais ça améliore pas les performances	T1
18	A	Quoi ?	
19	M	ça améliore pas les performances ?	T1
20	C	Ben si parce que c'est économique	OT1
21	A	Ben donne pas les performances, ça donne un, ça donne pas, ça donne pas le taux exact hein.	
		Bon laisse tomber y'a pas	C1
22	M	Bon Ben laisse tomber alors	A1
23	A	On peut juste mettre, on n'est pas obligé de mettre les performances exactes.	C2
		Economique	T2
24	C	Ben ouais, c'est économique	A2
2 ^{ème} partie			
25	M	On va retourner faire les conclusions	
26	A	Ouais	
27	C	On fait un petit truc	
28	A	« Les performances d'un toit vert sont... »	

29	M	On n'a pas vu les performances	
30	A	Ben non mais, pas les performances exactes mais a priori quoi... « sont étonnantes »	T3
31	M	« Sont a priori... »	
32	A	« Sont étonnantes »	RepT3
33	M	Tu mets « sont a priori supérieures à celles... »	T3Dev
34	A	Ecriture « Sont a priori supérieures à beaucoup d'autres... »	T3Dev
35	C	« Beaucoup d'autres systèmes »	T3Dev
36	A :	« à beaucoup d'autres toitures »	T3Dev
37	C	Ouais	A3
3^{ème} partie			
38	M	Et les prix ? On n'a pas trouvé le prix	
39	A	Ben après qu'est-ce que tu veux, tu... tu vas pas acheter une motte de terre et... et 15 litres de gazon voilà. Ca coûte pas 1000 euros non plus.	R1T2
40	C	Attends	
41	A	Ah. Maintenant ils disent combien ils économisent	
42	C	Ben on peut le mettre	
43	M	Comme ça dure 2 fois plus longtemps	T4
44	C	« Ca permet d'économiser euh 30000 euh dollars »	RT2
45	M	Ca dure, non ça juste si on plante...	T4Dev
46	A	Non c'est parce que lui, c'est parce que lui il plante carrément, il fait des fleurs et des herbes	RT2
47	C	Ah	
48	M	Ben sinon on peut dire que	
49	Rachel	C'est une chèvre qu'il y a sur son toit ?	
50	A	Oui c'est comme ça qu'ils tondent les toits	
51	M	Ben sinon on peut dire que ça dure 2 fois plus longtemps	T4
		donc euh, y'a moins d'entretien	T4dev
52	Claire	Moi je connais des gens qui font pousser des fraises sur leur toit	
53	A	Ouais	
54	M	On peut dire que ça dure 2 fois plus longtemps donc euh « renouvelé moins souvent »	T4dev
4^{ème} partie			
55	A	Attends mais ça (lecture) « en absorbant la chaleur, les toits verts réduisent la charge des appareils de refroidissement, filtrent l'air ambiant et éliminent les particules en suspension dans l'air »	
56	C	Tu mets que c'est écologique,	T5
		que c'est économique	T2
57	A	Attends, attends, (écriture) « c'est écologique »	T5
58	C	« C'est économique »	T2
59	A	Attends, et là je fais une liste	
60	C	donc euh... « gardent la température ambiante »	T6
61	A	« Ils absorbent la chaleur »	T6dev
62	C	(dictée) « entretien euh... »	
63	A	(écriture) « ... ce qui réduit la charge des appareils de refroidissement » euh (lecture et écriture) « ils filtrent l'air ambiant, éliminent les particules en suspension dans l'air et le CO ₂ »	
64	M	Bon, c'est que ça devrait suffire	
65	A	Attends (lecture) « il évacue, il évacue l'eau »	

66	M	Tu vas pas mettre tout ce que tu trouves quand même	
67	A	OK, 2 secondes (écriture) « l'eau lors des fortes... »	
68	M	Elle écrit tout ce qu'elle trouve sur Ekopédia	
69	A	Ta gueule (écriture) « Economique » ça marche même pas, ah si (lecture rapide). Bon peu importe, c'est bon. On laisse tomber critères économiques, c'est fini	O1T2
70	C	Allez, on y go	
71	M	Tu mets juste « et donc plus économique, enfin plus écologique que d'autres »	
72	A	(écriture) « Il est donc... » oups, je me suis échangé mon truc	
73	M	(dictée) « qui demandent un entretien régulier »	
74	A	(écriture) « couteux » voilà, quitter.	

Lors de l'échange transcrit ici, les trois élèves sont en train de rédiger la conclusion du groupe d'expert 2. Pour faire ce travail, ils réutilisent la ressource sur les toits verts présentée ci-dessus, déjà utilisée par le groupe de conception 3 alors qu'ils conçoivent l'ELO « premières idées » (Figure 24). Les informations données par l'intermédiaire de cette ressource font apparaître une confusion entre les aspects économies d'énergie et économies financières. On va retrouver cette confusion dans les échanges entre les élèves. Ici le contenu de l'échange est guidé par la consigne donnée par la plateforme SCY pour la construction de l'ELO et par la ressource qu'ils utilisent.

Les six thèses ci-dessous ont été formalisées au cours de cet échange (Figure 26)

T1 : Le choix du toit vert n'améliore pas les performances thermiques de la maison ; cette thèse est réfutée au motif que ce dispositif est dit « économique », puis abandonnée parce que les informations chiffrées ne figurent pas dans la ressource.

T2 : le toit vert est économique.

T3 : les performances sont supérieures à celles de beaucoup d'autres dispositifs ; cette thèse est reformulée de façon collective pendant un certain nombre de tours (30-36).

T4 : Le choix du toit vert est pertinent car il dure longtemps.

T5 : le toit vert est écologique.

T6 : Le choix du toit vert est pertinent car c'est un bon isolant.

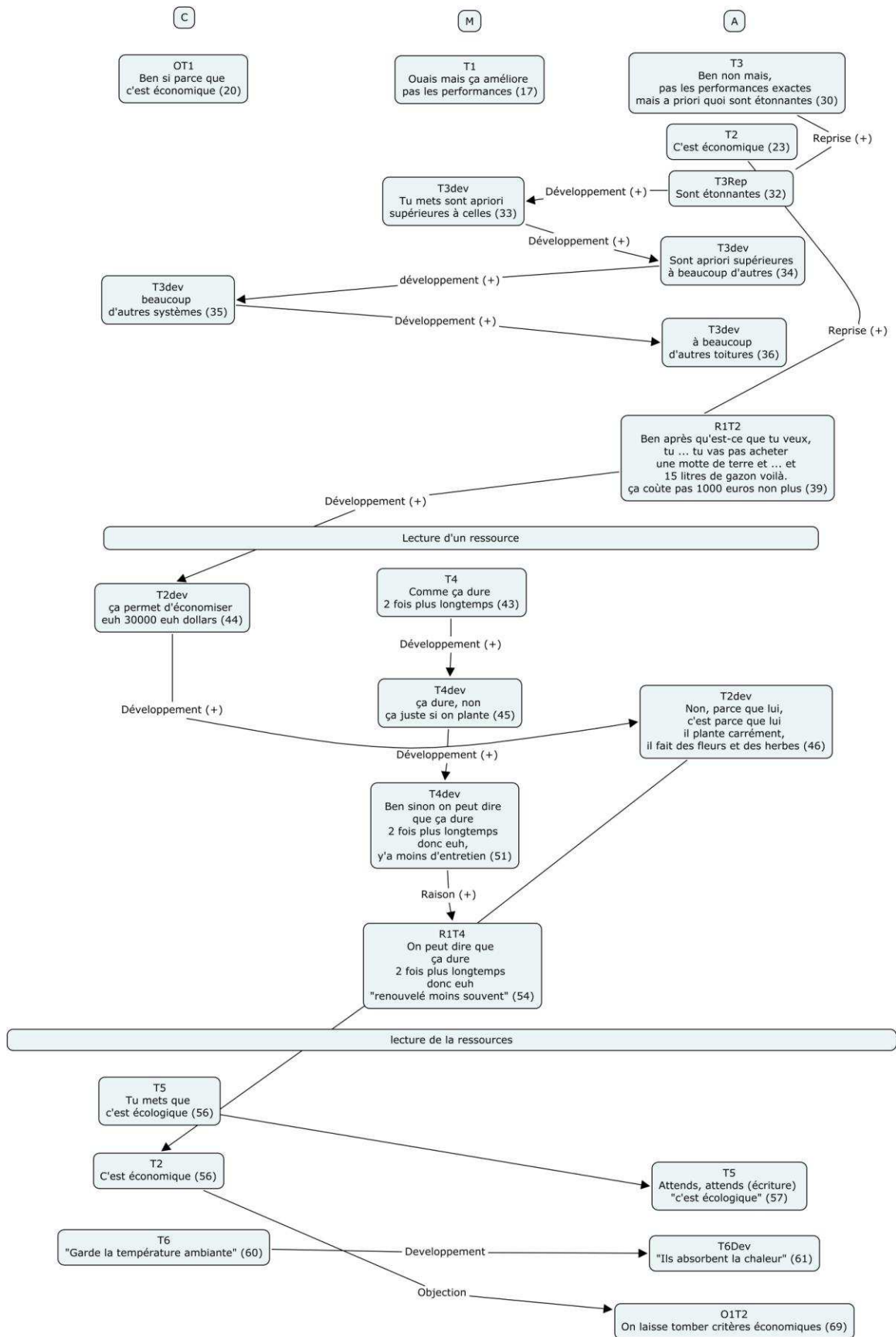


Figure 26 : représentation des thèses énoncées par trois élèves lors d'un échange argumentatif lors de l'élaboration de l'ELO « conclusion des expériences »

Les élèves ne cherchent pas à se convaincre qu'il faut mettre un toit vert, mais ils cherchent des arguments pour justifier leur choix, comme il leur a été demandé dans la consigne. La quantification des performances aurait dû être faite à l'aide de la simulation, mais le toit végétalisé n'étant pas proposé par la simulation, ils cherchent une justification dans les ressources disponibles sur la plateforme SCY-Lab. Pour faire cela, ils vont s'appuyer sur la même ressource que celle utilisée dans l'extrait précédent, en sélectionnant d'autres informations. Il se trouve que la ressource est à visée grand public et qu'elle propose un type d'argumentation dans différents registres qui ne sont pas uniquement scientifiques. Les élèves construisent l'argument « c'est économique » à partir d'une information présente dans la ressource et qu'ils reprennent à leur compte « *ça permet d'économiser 30 000 \$ sur l'achat de produits agricoles cultivés sur le toit vert* ». Ils n'ont pas de regard critique sur la nature de l'argument proposé (c'est économique parce que ...) ni du registre dans lequel ils se placent. Ils choisissent d'utiliser un argument économique de façon complémentaire à l'argument « c'est écologique » qu'ils reformulent. Il semble que la réponse à la demande d'une justification prenne le pas sur la nature de la justification.

Comme dans l'extrait précédent, l'analyse nous permet de mettre en évidence, comment des éléments de la ressource nourrissent l'échange entre les élèves et comment ils sont intégrés, puis développés et argumentés pour devenir des thèses. On observe cela par exemple au tour de parole 43 : un élève s'appuie sur un élément de ressource où il est écrit que « les toits verts durent deux fois plus longtemps que les toits ordinaires », il le reformule en « comme ça dure deux fois plus longtemps », qu'il complète en 51 par « y'a moins d'entretien » puis en 54 « on peut dire que ça dure deux fois plus longtemps donc euh renouvelé moins souvent ». Ces différents arguments forment la thèse T4 : le choix du toit vert est pertinent car il dure longtemps, ce qui sera reformulé dans le texte final de l'ELO : « Il (le toit vert) est donc plus économique et plus écologique que les autres systèmes même si il demande un entretien régulier mais peu coûteux ».

Cet extrait montre que les élèves ont intégré le fait qu'ils doivent justifier leurs choix, et qu'ils peuvent utiliser les ressources qu'ils ont à leur disposition. Une élève (A) est allée rechercher une ressource qui était proposée au début de la mission, pour travailler sur l'ELO « premières idées » (cf. extrait précédent). Mais cette ressource n'avait pas vocation à être utilisée par des groupes d'experts. A va rechercher cette ressource là certainement car elle se souvient qu'elle lui a permis de convaincre Ca la première fois (cf. extrait précédent). Nous observons un effet de contrat didactique dû au fait que les élèves doivent justifier leurs arguments. Ils répondent à la demande en essayant de justifier leur choix. Un élément de la consigne précisait la forme que doit prendre un argument scientifique mais cet élément de la consigne ne semble pas avoir été complètement intégré par les élèves.

- Discussion

- Les actes argumentatifs

Dans les deux extraits analysés, nous avons mis en évidence une succession d'actes argumentatifs, thèses, objections de la thèse, développement, raisons en faveur de la thèse,

reprise de la thèse, accord. La nature des échanges argumentatifs n'est pas la même dans les deux extraits.

Dans le premier extrait, les deux élèves sont impliquées dans un conflit d'opinion qui porte sur le fait que le toit vert « fait gagner de l'énergie » ou non. Les élèves sont d'accord sur le but poursuivi : concevoir une maison peu émettrice d'énergie, mais elles ne sont pas d'accord sur les moyens. Les échanges argumentatifs sont guidés par plusieurs ressorts.

Dans cet extrait, A utilise un registre affectif, elle propose les arguments suivants (« s'il te plaît », « j'aime ça », « c'est joli ») pour essayer de convaincre Ca. Mais Ca n'est pas sensible à ce registre et les arguments de ce type utilisés par A ne trouvent pas d'écho chez Ca. Elle utilise aussi des éléments du registre sensitif (« t'as toujours froid »).

Le second ressort provient des ressources dont le contenu guide la dynamique argumentative. En effet, A reprend différents éléments de la ressource pour les soumettre à Ca. Les différents arguments retenus par A sont le fait que les toits verts permettent de réaliser des toitures qui sont « étanches à l'eau et à l'air », et « résistantes au vent et au feu ». Ces deux arguments sont successivement rejetés par Ca avec l'objection que « ça ne fait pas gagner d'énergie ». L'échange se termine par un accord entre deux élèves qui se construit grâce à un élément de la ressource apportée par A : « en absorbant la chaleur, les toits verts réduisent la charge des appareils de refroidissement des bâtiments (...) ». Cet élément de la ressource fait basculer vers l'accord car Ca accepte à sa lecture que le toit végétalisé fait « gagner de l'énergie ».

Dans le second extrait l'échange argumentatif est basé sur une co-construction guidée par la recherche des avantages du toit vert. Comme dans l'extrait précédent, les élèves vont rechercher des arguments en faveur du choix du toit végétalisé. Ils ne reviennent pas sur le choix du matériau, mais ils recherchent des arguments pour le groupe de conception auquel ils doivent présenter les choix possibles qui s'appuient sur les performances de chaque solution. Ils suivent ainsi la consigne qui est énoncée de la façon suivante : *« vous présenterez votre démarche en suivant les mêmes étapes que celles que vous avez suivies : vos questions de recherche et vos hypothèses, les expériences (réelles ou virtuelles) que vous avez réalisées, un résumé des principaux résultats et vos conclusions. Elle devra aussi contenir les arguments qui permettront à votre groupe de conception de choisir parmi les solutions que vous présentez. Une bonne argumentation doit montrer comment vos résultats d'expériences vous ont permis d'arriver à ces conclusions. Elle doit aussi contenir les lois scientifiques et les connaissances que vous avez utilisées »*.

Au début de l'échange, les trois élèves proposent trois idées différentes. C propose « c'est économique », M « ça améliore les performances » et A « les performances sont étonnantes ». M recherche une valeur chiffrée des performances du toit vert (en accord avec ce qui est demandé dans la consigne) mais il ne la trouve pas. A utilise cette fois aussi un registre affectif, elle propose l'argument « les performances sont étonnantes » qui va être rejeté par les autres élèves. La co-construction va permettre aux élèves d'élaborer une conclusion qui tienne compte des idées de chacun. L'argument « c'est économique » est amené deux fois par C

mais il est à chaque fois rejeté par A. La conclusion qu'ils rédigent va finalement reprendre des éléments de la ressource sélectionnés par les élèves.

- **Les échanges reposent sur des éléments scientifiques**

Dans le premier extrait, les échanges portent sur le choix de matériaux qui permettent à la maison d'émettre le moins de CO₂ possible. Ce but est transformé par une élève en « le toit vert fait-il gagner de l'énergie ? ». Au départ il ne s'agit pas de la résolution d'un problème scientifique mais il y a construction du problème scientifique (en lien avec concept d'énergie) qui émerge au cours du débat. Les élèves assimilent gain d'énergie et limitation du rejet de CO₂. Plusieurs nécessités sont identifiées en positif et en négatif : nécessité d'être hors d'eau (« ça protège juste de l'eau », « c'est juste étanche », « t'as pas d'inondation ») ; nécessité de garder la chaleur à l'intérieur de la maison et nécessité de ne pas apporter trop d'énergie à l'intérieur de la maison (« t'as pas besoin de mettre trop de température »). Comme nous l'avons dit précédemment, l'échange met en jeu les différents moyens de transfert de chaleur et A assimile l'isolation à la non-convection, alors que Ca ne voit pas le rapport entre ces deux phénomènes. Finalement, Ca comprend que le toit vert peu avoir des conséquences non seulement en terme d'étanchéité, mais aussi en terme d'énergie échangée avec l'extérieur.

A et Ca construisent un registre empirique à partir des éléments de la maison. Elles citent des éléments qui protègent la maison de l'eau (« les ardoises et la tuile », « si t'as un trou dans ton toit »), des éléments qui apportent de l'énergie dans la maison (« un radiateur permanent »). Dans le second extrait, les élèves utilisent des éléments du registre empirique à partir de la ressource pour sélectionner les arguments pertinents.

- **Le SCY-Lab joue-t-il le rôle de tiers ?**

Dans les deux extraits présentés, les deux élèves du premier extrait puis les trois élèves du second extrait jouent tour à tour le rôle de proposant et d'opposant. Par contre, il n'y a pas à proprement parlé de mise en place d'un trilogue argumentatif au sens de Plantin. En effet dans la situation présentée, le rôle du tiers est tenu par le SCY-Lab qui propose différents étayages (Soury-Lavergne & Chaachoua 2002) en structurant la démarche, en présentant des consignes et en proposant des ressources que les élèves utilisent. Le rôle du tiers est ici tenu de façon implicite ou à travers les consignes écrites proposées à chaque fois que les élèves élaborent un nouvel ELO. Il est davantage de l'ordre du contrat didactique que de l'ordre du tiers, défini comme celui qui exprime le doute et le problématique (Plantin 1996). Les éléments du trilogue argumentatif seraient à redéfinir dans notre cadre où l'enseignant est absent physiquement, mais où un guide est présent symboliquement et matériellement par les différents éléments proposés par la plateforme d'apprentissage.

Ce dernier élément est induit par la situation : les élèves ne reçoivent aucun retour positif ou négatif à partir de leurs productions. Les consignes proposées par le SCY-Lab donnent des informations sur la forme de ce qui est attendu (l'objectif final, les rendus intermédiaires, les différentes étapes à suivre, la forme des arguments, le type d'organisation pédagogique à mettre en place). Les ressources apportent des éléments de contenus, les objectifs

d'apprentissages sont énoncés sur la plateforme au début de la mission et les outils permettent aux élèves de réaliser les tâches requises. L'apport du doute et du problématique pourrait être effectué par les pairs, au cours de l'alternance des groupes de conception et d'experts, mais cela se fait encore une fois de façon implicite car il n'y a pas de consigne allant de ce sens. Il n'est pas prévu de validation intermédiaire au cours de la mission. Cette question renvoie à la question plus globale de la régulation didactique par un agent non humain ou par les pairs.

Les analyses montrent néanmoins que les élèves ont intégré plusieurs attentes qui ne sont pas re-explicitées par les élèves mais dont il est possible de décoder la présence grâce aux actions argumentatives des élèves. Il s'agit de :

- suivre le but final de la mission qui contient deux objectifs : concevoir une mission et respecter des normes de façon à émettre le moins de CO₂ possible. Ce n'est jamais rediscuté mais il guide les activités et l'argumentation des élèves au long de la mission.
- Rechercher des buts intermédiaires (sélectionner les différents éléments de la maison).
- Proposer une liste de choix par les groupes d'experts pour le groupe de conception.
- Utiliser un registre scientifique et mobiliser des connaissances en lien avec les objectifs d'apprentissage.

La consigne concernant la forme des arguments semble avoir été moins bien respectée. Mais il était spécifié que les élèves devaient s'appuyer sur leurs résultats d'expérience pour construire leurs arguments, or dans l'exemple pris, les élèves n'ont pas pu mettre en œuvre d'expériences réelles ou virtuelles.

Il existe une forme de validation à la fin de la mission, puisque la consigne de départ précise que le dessin de la maison et ses caractéristiques seront présentés à un architecte à la fin de la mission.

- *Conclusion*

Dans les deux extraits analysés, A a une influence sur la façon dont sont menés les échanges. Dans le premier échange, c'est elle qui apporte les thèses, parce que Ca la pousse à le faire. Dans le deuxième extrait, c'est encore A. qui porte l'idée du toit végétalisé. Les autres élèves l'aident à trouver les arguments pour justifier ce choix. Les ressources guident les élèves pour mettre du contenu dans cette justification. Les échanges des deux extraits montrent bien que les échanges entre élèves s'appuient sur les ressources, les consignes et leurs expérimentations pour construire les ELOs. En effet, le second extrait montre comment les ressources sont intégrées au contenu de l'échange argumentatif et combien les idées retenues par les élèves circulent au cours de l'échange, puisque les élèves formulent six thèses (au sens de Orange) au cours de l'échange.

En comparaison avec la première expérimentation papier-crayon, nous observons que la demande de justification des choix pour la maison a été intégrée par les élèves. Les échanges argumentatifs développés par les deux groupes d'élèves jouent un rôle très important dans la

construction de connaissances communes. Ils les amènent à clarifier et à partager leurs connaissances et leurs conceptions (Jonassen et Carr 2000).

5.5 Conclusion

Par ce chapitre, nous espérons avoir clarifié la question du lien entre représentations et construction du sens. Nous retenons que la question du sens est fortement liée à l'appropriation et à la conscientisation des objets par des actes cognitifs. Revenons sur la dimension personnelle qui a été déclinée de différentes façons dans ce chapitre, nous retenons quatre aspects. Le premier aspect concerne la prise en compte du style cognitif et perceptif de chacun, c'est ce que propose **l'approche multimodale ou multi-modal representation activities** et qui permet à chacun de produire ses idées dans un mode qui convient le mieux à son style cognitif, ou d'utiliser des supports présentés selon plusieurs modes.

Le second aspect concernant la prise en compte de la personnalisation, implique l'idée de **degré de liberté** introduite par Duval dans le choix des registres dont dispose un sujet « *pour s'objectiver à lui-même une idée encore confuse, un sentiment latent, pour exploiter des informations ou simplement pour pouvoir les communiquer à un interlocuteur* » (Duval, 1995, p. 21). Le degré de liberté dont dispose un élève dans une situation donnée est un élément crucial à considérer, pour éventuellement en faire un objet à étayer. Pour Bruner (1983) le degré de liberté est un élément à prendre en compte pour réduire la complexité de la tâche. Il propose différentes voies pour réduire le degré de liberté laissé aux élèves (Bruner 1983, p. 288).

Le troisième aspect de la dimension personnelle est **l'intégration d'une dimension créative, et esthétique** comme nous l'avons montré avec l'exemple des cahiers de vécus et de l'utilisation de la pratique photographique. La proposition d'un espace d'expression et de création personnelle qui va aider l'élève à donner du sens à la situation et qui va contribuer à la conscientisation des objets de la situation. Enfin, le quatrième aspect lié à la dimension personnelle est la possibilité de relier les activités scolaires **au vécu quotidien** des élèves par l'intermédiaire d'éléments perceptifs comme, le ressenti, les modalités sensorielles, les émotions, pour au final se les approprier et donc leur donner du sens. Dans le cas des carnets de vécu, un élève fait le lien entre la dissection qu'il est en train de réaliser et une référence personnelle (la pratique d'une activité sportive), ce qui contribue à donner un sens pragmatique à l'activité scolaire (mieux se connaître).

Une autre question abordée concerne la **dimension argumentative** et ce qui contribue à nourrir les productions au sein de communautés discursives. Dans l'analyse de situations argumentatives, nous avons montré comment au cours d'un débat, les élèves construisent un champ de significations partagées en s'appuyant sur l'intégration progressive d'éléments de ressources dans le discours des élèves. Cela amène un autre éclairage pour la construction du sens par les élèves. Nous avons montré comment les ressources et les consignes étaient d'abord lues par les élèves, puis étaient intégrées, lors des échanges, dans leurs discours sous forme d'arguments, qui se transformaient en thèses échangées entre élèves puis étaient

reformulés dans la production finale sous la forme d'un texte formalisé dans les ELOs. Nous avons montré comment les interactions entre pairs dans une situation de conflits d'opinion ou de co-construction permettent l'implication, l'appropriation et au final la construction de raisonnement scientifique. Nous avons donc montré comment l'objet de savoir (les échanges d'énergie) se construit grâce aux reprises des énoncés successifs et où travail langagier et cognitif sont étroitement imbriqués, et comment l'activité argumentative intervient pour produire des représentations. Nous avons aussi pu mettre en évidence que la dimension affective était présente et pouvait être un moteur important de la dynamique argumentative, même si elle éloigne du domaine scientifique.

Dans le chapitre précédent, nous avons mis en évidence le rôle des activités métacognitives dans les apprentissages et comment la conception de protocole permet le développement d'activités métacognitives comme la planification, l'anticipation, le contrôle, l'évaluation des méthodes et des résultats. Selon les auteurs, il est soit question d'activités cognitives, de productions cognitives, d'habiletés cognitives (Etkina 2010), soit d'activités reliées à la matrice cognitive (Coquidé 2000). Dans ce chapitre, l'introduction de registre de représentations sémiotiques et les notions de sémosis et de noésis apportées par Duval, introduisent et expliquent la façon dont les actes cognitifs interagissent avec les objets produits par les élèves et le type d'activités à mettre en œuvre pour « manipuler » les différents registres et les différents modes de représentation.

Dans le chapitre suivant, nous mettrons en perspective activités cognitives et représentations symboliques dans les activités expérimentales. Nous développerons comment faire produire et analyser les productions symboliques et quel peut être le rôle d'un étayage informatisé.

Chapitre 6 - Etayer la conception expérimentale à l'aide d'un EIAH

Nous considérons des situations qui intègrent des activités de conception expérimentale dans une démarche d'investigation. Nous précisons en particulier à quelles étapes de la situation les étayages peuvent être importants et comment structurer la production des objets symboliques à l'aide d'un EIAH.

6.1 Rôle et avantages d'un étayage informatisé

Nous posons la question de l'étayage par rapport à la conception d'EIAH. Les questions que nous posons sont : quel sont les cadres théoriques utilisés ? Quelles sont les différentes fonctions de l'étayage ? Sur quoi peut porter l'étayage ? Quels étayages existent déjà ? Dans quels environnements informatiques ? Quelles difficultés des élèves prendre en compte ?

6.1.1 La notion d'étayage

Le cadre de « *scaffolding* » est un champ important de la recherche anglo-saxonne en didactique des sciences ou « *science education* ». Le concept d'étayage ou de « *scaffolding* » a pour origine les travaux de Bruner, psychologue américain, qui a enseigné à Harvard, à Oxford, et qui enseigne actuellement à New York. La plupart des travaux sur l'étayage s'appuient sur le cadre qu'il a développé dans les années 1980. Pour Bruner l'étayage est la façon dont l'adulte organise le monde de l'enfant pour assurer son apprentissage (Bruner 1983) : « *ce système de support fourni par l'adulte à travers le discours, ou la communication plus généralement, est un peu comme un « étayage » à travers lequel l'adulte restreint la complexité de la tâche permettant à l'enfant de résoudre des problèmes qu'il ne peut accomplir tout seul* » (Bruner 1983, p. 288). Pea (2004) présente de façon détaillée le concept de « *scaffolding* ». Il replace les origines de ce concept dans le contexte de travaux originels sur l'apprentissage du langage chez le petit enfant. Il explique que ce concept est apparu lors d'études entre les interactions entre mère et enfant lors de situations de développement langagier au cours d'interactions individuelles. Il s'agit d'accompagner l'enfant dans son développement langagier pour le faire progresser par lui-même. Le concept de zone proximale de développement est apparu comme le plus propice pour expliquer ce qui se passait durant ces interactions. Pour cet auteur, les interactions sociales sont fondamentales dans l'apprentissage. Il s'appuie sur le concept de zone proximale de développement (ZPD) élaboré par Vygostky (1934) comme « *the zone of activity in which a person can produce with assistance what they cannot produce alone (or can only produce with difficulty)*. [La zone d'activité dans laquelle une personne peut produire avec assistance ce qu'il ne pourrait pas produire seul (ou alors avec difficultés)] » (Pea 2004, p. 426). Ou aussi comme « *the distance between a child's actual developmental level as determined by independant problem solving* » and the higher level revealed in « *potential development as determined through problem solving under adult guidance or in collaboration with more able peers* ». [La distance

entre le niveau actuel de développement d'un enfant, déterminé par la résolution de problème indépendant et le plus haut niveau indiqué par le développement potentiel déterminé par la résolution de problème effectué avec le guidage d'un adulte ou en collaboration avec des pairs plus compétents] » (Pea, 2004, p. 427). Il insiste sur le rôle de la médiation et le rôle des interactions langagières pour l'apprentissage. Il distingue les étayages sociaux des étayages technologiques tout en précisant que « *Scaffolds are not found in software but are functions of processes that relate people to performances in activity systems over time.* » [Les étayages ne sont pas dans les logiciels mais ce sont des fonctions et des processus qui associent les personnes à des performances dans des activités qui se déroulent dans la durée].

Bruner identifie six fonctions de l'étayage :

- « l'enrôlement » consiste à engager l'adhésion de l'enfant dans la tâche.
- « la réduction des degrés de liberté » consiste à réduire la complexité du processus de résolution, par exemple en diminuant le nombre de paramètres à manipuler.
- « le maintien de l'orientation » consiste à éviter que l'élève ne perde de vue le but final initialement visé et qu'il continue à avancer dans la résolution du problème.
- « la signalisation des caractéristiques déterminantes » correspond à la validation de sous-tâches correctement effectuées, pour permettre à l'élève d'avoir un retour sur ce qu'il produit et de lui donner des informations sur ce que lui-même considère comme correct.
- « le contrôle de la frustration » vise à maintenir l'intérêt et la motivation de l'élève.
- « la présentation de modèles de solutions » consiste à présenter des exemples ou à proposer des débuts de résolution.

Plusieurs articles ou dispositifs reprennent *in extenso* ou sous des formes modifiées, les six items proposés par Bruner. L'idée générale étant de donner des indications aux élèves ou des points de repères pour réaliser la tâche en les mettant sur la voie, mais sans donner la solution du problème. Pour Pea il existe deux types de scaffolding : « *social and technological* ». Il met du côté du technologique tous les logiciels et les artefacts, c'est-à-dire les dispositifs technologiques conçus pour accompagner les élèves dans leurs apprentissages. Il place du côté du social les dispositifs pédagogiques qui permettent une répartition des tâches pour diminuer la charge du travail de chaque élève. Il présente des dispositifs mis en œuvre pour réduire le degré de liberté des élèves à l'intérieur d'une tâche et pour le contraindre en accompagnant le travail et en le focalisant sur des points précis. La notion de « *social* » ou « *technological* » sont des moyens qui peuvent chacun intégrer l'une ou toutes les fonctions établies par Bruner.

Les six fonctions de Bruner sont génériques et concernent l'apprentissage en général, ils s'attachent soit à des facteurs psychologiques (réduire la charge cognitive, impliquer l'élève dans la tâche, augmenter la motivation, maintenir la concentration et éviter la dispersion) soit à des facteurs pédagogiques (donner des modèles de solutions, proposer des éléments d'évaluation). Les aspects didactiques n'apparaissent pas explicitement dans cette classification. Néanmoins plusieurs didacticiens se réfèrent à Bruner pour utiliser la notion

d'étayage dans leurs travaux. Soury-Lavergne (1998) a par exemple exploré la notion d'étayage dans sa thèse en didactique des mathématiques, en s'appuyant sur la classification de Bruner. Elle a proposé un dispositif d'étayage via la plateforme Télé-cabri qui proposait un préceptorat à distance pour permettre à des enfants hospitalisés une continuité dans l'accès à l'école.

6.1.2 La notion d'étayage dans des travaux de didactique au sein de la communauté francophone

En France les travaux en didactique impliquant la notion d'étayage la resitue dans le cadre de la théorie des situations didactiques, soit au niveau de la dévolution, soit en lien avec la notion de contrat didactique (Soury-Lavergne & Chaachoua 2002). C'est aussi dans ce cadre que se situe la notion d'étayage dans les travaux d'Astolfi et de Peterfalvi. Jean-Pierre Astolfi (1997) s'est appuyé sur les travaux de Bruner pour développer la notion d'étayage dans ses travaux. Astolfi et Peterfalvi (1993) reprennent la notion d'étayage dans le modèle qu'ils proposent pour créer des situations didactiques en s'appuyant sur le concept d'objectif-obstacle (Martinand 1986). Selon ces auteurs l'étayage rend possible le passage de l'inter-psychique à l'intra-psychique : « *La fonction d'étayage (Bruner, 1983) présente alors un caractère essentiel mais transitoire, précédant l'automatisation du nouveau modèle d'explication* » (Astolfi & Peterfalvi 1993, p. 118). Il intervient au travers de l'enseignant pour le développement de conflits socio-cognitifs et « *pour enrôler un élève dans le problème posé, pour faire fonctionner une « dévolution » qui évitera que, par le jeu du dialogue, la réponse ne soit soufflée au lieu d'être construite* » (ibid). Ici l'étayage est proposé par l'enseignant pour impliquer l'élève au moment de la dévolution et il utilise surtout la fonction d'« enrôlement » comme l'illustre le schéma présenté dans la Figure 27 ci-dessous qui présente les conditions de possibilité de franchissement de l'obstacle épistémologique qui freinent les apprentissages des élèves. Pour Astolfi & Peterfalvi (1993, p. 118) « *Le franchissement d'un obstacle nécessite plusieurs opérations intellectuelles, qui ne s'effectuent pas nécessairement au même moment de l'apprentissage : repérage, fissuration, reconstruction alternative, automatisation du nouveau modèle. Il ne s'agit pas là d'étapes obligées et respectant cet ordre. Nous avons vu que, s'il s'agit d'un obstacle-facilité (initialement invisible pour l'élève), la « fissuration » peut précéder un « repérage », lequel ne s'effectue que moyennant une prise de conscience de ce que signifiait l'activité antérieure.* »

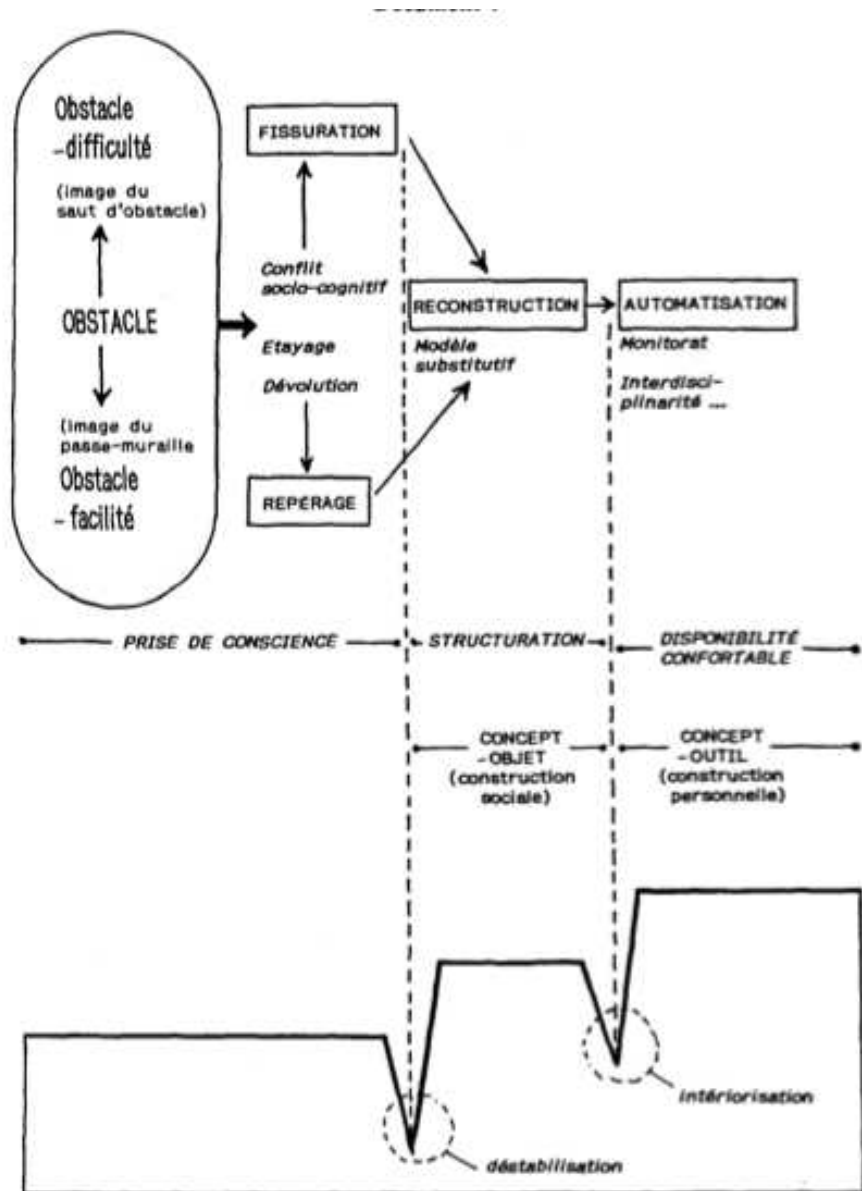


Figure 27 : la notion d'étayage dans la prise en compte des obstacle : repérage, fissuration, franchissement (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 119)

Astolfi et Peterfalvi proposent que les situations d'enseignement/apprentissage soient élaborées en s'appuyant sur une analyse épistémologique des concepts, sur l'identification des obstacles et sur la centration des objectifs d'apprentissage pour définir les conditions de possibilité pour le franchissement de l'obstacle (Martinand 1986). L'étayage consiste à trouver des activités qui mettent en péril le réseau d'idées associées à l'obstacle et à permettre aux élèves de mettre du sens sur ce que l'obstacle empêche de comprendre et donc de franchir cet obstacle préalablement identifié. Par exemple pour l'obstacle « les gaz ne sont pas de la matière », qui a un réseau d'idées associées que la matière est visible, lourde et résistante. En tenant compte de ces caractéristiques des gaz et des idées associées, il s'agit d'élaborer des situations qui montrent que les gaz sont pesants, qu'ils peuvent être colorés, qu'ils peuvent être déplacés, ... et qu'ils ont donc bien les caractéristiques que les élèves attribuent à la matière.

En didactique des sciences expérimentales, comme nous le montrons dans le paragraphe 6.1.4 ci-dessous, des travaux anglo-saxons proposent des étayages qui s'appuient sur une analyse fine des modalités de résolution de problèmes et sur une analyse didactique des conceptions, des obstacles et des difficultés des élèves.

6.1.3 Catégorisation de l'étayage : différents éléments à prendre en compte

Dans le Tableau 12 ci-dessous, nous proposons une catégorisation élaborée à partir des six fonctions proposées par Bruner, complétée par le cadre développé par Pea (2004). Nous avons regroupé ces types d'étayages à partir trois principales fonctions proposées par Bange, Carol & Griggs (2005) : la fonction d'incitation et de motivation (le fait que le but de la situation proposée devienne le but de l'élève) ; La fonction d'aide à la réalisation de la tâche ; la fonction de feed-back (le tuteur renvoie une évaluation du résultat de son action). Nous avons ajouté une catégorisation qui prend en compte différents facteurs sur lesquels jouent les étayages. Cette grille reste générique et n'est pas liée à une discipline en particulier. Les aspects didactiques et épistémologiques sont détaillés dans le paragraphe suivant.

Tableau 12 : catégorisation des étayages

Facteur	Rôle de l'étayage pour l'élève	Fonction de l'étayage par rapport à l'apprentissage	Auteurs
Psychologique	Motiver (enrôler et contrôler la frustration)	Incitation et motivation	Bruner 1983 Pea 2004
	Impliquer		
	Maintenir la concentration		
	Réduire la charge cognitive	Aide à la réalisation de la tâche	Bange, Carol & Griggs 2005 Linn & Bat-Sheva 2011
Réduire la complexité (de façon illustrative ou de façon explicative)			
Réduire la difficulté			
Réduire la charge de travail			
Pédagogique	Illustrer (présenter la même idée sous différents modes et de différentes façons)	Feed-Back (évaluer, valider)	Quintana et al 2004
	Evaluer (donner des éléments aux élèves sur la réussite de la tâche)		
Didactique et épistémologique	Adapter la tâche aux difficultés des élèves (tenir compte des conceptions et obstacles)	Aide à la réalisation de la tâche	Astolfi & Peterfalvi 1993
	Définir des stratégies didactiques	Aide à la réalisation de la tâche	Linn & Batt-Sheva 2011
Social (interaction de tutelle)	Organiser une interaction par les pairs	Feed-Back (évaluer, valider)	Bruner 1983
	Interactions directes avec l'enseignant (préceptorat ou feed-back dans la classe)	Aide à la réalisation de la tâche et Feed-Back (évaluer, valider)	Soury-Lavergne 1998

6.1.4 Etayer la démarche d'investigation à l'aide d'un EIAH

Quintana et al (2004) proposent un cadre théorique pour l'étayage par des outils informatiques, de situations guidées par la démarche d'investigation. La finalité de cette recherche est la conception et l'analyse d'EIAH. Ce cadre se situe dans le cadre de l'étayage défini par Bruner (accompagner l'apprentissage en simplifiant la tâche et en anticipant les obstacles mais sans « souffler » la solution) ainsi que dans le cadre de la démarche « *Learning by doing* » (démarche de résolution de problème ouvert) et enfin dans le contexte d'un apprentissage socio-constructiviste. Il précise que toute démarche d'étayage doit s'appuyer sur une analyse préalable des besoins et des difficultés des élèves. Les difficultés sont repérées et dans cet article les auteurs explicitent comment les étayages prennent en charge les

difficultés des élèves. Ce cadre s'appuie sur plusieurs auteurs qui ont proposé différents cadres implémentés dans des plateformes pour l'apprentissage des sciences. Il s'agit par exemple de la plateforme WISE (Web-based Inquiry Science Environment), développée par Marcia Linn et son équipe (Linn, Davis & Eylon 2004 ; Linn & Hsi 2000) à partir de l'environnement KIE (Knowledge Integration Environment) mais aussi des travaux de Scardamalia & Bereiter (1991), Kolodner et al (2003) et Guzdial (1994) qui a développé le logiciel Emile.

Dans ce contexte les auteurs définissent trois types d'étayages pour la démarche d'investigation, basés sur une analyse des difficultés des élèves et mis en œuvre par un environnement informatique :

- « *Sense making* » : ce qui se réfère à **l'expérience, au test d'hypothèses et à l'interprétation et à la représentation des données**. Cet item est spécifique pour chaque discipline et est lié à la mise en œuvre et à l'interprétation expérimentale. Les étayages portent sur la mobilisation de connaissances, l'aide à la représentation des données, l'explicitation des procédures. L'identification des difficultés s'appuie sur l'étude des conceptions des élèves dans chaque domaine concerné ainsi que sur leurs difficultés à expliciter les stratégies et les procédures de résolution de problème.

- « *Process management* » : ce qui se réfère **au contrôle** de la démarche d'investigation. Les aides portent sur la formalisation des différentes étapes de la démarche, sur la proposition de structure pour la résolution de tâches complexes. Les difficultés à prendre en charge sont le fait que les élèves perdent souvent de vue le but qu'ils poursuivent et le fait qu'il est difficile de définir à l'avance le processus exact de résolution de problème.

- « *Articulation and reflection* » : ce qui se réfère à **la construction, à l'évaluation, à la justification et à l'articulation** de ce qui doit être appris dans les différentes étapes. Les étayages portent sur la façon d'articuler ses idées et de les rendre explicite. Les étayages portent en particulier sur la planification et le suivi des tâches (par exemple à l'aide de portfolio) ; sur la justification des choix et l'argumentation. Les difficultés des élèves identifiées *a priori* concernent la planification, l'explicitation des démarches, l'argumentation, la mise en commun des idées dans le cas de travaux collaboratifs. A partir de cette typologie les auteurs proposent des stratégies d'étayage qui s'appuient sur vingt items à mettre en œuvre pour structurer la démarche d'investigation. Les items de la grille ont été testés sur une vingtaine de logiciels différents que les auteurs connaissent ou utilisent et qui mettent en œuvre l'un ou plusieurs des trois types d'étayages.

La notion d'étayage vise la réduction des difficultés des élèves en leur permettant d'entrer dans la tâche et de résoudre le problème par eux-mêmes. Cela implique une analyse préalable de la tâche à réaliser ainsi qu'une identification *a priori* des difficultés des élèves. La réduction des difficultés peut porter sur différents niveaux : par l'illustration ou par l'explication. Quatre types d'étayage peuvent être repérés : **conceptuel** (mobilisation des connaissances et de conceptions), **métacognitif** (élaboration d'habiletés cognitives, processus réflexifs), **procédural** (utilisation de procédures et de méthodes) et **stratégique** (mise en place et suivi des procédures de résolution de problème, suivi de la démarche d'investigation,

articulation entre les différentes étapes). Les étayages peuvent porter sur un point particulier ou sur plusieurs points mais ils s'appuient toujours sur une analyse préalable des difficultés des élèves. L'étayage va être différent s'il porte sur des aspects méthodologiques ou s'il est en lien avec une difficulté d'ordre épistémologique. Par exemple la plateforme WISE (Web-based Inquiry Science Environment) propose différents scénarios en fonction de différentes stratégies en référence à différents niveaux identifiés *a priori* (Linn 2000 ; Linn, Davis & Eylon 2004 ; Linn & Bat-Sheva 2011). Les rétroactions proposées aux élèves tiennent compte de cette analyse *a priori* des conceptions et obstacles des élèves, ou de difficultés d'ordre méthodologiques identifiées *a priori*. Cette analyse met l'accent sur divers aspects comme l'aide à la visualisation des phénomènes, l'aide à la réflexion, au traitement et à l'analyse des données, l'aide au suivi de la démarche d'investigation, l'aide à la justification et à la réflexion durant l'investigation.

Les étayages peuvent prendre la forme de ressources, d'expériences, de questions, d'aides à la visualisation. Ils peuvent utiliser le découpage et le suivi de la tâche, mais aussi l'analyse, la justification ou l'explicitation de la tâche. Ils peuvent être implicites et explicites. Ils concernent l'ensemble de la démarche et le fait de ne pas perdre de vue cette globalité, ou les différentes étapes de la démarche avec des étayages portant sur le problème qui peut être par exemple plus ou moins ouverts.

6.1.5 Un exemple d'étayages mis en place et expérimentés dans le projet SCY

Dans le cadre du projet SCY (décrit dans le paragraphe 5.4.2) plusieurs étayages ont été mis en place, par l'intermédiaire de la plateforme SCY-Lab, pour aider les élèves à réaliser les différentes tâches qui sont proposées. Les étayages se situent soit à un niveau générique au niveau de la plateforme et concernent l'aide à la mise en œuvre et au suivi de la démarche d'investigation, soit ils sont spécifiques d'une mission, et sont en lien avec des objectifs d'apprentissage spécifiques d'une discipline et d'un type d'activité.

Concernant l'étayage générique, au début de chaque mission, les élèves sont impliqués dans le travail par le biais d'une mise en situation authentique, qui s'apparente à une situation de dévolution. Les élèves doivent lire un texte appelé « *the challenge* » dans le projet SCY, qui leur indique le but final de la mission et qui propose une mise en scène par le biais d'un problème socio-scientifique et d'un jeu de rôle dans le but **d'impliquer** (de faire en sorte qu'ils s'approprient personnellement le problème) **et de motiver** les élèves (de faire en sorte qu'ils y voient un intérêt et éventuellement une source de plaisir). D'autre part, il y a la volonté de rendre la situation la plus authentique possible et pour se faire la production finale est à destination d'un professionnel extérieur à l'établissement scolaire. Par exemple dans la première « *mission* » développée dans le SCY-Lab intitulée « *CO₂ friendly house* », les élèves doivent concevoir une mission peu émettrice de CO₂ (en faisant des plans, en choisissant des matériaux par des mesures réelles et simulées, en choisissant les modes de chauffage et la façon de consommer l'énergie dans la maison). A la fin de la *mission* les élèves doivent présenter les caractéristiques de la maison à un architecte en les justifiant. Dans la *mission* 4, intitulée « *Laboratoire de police scientifique* » les élèves doivent mener une enquête sur un

meurtre et à l'issue de leurs investigations ils doivent présenter des conclusions argumentées au ministère public. Dans la mission 4 « Laboratoire de police scientifique », à la fin de certaines activités, la plateforme propose plusieurs articles de journaux aux élèves (les « *webnews* ») qui donnent des informations aux élèves sur l'enquête policière en cours. Ces textes ont pour but de **maintenir l'attention des élèves** pour la tâche à réaliser en leur faisant vivre les différents rebondissements d'une intrigue policière.

Extrait de Saavedra, Marzin & Girault (à paraître)

La mission « laboratoire de police scientifique » engage les élèves dans une enquête scientifique s'inspirant de faits réels relatés grâce à la narration d'une enquête policière dans un web journal. La fonction de l'enquête policière est de créer une mise en scène dans le but de motiver les élèves en les faisant vivre une situation « authentique » qu'ils puissent associer à un fait divers. Les élèves suivent une succession d'événements reconstruits relatés dans un web journal et qu'ils peuvent associer ou non à la recherche scientifique qu'ils sont en train de réaliser. Trois ressorts différents sont utilisés :

- un premier ressort motivationnel (enrôlement dans la démarche) par le biais d'un jeu de rôle (technicien de la police scientifique) qui vise la projection des élèves dans le rôle d'un professionnel qui mène une enquête scientifique dont le but est la recherche de preuves expérimentales ;
- un second ressort motivationnel par le biais d'un webjournal qui relate un fait divers et qui présente les rebondissements de l'enquête policière dont le but est la recherche des suspects d'un crime ;
- un ressort didactique par le biais d'apprentissage et de mobilisation de notions, de méthodes et de techniques d'analyse biologiques.

Les intentions motivationnelles constituent une mise en scène pédagogique au service des intentions didactiques. Nous n'avons pas étudié l'influence des effets motivationnels sur la réussite de la tâche, même si nous pensons que c'est un facteur favorisant. Nous avons focalisé notre étude sur les objectifs didactiques car l'objectif premier était que les élèves fassent et apprennent des sciences. Le caractère authentique de la situation (jeu de rôle, challenge) a été mis en avant par les concepteurs pour toutes les missions du projet SCY.

La plateforme SCY-Lab propose des étayages de la démarche par le biais des LAS (Learning Activity Spaces) dont les enchaînements sont visualisés à l'aide d'une carte de la mission appelée « *mission map* » (cf Figure 28). C'est un étayage de la démarche globale qui permet aux élèves, quand ils le souhaitent, de visualiser l'ensemble des étapes à suivre. Les élèves disposent aussi d'un portfolio qui les aide à classer toutes les productions et à partir duquel ils peuvent demander une rétroaction soit de la part de leur enseignant, soit de la part des autres élèves.

Dans la mission « concevoir une maison peu émettrice de CO₂ », une partie du dispositif a été testé, et la mise en place a été présentée de façon détaillée au paragraphe 5.4.3. Nous pouvons caractériser ce dispositif au regard du cadre de l'étayage. Le premier étayage a été proposé par le biais de l'organisation pédagogique en jigsaw qui crée une situation de communication de type collaborative et qui constitue un étayage social et pédagogique. La répartition du travail en groupes d'experts permet aux élèves de se spécialiser dans un domaine particulier, ce qui a pour conséquence une **réduction de la charge de travail et une simplification de la tâche**. Des consignes précises ont été données aux élèves afin de les amener à expliciter et à argumenter leurs choix. En effet les experts doivent présenter au groupe de conception plusieurs solutions testées et chaque solution possible devait être appuyée par des lois, des

données obtenues à partir de résultats d'expériences (étayage par la **présentation d'un modèle de solution**). Par ailleurs des contraintes ont été posées quand au moment de la prise de décisions. En effet, au cours d'une expérimentation antérieure nous avons remarqué que les élèves choisissaient les solutions dans les groupes d'experts, avant qu'elles soient présentées au groupe de conception. Pour résoudre ce problème il a donc été demandé aux élèves de proposer des solutions argumentées aux groupes de conception, afin de rendre possible la prise de décisions au sein des groupes de conception. La consigne indique que les élèves doivent donner aux groupes de conception des éléments tangibles sur lesquels ils peuvent s'appuyer pour prendre leurs décisions. Cette contrainte est un étayage de l'explicitation du processus, de justification et d'argumentation qui doit inciter un **feed-back par les pairs**. Enfin les élèves pouvaient consulter des ressources préalablement sélectionnées par les concepteurs de la mission afin de **simplifier la tâche des élèves**. Le tableau ci-dessous présente de façon synthétique les différents étayages proposés dans la plateforme SCY-Lab.

Tableau 13 : étayages des missions 1 et 4 du projet SCY

Élément considéré	Étayages proposés		Fonctions de l'étayage	Comment ?
	SCY-Mission 1	SCY-Mission 4		
Organisation pédagogique	Présentation du but sous forme de « challenge » : concevoir une maison	Présentation du but sous forme de « challenge » : résoudre une énigme policière	Enrôlement dans la tâche (impliquer, motiver)	Résoudre un problème faisable, motivant, avec un enjeu, dont on ne connaît pas la solution au préalable.
	Organisation du travail dans des Learning Activity Spaces (LAS) –Espaces d'apprentissage	Organisation du travail dans des Learning Activity Spaces (LAS) – Espaces d'apprentissage	Réduction des degrés de libertés (réduire la complexité)	Organiser le travail par type d'activités sur le SCY-Lab. Proposer des outils adaptés à la réalisation d'une tâche.
	Organisation du travail de groupe en Jigsaw (travail collaboratif)		Réduction des degrés de libertés (réduire la complexité et simplification de la tâche)	Organiser le travail des élèves en groupes d'experts et groupes de conception.
	Présentation de la maison et de ses caractéristiques à un architecte	Rédaction d'un rapport d'enquête policière au ministère public	Signalisation des caractéristiques déterminantes (évaluer)	Interagir avec un professionnel. Rendre la tâche authentique.
Contenus	Proposition des ressources et des consignes adaptées à chaque activité et à chaque production	Proposition des ressources et des consignes adaptées à chaque activité et à chaque production	Réduction des degrés de libertés (réduire la complexité et simplification de la tâche)	Sélectionner les contenus pertinents et adaptés à la réalisation de la tâche. Orienter le travail par des consignes précises.
		Webnews (journal web présentant des	Contrôle de la frustration (motiver)	Apporter des informations nouvelles et évolutives. Eveiller la

		informations à propos d'un fait divers et donnant des informations sur l'enquête policière en cours)		curiosité.
Productions des élèves	Création d'ELO par les élèves (Emerging Learning Objets)	Création d'ELO par les élèves (Emerging Learning Objets)	Réduction des degrés de libertés (réduire la complexité et simplification de la tâche)	Formaliser les productions des élèves sous la forme « d'objets » personnels à l'aide d'outils adaptés.
	Mise à disposition d'un Portfolio	Mise à disposition d'un Portfolio	Signalisation des caractéristiques déterminantes (évaluer)	Placer les ELOs dans un portfolio qui rend visible les productions personnelles des élèves aux enseignants et aux autres élèves.
	Proposition de modèles de réponses et de définitions de termes.	Proposition de modèles de réponses et de définitions de termes.	Présentation de modèles de solutions	Proposer des exemples de réponses et des définitions.
Démarche (aspects ergonomiques)	Navigation dans la mission (passage d'un LAS à l'autre) à l'aide d'une carte de la mission	Navigation dans la mission (passage d'un LAS à l'autre) à l'aide d'une carte de la mission	Maintien de l'orientation	Rendre visible sous forme graphique (une carte) les différents espaces d'apprentissage et leurs enchainements. Aide à la navigation

Les étayages présentés concernent des aspects pédagogiques, visant l'organisation pratique du travail de l'élève et de ses productions par des espaces adaptés ou par une organisation pédagogique visant la répartition du travail. Ils concernent aussi les contenus visés en proposant une sélection de ressources (sites web, expériences, simulation, textes, animations, ...) sous une forme synthétique et facilement accessible (par exemple par le biais d'un manuel de laboratoire numérique et multimédia). Enfin ils concernent une aide à la représentation de l'appropriation de la démarche en la formalisant sous forme graphique, par le biais de cartes qui représentent les différentes étapes de la démarche à réaliser, ou par le biais d'un planning à remplir par les élèves au début de la mission et à compléter au fur et à mesure que la démarche avance.

Dans les deux missions présentées ci-dessus un étayage prend en compte la difficulté des élèves à justifier leurs réponses par des données qui pourraient être mises en débat. Il est demandé aux élèves de présenter leurs résultats, d'exposer et de justifier leurs conclusions par des données explicites. Cela porte d'une part sur une difficulté des élèves à porter un regard critique sur des résultats, cette difficulté a été mise en évidence par plusieurs auteurs (Collin & Ferguson 1993 ; Millar 1996 ; Cauzinille-Marmèche, Mathieu, Weil-Barais 1983 ; Darley

& Marzin 1998). D'autre part sur la difficulté à expliciter, à construire des arguments et à justifier les réponses par des données qui pourraient être mises en débat (Sandoval 2003 ; Zohar & Nemet 2002 ; Lawson 1985).

Nos résultats présentés au paragraphe 5.4.3 montrent que les consignes ont été globalement respectées par les élèves : les choix présentés par les experts sont quantifiés et argumentés selon les formes que nous avons proposées. Nos résultats montrent une complexification de la formulation des raisonnements par les élèves. Nous pouvons donc dire que les étayages proposés ont globalement fonctionné dans le sens escompté. Nous avons focalisé notre étude sur les objectifs didactiques car l'objectif premier était que les élèves fassent et apprennent des sciences. Le caractère authentique de la situation (jeu de rôle, challenge) a été mis en avant par les concepteurs pour toutes les missions du projet SCY.

Ces étayages mis en œuvre sur la plateforme SCY-Lab ne sont pas interactifs et ils ne présentent pas d'adaptations en fonction des difficultés ou des conceptions des élèves. La plateforme prévoyait des rétroactions qui devaient être apportés aux élèves par des « agents » à partir de l'analyse de certaines productions. Ces rétroactions n'ont pas été testées en France. Dans la situation testée la régulation est effectuée par les pairs au travers des débats conduisant aux prises de décisions finales, mais l'analyse que nous avons faite montre que les interactions entre paires n'ont pratiquement jamais d'effet sur la modification d'une production.

6.2 Synthèse et propositions pour étayer la démarche d'investigation expérimentale

Dans les chapitres précédents nous avons exploré quelques conditions à mettre en œuvre en lien avec les représentations des élèves et nous avons recensé les principales difficultés des élèves pour réaliser les activités pratiques et pour leur donner du sens. Nous avons identifié aussi un certain nombre de difficultés qui pourraient être prises en charge par différents étayages. Ces difficultés concernent soit les connaissances, les conceptions et les raisonnements, soit les démarches et les méthodes, soit les activités réflexives et métacognitives. Cette partie reprend l'idée d'étayage adaptée au problème spécifique de la conception expérimentale, placée dans le contexte de la démarche d'investigation, en réinterrogeant les principales difficultés identifiées dans les chapitres 3, 4 et 5 avec le regard de l'étayage.

6.2.1 Concepts et raisonnements

Nous avons montré comment les connaissances et les conceptions des élèves interféraient avec la conception expérimentale en influant sur la justesse du protocole et comment, à l'inverse le fait de concevoir un protocole pouvait faire évoluer les conceptions des élèves, voire les amener à construire des concepts. Plusieurs étayages peuvent être envisagés. Comme nous l'avons énoncé précédemment (cf. §4.5) une l'analyse épistémologique et didactique des savoirs en jeu doit être menée en amont de la conception de la situation dans le but de définir

la nature des savoirs en jeu, les conceptions repérées dans la littérature, les possibles obstacles épistémologiques, les pré-acquis des élèves, les pré-requis nécessaires pour entrer dans la situation et dans le problème, les objectifs d'apprentissages visés, la nature des problèmes à résoudre par les élèves. S'agit-il de problèmes techniques (au sens de Fabre) ou de problèmes explicatifs ? Y-a-t-il construction de problèmes par les élèves (Orange, 2003) ? Quels sont les éléments mis à disposition des élèves pour résoudre le problème.

L'analyse met en évidence les réponses expertes visées qui ne doivent pas être trop éloignées des conceptions initiales des élèves. Nous avons par exemple montré dans le cas du T.P. de paléontologie (§4.4.1) comment l'absence de connaissance de l'anatomie du crâne humain avait été un obstacle pour la réussite de la conception d'un protocole « expert » par les élèves et comment leurs représentations de la notion d'angle avait influé sur la construction de l'angle facial. Cette analyse doit permettre de prendre des décisions pour adapter la tâche au niveau des élèves de façon à ce qu'elle soit faisable par eux, ce qui constitue un premier type d'étayage. La littérature⁸ propose d'autres types d'étayage par les EIAH⁹ :

- rendre explicite les conceptions des élèves en leur proposant plusieurs types d'activités (Reid, Zhang & Chen 2003). Quintana et al (2004) présente dans leur article plusieurs exemples de logiciels comme Model-It qui permet de concevoir des modèles « intuitifs » au niveau des élèves ou ThinkerTools qui permet d'aborder la notion d'accélération. On peut encore citer BioKIDS Cyber Tracker qui aborde la taxonomie ou son équivalent français phyloboîte (conçu par Bolognesi et Perez) qui permet d'aborder la classification des êtres vivants de façon intuitives et visuelles.
- Proposer des ressources adaptées aux besoins des élèves et les rendre visibles au moment où ils en ont besoin (de Jong & van Joolingen 1998). Cet étayage a été mis en place dans le projet SCY où des ressources spécifiques sont reliées à des activités précises dans les ELO, et dans la plateforme WISE où les ressources permettent aux élèves de réaliser une activité précise.
- Aider les élèves à donner du sens à leurs activités et à articuler leurs idées : proposer des aides pour utiliser une stratégie de raisonnement individualisé (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn 2007), utiliser des logiciels d'aide à l'argumentation, utiliser des représentations et un langage adapté, utiliser des outils adaptés à la discipline travaillée (Quintana et al 2004).
- Rendre explicite les idées des élèves en les leur faisant expliciter par des prédictions, des discussions, des critiques, ... (Linn & Bat-Sheva 2011).

Ce dernier étayage est en accord avec le fait de faire produire des représentations externes par les élèves pour expliciter, pour formaliser, pour structurer et pour s'approprier les connaissances.

⁸ Cette partie s'appuie sur une revue d'article effectuée par Claire Wajeman et Isabelle Girault présentée à l'« Alpine Rendez-Vous » 2013.

⁹ Quintana et al (2004) ont effectué une analyse exhaustive d'étayages à partir de 10 logiciels ou plateformes utilisés aux US, dont la grille a été présentée au paragraphe 6.1.4 ci-dessus.

6.2.2 Les démarches et les méthodes

Les élèves ne connaissent pas les étapes de la démarche d'investigation ou de la démarche expérimentale (Linn & Batt-Sheva 2011 ; Davis 2003). Les EIAH peuvent structurer la démarche de façon explicite ou non. Deux possibilités se présentent alors, soit la démarche est objet d'apprentissage et la démarche doit alors être rendue explicite (cf la carte de la mission dans la plateforme SCY-Lab, Figure 28) soit elle est un outil pour apprendre et la démarche peut alors être présente sans que les élèves ne la voit. Cet étayage est de nature ergonomique et pédagogique.

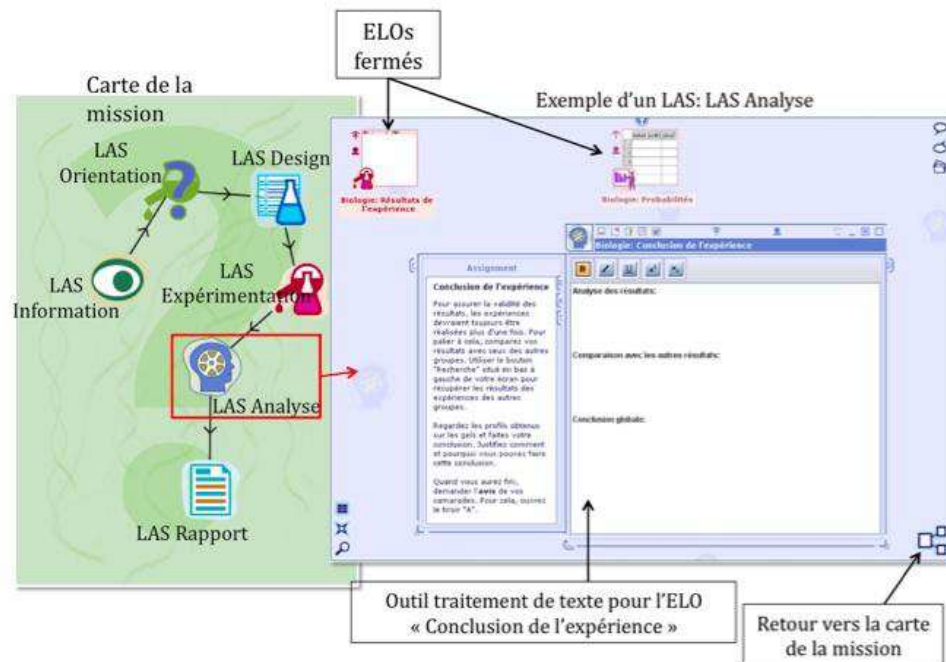


Figure 28 : carte de mission de la partie biologie de la mission « laboratoire de police scientifique », présentant l'enchaînement des espaces et présentation du « LAS analyse » (copie d'écran du SCY-Lab)

Des étayages peuvent être proposés pour expliciter la démarche aux élèves afin qu'ils comprennent la logique de la démarche d'investigation dans laquelle ils sont impliqués. L'entrée dans la tâche est un moment crucial, elle doit permettre d'accrocher l'attention des élèves, elle doit les motiver et elle doit les inciter à poursuivre le travail. Les élèves doivent être amenés à résoudre un problème faisable, motivant, avec un enjeu, dont la solution n'est pas connue au préalable. Dès le début du travail les élèves doivent connaître l'objectif final et ils ne doivent pas le perdre pas de vue. Le produit final doit en particulier être clairement explicité, l'élève doit savoir précisément ce qu'il doit faire et ce que l'on attend de lui. L'appropriation du problème peut aussi être étayé.

La conception expérimentale amène les élèves à mobiliser des connaissances métacognitives tel qu'anticiper, planifier, contrôler, évaluer, surtout si la conception est effectuée *a priori* par les élèves, or il a été montré que les élèves ont des difficultés à planifier et à garder un regard distant et global pendant l'investigation (Quintana et al. 2004). Des étayages peuvent être

proposés aux élèves pour rendre explicite ces activités, par le biais d'un outil de planning avec lequel les élèves ont à leur charge la gestion du temps et qui leur permet un suivi des activités réalisées comparativement à ce qui était prévu. L'utilisation de portfolio pour ranger et expliciter les données est une solution envisagée (par ex. The Progress Portfolio, Loh et al 1998).

La structuration d'un protocole en étapes et en actions, par les élèves est aussi un étayage que nous avons largement développé tout au long du chapitre 4 de ce mémoire. Cette activité n'est pas habituelle pour les élèves et elle leur paraît difficile (Girault et al 2012), son utilité n'est pas non plus évidente pour les élèves, nous avons en effet pu observer que les élèves n'écrivent pas ce qu'ils réalisent.

Concernant la démarche, une autre difficulté repérée par d'autres auteurs et par nous-même, concerne l'articulation des différentes étapes de la démarche (Séré & Beney 1997 ; Puntambekar & Kolodner 2005 ; Linn & Bat-Sheva 2001 ; Quintana et al. 2004). Le premier étayage possible est interne : c'est l'implication des élèves et l'appropriation de la conception expérimentale et de la résolution du problème par les élèves. Cette difficulté peut être prise en compte par l'EIAH en créant des liens, par exemple en faisant réutiliser des éléments d'une activité dans la suivante et donc en rendant les différentes étapes interdépendantes. Un autre étayage consiste à amener les élèves à travailler sur la cohérence de la démarche, et à donner la possibilité aux élèves de revenir sur les étapes antérieures pour les compléter, voire les modifier. En effet les idées des élèves peuvent changer de stratégies au cours de l'expérimentation du fait de la confrontation avec le registre empirique.

Au cours de nos travaux nous nous sommes particulièrement intéressés à la formulation des hypothèses qui est une étape cruciale de la conception expérimentale. Nous avons montré qu'elles pouvaient être formalisées par les élèves sous plusieurs modes (textes, schémas, dessins, ...). La forme des différentes productions peut être étayée par la mise à disposition d'outils adaptés à la production (traitement de texte, logiciel de dessin, logiciel C_Map, ...). De même, la forme de l'hypothèse peut être étayée par un modèle afin que les élèves sachent quelle est la forme attendue si c'est nécessaire, comme par exemple pour répondre au problème suivant : « *Comment expliquer que des mutations du gène xpa (allèles xpa1 à xpa7) aient des conséquences sur la taille et sur la fonctionnalité des différentes protéines synthétisées ?* », on peut proposer l'exemple d'hypothèse suivant : « *La mutation à l'origine de l'allèle xpa1 a pour conséquence une protéine de taille normale mais non fonctionnelle, cela s'explique parce que la mutation modifie ... (définir quels niveaux de la synthèse des protéines sont modifiés et quelles sont les modifications)* ». Cet étayage a été testé dans le cadre de la thèse de Reinaldo Saavedra avec des classes de première S avec l'environnement LabBook et le logiciel Anagène.

L'analyse, la représentation et l'interprétation des données et leur utilisation pour conclure sont difficiles pour les élèves. Nous avons proposé dans le paragraphe 3.8 un certain nombre d'étayages pour guider cette activité, comme proposer une liste de variables, donner des

critères pour élaborer une conclusion, clarifier le statut de la mesure, utiliser les données pour argumenter le choix de solutions avec un statut de preuve (cf aussi l'exemple de la mission « maison peu émettrice de CO₂ » du projet SCY) proposer des outils cognitifs et technologiques adaptés pour aider les élèves à faire des liens entre les idées et les données. De nombreux logiciels permettent aux élèves de visualiser des données ou des modèles, de les manipuler de façon intuitive. Nous pouvons citer eChem ou ses équivalents français Rastop et Rasmol, ainsi que les très nombreux logiciels de simulation comme BioLogica qui permet d'aborder la notion d'allèles de façon visuelle et intuitive.

6.2.3 Les activités réflexives et métacognitives

Comme nous l'avons proposé dans le paragraphe précédent certains étayages peuvent être internes. Cette posture peut être étayée par des activités métacognitives, en développant des activités réflexives qui favorisent la conscientisation des apprentissages. Nous reprenons à notre compte l'expression de Gunstone (1991) « *minds-on as well as hands-on* ». Cela consiste à développer des activités argumentatives et à formuler des arguments contradictoires, des justifications de réponses, des activités de formalisation des raisonnements (Linn & Bat-Sheva 2011 ; de Jong & Van Joolingen 1998), d'annotation des productions, et d'auto-évaluation (Etkina, Kareline & Ruibal-Villasenor 2010 ; Reiser 2004). Le fait de demander aux élèves des productions symboliques joue un rôle important car cela leur permet d'avoir un retour « en miroir » sur leurs idées et sur leurs raisonnements.

6.3 Conclusion

De nombreux étayages sont développés par les concepteurs d'EIAH pour aider les élèves dans leurs apprentissages en science. Ces étayages concernent soit des aspects ponctuels portant sur des concepts particuliers, ou sur des activités particulières (par exemple la modélisation) ou des aspects plus généraux concernant la démarche d'investigation dans son ensemble. L'analyse de la littérature et les étayages que nous avons nous même testés met en avant un nombre infini de possibilités technologiques. Du fait de l'inventivité des auteurs et de l'analyse des difficultés spécifiques à mettre en œuvre la démarche d'investigation, la notion d'étayage s'est complexifiée. La technologie, et en particulier l'utilisation du multimédia, des outils de communication et des tuteurs intelligents a diversifié les possibilités d'aides et a amélioré la dimension personnelle. Les innombrables possibilités ne doivent pas faire perdre de vue qu'il s'agit avant tout d'accompagner les élèves afin qu'ils réalisent, seuls ou en groupes, la tâche qui leur est assignée. Il convient donc de réfléchir au dosage des étayages pour que ça ne devienne pas un guidage et que la réduction des degrés de liberté ne devienne pas l'absence des degrés de liberté. Nous insistons aussi sur la nécessité de distinguer le travail sur l'enrôlement et les facteurs motivationnels dont le but est l'implication nécessaire dans la tâche, mais qui ne contiennent pas d'intention didactique en soi, des étayages visant des apprentissages et intégrant une intention didactique. La dimension épistémique doit être prise en compte même si c'est la plus difficile à étayer et la moins présente dans la littérature. Elle nécessite en amont une analyse épistémologique et didactique rigoureuse comme nous l'avons montré plus haut.

Par ailleurs nous avons insisté sur l'importance que nous donnions à la personnalisation des apprentissages, mais ce qui est recherché ce n'est pas l'uniformisation de la pensée. Il nous semble nécessaire de stimuler la curiosité pour voir, approfondir, connaître, apprendre par soi-même à l'aide de l'expérimental. L'utilisation des EIAH ne doit pas laisser de côté les interactions sociales, entre élèves, entre encadrant - élève et autres, qui sont primordiales dans la formation de la pensée scientifique. Car la relation à la machine doit rester de l'ordre du factuel, de l'aide. En effet en sciences, le travail en équipe est fondamental, il suppose de sortir « de soi » pour s'informer, échanger, partager, tester, apporter la contradiction, s'opposer, comparer, élargir voire même modifier son observation ou point de vue. Apprendre à voir le réel est difficile et encore plus de le comprendre, pour cela les étayages de toutes sortes sont donc indispensables. Ensuite, il est nécessaire de contrôler ce qui a été perçu, compris, intégré comme des savoirs réellement acquis.

Morgan et Brooks (2012) ont souligné que la conception expérimentale et plus généralement les activités de « *design* » correspondent à une lourde charge cognitive pour les élèves. Il convient donc de hiérarchiser les objectifs d'apprentissage, pour définir ce qui doit rester à la charge de l'élève et ce qui n'est pas un objectif d'apprentissage central et qui peut être pris en charge par le système ou par l'enseignant, comme nous l'avons montré au chapitre 4. L'intérêt de l'expérimental en S.V.T., c'est le contact direct avec le réel tel qu'il se présente (pierres, végétaux, animaux, humains, paysages, écosystèmes, produits chimiques, cellules etc, ...) même en le transformant mais en faisant une réelle approche concrète. Car l'imagerie aussi pertinente soit-elle ne peut suffire à elle seule pour prendre en compte la mesure de ce qu'est le vivant et tous les concepts qui le concernent. Il est important de voir par soi-même, de cultiver sa curiosité pour mieux comprendre. Donc l'observation, l'expérimentale in situ sont nécessaires avec toute la rigueur et la discipline que cela nécessite, d'où l'intérêt des étayages envisagés.

Nous revenons une fois encore aussi sur l'importance de développer des activités métacognitives lors de la conception expérimentale. Ce point est bien développé dans la littérature sur l'apprentissage des sciences à l'aide des EIAH ou sans. Enfin les activités de formalisation et de représentations, quand elles ont produites par les élèves ou quand elles sont proposées aux élèves sont aussi mises en avant.

La réflexion sur les étayages a été développée dans le cadre du workshop international ARV (Alpin Rendez-vous – Villard-de-Lans, du 28 janvier au 1^{er} février 2013), où notre équipe a co-organisé un workshop intitulé « Scaffolding Inquiry-Based Science Learning (IBSL) with computer environment ». Nous contribuons à ce workshop par le biais d'une revue d'articles internationaux sur le thème de l'étayage (Wajeman, Girault, d'Ham & Marzin 2013). Le but de ce travail a été de contribuer à la réflexion pour concevoir et pour tester des étayages dans la plateforme LabBook.

Chapitre 7 - Conclusion et prospective

Dans les chapitres précédents nous avons présenté les résultats de nos travaux concernant la conception expérimentale. Le modèle Problème-Conception-Représentation est associé aux activités suivantes décrites dans les chapitres 4 et 5 :

- Appropriation et reformulation du problème (résolution du problème).
- Anticipation, planification, contrôle et évaluation de la tâche (conception).
- Formalisation de sa pensée par différentes productions et dans différents modes et structuration de la tâche (représentation).

Nous avons complété cette liste d'activités par d'autres activités métacognitives

- Réflexives : justification, argumentation.
- Interprétatives : annotations, représentation et analyse des données.

Il s'agit d'induire des productions écrites par les élèves, seul ou à plusieurs, pour ne pas interrompre la jonction indispensable écrit-pensée-savoir.

Certaines de ces activités ont été testées dans différentes expérimentations dans le cadre des projets Copex et SCY, mais elles n'ont pas encore toutes été testées ensemble. Certaines expérimentations ont été mises en place en contexte papier-crayon, d'autres dans le contexte d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain. Nos résultats s'appuient donc sur des expérimentations qui ne se placent pas exclusivement dans un contexte numérique.

Nos futurs travaux visent à élaborer et à tester des situations qui intègrent toutes ces dimensions dans un contexte informatique. Un autre aspect de notre travail concerne la dimension épistémique de la conception expérimentale. En effet dans le chapitre 6 nous avons mis en évidence que de nombreux étayages présentés dans la littérature, portent sur des dimensions psychologiques, sociales ou pédagogiques mais assez peu sur des aspects épistémologiques et didactiques. Cette dimension que nous voulons explorer, même sa prise en compte est difficile et complexe. La plateforme WISE, par exemple, intègre cette dimension.

La prise en compte de l'épistémologie d'un concept et des conceptions des élèves implique une modélisation qui est pratiquée dans notre équipe à partir de deux cadres théoriques distincts. Le modèle cK ϕ développé par Balacheff (Balacheff & Margolinas 2005) et développé dans le cadre de la théorie des situations didactiques (Brousseau 1998), dont la modélisation informatique a été réalisée par Lucile Vadcard et Vanda Luengo (Luengo, Vadcard, Tonetti & Dubois 2011) pour modéliser l'activité du chirurgien orthopédique. L'autre cadre utilisé est la théorie anthropologique du didactique proposée par Chevallard et à partir de laquelle Hamid Chaachoua (2010) a développé un modèle praxéologique de l'apprenant, pour les mathématiques, dans une finalité d'automatisation. En effet le contexte de notre travail étant la modélisation informatique, les modèles proposés doivent, à terme, être calculables par un système informatique.

Plusieurs voies sont possibles pour prendre en compte la dimension épistémique, nous en retenons deux : la modélisation des connaissances de l'apprenant et la proposition d'une réponse après analyse des réponses d'élèves (diagnostic et feedback), cette voie est travaillée dans notre équipe, et elle est au centre des travaux de Vanda Luengo (Luengo 2009). Une autre voie est basée sur l'élaboration de profils de l'apprenant et la proposition de parcours en fonction de ces profils définis *a priori* à partir de l'analyse didactique. Ces deux voies s'appuient sur des modélisations épistémologiques et didactiques. Nous souhaitons explorer cette seconde voie, et construire des situations étayées par un EIAH qui s'appuie sur des profils d'élèves. Nous sommes impliqués dans ces travaux de modélisation en particulier pour le concept d'ADN dont nous présentons dans le paragraphe suivant nos travaux et nos résultats passés, en cours et futurs.

7.1 Analyse épistémologique du concept d'ADN

Nos travaux en cours portent sur le test en situation de classe, et l'implémentation sur la plateforme LabBook, d'une situation d'apprentissage en première S, dont l'objectif est l'apprentissage des notions de code génétique, de mutation génétique, et de synthèse des protéines. L'exemple travaillé est la maladie *Xeroderma Pigmentosum*. Cette situation concerne deux parties du thème 1 « La terre dans l'univers, la vie et l'évolution du vivant » du programme de première S intitulées « variabilité génétique et mutation de l'ADN » et « l'expression du patrimoine génétique ». Dans le cadre de l'ingénierie didactique, il s'agit de concevoir une situation où les élèves émettent des hypothèses, conçoivent un protocole expérimental *a priori*, et anticipent les résultats pour répondre au problème suivant : comment expliquer que des mutations du gène *xpa* (allèles *xpa1* à *xpa7*) aient des conséquences sur la taille et sur la fonctionnalité des différentes protéines synthétisées ? Les élèves réalisent des expériences virtuelles avec le logiciel Anagène, ils mobilisent la notion de code génétique. Ils sont impliqués dans plusieurs activités métacognitives telles que : l'anticipation de la tâche, la structuration des étapes du protocole, ainsi que des activités justificatives et réflexives. Ce travail est effectué par Reinaldo Saavedra dans le cadre de sa thèse de doctorat que je co-encadre avec Isabelle Girault.

La problématique de la thèse concerne la faisabilité de la tâche de conception expérimentale par les élèves, la cohérence de la démarche, l'identification de difficultés et l'effet d'étayages proposés aux élèves dans la plateforme LabBook. Nous faisons l'hypothèse que le fait de concevoir un protocole *a priori* va amener les élèves à modifier leurs stratégies, à remettre en question les raisonnements mise en œuvre pour la résolution du problème dans le sens d'une complexification (vers la stratégie experte). La formalisation et la réflexion sur le protocole aident les élèves à faire des liens entre théorie et modèles et objets et phénomènes et les amènent à se poser la question de la synthèse des protéines. La finalité de la thèse est de proposer des recommandations pour l'ingénierie didactique avec la plateforme d'apprentissage LabBook qui intègre le logiciel Copex développé par Cédric d'Ham, et qui a été présenté au paragraphe 4.6 de ce mémoire. La question des conditions de mise en œuvre

des activités proposées ci-dessus est la première perspective de recherche que nous souhaitons développer.

Ce travail de thèse s'appuie sur une analyse épistémologique du concept d'information génétique qui a été effectuée dans plusieurs contextes et sous plusieurs formes. L'étude du concept d'ADN a commencé avec la thèse de Gwenda-Ella Chapel soutenue en juin 2011 et qui portait sur le diagnostic de conceptions d'élèves de seconde sur la notion d'information génétique (localisation support, rôle). Une modélisation des connaissances en jeu a été effectuée dans le cadre du modèle Ck ϕ , et une étude des principales conceptions et obstacles a été effectuée à partir de la littérature (Chapel & Marzin 2009 ; Chapel, Marzin & Ney 2008).

Parallèlement, Hélène Fayolle en 2009, dans le cadre de son master soutenu de didactique des sciences et que j'ai encadré, a étudié la construction des idées dans l'histoire des sciences et elle a identifié les principaux obstacles épistémologiques à la construction du concept d'ADN. A partir de son analyse historique elle a identifié quatre principaux obstacles : la condensation-décondensation de la chromatine (l'identification des chromosomes comme support de l'hérédité et le fait qu'une même molécule peut présenter différentes formes selon qu'elle soit condensée ou décondensée) ; la notion de code génétique (le caractère ontologique de la notion de gène comme unité physique et comme unité d'information) ; les nature du lien entre bases, gènes et chromosomes ; le support de l'hérédité et l'évolution des espèces. Ces obstacles sont pris en compte dans les travaux que nous menons actuellement.

Une autre étude a été menée par Reinaldo Saavedra dans le contexte du projet SCY pour son mémoire de master 2 R, didactique des sciences et qui a fait l'objet d'un article à paraître dans le numéro 7 de la revue Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies (RDST).

Extrait Saavedra, Marzin, Girault (à paraître)

Les objectifs d'apprentissage de la mission « laboratoire de police scientifique » englobent des compétences scientifiques générales (recherche d'information, organisation des données, mise en œuvre cohérente d'une démarche expérimentale) ; des concepts de biologie (structure, spécificité et universalité de la molécule d'ADN ; niveaux d'organisation biologique de l'information génétique) ; et des éléments concernant la recherche en criminalistique (techniques d'analyse d'ADN, recherche de correspondance entre les profils). Au cours de l'enquête scientifique qu'ils réalisent, les élèves doivent effectuer une recherche de preuves. Pour cela ils doivent réaliser des profils ADN à partir d'extraits d'ADN qui leur sont fournis. Le profil de l'échantillon prélevé est comparé à des profils de personnes connues. S'il y a correspondance entre ce profil et le profil d'une personne dont l'identité est connue il sera possible de conclure quant à la présence probable de cette personne sur la scène de crime (et non à sa culpabilité !). Pour mener ce raisonnement et pour comprendre ce qu'est un profil, autrement que par une explication magique, des éléments de connaissances sont apportés aux élèves au cours de la mission sur :

- le principe des trois techniques utilisées : extraction de l'ADN à partir de d'échantillon biologiques (non réalisée par les élèves), enzymes de restriction et électrophorèse sur gel,
- la structure moléculaire de l'ADN (séquence de nucléotides) et ses caractéristiques (universalité et spécificité).

Il s'agit d'amener les élèves d'un modèle chromosomique de l'ADN (les chromosomes sont constitués d'ADN) à un modèle moléculaire (l'ADN est une séquence de nucléotide spécifique à chaque individu). Nous faisons l'hypothèse que ce changement de modèle se fera au cours de la mission grâce

à l'interaction entre les connaissances préalables des élèves, les activités à réaliser, les consignes et les ressources et aussi par le fait que les élèves formalisent leurs réponses personnelles sous différentes formes (quatre textes, une carte conceptuelle, une photographie du gel et les annotations de la photo) dans les ELO. Les élèves ne se contentent pas de lire des textes ou de regarder des animations, ils doivent prélever des informations dans différents supports pour élaborer une production dont les attendus sont précisés dans les consignes. L'analyse *a priori* que nous allons présenter, dans la section 4.2., en termes de résolution de problème, nous permet d'étayer notre hypothèse quant au rôle de la mission dans le changement de modèle relatif à l'ADN.

Les résultats de cette étude ont montré que les activités proposées aux élèves leur permettent d'aborder l'ADN au niveau moléculaire (par l'étude de représentations du modèle de la double hélice de l'ADN composée de deux brins complémentaires constitués d'un enchaînement de nucléotides), ainsi que les caractéristiques d'universalité et d'unicité de l'ADN. Nous avons montré que le fait de produire des représentations dans les ELO de la plateforme et de résoudre des problèmes qui les amènent à mobiliser les notions présentées ci-dessus a permis aux élèves de passer d'une échelle chromosomique à une échelle moléculaire de l'ADN et a précisé la place de l'ADN dans les différents niveaux d'échelle biologique, qu'ils se sont construits une représentation de l'analyse ADN concrète et scientifique et des connaissances concernant les informations révélées par un profil ADN.

Dans le cadre théorique de la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1994 ; Bosch & Chevallard 1999) nous avons effectué une analyse praxéologique institutionnelle du concept d'ADN à partir de l'analyse des programmes et des manuels de collège et de lycée. Cette théorie permet de décrire la genèse et l'évolution des objets de savoir dans une institution. Elle utilise les notions de **techniques**, qui permettent d'accomplir des **types de tâches** et **les technologies** qui ont une fonction de production, de justification et d'intelligibilité des techniques. Notre objectif est d'élaborer une praxéologie institutionnelle de la notion d'information génétique au lycée, d'effectuer une analyse comparative de plusieurs manuels de seconde (programme 2010) à l'aide de la TAD, de mettre en œuvre la TAD avec un exemple en S.V.T. Ces analyses ont été effectuées dans le cadre de trois mémoires de master 2 de didactique des sciences (Fayolle 2009 ; Mabiala 2012 ; Raad en cours). Ces études nous ont permis de modéliser la notion d'information génétique dans les programmes de collège et de lycée et de faire une analyse comparative de quatre manuels qui ont montré une grande diversité des approches, des exemples et des techniques (Tableau 14). Certains manuels traitent d'abord le milieu puis l'information génétique, d'autres mêlent les deux, d'autres intègrent la dimension expérimentale et d'autres non. Ces travaux sont aussi effectués dans le cadre d'un projet interne à l'équipe MeTAH (projet IDEALE) qui a pour finalité de modéliser des connaissances en sciences et en mathématique à partir du modèle praxéologique. La finalité de ce travail est à terme d'effectuer un diagnostic automatique des connaissances, à partir d'une analyse épistémique pour proposer un retour (feedback) à l'apprenant. Les questions non résolues sont celle de l'opérationnalité informatique : Peut-on traduire les modélisations didactiques dans un langage informatique ? Comment rendre ces modèles calculables ?

Ces questions sont au centre des travaux de l'équipe MeTAH qui comprend des didacticiens et des informaticiens.

Tableau 14 : comparaison entre quatre manuels pour la niche « contrôle du métabolisme »

Manuel	Type de tâche	technologie
Belin	Montrer qu'un type de métabolisme (la fermentation) interagit avec l'environnement.	La levure prélève des sucres et de l'eau dans son environnement et rejette de l'éthanol et du CO ₂ .
Hachette	Montrer qu'un type de métabolisme (la synthèse de la mélanine) est sous le contrôle de l'IG et de l'environnement.	La mélanine est fabriquée à partir de tyrosine par l'action de la tyrosinase, elle même sous le contrôle d'un gène. Le soleil augmente la production de mélanine.
Bordas (1)	Comparer l'influence des conditions expérimentales (l'environnement) sur le développement des levures.	L'information génétique a une influence sur la respiration (métabolisme) des levures.
Bordas (2)	Comparer l'influence des conditions expérimentales (l'environnement) sur le métabolisme des euglènes.	La lumière a un rôle sur le métabolisme (photosynthétique) des cellules végétales. La présence de glucose dans le milieu a un rôle sur le métabolisme (respiration) des cellules.
Nathan	Montrez expérimentalement l'influence de l'environnement sur le « fonctionnement » des levures.	Le rayonnement UV induit des mutations sur les colonies de levure Ade2 (mutées). Différents facteurs du milieu (surdosage d'adénine, taux d'O ₂) ont une influence sur le métabolisme de synthèse de pigment rouge chez la levure ADe2 (mutée).

7.2 Conception expérimentale et apprentissage via un EIAH

Une nouvelle version de la plateforme vient d'être développée par Cédric d'Ham et comme nous l'avons indiqué plus haut, plusieurs expérimentations sont en cours pour tester différentes hypothèses sur le rôle de la conception expérimentale dans les apprentissages et pour tester différents étayages repérés dans la littérature et pertinents pour aider les élèves à concevoir des protocoles expérimentaux. Des choix ont été faits de proposer des outils qui allègent la charge cognitive des élèves et qui aident les élèves à structurer certaines tâches comme le protocole. Il s'agit donc de prévoir dans LabBook des activités d'étayages repérés dans la littérature et pertinents pour aider les élèves à concevoir des expériences en accord avec le modèle Problème-Conception-Représentation.

Les questions de recherche qui guident nos travaux sont les suivantes :

La question générale porte sur une meilleure connaissance de l'activité de conception expérimentale réalisée par les élèves, accompagnée par les enseignants et structurée par un EIAH.

- Comment traduire le modèle PCR sur la plateforme LabBook ?
 - o Comment faciliter la construction du problème par les élèves ?
 - o Comment étayer l'activité de conception ?

- Quels modes de représentation adaptées à quelles tâches ?
- Comment introduire des activités argumentatives, réflexives et justificatives ?
- Comment tenir compte d'une analyse épistémologique et didactique pour concevoir des situations d'apprentissage intégrant de la conception expérimentale dans un EIAH ?
 - Quelles modélisations utiliser ?
 - Que peut-on automatiser ?
- Quels étayages proposer et tester dans LabBook en s'appuyant sur l'analyse des difficultés des élèves pour concevoir des expériences ?
- Quelle est la valeur ajoutée de la conception expérimentale dans les apprentissages ?

Un projet de collaboration est en cours avec l'université de Berkeley et plus particulièrement avec l'équipe de Marcia Linn qui développe la plateforme d'apprentissage WISE (Web-based Inquiry Science Environment). Ce projet de collaboration est issu de la visite de notre collègue Isabelle Girault dans l'équipe de Marcia Linn à Berkeley durant l'été 2012. Le projet est d'introduire de la conception expérimentale dans certaines activités de WISE qui s'y prêtent ; Une voie possible consisterait à implémenter le logiciel Copex dans la plateforme WISE. Un travail préalable est en cours en S.V.T. où nous effectuons une analyse praxéologique d'une activité de WISE pour étudier les conditions de son adaptabilité au système éducatif français (collège et lycée) et pour étudier les conditions de l'introduction d'une activité de conception expérimentale. Nous avons sélectionné la mission « *Space colony - Genetic diversity and survival* », car elle correspond à des éléments du programme de S.V.T. de seconde et de première S et parce que nous avons identifié une activité expérimentale (virtuelle). Cette mission vise la construction des concepts d'information génétique, de brassage génétique (méiose, recombinaisons, fécondation) et d'évolution. Une des activités consiste à créer des descendants d'une espèce de dragons avec le logiciel BioLogica. Dans WISE, cette activité s'effectue sans la possibilité de formaliser sa pensée par des représentations, ni de faire des prédictions. Il nous semble donc possible d'arriver au résultat par une stratégie essai et erreur sans mobiliser les modèles théoriques adaptés, et impossible de recueillir une trace du raisonnement de l'élève. Nous avons donc transformé cette activité en introduisant une étape de réflexion sur les caractéristiques de chaque allèle, la conception d'un protocole, et une formalisation des raisonnements à mettre en place pour résoudre le problème. Cette formalisation par des textes, des tableaux et un protocole (structuré en étapes et en actions) est développée à l'aide de la plateforme LabBook. Nous faisons une analyse comparée des différentes stratégies à mettre en œuvre dans la situation, avec et sans LabBook, et une analyse de l'activité avec ou sans conception expérimentale. Cette étude recouvre deux aspects indépendants : la question de l'analyse d'activités de la plateforme WISE pour évaluer les conditions de possibilité de son adaptabilité dans des séances d'apprentissage en S.V.T. en France et la question de l'insertion d'activités de conception expérimentale dans des activités proposées par WISE.

Une autre question concerne la façon dont les élèves utilisent les ressources pour créer ou pour nourrir leurs productions avec un EIAH. Nous avons effectué une étude dans le cadre du

projet SCY (Kluge et al 2012) qui montre que les élèves se tournent majoritairement en premier vers l'enseignant ou les tuteurs présents dans la salle quand ils ont besoin d'aide ou pour trouver des réponses aux questions qui leur sont posées, ce qui paraît logique, voir souhaitable vu le contexte. Les élèves ne modifient pas spontanément leurs productions, et quand c'est le cas, l'enseignant est à l'origine des modifications du contenu des productions. Nous avons aussi montré que les élèves réutilisent peu leurs productions antérieures pour en élaborer de nouvelles, sauf à la fin du travail pour faire la synthèse. Le contenu des productions est nourri en priorité par le manuel de laboratoire proposé par la plateforme (dans la mission SCY-4) mais aussi par l'enseignant. Nous avons aussi étudié cette question par l'analyse de l'argumentation des élèves présentée au paragraphe 5.4 de ce mémoire. Il s'agit d'approfondir la question des processus mis en œuvre par les élèves, seuls ou à plusieurs, pour élaborer les productions en utilisant des ressources et celle de la prise en considération de nouveaux savoirs par les élèves et des conditions de leur incorporation dans un corpus existant de savoirs.

Enfin l'utilisation des environnements informatiques pose des problèmes éthiques que nous avons peu ou pas abordés au cours de ce mémoire. Il ne faut pas perdre de vue que pour les jeunes actuels, l'ordinateur est un instrument de toute puissance, qui permet de tout savoir en un clic. Il peut donc paraître inutile de faire l'effort des apprentissages voire de la compréhension. Pourtant nous affirmons que l'école doit rester un lieu où on apprend en commun à penser, échanger et construire les savoirs, quelque soit le contexte ou les outils utilisés.

7.3 Modélisation pour l'accompagnement des décisions didactiques par les enseignants

Nous n'avons pas beaucoup évoqué les enseignants dans ce mémoire, pourtant le travail sur le suivi de la tâche de l'élève et le développement des outils auteurs font partie de nos perspectives de recherche. Nous sommes impliqués depuis décembre 2012 dans le projet ADDI (Accompagnement des Décisions Didactique dans un environnement Informatique - responsables Vanda Luengo et Jana Trgalova). Ce projet est une collaboration entre l'IFé, plusieurs membres de l'équipe MeTAH et quatre enseignants de sciences (deux enseignants de mathématiques, un enseignant de sciences physiques et chimie, et une enseignante de Sciences de la Vie et de la Terre). Il s'agit de proposer une modélisation didactique et informatique des décisions didactiques pour ensuite accompagner les enseignants dans leurs prises de décisions via un EIAH. Les questions de recherche travaillées dans le projet ADDI sont : comment les enseignants prennent des décisions didactiques ? Quels facteurs utilisent-ils pour prendre des décisions au moment de la conception de leurs enseignements ? Ou pour proposer un retour à l'élève ? Ou pour modifier leurs scénarios didactiques et pédagogiques ?

Bibliographie

- Ainsworth, S. (2011). Understanding and transforming multi-representational learning. Keynote speaker presented at *the 14th Biennial conference, EARLI*, Exeter.
- Albe, V. (2011). Démarches d'investigation et culture scientifique dans le cadre européen. In M. Grangeat (Ed.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classes, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (pp. 243-255). Lyon: Ecole normale supérieure.
- Alcorta, M. (1998). Une approche Vygotskienne du développement des capacités d'écrire. Le brouillon un outil pour écrire. In M. Brossard & J. Fijalkow (Eds.). *Apprendre à l'école : perspectives piagetiennes et vygotskiennes* (pp. 123-151). Talence: Presses universitaires de Bordeaux.
- Arce, J., & Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction. Students at the University of Puerto Rico go back to the basics to learn chemistry concepts. *Journal of College Science Teaching*, 27(2), 114-118.
- Astolfi, J. P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- Astolfi, J. P. (1997). *Médiation* : <http://pmev.lagoon.nc/astolfi.htm>
- Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*(16), 103-141.
- Bachelard, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Bachelard, G. (1993). *La formation de l'esprit scientifique [1938]*. Paris : Vrin.
- Baker, L. & Brown, A.L. (1982). Metacognitive skills and reading. In P.D. Pearson, M. Kamil, R. Barr & P. Mosenthal (Eds), *Handbook of Reading Research*. N.Y. : Longman.
- Balacheff, N. (1996). Advanced educational technology: knowledge revisited. In T. T. Liao (Ed.), *Advanced Educational Technology: Research Issues and Future Potential (NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences)* (pp. 1-20). Berlin: Springer.
- Balacheff, N., & Margolinas, C. (2005). Ckø un modèle de connaissance pour le calcul de situations didactiques. In *Balises pour la didactique des mathématiques* (pp. 1-32). Grenoble : La pensée sauvage.
- Bange, P., Carol, R., & Griggs, P. (2005). *L'apprentissage d'une langue étrangère: Cognition et interaction*. Paris : L'Harmattan.
- Barrows, H. (1988). *The tutorial process* (Springfield ed.): Southern Illinois University press.
- Bécu-Robinault, K. & Tiberghien, A. (1998). Integrating stable experiment in energy teaching, *International Journal of Science Education*, 20(1), 99-114.

- Bosch, M., Chevillard, Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. *Objet d'étude et problématique, Recherches en didactique des mathématiques*, 19(1), 77-123.
- Brixi, O., Sandrin-Berthon, B., Baudier, F. (1996). La charte d'Ottawa : quelques repères en éducation pour la santé. *La santé de l'homme*, 325.
- Broadbent, D., E. (1958). *Perception and communication*. Londres: Pergamon Press.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of The Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- Bruillard, E. (1997). *Les machines à enseigner*. Paris: Hermes.
- Bruillard, E., Komis, V., & Laferrière, T. (2012). TIC et apprentissage des sciences : promesses et usages. Introduction. *RDST*(6), 9-22.
- Bruner, J. (1983). *Le développement de l'enfant : Savoir-faire, savoir dire*. Paris : PUF.
- Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009). The effect of students' views of the nature on science on their view of scientific measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137-1156.
- Buty, C., & Plantin, C. (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Lyon : INRP.
- Calande, G., de Bueger-Vander Borght, C., Daro, S., Nuttin, J., & Vanhamme, L. (1990). *Didactique des sciences et autonomie dans l'apprentissage. L'immunologie : un prétexte*. Plaisir des sciences. De Bœck édition.
- Calmette, B. (2010). Démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences et pragmatisme. *Actes des Journées Scientifiques DIES 2010*, pp 8-18. Lyon : INRP.
- Canguilhem, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- Caravita, S., & Giuliani, E. (2001). Composer des textes pour de vrais lecteurs : une expérience à l'école élémentaire italienne. *Aster*(33), 189-225.
- Catel, L. (2001). Ecrire pour apprendre ? Ecrire pour comprendre ? Etat de la question. *Aster*(33), 17-47.
- Cauzinille-Marmeche, E., Mathieu, J., & Weil-Barais, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.
- Chaachoua H. (2010) *La praxéologie comme modèle didactique pour la problématique EIAH. Etude de cas : la modélisation des connaissances des élèves*. HDR. Grenoble : Université Joseph Fourier.
- Chabanne, J.-C., & Bucheton, D. (2002). *Parler et écrire pour penser, apprendre et se construire*. Paris : PUF. 252 p.

- Chapel, G. E. (2007). *Ingénierie didactique d'un T.P. d'immunologie en classe de terminale scientifique : analyse des conceptions et étude des critères d'évaluation de protocoles utilisés par les élèves*. Mémoire de master 2^{ème} année Recherche, UJF, Grenoble.
- Chapel, G. E. (2011). *Modélisation et diagnostic des conceptions d'élèves de niveau seconde sur l'information génétique, lors de l'élaboration d'expérience à l'aide de LabBook*. Thèse de Doctorat. Université de Grenoble.
- Chapel, G. E., & Marzin, P. (2009). Etude des connaissances d'élèves de seconde sur les mutations génétiques. *Sixièmes journées scientifiques de l'ARDIST* - 14-16 octobre 2009.
- Chapel, G. E., Marzin, P., & Ney, M. (2008). Do students ideas about antigen-antibody reaction change when they are gathered to design an experimental procedure? Paper presented at *the ERIDOB, Utrecht, The Netherlands*.
- Chartrain, J.-L., & Caillot, M. (2001). Rapport au savoir et apprentissages scientifiques : quelle méthodologie pour analyser le type de rapport au savoir des élèves ? *Scholé, Hors série*, 153-167.
- Chevallard, Y. (1994). Ostensifs et non-ostensifs dans l'activité mathématique, *Séminaire de l'Associazione Mathesis*, Turin, 3 février 1994, in Actes du Séminaire 1993-1994, 190-200.
- Christie, F. (1981). The language development project. *English in Australia*, 58, 3-10.
- Chomsky, N. (1971). *Aspects de la théorie syntaxique*. Paris: Seuil.
- Cogérino, G., Marzin, P., & Méchin, N. (1998). Prévention santé : pratiques et représentations chez les enseignants d'Education Physique et Sportive et de Sciences de la Vie et de la Terre. *Recherche et Formation*(28), 9-28.
- Collin, A., & Ferguson, W. (1993). Epistemic forms and epistemic games: Structures and strategies to guide inquiry. *Educational Psychologist*, 28, 25-42.
- Committee on High School Science Laboratories (2006). *America's lab report: investigations in high school science*. Washington (D.C.): National Academies Press.
- Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*(26), 109-132.
- Coquidé, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'HDR. Université Paris-Sud. Orsay.
- Coquidé, M. (2003). Face à l'expérimental scolaire. In J.-P. Astolfi (Ed.), *Les difficiles transformations du métier d'enseignant. Education, formation : nouvelles questions, nouveaux métiers*. (pp. 153-180). Paris : ESF.
- Coquidé, M., Bourgeois-Victor, P., & Desbeaux-Salviat, B. (1999). "Résistances du réel" dans les pratiques expérimentales. *Aster*(28), 57-77.
- Cox, M. (2012). Informatique et apprentissage des sciences : tendances, dilemmes et conséquences pour l'avenir. *RDST*(6), 23-52.

- Crinon, J. (2000). Apprendre à écrire ou écrire pour apprendre ? *Les cahiers pédagogiques*(388-389), Article éditorial.
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia*, 9, 31-56.
- Darley, B., & Marzin, P. (1998). *Productions graphiques chez des élèves de 1ère S. Apprendre à recueillir, traiter et interpréter des données expérimentales*. Paris : INRP.
- Davis, E. A. (2003). Prompting Middle School Science Students for Productive Reflection: Generic and Directed Prompts. *Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 91- 142.
- Devallois, D. (1997). *Démarche expérimentale en classe de 6^{ème} : un état des lieux*. Mémoire de DEA de didactique des disciplines scientifiques. Université Joseph Fourier. 64 pages.
- Devolder, A., van Braak, J., & Tondeur, J. (2012). Supporting self-regulated learning in computer-based learning environments: systematic review of effects of scaffolding in the domain of science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28, 557-573.
- Douaire, J. (2004) *Argumentation et disciplines scolaires*. Saint Fons : INRP. 329p.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Berne : Peter Lang.
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: learning in introductory physics laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19, 54-98.
- Etkina, E., Murthy, S., & Zou, X. (2006). Using introductory labs to engage students in experimental design. *Am. J. Phys.*, 74(11), 979-986.
- Fabre, M. (2005). *Problémation et problématisation : ou comment construire du savoir en résolvant des problèmes ? Etude de deux situations problèmes*. *Communication interne au séminaire problématisation ed*. Nantes : Université de Nantes.
- Fayolle, H. (2009). *Analyse des obstacles liés à la construction du concept d'ADN*. Mémoire de master 2. Université Joseph Fourier - Grenoble 1
- Fillon, P., & Peterfalvi, B. (2004). L'argumentation dans l'apprentissage scientifique au collège. *Aster*(38), 151-184.
- Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem-solving. In L.B. Resnick (Ed.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (pp. 231-235). Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum.
- Flavell, J. H. (1987). Speculations about the nature and development of metacognition. Dans R. H. Weinart & F.E. Kluwe (Dir.), *Metacognition, Motivation and Understanding*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Galiana, D. (1999). Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996). *Aster*(28), 9-32.
- Gee, J. P. (2003). *What video games have to teach us about learning and literacy*. New York:

Palgrave Macmillan.

- Girault, I., d'Ham, C., Ney, M., Sanchez, E. & Wajeman, C. (2012). Characterizing the experimental procedure in science laboratories: a preliminary step toward students experimental design. *International Journal of Science Education*, 34(6): 825-854.
- Granger, G. (1979). *Langages et épistémologie*. Paris : Klinksieck.
- Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. In P. Cole & J. L. Morgan (Eds.), *Syntax and Semantics* (Vol. 3, pp. 41-58). New York: Academic Press.
- Goffard, M. (2004). Les activités expérimentales : un état des lieux. In INRP (Ed.), *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes* (pp. 9-19). Paris.
- Grangeat, M. (2011). *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratique de classe, travail collectif enseignant, acquisition des élèves*. Lyon : Ecole normale supérieure.
- Gunstone, R. F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. In B. E. Woolnough. (Ed.), *Practical science* (pp. 67-77). Milton Keynes: Open University Press.
- Halliday, M. (1993). Some grammatical problems in scientific English. In M. A. Halliday & J. R. Martin (Eds.), *Writing science: Literacy and discursive power*. London: Falmer Press.
- Halliday, M. A., & Martin, J. R. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. London: The Falmer Press.
- d'Ham, C., de Vries, E., Girault, I., & Marzin, P. (2004). Exploiting distance technology to foster experimental design as a neglected learning objective in labwork in chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 13(4), 425-434.
- d'Ham, C., Marzin, P., & Wajeman, C. (2009). SCY - Science Created by You : Un environnement en ligne pour apprendre par l'investigation et la conception. [SCY - Science Created by You: An online environment for inquiry-based and design-based learning]. Paper presented at the *First Workshop of the S-Team European Project*. Grenoble, France, October 20-22, 2009.
- Hmelo, C. E., & Ferrari, M. (1997). The problem-based learning tutorial: Cultivating higher order thinking skills. *Journal for the Education of the Gifted*, 20, 401-422.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Hmelo, C. E., Holton, D. H., & Kolodner, J. L. (2000). Designing to learn about complex systems. *Journal of the Learning Sciences* 9, 247-298.
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 71 (256), 33-40.

- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(28-54), 28-54.
- Holliday, W., Yore, L., & Alverman, D. (1994). The reading science learning-writing connection: breakthroughs, barriers, and promises. *Journal of Research in Science Teaching*(31), 877-893.
- Hoppe, H. U., Pinkwart, N., Oelinger, M., Zeini, S., Verdejo, F., Barros, B. et al. (2005). Building bridges within learning communities through ontologies and 'thematic objects'. In Proceedings of the 2005 Conference on *Computer Support for Collaborative Learning*. (pp. 211–220). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Host, V. (1989). Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques. *Aster*(8), 187-209.
- Jacob, F. (1970). *La logique du vivant*. Paris : Gallimard.
- Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*(8), 29-53.
- Jonassen, D., & Carr, C. (2000). Mindtools: affording multiple knowledge representations for learning. In S. LaJoie (Ed.), *Computers as cognitive tools* (pp. 165-196). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- de Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179 - 201.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Gienza, A., Girault, I., et al. (2010). Learning by creating and exchanging objects: the SCY experience. *British Journal of Educational Technology*, 41(6), 909-921.
- van Joolingen, W. R., & De Jong, T. (2003). SIMQUEST: Authoring educational simulations. In T. Murray & S. Blessing & S. E. Ainsworth (Eds.), *Tools for Advanced Technology Learning Environments*. (pp. 1-32). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Jourdan, D., De Peretti, Ch, Victor, P., Motta, D., Berger, D., Coggerino, G, Marzin, P. (2004). La formation des enseignants en IUFM : état des lieux et perspectives. in *La formation des acteurs de l'éducation à la santé en milieu scolaire* (Jourdan Dir). (pp 185-204). Toulouse : éditions universitaires du sud.
- Kafai, Y., & Resnick, M. (1996). *Constructionism in practice: designing, thinking, and learning in a digital world* (Mahwah ed.): Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748-769.
- Keys, C. (1999). Revitalizing instruction in scientific genres: Connecting knowledge production with writing to learn in science. *Science Education*, 83, 115-130.
- Klein, P. (2006). The challenges of scientific literacy: From the viewpoint of second generation cognitive science. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 143-178.
- Kluge., A., Furberg, A., Dolonen J., Ludvigsen, S., Strømme, T., Zacharia, Z., Xenofontos,

- N., Tsivitanidou, O., Manoli, C., Hovardas, H., Kanellidou, M., Theocharous, M., Nicolaou, A., Wasson, B., Vold, V., Van Dijk, V., Lazonder, A., Heerink, J., Piksööt, J., Sarapuu, T., Runnel, M. I., D'ham, C., Girault, I., Wajeman, C., Michel, P., Julien, R., Saavedra, R., Marzin, P. (2012). *SCY Summative evaluation report*. Deliverable IX.4. SCY Consortium.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., et al. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design into practice. *Journal of the Learning Sciences*, 12, 495-548.
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105-143.
- Kuhn, D. (1995a). Microgenetic study of change: What has it told us? *Psychological Science*, 6, 133–139.
- Kuhn, D. (Ed.). (1995b). Development and learning: Reconceptualizing the intersection [Special issue]. *Human Development*, 38(6).
- Kuhn, D. (2001a). Why development does (and doesn't) occur: Evidence from the domain of inductive reasoning. In R. Siegler & J. McClelland (Eds.), *Mechanisms of cognitive development: Neural and behavioral perspectives* (pp. 221–249). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kuhn, D., & Udell, W. (2003). The development of argument skills. *Child Development*, 74(5), 1245 - 1260.
- Kuhn, D., Shaw, V., & Felton, M. (1997). Effects of dyadic interaction on argumentative reasoning. *Cognition and Instruction*, 15, 287–315.
- Kuhn, T., S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Larcher, C., & Goffard, M. (2004). *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes*. Paris : INRP.
- Laribi, R., (2009). *Impacts de l'introduction des TICE et de la pédagogie par résolution de problèmes sur les conceptions des élèves. L'enseignement de la neurotransmission en classe de terminale*. Thèse de doctorat, soutenue le 15 décembre 2009 à l'Université Claude Bernard, Lyon 1.
- Laribi, R., Abrougui, M., Favre, D., Mouelhi, L., Marzin, P., & Sakly, M. (2007). Le système nerveux dans le manuel de terminale sciences expérimentales tunisien : Du morcellement à l'interdisciplinarité. *IOSTE 2007*, Tunis, Tunisie.
- Laribi, R., Marzin, P., Sakly, M., & Favre, D. (2010). Etude des conceptions des élèves de première et de terminale scientifiques sur la transmission synaptique en Tunisie et en France. *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies*(2), 193-214.

- Laugier, A., & Schneeberger, P. (2004). Les activités expérimentales innovantes dans la classe : nature et fonctionnement. In C. Larcher & M. Goffard (Eds.), *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes* (pp. 21-58). Paris : INRP.
- Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 94-130). New-York: Macmillan.
- Lejeune, A., Ney, M., Weinberger, A., Pedaste, M., Bollen, L., Hovardas, T., Hoppe, U., & de Jong, T. (2009). Learning Activity Spaces: Towards flexibility in learning design? Paper presented at the *IEEE ICALT 2009 conference*, Riga, Latvia, July 14-18, 2009.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin & R. Veels (Eds.), *Reading science: critical and functional perspectives on discourses of science* (pp. 87-113). London: Routledge.
- Le Ny, J. F. (2005). *Comment l'esprit produit du sens. Notions et résultats des sciences cognitives*. Paris : Odile Jacob.
- Leont'ev, A. N. (1978). *Activity, consciousness, and personality*: Prentice-Hal.
- Leselbaum, N. (1990). *La prévention à l'école*. Paris: INRP.
- Lhoste, Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine dans un débat scientifique en classe de 3ème : problématisation, argumentation et conceptualisation. *Aster*(42), 79-108.
- Lhoste, Y., Peterfalvi, B., & Orange, C. (2007). Problématisation et construction de savoir en S.V.T. : quelques questions théoriques et méthodologiques. *Actualité de la Recherche en Education et en Formation*, Strasbourg.
- Linn, M. (2000). Designing the Knowledge Integration Environment. *International Journal of Science Education*, 22(8), 781-796.
- Linn, M. C., & Bat-Sheva, E. (2011). *Science Learning and Instruction: Taking Advantage of Technology to Promote Knowledge Integration*. Routledge.
- Linn, M., Davis, E., A., & Eylon, B.-S. (2004). The scaffolded knowledge integration framework for instruction. In M. Linn, E. Davis, A., & P. Bell (Eds.), *Internet environments for science education* (pp. 47-72). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum associates, Inc.
- Linn, M., & Hsi, S. (2000). *Computers, teachers, peers: Science learning partners*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lipscomb, L., Swanson, J., West, A. (2004). Scaffolding. In M. Orey (Ed.), *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*. Retrieved <13th april 2013>, from <http://projects.coe.uga.edu/epltt/>
- Loh, B., Radinsky, J., Russell, E., Gomez, L. M., Reiser, B. J., & Edelson, D. C. (1998). The

- progress portfolio: designing reflective tools for a classroom context. In C. Karat, A. Lund, J. Coutaz & J. Karat (Eds.). *Proceedings of CHI 98 conference on human factors in computing systems* (pp. 627-634). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Loisy, C., Trgalova, J., & Monod-Ansaldi, R. (2010). Ressources et travail collectif dans la mise en place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. *Journées scientifiques DIES 2010*. INRP : Lyon, France.
- Luengo, V. (2009). *Les rétroactions épistémiques dans les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Habilitation à diriger des recherches. Université Joseph Fourier.
- Luengo, V., Vadcard, L., Tonetti, J., & Dubois, M. (2011). Diagnostic des connaissances et rétroactions épistémiques adaptative en chirurgie. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 25(4), 499-524.
- Maisch, C., (2010). *Etude des raisonnements d'étudiants sur la mesure en TP de physique de première année universitaire : Influence du contexte et effet de rétroactions*. Thèse de Doctorat. Université de Grenoble.
- Maisch, C., Ney, M., & Marzin, P. (2007). Quelle est la nature des expériences vécues par les étudiants en Travaux Pratiques : analyse de discours d'enseignants. *Actes des 5èmes rencontres de l'ARDIST* (pp. 241-248). Montpellier.
- Martin, J. (1993). Life as a noun: Arresting the universe in Science and Humanities. In M. Halliday & J. Martin (Eds.), *Writing science: Literacy and discursive power*. London: Falmer Press.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- Martinand, J.-L. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, 133 p.
- Marzin, P. (1993). *Approche didactique de la communication des savoirs dans une situation de conseil vétérinaire*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon 1.
- Marzin, P. (1994). Analyse des conceptions d'élèves concernant des pratiques sanitaires. *Didaskalia*, 4, 39-55.
- Marzin, P. (2001). Quelle formation scientifique pour les enseignants afin qu'ils fassent de la prévention du sida et une éducation aux risques ? *Aster*(32), 205-220
- Marzin, P. (2010a). Study student's scientific argumentation in a inquiry based learning sequence in SCY-LAB. *Argumentation and Education: Psychosocial dimensions of argumentation in natural and social science education. International Workshop*. Lausanne : Switzerland.
- Marzin, P. (2010b). Atelier DIES et technologies de l'information et de la communication. Actes des *Journées scientifiques DIES 2010*, pp 165-169 (<http://ife.ens-lyon.fr/editions/editions-electroniques/dies2010>). Lyon : INRP.
- Marzin, P., Buty, C., Greco Morasso, S., & Julien, R. (soumis). Modélisation de

- l'argumentation d'élèves de seconde quand ils utilisent la plateforme SCY-Lab. In N. Muller-Mirza & C. Buty (Eds.). *Argumentation and Education: Psychosocial dimensions of argumentation in natural and social science education*.
- Marzin, P., & de Vries, E. (2008). How can we take into account students' conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work? *International Conference for Learning Sciences 2008*. Utrecht. The Netherlands.
- Marzin, P., & de Vries, E. (2011). Students' design of biometric procedures in upper secondary school. *International Journal of Technology and Design Education, On-Line*.
- Marzin, P., & Julien, R. (2011). Student construction of arguments by creating and exchanging Emerging Learning Objects in SCY-Lab. Paper presented at the *ESERA Conference 2011*, 5-9th september, Lyon.
- Marzin, P., & Méchin, N. (1998). Éducation pour la santé : analyse des pratiques des enseignants. *4ème biennale de l'éducation et de la formation*. Cahier des résumés (pp. 232-233). Paris. Avril 1998.
- Marzin, P., Ergun, M., Girault, I., d'Ham, C., Baudrant, G., Biau, M., & Sanchez, E. (2005). La construction de protocole de travaux pratiques de chimie à l'aide d'un logiciel : quels apports pour les apprentissages ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 99(Octobre/Novembre), 991-1009.
- Marzin, P., Girault, I., Wajeman, C., D'Ham, C., Sanchez, E., & Cross, D. (2007). L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage : trois T.P. intégrant la conception d'un protocole expérimental par les élèves, en géologie, chimie et physique. Actes des 5^{èmes} journées de l'ARDIST 2007. Montpellier.
- Marzin, P., d'Ham, C., Sanchez, E. (2007). How to scaffold the pupils to design experimental procedures? A proposition of a situation experienced by 108 high-schools pupils. *ESERA 2007*. (p. 203). Malmö, Sweden.
- Marzin P., & Sabatier P. (1994). Conceptions en santé animale et tutorat assisté par ordinateur. In G. Y. Giordan A., & Cléments P., (Ed.), *Conceptions et connaissances* (pp. 117-131). Berne : Peter Lang.
- Marzin, P., & van Joolingen, W.R. (2010). Students using SCY-Lab. Studying their argumentation in physics. Paper presented at the *ECER conference*. Helsinki (Finland).
- van der Meij, J., & de Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, 16(3), 199-212.
- Mendelsohn, P. (1988). Psychologie cognitive et processus d'acquisition des connaissances. *European Journal of Psychology of Education* (N° special hors serie), 22-28.

- Michel, D. (2008). *Introduction d'une activité photographique dans les activités expérimentales en S.V.T. Rapport personnel de l'élève*. Mémoire de M2R, master IC2A spécialité didactique des sciences. 01 juillet 2008. Université Joseph Fourier.
- Michel, D. (2009). Une pratique photographique autonome de l'élève en sciences - enjeux didactiques et/ou artistiques ? Actes des XXX^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifique, J.-L. Martinand & E. Triquet (Eds). Chamonix.
- Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.
- Millar, R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science. High school science laboratories: Role and vision*. National academy of sciences, Washington, DC.
- Millar, R. H., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J.-F. (1998). "Mapping" the domain: varieties of practical work. In J. Leach & A. C. Paulsen (Eds.), *Practical Work in Science Education* (pp. 33-59).
- Moeschler, J. (1985). *Argumentation et conversation. Eléments pour une analyse pragmatique du discours*. Paris : Hatier.
- Morgan, K., & Brooks, D. (2012). Investigating a Method of Scaffolding Student-Designed Experiments. *Journal of Science Education and Technology*, 21(4), 513- 522.
- Muller Mirza, N. (2008). Préface. In C. Buty & C. Plantin (Eds.), *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage* (pp. 7-16). Lyon : INRP.
- Ney, M. (2007). *Modélisation formelle en sciences expérimentales : Problématiques de la transmission*, Mémoire HDR, Université Lyon I. 151 p.
- Nott, M., & Wellington, J. (1996). When the black box springs open: practical work in schools and the nature of science. *International Journal of Science Education* 18(7), 807-818.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie; quels apprentissages pour le lycée ?* Paris : P.U.F. coll. l'Educateur.
- Orange, C. (2000). *Idées et Raisons, construction des problèmes, débats et apprentissages scientifiques en Sciences de la Vie et de la Terre*, Mémoire présenté pour l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nantes.
- Orange, C., Lhoste, Y., & Orange-Ravachol, D. (2008). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Buty & C. Plantin (Eds.), *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. (pp. 75-116). Lyon : INRP.
- Orange Ravachol, D., & Triquet, E. (2007). Sciences et récits, des rapports problématiques. (coord.). *Aster*(44), 7-22.

- Orlandi, E. (1994). Les conceptions d'enseignants de biologie à propos de la démarche expérimentale. In A. Giordan, Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.
- Osborne, J. (1993). Alternatives to practical work. *School Science Review*, 75(271), 117-123.
- Pea, R. D. (2004). The social and technological dimensions of scaffolding and related theoretical concepts for learning, education, and human activity. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 423-451.
- Peirce, C. S. (1931-58). Collected papers of Charles Sanders Peirce. In P. Hartshorne, P. Weiss, (Vols 1-6), & Burks A. (Vols. 7-8) (Eds.). Cambridge: Harvard University Press.
- Peraya, D., & Meunier, J.-P. (1999). Vers une sémiotique cognitive. *In cognito*, 14, 1-16.
- Peterfalvi, B. (1988). Outils graphiques, anticipation de la tâche, raisonnement. *Aster*(6), 47-90.
- Peterfalvi, B., & Vérin, A. (1989). Traduction de textes en schémas. *Spirale*(2), 7-26.
- Piaget, J. (1930). *Etudes sur la logique de l'enfant I, le langage et la pensée chez l'enfant*. Neuchatel : Delachaux et Niestlé.
- Plantin, C. (1996). Le trilogue argumentatif. Présentation de modèles, analyse de cas. *Langue française*, 112, 9-30.
- Popper, K. R. (1978). *La logique de la découverte scientifique*. Paris: Payot.
- Popper, K. R. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier.
- Prain, V. (2006). Learning from writing in secondary science: some theoretical and practical implications. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 179-201.
- Prain, V., & Hand, B. (1996). Writing for learning in secondary science: rethinking practices. *Teaching and Teacher Education*(12), 609-626.
- Prain, V., & Tytler, R. (2007). Representation and learning from a second generation cognitive science perspective. Paper presented at the *European Science Education Research Association (ESERA) International conference*, Malmö, Sweden.
- Pudelko, B., & Legros, B. (2000). J'écris, donc j'apprends ? *Les cahiers pédagogiques*(388-389), 12-15.
- Puntambekar, S., & Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185-217.
- Quintana, C., Reiser, B., J., Davis, E., A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R., G., et al. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337-386.
- Rebière, M., & Jaubert, M. (2009). Evolution des relations entre langage et sciences : de l'instrumentalisation à la collaboration. In P. Schneeberger & A. Vérin (Eds.), *Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences. Quels enjeux pour les*

- apprentissages à l'école ?* (pp. 49-60). Lyon : INRP.
- Reid, D. J., Zhang, J., & Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 9-20.
- Reuter, Y., & Barré-de Miniac, C. (2006). *Apprendre à écrire au collège dans les différentes disciplines*. Lyon : INRP. 268p.
- Rigotti, E., & Greco Morasso, S. (2010). Comparing the Argumentum Model of Topics to other contemporary approaches to argument schemes: The procedural and material components. *Argumentation*, 24(4), 489-512.
- Riou-Kérangal, E. (1995). *Enseigner le Sida au collège et au lycée. Quelles pratiques et quels rôles pour les professeurs de biologie ?* DEA de didactique des sciences, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Robardet, G., & Guillaud J.-C. (1993). *Eléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques. De la recherche à la pratique*. Publications de l'IUFM de Grenoble, 200 p.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. European Commission. 22 p.
- Rumelhard, G. (1992). Un exemple de modélisation en biologie : les mécanismes de régulation. In *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. INRP : Paris. 233-266
- Rumelhard, G. (1998). Statut et rôle des modèles dans le travail scientifique et dans l'enseignement de la biologie, *Aster*(7), 21-48
- Rumelhard, G. (1998). Santé et pouvoir de rétablissement, concept populaire, concept scientifique, concept socio-politique : une analyse en vue d'une éducation. *Aster*(27), 125-143.
- Sabatier, P., Forestier, J., & Marzin, P. (1994). L'élevage, le conseil, et l'écopathologie. Résultats d'une approche didactique de situations de diagnostic d'élevage en production porcine. *Veterinary Research*(25), 290-299.
- Sacadura, M. (2002). *Etude comparative de la France et du Congo dans le domaine de la prévention du Sida en milieu scolaire*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Sacadura, M., Marzin, P., & Charbonnier, F. (2000). Education à la santé et à la prévention du Sida dans l'enseignement secondaire : étude comparative de situations d'enseignement entre la France et le Congo-Brazzaville. *XXII^{èmes} Journées internationales sur l'Education Scientifiques*, Chamonix.
- Sacadura, M., Marzin, P., & Charbonnier, F. (2005). La prévention du sida en milieu scolaire : pratiques d'enseignants de biologie en France et au Congo. *Santé Publique*, 17(2), 211-226.

- Sanchez, E., Monod-Ansaldi, R., Devallois, D., & Marzin, P. (2010). Concevoir des protocoles expérimentaux en Sciences de la Vie et de la Terre. Deux expérimentations en classe de terminale. *Biologie Géologie*, 1, 135-147.
- Sandoval, W. A. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 5-51.
- Sangin, M., Dillenbourg, P., Rebetez, C., Bétrancourt, M., & Molinari G., (2008). The effects of animations on verbal interaction in computer supported collaborative learning. *Journal of Computer Assisted Learning* (2008), 24, 394-406.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1991). Higher levels of agency for children in knowledge building: a challenge for the design of the new knowledge media. *The journal of the learning sciences*, 1, 37-68.
- Schneeberger, P. (2002). *Fonctions des langages dans les apprentissages scientifiques. Bilan et perspectives de recherche et de formation*. HDR, Université de Nantes, Nantes.
- Schneeberger P. & Dhoubi M. (2006). La régulation de la glycémie, une étude de cas en première S. *Aster*(42). 135-158
- Schneeberger, P., & Vérin, A. (2009a). *Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences. Quels enjeux pour les apprentissages à l'école ?* Lyon : INRP.
- Schneeberger, P., & Vérin, A. (2009b). Propositions pour intégrer le travail sur le langage à l'enseignement des sciences. In P. Schneeberger & A. Vérin (Eds.), *Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences. Quels enjeux pour les apprentissages à l'école ?* Lyon : INRP.
- Schraagen, J. M. (1993). How experts solve a novel problem in experimental design. *Cognitive Science*, 17, 285-309.
- Searle, J. R. (1972). *Les actes de langage. Essai de philosophie du langage*. Hermann : Paris.
- Séré, M.-G. & Beney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 11, 75-102.
- diSessa, A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
- Shawn, M., Glynn, S., & Muth, D. (1994). Reading and writing to learn science: achieving scientific literacy. *Journal of research in science teaching*, 31(9), 1057-1073.
- Siegler, R. (2000). The rebirth of children's learning. *Child Development*, 71, 26-35.
- Simonneaux, L. (2000). A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with « microbes », as a contribution to research in biotechnology education. *International journal of science education*, 22(19), 23-48.
- Soury-Lavergne, S. (1998). *Etayage et explication dans le préceptorat distant, le cas de Télé-Cabri*. Mémoire de thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1.

- Soury-Lavergne, S., & Chaachoua, H. (2002). Etayage et effet topaze : routines et stratégies de régulation du professeur ? Dorier, J.-L., Artaud, M., Artigue, M., Berthelot, R. Floris (eds). Actes des 11^{ème} Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques, Corps (38) - France.
- Tiberghien, A. (1994). Modelling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J. F., Buty, C., & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.
- Triquet, E. (2001). Ecrire et réécrire des textes explicatifs à partir d'une visite au muséum. *Aster*(33), 227-253.
- Vadcard, L. (2002). Caractérisation de quelques conceptions de l'angle chez des élèves de seconde. *Recherche en didactique des mathématiques*, 22(1), 77-120.
- Vergnaud, G. (2010). Intervention au workshop : "Argumentation and education: psychosocial dimensions of argumentation in natural and social science education". Lausanne. UNIL.
- Vérin, A. (1995). Mettre par écrit ses idées pour les faire évoluer en sciences. *Repères*(15), 21-36.
- Vermersch, P. (1979). Analyse de la tâche et fonctionnement cognitif dans la programmation de l'enseignement. *Bulletin de psychologie*, 33(343), 179-187.
- de Vries, E. (2006). *Représentation et technologie en éducation*. Mémoire d'HDR, Université Pierre-Mendès-France, Grenoble II, Grenoble.
- Vygotsky, L., S. (1934). *Pensée et langage*, Traduction française : F. Sève 1985, Paris : Messidor éditions sociales.
- Wajeman, C., Girault, I., d'Ham, C., & Marzin, P. (2013). Scaffolding TEL inquiry-based learning situations: which strategies to support students in learning science? Paper presented at the *Alpine Rendez-vous*. Villard-de-Lans. France.
- Waldrip, B., Prain, V., & Carolan, J. (2007). Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. Paper presented at the *European Science Education Research Association (ESERA) conference*, Malmo, Sweden.
- White, R. T. (1996). The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18(7), 761-774.
- Wiley, J., & Voss, J. (1999). Constructing arguments from multiple sources: Tasks that promote understanding and not just memory for text. *Journal of Educational Psychology*, 91, 301-311.
- Woolnough, B. E. (1991). Practical science as a holistic activity. In B. Woolnough (Ed.), *Practical science* (pp. 181-188). Milton Keynes, Philadelphia: Open University Press.

- Zion, M., Michalsky, T., & Mevarech, Z., R. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), 957-983.
- Zion, M., & Sadeh, I. (2007). Curiosity and open inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 41(4), 162-168.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35–62.

Liste de Publications

MARZIN, P. (1993). *Approche didactique de la communication des savoirs dans une situation de conseil : analyse des conceptions dans le dialogue*, Thèse de Doctorat N° 33.93, Université Lyon 1.

MARZIN-JANVIER, P. (2013). *Comment donner du sens aux activités expérimentales ?* Note de synthèse pour l'HDR. Université Joseph Fourier-Grenoble 1. Soutenue le 7 juin 2013. 196 p.

Publications dans des revues nationales ou internationales à comité de lecture

1. SAAVEDRA, R., **MARZIN, P.**, GIRAULT, I. (2013). Etude de l'évolution des conceptions sur la génétique et analyse de la problématisation chez des élèves de troisième impliqués dans une situation d'investigation policière. *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies* n°7, 77-106.
2. **MARZIN, P.** & De VRIES, E. (2013). Students' design of biometric procedures in biology in upper secondary school. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(2):361-376.
3. LARIBI, R., **MARZIN, P.**, SAKLY, M., FAVRE, D., (2010). Etude des conceptions des élèves de première et de terminale scientifiques sur la transmission synaptique en Tunisie et en France. *Recherche en Didactique des Sciences et des techniques* N°2, 193-214.
4. **MARZIN, P.** (2006), Le corps dans l'éducation scientifique. Article éditorial. *Aster* 42, 7-20.
5. SACADURA, M., **MARZIN, P.** & CHARBONNIER, F. (2005). La prévention du Sida en milieu scolaire : pratiques d'enseignants de biologie en France et au Congo, *Santé Publique*, 17(2), 211-226.
6. DHAM, C., De VRIES, E., GIRAULT, I., **MARZIN, P.** (2004). Exploiting distance technology to foster experimental design as a neglected learning objective in labwork in chemistry. *J. Sc. Educ. Technol.*, 13, 425-434.
7. **MARZIN, P.**, TRIQUET, E. & COMBAZ, B. (2003). Élaboration et mise en œuvre d'une situation adidactique pour apprendre à reconnaître les arbres en CM2. *Didaskalia*, 22, 117-132.
8. **MARZIN, P.**, (2001), Quelle formation pour les enseignants afin qu'ils fassent de la prévention du sida et une éducation au risque ? *Aster*, 32, 205-220.
9. COGERINO, G., **MARZIN, P.**, MECHIN N. (1998). Prévention santé : pratiques et représentations des enseignants, *Recherche et Formation*, 28, 9-28.
10. ROLLAND, A. & **MARZIN, P.** (1996). Étude des critères du concept de vie et identification d'obstacles épistémologiques chez des élèves de sixième. *Didaskalia*, 9, 57-82.
11. **MARZIN P.**, SABATIER P. & FORESTIER J. (1996). Constitution d'un accord dans le dialogue entre vétérinaire et éleveur. *Technologies, Idéologies, Pratiques. Vol 11*. Aix en Provence.
12. **MARZIN, P.** (1994). Analyse de conceptions d'éleveurs concernant des pratiques sanitaires. *Didaskalia* 4, 39-55.
13. SABATIER, P., FORESTIER, J. & **MARZIN, P.** (1994). L'élevage, le conseil et l'écopathologie. Résultats d'une approche didactique de situations de diagnostic d'élevage en production porcine. *Veterinary research* 25(2-3), 290-299. Elsevier, INRA. p.

14. **MARZIN, P.** (1990). Transposition du concept d'hétérosis du maïs aux professionnels agricoles. Analyse lexicale et phrasique. *Aster*, 11, 175-194.

Chapitres d'ouvrages

1. **MARZIN, P.**, BUTY, C., JULIEN, R., GRECO MORASSO, S., (sous presse) Modélisation de l'argumentation d'élèves lors de l'utilisation d'un environnement informatique pour l'apprentissage des sciences. In Muller Mirza, N. & Buty, C., (eds) *Argumentation & éducation*.
2. JOURDAN, D., De PERETTI, Ch, VICTOR, P., MOTTA, D., BERGER, D., COGERINO, G, **MARZIN, P.** (2004), La formation des enseignants en IUFM : état des lieux et perspectives. in *La formation des acteurs de l'éducation à la santé en milieu scolaire* (Jourdan Dir). (pp 185-204). Toulouse : éditions universitaires du sud,
3. **MARZIN P.**, TRIQUET, E. & COMBAZ, B, (2002). La situation Florex : une situation adidactique pour l'apprentissage de la cladistique en CM2, in actes de la journée de recherche en hommage à Claude Comiti. *Cahiers du Leibniz* n°53. Publication de l'Imag. Grenoble : <http://www-leibniz.imag.fr/LesCahiers/2002/Cahier53/ResumCahier53.html>
4. COMITI, C., FOERSTER, C., **MARZIN, P.**, SIMON, D.L. et SIMON, J.P. (1998), Didactique des disciplines, formation, pratique(s) enseignante(s). In Brissaud, Comiti, Dabène et Masson (eds). *Didactique, technologies et formation des enseignants*. (tome 2) (pp. 3-63). Publication du Ceditel. Grenoble.
5. **MARZIN P.** (1997), Analyse didactique d'une situation de travaux pratique de biochimie. In Brissaud, Comiti, Dabène et Masson (eds). *Didactique, technologies et formation des enseignants*. Publication du Ceditel. Grenoble. pp. 9-18.
6. **MARZIN, P.** & SABATIER, P. (1994), Conceptions en santé animale et tutorat assisté par ordinateur. In Giordan, A. Girault, Y., Clément, P (coord.), *Conceptions et Connaissances*, (pp. 117-132). Berne : Peter Lang.

Communications publiées dans des actes

CONFERENCES INTERNATIONALES

1. SAAVEDRA, R., **MARZIN, P.**, GIRAULT, I. (2013). Make students reasoning on the different levels of protein synthesis by the way of an experimental design. *Proceeding of ESERA 2013-International Conference of the European Science Education Research Association, September 2th - September 7th, 2013*. (3 pages), Nicosia, Cyprus, 2013.
2. **MARZIN, P.** & JULIEN, R. (2011). Student construction of arguments by creating and exchanging Emerging Learning Objects in SCY-Lab. *ESERA Conference, 2011*, Lyon (France).
3. **MARZIN-JANVIER, P.** (2010). Study student's scientific argumentation in a inquiry based learning sequence in SCY-LAB. *Argumentation and Education: Psychosocial dimensions of argumentation in natural and social science éducation. International Workshop*. Lausanne (Switzerland).
4. **MARZIN, P.**, & VAN JOOLINGEN, W.R. (2010). Students using SCY-Lab. Studying their argumentation in physics. Paper presented at the *ECER conference*. Helsinki (Finland).
5. CHAPEL, G., **MARZIN, P.** & NEY, M., (2009). Classify students' conceptions about the mutations' site to anticipate their knowings' mobilization before designing an experimental procedure. *ESERA 2009*, Istanbul, Turkey.
6. NEY, M., MAISCH, C. & **MARZIN, P.**, (2009) Learning in the laboratory: an interactional, factual and conceptual experience. *ESERA 2009*, Istanbul, Turkey.

7. CHAPEL, G., **MARZIN, P.**, NEY, M., (2008) Do students ideas about the antigen-antibody reaction change when they are gathered to design an experimental procedure? *ERIDOB 2008*, Utrecht, The Netherlands.
8. SANCHEZ, E., **MARZIN, P.** MONOD-ANSALDI, R., DEVALLOIS, D. (2008). Three Criteria to help Students to Design their own Experimental Procedures for Inquiry-Based-Learning. *ERIDOB 2008*, Utrecht, The Netherlands.
9. **MARZIN, P.**, de VRIES, E. (2008). How can we take into account students' conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work? *International Conference for Learning Sciences 2008*. Utrecht. The Netherlands.
10. LARIBI, R., ABROUGUI, M., FAVRE, D., MOUELHI, L., **MARZIN, P.**, & SAKLY, M. (2007). Le système nerveux dans le manuel de terminale sciences expérimentales tunisien : Du morcellement à l'interdisciplinarité. *IOSTE 2007*, Tunis, Tunisie.
11. **MARZIN, P.**, D'HAM, C., SANCHEZ, E. (2007). How to scaffold the pupils to design experimental procedures? A proposition of a situation experienced by 108 high-schools pupils. *ESERA 2007*. (p. 203). Malmö, Sweden.
12. D'HAM, C., GIRAULT, I., **MARZIN, P.**, NEY, M., WAJEMAN, C., SANCHEZ, E. (2005). Experimental design with a dedicated computer environment. *Computer Supported Inquiry Learning*. Genoa May 18–20, 2005, Italy.
13. ERGUN, M., GIRAULT, I., d'HAM, C., **MARZIN, P.**, SANCHEZ, E. (2004). Types of knowledge involved during the student's experiment design with a distant lab in chemistry 18th *International Conference on Chemical Education*, Istanbul, Turkey, august 3-8 2004, p.66.
14. **MARZIN, P.** (1999). Cooperative work for student teachers, tutors and trainers through videoconference. In Watson D. M. & Downes T. (Eds) *Communications and networking in education : learning and networking in educations*. Kluwer Academics Publishers. IFIP TC3 WG 3.1/3.5 Open conference on Communications and Networking in education. (pp. 104-109). Aulanko, Finland.
15. CORNU, B., **MARZIN, P.** & RASSE, A. (1998). Changes in Education : Implications for Teacher Education. *CAL 97*. Exeter.

CONFERENCES NATIONALES

1. D'HAM, C., GIRAULT, I., **MARZIN P.** (Acceptée). Des environnements numériques pour étayer l'investigation scientifique et la conception expérimentale : de copex-chimie à LabBook. *Huitième journées de l'ARDIST*. Marseille. 12-14 mars 2014.
2. **MARZIN-JANVIER, P.** (acceptée). Concevoir une expérimentation en génétique à l'aide d'un environnement informatique. *Huitième journées de l'ARDIST*. Marseille. 12-14 mars 2014.
3. BESSOT, A., CHAACHOUA, H., GEOFFROY, C., GIRAULT, I., HERITIER, C., JOLIVET, S., LEJEUNE, A., LUENGO, V., MARTINET, E., **MARZIN, P.**, TRGALOVA, J., WAJEMAN, C. (2013), Décisions didactiques des enseignants de sciences. In Y. Matheron et al. (Dir.), *Problèmes du rapport scolaire et social aux mathématiques : identification des causes et propositions de solutions*. Actes des Journées mathématiques de l'IFE, 4-5 juin 2013, Lyon.
4. D'HAM, C., GIRAULT, I., **MARZIN, P.**, WAJEMAN, C. (2013) LabBook, un environnement informatique pour l'Apprentissage Humain. *Conférence, EIAH 2013*.
5. SAAVEDRA, R., JULIEN, R., **MARZIN, P.** (2012). Analyse des difficultés rencontrées par des élèves de troisième pour mener une démarche d'investigation : cas d'un travail en SVT conduit dans le cadre du projet SCY. *Septième journées scientifiques de l'ARDIST*. Bordeaux, 14-16 mars 2012.

6. **MARZIN, P.** (2011). Faire concevoir le protocole de mesure de l'angle facial à des élèves de terminal S : difficultés et recommandation. *Actes du XXIV^{ème} colloque de la société française de Primatologie*. « Homme et primate regards croisés ». Grenoble, 19-21 octobre 2011. p. 63.
7. **MARZIN, P.** (2010). Démarche d'investigation dans l'enseignement des sciences et technologies de l'information et de la communication : synthèse des travaux de l'atelier 1. Actes des journées scientifiques DIES 2010, 24-25 novembre 2010, pp 165-169. Lyon, INRP.
8. D'HAM, C., **MARZIN, P.**, & WAJEMAN, C., (2009). *SCY - Science Created by You : Un environnement en ligne pour apprendre par l'investigation et la conception*. [SCY - Science Created by You: An online environment for inquiry-based and design-based learning]. Paper presented at the First Workshop of the S-Team European Project. Grenoble, France, October 20-22, 2009.
9. CHAPEL, G. & **MARZIN, P.**, (2009). Etude des connaissances d'élèves de seconde sur les mutations génétiques. *Sixièmes journées scientifiques de l'ARDIST*. Nantes, 14-16 octobre 2009.
10. CHAPEL, G., **MARZIN, P.**, NEY, M., D'HAM, C., (2008). Comment intéresser les filles aux sciences de la vie et plus particulièrement à la génétique ? Actes *XXIX^{ème} JIES*. Chamonix, 2008.
11. **MARZIN, P.**, DEVALLOIS, D, MONOD-ANSALDI, R, SANCHEZ, E. (2007). Conception de protocoles expérimentaux : comprendre l'actualité récente en paléontologie. *Actes numériques numériques (CD ROM) des XXVIII^{ème} JIES*. Chamonix, Avril 2007.
12. CHAPEL, G., **MARZIN, P.**, MONOD-ANSALDI, R. et DEVALLOIS, D. (2007). Conception de protocoles expérimentaux pour comprendre l'actualité sur le sida. *Actes numériques (CD ROM) des XXVIII^{ème} JIES*. Chamonix, Avril 2007.
13. LARIBI, R. et **MARZIN, P.** & FAVRE D. (2007) Enseignement tunisien du système nerveux : entre actualité scientifique et interdisciplinarité. *Actes numériques (CD ROM) des XXVIII^{ème} JIES*. Chamonix, Avril 2007.
14. MAISCH, C., NEY, M. et **MARZIN, P.** (2007). Quelle est la nature des expériences vécues par les étudiants en Travaux Pratiques : analyse de discours d'enseignants. *Actes des V^{èmes} journées de l'ARDIST 2007*. (pp. 241-248). Montpellier, France.
15. **MARZIN, P.**, GIRAULT, I., WAJEMAN, C., D'HAM, C., SANCHEZ, E., CROSS, D. (2007). L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage : trois T.P. intégrant la conception d'un protocole expérimental par les élèves, en géologie, chimie et physique. *Actes des V^{èmes} journées de l'ARDIST 2007*. (pp 257-264). Montpellier, France.
16. D'HAM C., ERGUN M., GIRAULT I., **MARZIN P.**, SANCHEZ E. (2005). Construction d'un protocole expérimental avec un logiciel dédié : apprentissages visés et difficultés rencontrées par les élèves. *Actes des IV^{èmes} rencontres de l'ARDIST*, (pp. 117-124). Lyon, France.
17. SACADURA, M., CHARBONNIER, F., & **MARZIN, P.** (2002). La prévention du SIDA en collège et en lycée : étude du au savoir d'enseignants de biologie en France et au Congo-Brazzaville. In A. Giordan, J.L. Martinand & D. Raichvarg (Eds). *Actes des XXIV^{èmes} Journées Internationales sur la Communication, l'Education et la Culture Scientifiques et Industrielles*, (pp. 333-338). Chamonix. France.
18. BERGER, D., COGERINO, G., JOURDAN, D., **MARZIN, P.**, MOTTA, D., de PERETTI, Ch. et VICTOR, P. (2000). Education à la santé: Etat des lieux des formations proposées par les Instituts Universitaires de Formation des Maîtres (I.U.F.M.). In A. Giordan, J.L. Martinand & D Raichvarg (Eds). *Actes des XXII^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifiques*. (pp. 535-540). Chamonix. France.
19. SACADURA, M. & **MARZIN, P.**, CHARBONNIER, F. (2000). Étude comparative de situations d'enseignement sur l'éducation à la santé et à la prévention du SIDA au secondaire entre la France et le Congo-Brazzaville. In A. Giordan, J.L. Martinand & D Raichvarg (Eds). *Actes des XXII^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifiques*. (pp. 157-164). Chamonix. France.

20. **MARZIN, P.** & MARIGNAC, P., (2000). [AIDS@NUKE.WORLD](#). Risque nucléaire et risque sida. In A. Giordan, J.L. Martinand & D Raichvarg (Eds). *Actes des XXII^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifiques*. pp 143-150. Chamonix. France.
21. COMITI C. FØRSTER C, LEE-SIMON D., **MARZIN P.**, SIMON J. P., TRIQUET E., (1999), Comment les terrain de l'enseignement et celui de la formation réinterrogent-ils à leur tour les concepts forgés par les recherches en didactique ? *2ème colloque international Recherche(s) et formation des enseignants*. Grenoble. Février 1998.
22. **MARZIN P.** (1999) Recherche collaborative sur des travaux pratiques de biologie à l'université Joseph Fourier. *Actes du séminaire du LIDSE*, Université Joseph Fourier, Grenoble.
23. CORNU B. & **MARZIN P.** (1998). Utilisation d'outils télématiques pour la formation initiale des enseignants. *4ème biennale de l'éducation et de la formation*. Paris. Avril 1998.
24. **MARZIN P.** & MÉCHIN N. (1998). Éducation pour la santé : analyse des pratiques des enseignants. *4ème biennale de l'éducation et de la formation*. Paris. Avril 1998.
25. **MARZIN P.** & MÉCHIN N. (1996) Représentations des enseignants de biologie sur leur rôle en tant qu'acteur de prévention sida. *Cahier des résumés des journées d'étude sur l'éducation pour la santé en milieu scolaire. Recherches et innovations*. INRP. Paris.
26. **MARZIN P.**, (1996). Éducation à la santé et au sida : quels objectifs, quelle formation pour les enseignants ? In A. Giordan, J.L. Martinand & D Raichvarg (Eds). *Actes des XVIII^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifiques*. Chamonix.
27. **MARZIN P.** & DARLEY B. (1995). Elaboration d'une stratégie à l'apprentissage de la démarche scientifique à l'université. In A. Giordan, J.L. Martinand & D Raichvarg (Eds). *Actes des XVII^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifiques*. Chamonix.
28. **MARZIN P.**, (1995). Comment et pourquoi utiliser des concepts de la didactique pour analyser une situation de conseil vétérinaire ? in *cahier du séminaire R2I N°3*. Grenoble, IUFM. pp 11-28.
29. **MARZIN P.** & FORESTIER J. (1994). De la nécessité d'une relation forte théorie-pratique pour une résolution de problème en santé animale. In A. Giordan, J.L. Martinand & D Raichvarg (Eds). *Actes des XVI^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifiques*. Chamonix, pp. 379-384.
30. **MARZIN P.**, PLATTEAUX H. & THOLLON-POMEROL C. (1992). Multimédia, hypermédia et éducation : quel présent, quel avenir ? In *Actes JIES XIV*, A. Giordan, J. L. Martinand & D. Raichvarg (Eds), Chamonix.
31. **MARZIN P.** & FORESTIER J. (1992). Des outils multimédias au service d'un apprentissage sur le terrain. In A. Giordan, J. L. Martinand & D. Raichvarg (Eds). *Actes JIES XIV*, Chamonix.
32. FORESTIER J., **MARZIN P.**, SABATIER P., SEGRETO T. (1991). Systèmes experts et diagnostic clinique. L'apprehension de l'élevage au travers de son environnement. *Actes JIES XIII*. Chamonix. p 535-536.
33. **MARZIN P.** (1990). Système expert et utilisateurs, in *Bulle de Bio (Bulletin du réseau européen de didactique de la biologie)* N°0. Clément P. (eds). Université Lyon 1. p. 12-25.

Rapports de recherche - Délivrables

1. KLUGE., A., FURBERG, A., DOLONEN J., LUDVIGSEN, S., STRØMME, T., ZACHARIA, Z., XENOFONTOS, N., TSIVITANIDOU, O., MANOLI, C., HOVARDAS, H., KANELLIDOU, M., THEOCHAROUS, M., NICOLAOU, A., WASSON, B., VOLD, V., VAN DIJK, V., LAZONDER, A., HEERINK, J., PIKSÖÖT, J., SARAPUU, T., RUNNEL, M. I., D'HAM, C., GIRAULT, I., WAJEMAN, C., MICHEL, P., JULIEN, R., SAAVEDRA, R., **MARZIN, P.** (2012).

SCY Summative evaluation report. Deliverable IX.4. SCY Consortium.

2. FURBERG, A., GARAEDTS, C., GIRAULT, I., D'HAM, C., HEERINK, J., JULIEN R., LAZONDER, A., MATTEMAN, Y., **MARZIN, P.** & VILLAKO, H.-A. (2011). SCY-mission 4. Deliverable VIII.3. SCY Consortium.
3. GARAEDTS, C., GIRAULT, I., HOVARDAS, T., JULIEN, R., KLUGE, A., LAZONDER, A., LECHNER, J., **MARZIN, P.**, MATTEMAN, Y., PEDATE, M., PIKÖÖT, J., RINKET, M., SARAPUU, T., van der ZANDEN, M., VERBAKE, A., VOLD, V., WAJEMAN, C., ZACHARIA, Z. (2010). SCY-mission 1. Deliverable VIII.1. SCY Consortium.
4. KLUGE, A., FURBERG, A., LUDVIGSEN, S., DOLONEN J., NORENES, S. O., VOLD, V., WASSON, B., ZACHARIA, Z., XENOFONTOS, N., TSIVITANIDOU, O., MANOLI, C., HOVARDAS, H., ANDREOU, S., LAZONDER, A., WEINBERGER, A., GARAEDTS, C., RINKET, M., MATTEMAN, Y., **MARZIN, P.**, JULIEN, R., GIRAULT, I., D'HAM, C., BODIN, M., WAJEMAN, C., PIKSÖÖT, J., SARAPUU, T., ZINAKOV, M., PUUSEPP, A., de JONG, T. (2010). SCY first formative evaluation report. Deliverable IX.2. SCY Consortium
5. KLUGE, A., LAZONDER, A., WEINBERGER, A., DE JONG, T., VOLD, V., ZACHARIA, Z., SARAPUU, T., **MARZIN, P.**, JULIEN, R., WASSON, B., PIKSÖÖT, J., RINKET, M., MATTEMAN, Y. (2010). SCY evaluation planning and methods. Deliverable IX.1. SCY Consortium.
6. DARLEY, B. & **MARZIN, P.** (dir.) (1998). Productions graphiques chez des élèves de 1^{ère} S. Apprendre à recueillir, traiter et interpréter des données expérimentales. *Rapport interne INRP/IUFM de Grenoble sur la pratique expérimentale dans la classe*. Paris : INRP.

Conférences invitées

1. **MARZIN P.** (2008). Les élèves sont-ils capables de concevoir des protocoles ? Quelles difficultés ? Quelles aides ? Séminaire du LEPS-Université Claude Bernard Lyon 1. 11 janvier 2008.
2. **MARZIN, P.** (2007). *Concevoir des protocoles expérimentaux à distance : Quelle valeur ajoutée ? Quelles difficultés ?* Séminaire du CNED. Poitiers, 21 mai 2007.
3. **MARZIN, P.**, NEY, M., WAJEMAN, C., GIRAULT, I., d'HAM, C., CROSS, D., MAISCH, C. (2006), *Démarche d'investigation et conception de protocole expérimental par les apprenants*. Séminaire Coast . Laboratoire ICAR. ENS LSH Lyon, 30 juin 2006.
4. **MARZIN, P.** (2003), Quel discours des enseignants de SVT tiennent-ils à propos de leur rôle d'éducateur santé ? Journées d'analyse du discours. Université Pierre Mendès France, Grenoble.
5. **MARZIN, P.** (2000), 30 ans de didactique des sciences, quelques éléments à propos de la constitution d'une "science" encore jeune". Séminaire du LIDSET, 21 novembre 2000. Grenoble.
6. **MARZIN, P.** (2000), *A synthesis of Participants' contributions*. In European FETICHE Workshop. 21, 22, 23 september. Grenoble. France.
7. **MARZIN, P.** (2000), *Les technologies de l'information et de la communication à l'IUFM de Grenoble*. Conférence au Lycée Français International de Hong Kong. 16 Mars 2000, Hong Kong. China.
8. **MARZIN, P.** (2000), *ICT in teacher education in France*. Hong Kong Institute of Education, 14 March 2000, Taipo, Hong Kong, China.
9. **MARZIN, P.** (2000), *Des pratiques d'enseignement aux pratiques de formation en éducation pour la santé à l'école*. Séminaire du LIDSE. 6 juillet 2000.
10. **MARZIN, P.** (1999) *Recherche collaborative sur des travaux pratiques de biologie à l'université Joseph Fourier*. Actes du séminaire du LIDSE, Université Joseph Fourier, Grenoble.

11. **MARZIN, P. & MÉCHIN, N.** (1999), *Une réflexion sur différents modèles de prévention en lien avec des pratiques en milieu scolaire*. “ Séminaire de didactique des disciplines et éducation à la santé ”. 3 février 1999. INRP, Paris.
12. **MARZIN, P.** (1998), Participation à la table ronde “ les pratiques du télé-enseignement ”. 20 novembre 1998, ICM, Université Stendhal, Grenoble.
13. **MARZIN P.**, (1997), Utiliser l’analyse pragmatique du dialogue pour étudier une situation de conseil vétérinaire, Séminaire du DEA de didactique des disciplines scientifiques, INRP, Paris, 18 Décembre 1997.

Innovations pédagogiques

1. SANCHEZ, E., MONOD-ANSALDI, R., DEVALLOIS, D., **MARZIN, P.** (2010), Concevoir des protocoles expérimentaux en sciences de la vie et de la terre. Deux expérimentations en classe de terminale, *Biologie-Géologie* N°1-2010. (135-147).
2. **MARZIN, P.**, BIAU, M., BAUDRANT, G., D'HAM, C., ERGUN, M., GIRAULT, I., SANCHEZ, E. (2005), La construction de protocole de chimie à l’aide d’un logiciel aide les élèves à faire des liens entre leurs connaissances, *BUP*, 99(877-878), 991-1009.
3. Site web du projet Copex : <http://praxis.inrp.fr/praxis/projets/Projet%20COPEX/>
4. Site web de la plateforme LabBook : labbok.imag.fr

Liste des figures

Figure 1 : les six pôles de l'élevage à observer durant les enquêtes écopathologiques.	15
Figure 2 : réseau sémantique de l'éleveur n°1 à propos de l'arthrite des porcelets.....	16
Figure 3 : les disciplines, les thématiques, et les objectifs à atteindre par les enseignants du primaire et du secondaire en formation sur l'éducation pour la santé.	20
Figure 4 : modélisation de l'activité de l'élève en travaux pratiques incluant la conception de protocoles. ELO = Emerging Learning Objet	24
Figure 5 : model of the process of design and evaluation of a practical task	42
Figure 6 : mise en œuvre et évaluation des apprentissages dans des situations expérimentales.....	44
Figure 7 : description du modèle d'arbre des tâches (Girault et al 2012).	64
Figure 8 : lien entre problème et savoir (d'après Lhoste 2006)	66
Figure 9 : arbre des tâches du T.P. mesure de l'angle facial.....	70
Figure 10 : dispositif technique de projection des points sur un plan.....	71
Figure 11 : protocole et points à déterminer sur le crâne pour mesurer l'angle facial α à partir de la construction de deux segments MN et OP.....	71
Figure 12 : un arbre des tâches du T.P. structure tridimensionnelle de la liaison Ag-Ac	73
Figure 13 : principe du test Ouchterlony, double diffusion sur gel pour visualiser la formation d'un complexe immun.....	74
Figure 14 (a et b) : points remarquables sur des crânes et mesure de l'angle facial	77
Figure 15 : schéma et cartouches à compléter par les élèves.....	80
Figure 16 : quatre exemples de la construction d'angle facial par les élèves	84
Figure 17 : modélisation de l'activité de l'élève en travaux pratiques incluant la conception expérimentale	98
Figure 18 : page d'accueil de la plateforme LabBook.....	100
Figure 19 : fonctions des écrits d'après Vérin (1995).....	112
Figure 20 : modélisation des interactions entre outil graphique et tâche expérimentale.....	114
Figure 21 : exemple de feuillet d'un carnet de vécu	122
Figure 22 : organisation pédagogique en jigsaw et répartition des élèves au cours de l'expérimentation (les lettres symbolisent les initiales des élèves)	128
Figure 23 : extrait d'une ressource web sur les toits verts proposé par le SCY-Lab.....	135
Figure 24 : extrait d'une ressource web sur les avantages des toits verts proposé par le SCY-Lab.	135
Figure 25 : représentation des thèses énoncées par deux élèves lors d'un échange argumentatif lors de l'élaboration de l'ELO « premières idées ».....	138
Figure 26 : représentation des thèses énoncées par trois élèves lors d'un échange argumentatif lors de l'élaboration de l'ELO « conclusion des expériences ».....	143
Figure 27 : la notion d'étayage dans la prise en compte des obstacle : repérage, fissuration, franchissement	155
Figure 28 : carte de mission de la partie biologie de la mission « laboratoire de police scientifique », présentant l'enchaînement des espaces et présentation du « LAS analyse ».....	165

Liste des tableaux

<i>Tableau 1: éléments des travaux pratiques pouvant être pris en compte dans une évaluation</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 2 : critères pour évaluer le protocole et l'expérimentation.....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 3 : activités et habiletés cognitives à mettre en œuvre pour résoudre un problème par l'expérimentation</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 4 : création des conditions de la conception d'un protocole de mesure</i>	<i>82</i>
<i>Tableau 5 : fréquence d'apparition de chaque action (pour les tests 1 et 3, la fiche T.P. présentait des lignes préformées pour rédiger le texte).</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 6 : nombre de points utilisés par les groupes d'élèves dans les trois expérimentations</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 7 : application des éléments du modèle Problème-Design-Représentation pour les deux situations analysées.</i>	<i>97</i>
<i>Tableau 8 : comparaison des dimensions inhérentes à la première et à la deuxième génération des sciences cognitives (d'après Prain & Tytler 2007).....</i>	<i>118</i>
<i>Tableau 9 : évaluation des arguments des élèves dans deux types d'Elos</i>	<i>130</i>
<i>Tableau 10 : transcription de l'extrait « mettre un toit vert », échanges entre Ca et A</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 11 : transcription de l'échange conclusion des expériences du groupe d'expert « isolation »</i>	<i>140</i>
<i>Tableau 12 : catégorisation des étayages.....</i>	<i>157</i>
<i>Tableau 13 : étayages des missions 1 et 4 du projet SCY.....</i>	<i>161</i>
<i>Tableau 14 : comparaison entre quatre manuels pour la niche « contrôle du métabolisme ».....</i>	<i>174</i>