



Les connaissances mobilisées par les enseignants dans l'enseignement des sciences : analyse de l'organisation de l'activité et de ses évolutions

Alain Jameau

► To cite this version:

Alain Jameau. Les connaissances mobilisées par les enseignants dans l'enseignement des sciences : analyse de l'organisation de l'activité et de ses évolutions. Education. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2012. Français. NNT : 2012BRES0036 . tel-00821372v2

HAL Id: tel-00821372

<https://theses.hal.science/tel-00821372v2>

Submitted on 3 Jul 2013

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

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

**THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE
OCCIDENTALE**

sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne

pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE
OCCIDENTALE**

Mention : didactique des sciences

**École Doctorale Sciences de l'Homme et de la
Société**

présentée par

Alain JAMEAU

Préparée à l'IUFM de Bretagne et à
l'unité de recherche n° EA 3875
Centre de Recherche sur l'Education
les Apprentissages et la Didactique

**Les connaissances
mobilisées par les
enseignants dans
l'enseignement des sciences**

**Analyse de l'organisation de
l'activité et de ses évolutions**

Thèse soutenue le 5 décembre 2012

devant le jury composé de :

Jean-Marie BOILEVIN

PU, IUFM de Bretagne

Maryline COQUIDE

PU, STEF ENS Cachan-IFE/ *directrice de thèse*

Michel GRANGEAT

MCF HDR, IUFM de Grenoble/ *rapporteur*

Ghislaine GUEUDET

PU, IUFM de Bretagne/ *directrice de thèse*

Gérard SENSEVY

PU, IUFM de Bretagne

Patrice VENTURINI

PU, IUFM-Toulouse III/ *rapporteur*

Remerciements

Merci à Ghislaine Gueudet et Maryline Coquidé pour avoir dirigé ce travail. Leurs apports scientifiques, leurs conseils et leur patience m'ont permis de mener à bien ce projet.

Merci à Gérard Sensevy pour m'avoir mis « le pied à l'étrier » et pour son soutien sans faille tout au long de ce travail. Il m'a fait découvrir le monde de la recherche à travers le séminaire de l'action du professeur à l'IUFM de Bretagne. Je suis très honoré de le compter parmi les membres du jury.

Merci à Jean-Marie Boilevin, Michel Grangeat et Patrice Venturini qui me font l'honneur de participer au jury.

Merci à Jean-Claude Coulet pour le temps qu'il m'a consacré à des moments clefs de mon analyse.

Merci à Catherine Goujon pour ses relectures attentives et nombreuses. Nos discussions ont été riches et m'ont permis d'éclaircir bon nombre de points.

Merci aux enseignants qui m'ont accueilli dans leur classe, parfois pendant deux années consécutives. Et merci aux élèves de ces différentes classes d'avoir accepté tout « l'attirail » audio et vidéo pendant leur cours. Sans eux cette recherche n'aurait pas pu se faire.

Résumé

Notre travail porte sur le thème des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants pendant la préparation et lors de la mise en œuvre de leur enseignement. Notre étude se déroule dans le contexte de l'enseignement des sciences expérimentales. Nous y étudions les connaissances des enseignants et leurs évolutions. Notre approche théorique articule la didactique des sciences et la didactique professionnelle avec comme cadre d'analyse des connaissances des enseignants, le concept de PCK (Pedagogical Content Knowledge), les connaissances pédagogiques liées au contenu. Nous avons élaboré une méthodologie spécifique, associant le chercheur et des binômes de professeurs, afin notamment de saisir l'écart entre la préparation des enseignements et leur mise en œuvre. A partir de cet écart nous définissons des incidents critiques qui sont la base du corpus que nous analysons. Nous identifions les connaissances en jeu, et indiquons comment le concept de PCK s'articule avec celui de schème. Lorsque les enseignants traitent d'un sujet au moyen des démarches d'investigation, ils mobilisent des types de connaissances spécifiques, et mettent en place des pratiques différentes, selon qu'ils travaillent au premier ou second degré. Nous montrons qu'il y a une relation entre ces connaissances et la régulation rétroactive de l'activité qui permet à l'enseignant d'ajuster sa préparation. Nous modélisons une forme d'acquisition d'expérience.

Mots clés : connaissances pédagogiques liées au contenu, PCK, schème, connaissances professionnelles, boucles de régulation, expérience professionnelle, démarches d'investigation, enseignement des sciences

Summary

Our work focuses on the theme of professional knowledge mobilized by teachers in their lesson preparations and implementation in class. Our study takes place in the context of the teaching of experimental sciences. We study the knowledge of teachers and the evolutions of this knowledge. Our theoretical approach articulates science education and professional didactics; it also retains, for the analysis of teachers' knowledge, the concept of PCK (Pedagogical Content Knowledge). We have developed a specific methodology, involving the researcher and teachers organized in pairs, to observe the gap between the preparation of lessons and their implementation. From this gap, we define critical incidents: they are the basis of the corpus that we analyzed. We identify the knowledge involved, and we indicate how the concept of PCK articulates with the concept of scheme. When teachers use inquiry-based science teaching (IBST), they mobilize specific knowledge and they implement different practices, depending on their work at primary or secondary school. We show that there is a relationship between knowledge and retroactive control that allows the teacher to adjust his/her preparation. We propose a theoretical model, for a form of acquisition of professional experience.

Keywords : pedagogical content knowledge, PCK, scheme, professional knowledge, retroactive control, professional experience, inquiry-based science teaching, science teaching

Sommaire

CHAPITRE 1 :	INTRODUCTION	9
CHAPITRE 2 :	CADRE THEORIQUE	13
2.1.	INTRODUCTION	13
2.2.	LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE ET SON ENVIRONNEMENT THEORIQUE	14
2.3.	LE SCHEME COMME UNITE ELEMENTAIRE D'ACTIVITE	24
2.4.	LE CONCEPT DE REGULATION	31
2.5.	SYNTHESE DES OUTILS ISSUS DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE	35
2.6.	LA MODELISATION DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES	36
2.7.	LES CONNAISSANCES DES ENSEIGNANTS	39
2.8.	SYNTHESE DU CADRE THEORIQUE.....	50
2.9.	QUESTIONS ET HYPOTHESES DE RECHERCHE	51
CHAPITRE 3 :	METHODOLOGIE	55
3.1.	INTRODUCTION.....	55
3.2.	PRINCIPES METHODOLOGIQUES.....	55
3.3.	OUTILS DE RECUEIL DE DONNEES	57
3.4.	CONTEXTE DE L'ETUDE	63
3.5.	OUTILS DE TRAITEMENT DES DONNEES.....	66
3.6.	CONCLUSION.....	77
CHAPITRE 4 :	UNE ORGANISATION DE L'ACTIVITE	79
4.1.	INTRODUCTION	79
4.2.	UNE NOUVELLE DESCRIPTION DU SCHEME	80
4.3.	CAS DE FLORENCE	81
4.4.	CAS D'ANDRE.....	94
4.5.	CONCLUSION.....	103
CHAPITRE 5 :	LES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES DANS L'ORGANISATION DE L'ACTIVITE	107
5.1.	INTRODUCTION.....	107
5.2.	LIENS ENTRE LES CONNAISSANCES ET LES SCHEMES	108
5.3.	LES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES.....	119
5.4.	CONCLUSION.....	132
CHAPITRE 6 :	DEMARCHES D'INVESTIGATION ET CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES	137
6.1.	INTRODUCTION.....	137
6.2.	LA DI AU COLLEGE	138

6.3.	LA DI A L'ÉCOLE : POINTS COMMUNS ET DIFFÉRENCES AVEC LE COLLEGE	152
6.4.	CONCLUSION.....	169
CHAPITRE 7 :	ÉVOLUTION(S) DE L'ACTIVITÉ DES ENSEIGNANTS	173
7.1.	INTRODUCTION.....	173
7.2.	CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES ET RÉGULATION RÉTROACTIVE DE L'ACTIVITÉ.....	174
7.3.	ÉVOLUTION DE CONNAISSANCES POUR L'ACQUISITION DE L'EXPÉRIENCE PROFESSIONNELLE	188
7.4.	CONCLUSION.....	192
CHAPITRE 8 :	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	197
8.1.	RETOUR SUR LES QUESTIONS ET LES HYPOTHÈSES DE RECHERCHE.....	197
8.2.	INTÉRÊTS DE DÉCRIRE LES SCHEMES DES ENSEIGNANTS	199
8.3.	DISCUSSION CONCERNANT LE MODÈLE DES PCK	204
8.4.	ÉLÉMENTS DE CONTINUITÉ(S) ET DE RUPTURE(S) DES DI ENTRE LE COLLEGE ET L'ÉCOLE PRIMAIRE	205
8.5.	DÉS INDICES SUR LA SPÉCIALITÉ DES ENSEIGNANTS.....	210
8.6.	LE POINT DE VUE DES DEUX DIDACTIQUES POUR ANALYSER L'ACTIVITÉ DES ENSEIGNANTS	212
8.7.	PERSPECTIVES.....	216
RÉFÉRENCES.....		221
TABLE DES ILLUSTRATIONS		235
TABLE DES MATIÈRES.....		239
ANNEXES		245

Chapitre 1 : Introduction

Le travail que nous présentons trouve son origine dans nos préoccupations de formateur IUFM¹. Nous intervenons dans la formation des professeurs des écoles pour l'enseignement des sciences et des enseignants du second degré en physique-chimie. La formation des maîtres a été réformée en 2010 ; en 2012, d'autres réformes sont annoncées, qui montrent que la question de la formation professionnelle des enseignants est toujours d'actualité. Les différents rapports qui se succèdent indiquent que la question de la professionnalisation est complexe. Comment former des enseignants professionnels ? Qu'est-ce qu'un enseignant professionnel ? Parmi les réponses apportées par le monde de l'éducation et de la recherche, un point de vue fait consensus : la pratique repose sur l'existence d'un ensemble de connaissances. La professionnalisation se constitue « par un processus de rationalisation des savoirs mis en œuvre mais aussi par les pratiques efficaces en situation » (Altet, 2001, p. 30).

Quels sont les types de connaissances en jeu pour le professeur dans l'action de la classe ? Comment ces connaissances permettent-elles à un enseignant d'atteindre ses objectifs ? Comment se construisent-elles ? Comment évoluent-elles ?

¹ Institut Universitaire pour la Formation des Maîtres

Les professeurs des écoles, de collège et du lycée sont des professionnels de l'enseignement et de l'apprentissage (Altet, 2001). L'auteure entend par là que les enseignants doivent être formés au « savoir-enseigner » et pas seulement à la maîtrise des « savoirs disciplinaires ». Par conséquent, étudier les pratiques d'un enseignant-professionnel c'est analyser son action et les connaissances qui interviennent dans cette action. Cette action peut se dérouler dans la classe et hors de la classe. Une part non négligeable des décisions sur l'enseignement est prise pendant le travail hors classe et notamment lors de la *préparation* (Bécu-Robinault, 2007). Nous désignons ici par *préparation* l'activité du professeur en amont de la mise en œuvre d'une séance ou d'une séquence. Elle est une mise en condition pour réussir cette mise en œuvre. Elle peut donner lieu à la conception et à l'organisation de supports matériels (fiches de préparation...). Les prises de décisions y sont importantes sans pour autant que le professeur soit assuré d'atteindre ses objectifs dans la mise en œuvre. Nous postulons que pour étudier les connaissances professionnelles mobilisées par les professeurs, il faut analyser leur préparation et la mise en œuvre dans la classe.

Les catégorisations de savoirs enseignants sont nombreuses et variées (Altet, 2001) : savoirs pratiques et savoirs théoriques, savoirs conscients, savoirs implicites, savoirs d'expérience, etc. De plus, la notion de savoir est polysémique (Ibid., p. 33) et les notions de savoirs et de connaissances sont parfois distinguées sans que la frontière entre les deux nous paraisse très claire. En anglais, il n'existe qu'un seul terme, quels que soient les cas : *knowledge*. Nous choisissons dans cette étude de ne pas distinguer savoir et connaissance. Nous parlons de *connaissances professionnelles* pour dire tout ce qui est construit par l'enseignant, et qui lui permet de créer, de mettre en œuvre et d'analyser des situations d'enseignement-apprentissage.

Nous choisissons une catégorisation de connaissances professionnelles des enseignants proposée dans le courant des années quatre-vingt mais qui est au centre de nombreuses recherches aujourd'hui : les *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) sont des connaissances propres à l'enseignement d'un contenu. Elles sont un amalgame entre des connaissances disciplinaires et des connaissances pédagogiques (Shulman, 1986). Nous utilisons ce concept comme cadre d'analyse des connaissances des enseignants que nous relierons à l'action dans la classe en analysant l'organisation de leur activité qui est représentée par le concept de schème (Vergnaud, 1990).

Notre étude est menée au collège en classe de troisième et à l'école primaire au cycle 3. Ce mémoire est formé de huit chapitres.

A la suite de la présente introduction, dans le second chapitre, nous présentons le cadre théorique sur lequel nous nous appuyons pour cette recherche et nous précisons notre problématique. Nous faisons référence à la didactique professionnelle pour analyser l'organisation de l'activité des enseignants qui est représentée par le concept de schème (Piaget, 1974 ; Vergnaud, 1990). Nous examinons aussi l'adaptation des professeurs à la classe dans laquelle ils enseignent ; elle se fait à travers des boucles de régulation. Notre étude se centre sur les boucles de régulation rétroactives de l'activité (Leplat, 1997 ; Pastré, 2008 ; Coulet, 2011). La didactique des sciences nous permet d'analyser la tâche des élèves au cours du processus de modélisation en science expérimentale (Martinand, 1996). Comme nous l'avons déjà présenté, nous étudions les connaissances professionnelles sous l'angle du modèle de Shulman (1986) et des travaux de Grossman (1990), Magnusson, Krajcik, et Borko (1999).

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie que nous avons développée pour cette recherche. L'un des principes retenus a été de suivre deux enseignants simultanément. Nous avons recueilli et exploité, pour chacun d'eux, des entretiens, un corpus d'enregistrements audio et vidéo de séquences de classe, ainsi que des données issues d'un questionnaire de présentation et d'un journal de bord (Power, 2008 ; Gueudet & Trouche, 2009) renseigné par les enseignants sur toute la durée de l'étude. L'exploitation des données a été réalisée en deux temps. Le premier a consisté à construire un corpus commun au chercheur et à chaque enseignant autour d'incidents critiques identifiés. Dans un second temps, chacun des incidents a fait l'objet de transcriptions de la situation dans la classe et des entretiens relatifs à ces situations.

Les chapitres quatre et cinq sont consacrés à l'identification des schèmes que les enseignants convoquent dans l'action et au relevé de leurs connaissances dans les schèmes mobilisés. Nous identifions les connaissances professionnelles des enseignants, d'une part en complétant les catégories des PCK repérées dans les invariants opératoires et, d'autre part, en analysant les connaissances disciplinaires (SMK) et les connaissances sur le contexte (KofC), du point de vue de leur impact sur l'organisation de l'activité des enseignants.

Le chapitre six est consacré à l'étude des connaissances professionnelles des enseignants dans le cadre particulier de la mise en œuvre des démarches d'investigation (DI). Nous menons cette étude à l'école primaire et au collège en analysant sa définition dans les programmes et sa mise en œuvre dans les classes. Nous étudions comment les enseignants mettent en place le problème scientifique à résoudre et comment se font les articulations avec les investigations menées par les élèves, sur une séquence.

Dans le chapitre sept, nous analysons les boucles de régulation opérées par les professeurs et nous étudions la relation entre les connaissances professionnelles et la régulation rétroactive de l'activité. Cette étude se fait dans le second degré car elle nécessite un suivi prolongé des professeurs que nous avons seulement réalisé au collège, pendant deux années. Nous analysons l'évolution des connaissances des enseignants et ses conséquences sur l'organisation de l'activité d'une part, et sur l'acquisition de l'expérience d'autre part.

Dans le chapitre huit nous revenons en conclusion sur les résultats de notre recherche et nous donnons quelques perspectives.

Chapitre 2 : Cadre théorique

2.1. *Introduction*

Comme nous l'avons présenté dans le chapitre précédent, nous étudions les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants dans leur enseignement des sciences expérimentales. Pour les identifier, nous étudions l'organisation de l'activité des professeurs ainsi que les tâches prescrites qui en découlent pour les élèves. Pour cela, il s'agit d'examiner les travaux antérieurs qui permettent d'éclairer la question de l'organisation de l'activité, dans un contexte d'enseignement. Nous devons également regarder ce qui pourrait nous aider à mieux comprendre la nature des tâches prescrites aux élèves, dans ce contexte d'apprentissage en sciences expérimentales. Ceci nous conduit à explorer différents cadres théoriques.

Nous faisons référence à la **didactique professionnelle** qui, dans l'analyse de la formation des compétences professionnelles, étudie l'activité des acteurs dans un contexte de travail. Il s'agit, notamment, d'examiner ce qui relève de l'action et ce qui relève de la pensée. Les travaux de Piaget mettent en évidence que l'action est organisée. Il cite le concept de *schème* (repris par Vergnaud) comme organisation interne de l'action. Nous analyserons les schèmes mobilisés par les enseignants, ce qui nous permettra de comprendre l'organisation de leur activité et comment celle-ci est efficace, reproductible, adaptable et intelligible (Piaget, 1974). L'adaptation de l'enseignant à la classe dans

laquelle il enseigne se fait à travers des boucles de régulation. Ce sont des processus qui leur permettent de mobiliser de nouvelles règles d'action à partir d'indices pris dans la classe. Elles peuvent être proactives ou rétroactives. Nous faisons référence aux travaux de Leplat (1997), Pastré (2008) et Coulet (2011), à propos des boucles de régulation rétroactives de l'activité, pour comprendre comment l'activité des enseignants change lorsqu'ils s'adaptent aux imprévus dans la classe.

Pour étudier les tâches prescrites aux élèves, nous faisons référence à la **didactique des sciences** et, plus particulièrement, aux travaux de Martinand concernant la modélisation scientifique. Il propose un schéma (1996) qui permet de décrire la tâche de l'élève, durant les apprentissages. Il s'intéresse aux processus de modélisation que les élèves peuvent prendre en charge, en tout ou en partie, avec la notion de « tâche ou problème impliquant la modélisation », puis les tâches d'application du modèle. Ces travaux nous aident à analyser la nature de la tâche des élèves en lien avec l'activité des enseignants, notamment lors des boucles de régulation rétroactives. Les connaissances professionnelles seront étudiées sous l'angle du modèle de Shulman (1986). Il définit la connaissance liée au contenu, *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*. Elle exprime l'amalgame (la combinaison) entre du contenu et de la pédagogie. Nous présentons cette typologie dans ce chapitre, mais nous la considérons davantage comme un cadre d'analyse que comme un cadre théorique. En effet, le modèle de Shulman nous aide à identifier des types de connaissances, notamment celles qui sont spécifiques à l'enseignement d'un contenu (Hashweh, 2005). L'identification de ce contenu enseigné, en relation avec les instructions officielles, nous permet de préciser les PCK en jeu.

Dans la suite du chapitre, nous explicitons les différents cadres et nous exposons nos questions de recherche.

2.2. La didactique professionnelle et son environnement théorique

Selon Pastré, Mayen et Vergnaud (2006), la didactique professionnelle s'est construite autour de trois orientations : l'analyse des apprentissages vs analyse de l'activité des acteurs, l'analyse de la formation des compétences professionnelles et l'articulation entre activité et apprentissage dans un contexte de travail. Elle postule que l'analyse des apprentissages ne peut pas être séparée de l'analyse des acteurs. Il y a une

continuité entre agir et comprendre « de et dans son activité » (p. 146). A travers cette orientation, la didactique professionnelle questionne le développement des compétences chez les apprenants. Or l'analyse de la formation des compétences professionnelles nécessite d'observer ces apprenants sur leur lieu de travail : il est nécessaire d'analyser l'activité dans un contexte de travail. Pour cela, la théorie de la conceptualisation dans l'action apporte un cadre pertinent (Ibid.).

Cette théorie est issue de la psychologie du développement. Elle est une source essentielle d'inspiration pour la didactique professionnelle (Pastré, 2011). Mais, deux autres sources participent à sa transformation : la psychologie ergonomique et les didactiques disciplinaires.

2.2.1. La théorie de la conceptualisation dans l'action

La théorie de la conceptualisation dans l'action rapproche deux registres qui sont généralement distingués : le registre qui relève de la pensée et celui qui relève de l'action, d'un côté, ce qui donne naissance aux théories et aux connaissances et, de l'autre, ce qui va de « l'étude de la technique à celle de la morale » (Pastré, 2011, p. 149).

Cette théorie trouve son origine dans les travaux de Piaget. Dans son ouvrage, *Réussir et comprendre* (1974) Piaget tire deux conclusions théoriques : l'*action* est une connaissance autonome et la prise de conscience est un véritable travail de conceptualisation. Cela signifie qu'il y a un écart temporel entre la réussite et la compréhension, la première précédant parfois la seconde. Pastré insiste sur l'importance de la première conclusion de Piaget : « c'est une thèse très forte qui affirme à la fois que l'action est organisée et intelligible et que le principe de cette organisation de l'action (...) est à chercher à l'intérieur d'elle-même » (p. 156). Il cite le concept de *schème*, issu des travaux de Piaget et repris par Vergnaud, comme organisation interne de l'action « qui permet de comprendre comment celle-ci est efficace, reproductible, adaptable et intelligible » (Ibid., p. 156). Pour Vergnaud (1996), le sujet sait mobiliser des connaissances-en-acte qui l'amènent à une réussite, dans l'action, avant d'en comprendre les raisons. C'est-à-dire qu'il sait mobiliser des concepts sans en avoir conscience. Selon Vinatier (2009), les deux auteurs insistent sur « la dimension pratique de la conceptualisation » (p. 52).

Le concept n'est pas d'abord appris par le sujet, il est d'abord construit. Cela fait référence aux deux formes de la connaissance : la forme prédicative et la forme

opératoire. Selon Vergnaud, la connaissance dans sa forme prédicative, permet « d'identifier dans le réel les objets, des propriétés de ces objets, des relations entre ces objets et leurs propriétés » (Pastré, Vergnaud, & Mayen, 2006, p. 158). Il remarque que la connaissance sous cette forme a besoin du langage pour s'exprimer mais ce n'est pas sa propriété première. La forme prédicative de la connaissance n'est pas seulement discursive. Dans sa forme opératoire, la connaissance permet de prélever des informations dans le réel et d'adapter l'action. En faisant référence au concept de schème et d'invariants opératoires, ainsi qu'aux travaux de Piaget, Vergnaud signale que cette forme de connaissance permet « de voir une intelligence des situations avec un double mouvement d'assimilation et d'accommodation » (Ibid., p. 159). Enfin, il signale que de ces deux formes indissociablement liées, la forme opératoire est première.

Dans son application dans un domaine, les deux formes de connaissances vont s'exprimer selon deux registres de conceptualisation : un registre pragmatique et un registre épistémique. Chacun des registres est caractérisé par son but et par le type de conceptualisation qu'il implique.

Le registre épistémique (...) a pour but de comprendre, en identifiant dans une situation donnée, ses objets, leurs propriétés et leurs relations (...) il cherche à identifier les relations de détermination qu'on peut établir entre les principales variables constitutives du système (Ibid., p. 159).

Le registre pragmatique (...) a pour but la réussite de l'action (...), dans ce cas (la conduite d'un système technique) la conceptualisation va avoir pour but d'établir une sémantique de l'action (...) et également permettre de repérer les principales classes de situations de manière à ajuster l'action à ces différentes classes. La conceptualisation du registre pragmatique sert ainsi à relier les prises d'information sur la situation aux répertoires de règles d'action disponibles (Ibid., p. 159).

Par exemple, le registre épistémique répond à la question « comment cela fonctionne-t-il ? ». Le registre pragmatique, dans le cas d'un système technique, répond à la question « comment cela se conduit-il ? ».

La psychologie ergonomique permet d'apporter une autre distinction entre les deux registres : la différence entre la tâche et l'activité. Au niveau du registre pragmatique, le point de vue de la tâche est un point de vue objectif ; celui de l'activité est un point de vue subjectif. Dans ce registre, du point de vue de la tâche et pour une situation donnée, Pastré (1999) parle de « structure conceptuelle de la situation » comme de « l'ensemble de concepts (d'origine pragmatique ou scientifique) organisant l'action et

servant à la guider » (Pastré, Vergnaud, & Mayen, 2006, p. 159). Pour identifier une structure conceptuelle, en didactique professionnelle, il est nécessaire de passer par une première analyse de l'activité et, dans ce cas, elle représente « l'ensemble des éléments invariants que l'on retrouve mobilisés chez tous les sujets ayant une action efficace » (Pastré, 2006, p. 160). En fait, l'analyse *a priori* de la tâche ne suffit pas ; il faut passer par une analyse *a posteriori*, en particulier, de l'activité. C'est un paradoxe (Pastré, Vergnaud, & Mayen, 2006, p. 160). Dans le registre épistémique, l'équivalent de la structure conceptuelle de la situation est représenté par « le savoir portant sur un domaine » (Ibid., p. 160). Ce savoir est « un ensemble d'énoncés cohérents, estimés valides par une communauté scientifique ou professionnelle » (Ibid., p. 160). Caractérisé par deux propriétés essentielles, « sa non contradiction et sa validité » (Ibid., p. 160), il a une dimension objective.

Du point de vue de l'activité, les équivalents du savoir portant sur un domaine et de la structure conceptuelle d'une situation sont le modèle cognitif et le modèle opératif. En référence à Ochanine (1981), le modèle opératif « désigne la représentation que se fait un sujet d'une situation dans laquelle il est engagé pour la transformer » et le modèle cognitif « désigne la représentation qu'un sujet se fait d'un domaine en termes d'objets, de propriétés et de relations indépendamment de toute action de transformation portant sur ce domaine » (Pastré, Vergnaud, & Mayen, 2006, p. 160). Tout modèle opératif s'articule avec un modèle cognitif suivant deux grandes modalités : soit le modèle cognitif est appris indépendamment du modèle opératif soit les deux modèles sont appris en même temps. Dans ce cas, l'apprentissage est qualifié de *sur le tas* (Pastré, Vergnaud, & Mayen, 2006, p. 160). Le modèle cognitif est généralement de nature empirique, ce qui peut être suffisant pour soutenir le modèle opératif mais insuffisant pour le justifier. Dans le cas de l'indépendance dans les apprentissages entre les deux modèles, la formation théorique succède à la formation pratique. L'acquisition du modèle cognitif (la théorie) va servir à la construction du modèle opératif par confrontation à la pratique, « avec les invalidations-validations » (Ibid., p. 161) que l'exercice de l'activité apporte.

2.2.2. Psychologie ergonomique et didactique professionnelle

Pastré (2011, p. 38) signale qu'au départ la didactique professionnelle ne se distingue pas de la psychologie ergonomique. L'intérêt commun concerne « l'analyse de

l'activité des hommes au travail en se situant du point de vue du sujet de l'activité ». Deux principes en résultent : D'une part, la centration sur l'activité requiert l'analyse du travail réel et pas seulement le travail prescrit. D'autre part, il est nécessaire de se centrer sur le sujet travaillant ou le sujet apprenant « et non pas sur le dispositif qui est mis en place » (Ibid., p. 39).

Le premier principe, la centration sur l'activité, est un apport de la psychologie ergonomique à la didactique professionnelle. C'est la distinction entre tâche prescrite et activité, à partir des travaux de Leplat (1997). Il écrit : « La tâche c'est ce qu'il y a à faire : le but qu'il s'agit d'atteindre sous certaines conditions (...) l'activité dépend de la tâche et des caractéristiques du sujet mais elle peut contribuer (en retour) à la définition de la tâche et à la transformation du sujet » (Ibid., p. 14). Par conséquent, l'étude de l'activité ne peut se faire indépendamment de la tâche (Vinatier, 2009). Au plan épistémologique, écrit Pastré (2011, p. 39), cela signifie qu'il y a toujours plus dans le travail réel que dans l'activité construite « car il y a dans le travail humain une dimension de création, d'adaptation fine à des circonstances infiniment variées ». Il ajoute qu'au plan méthodologique, il s'agit d'analyser l'activité réelle en identifiant l'écart entre la tâche prescrite et le travail réel. Ceci constitue ce que Pastré nomme le *paradigme de Leplat*. Sur le plan méthodologique, il propose de faire une analyse en deux temps : d'abord, une analyse de la tâche puis, une analyse de l'activité ou de la tâche effective. Dans le domaine de l'enseignement, Vinatier (2009) présente une double déclinaison de la tâche : « du côté du prescripteur et du côté réalisateur » (pp. 72-73). La prescription dans les textes officiels et leur traduction en relation avec la classe et son contexte ; la (re)définition de la tâche par l'acteur, la représentation qu'il en a, et la tâche effective, celle qui détermine l'activité. Pour Vinatier, « l'activité c'est l'élaboration par l'acteur de sa propre tâche » sachant que « l'activité transforme la tâche et l'acteur » (Ibid., p. 73). Pour Clot (1999, p. 19), « la tâche est toujours (re)définie dans l'action ». Vinatier (2009) signale qu'il faut préciser « en situation » car cette action « est de notre point de vue toujours contextualisée, sauf à être considérée comme une abstraction » (Ibid., p. 73). Elle précise que « la tâche redéfinie dans l'action en situation représente (...) ce que nous appelons l'activité (...) elle est toujours articulée à une classe de situations » (Ibid., p. 73). Elle situe l'activité de la personne au niveau du fonctionnement du triptyque : schème-situation-sujet. De son côté, Rogalski (2003) propose une définition de l'activité en prenant en compte les aspects physiques, affectifs et sociaux :

L'activité est ce que développe un sujet lors de la réalisation de la tâche : non seulement ses actes extériorisés, mais aussi les inférences, les hypothèses qu'il fait, les décisions qu'il prend, la manière dont il gère son temps. Une partie de l'activité est directement finalisée par la réalisation de la tâche, mais l'activité dépasse les actions sur ce qui est à faire (Ibid., pp. 343-388).

Le deuxième principe, la centration sur le sujet, dit la nécessité de ne pas se centrer sur le dispositif de formation qui est mis en place. La centration sur le sujet, qu'il soit travaillant ou apprenant, permet une mise à distance de l'ingénierie de formation au profit d'une centration sur l'apprentissage. La didactique professionnelle emprunte à la psychologie ergonomique ses concepts et méthodes d'analyse du travail suivant les deux principes décrits dans ce paragraphe : la centration sur l'activité et sur le sujet.

Nous venons de voir que la dimension cognitive est présente dans toute activité de travail. C'est un thème, présent dans l'ergonomie de langue française, qui a inspiré la didactique professionnelle (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006, p. 147). Leplat reprend les travaux d'Ombredane et Faverge (1955) pour introduire un troisième terme qu'il appelle « la structure cognitive de la tâche » pour inciter à « dépasser l'opposition frontale entre travail prescrit et réel. (...) ce qui va définir la situation de travail ne se ramène pas uniquement aux modalités de la prescription, mais inclut aussi certaines dimensions objectives de la situation qui vont orienter l'activité » (Ibid., p. 147).

Un apport de la psychologie ergonomique à la didactique professionnelle se trouve dans la psychologie russe du travail. Nous avons signalé dans le paragraphe précédent (p. 17), que les modèles opératif et cognitif ont été définis en référence aux travaux d'Ochanine (1981) qui a établi une distinction entre image opérative et image cognitive². L'image cognitive décrit un objet en énumérant ses principales propriétés. L'image opérative retient de ce même objet, les propriétés qui sont utiles pour l'action sur cet objet (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006). Cette distinction-opposition entre image opérative et image cognitive a permis de montrer qu'il y a deux formes de conceptualisation « l'une qui énonce des propriétés et des relations sur des objets » et l'autre « qui sélectionne

² Le terme « image » a été remplacé par « modèle », par Pastré, pour définir les équivalents du savoir portant sur un domaine et de la structure conceptuelle de la situation. L'« image » est un terme qui correspond à une épistémologie de la connaissance comme reflet du réel (Pastré, 2011). Le terme « modèle » permet « d'éviter toute référence à une épistémologie faisant de la représentation un simple reflet de la réalité » (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006, p. 160).

certaines traits d'un objet pour en faire des concepts qui orientent et organisent l'activité » (Ibid., p. 148). Cela signifie qu'il y a une conceptualisation spécifique à l'action qui sert à guider et orienter l'action et pas à construire des savoirs. Il ne faut pas confondre théorisation et conceptualisation (Pastré, 2011). Il ajoute que la théorie d'Ochanine permet d'identifier les concepts organisateurs qui orientent et guident l'action et que l'on peut considérer comme « le noyau central de l'organisation de l'activité des acteurs » (Ibid., pp. 40-41).

Un autre apport concerne les travaux en psychologie ergonomique sur les situations dynamiques (Hoc, 1996 ; Amalberti, 1996 ; Cellier, De Keyser, & Valot, 1996 ; Rokalski & Samurçay, 1993). Dans ce cas, la situation possède sa dynamique propre. Elle évolue indépendamment des actions de l'opérateur ; et elle évolue encore davantage quand l'opérateur ajoute ses actions. Ces situations dynamiques nécessitent que les opérateurs fassent un diagnostic pour repérer la configuration de l'environnement sur lequel ils agissent et un pronostic sur son évolution future. Et, le facteur temps devient une dimension essentielle de l'activité. La compétence de l'opérateur s'élargit du « savoir quoi faire » au « savoir quand le faire » (Pastré, 2011). Cela met en évidence l'importance de « l'intelligence de la tâche » (Montmollin, 1986) pour conduire son action.

Une controverse entre Leplat (1997) d'une part, Theureau (1992) et Clot (1999) d'autre part, a permis une évolution en psychologie ergonomique. Ces deux derniers reprochent à Leplat de faire une analyse extrinsèque de l'activité puisqu'il s'agit d'analyser la tâche effective en la comparant à la tâche prescrite. Or, ils préconisent une analyse intrinsèque, qui se centre avant tout sur l'activité. Leplat élargit son approche méthodologique en supposant que l'analyse du travail s'appuie, d'une part, sur les caractéristiques de la tâche et, d'autre part, sur les caractéristiques du sujet de l'activité.

L'analyse psychologique du travail met en jeu trois notions essentielles : l'agent (sujet, opérateur, acteur), la tâche et l'activité (...) analyser le travail c'est analyser les relations complexes et dynamiques entre ces trois notions (...) l'activité dépend de la tâche et des caractéristiques du sujet, mais elle peut contribuer en retour, à la définition de la tâche et à la transformation du sujet (Leplat, 1997, p. 14).

L'analyse de l'activité proposée par Leplat est qualifiée de duale par Pastré (2011). L'une qui peut être qualifiée d'*extrinsèque* (en référence à la tâche) et, l'autre, qui peut être qualifiée d'*intrinsèque* (en référence aux caractéristiques de l'agent). Pastré ajoute que, pour lui, une analyse de l'activité suppose deux étapes :

L'une qui identifie les concepts organisateurs qui structurent la tâche et qui doivent être pris en compte pour que l'action soit efficace ; l'autre qui identifie les différentes stratégies des agents, stratégies dépendants des caractéristiques de ces agents (Pastré, 2011, p. 44).

Et plus la situation est complexe, plus la deuxième étape de l'analyse prend de l'importance.

Nous venons de montrer les relations continues entre la didactique professionnelle et la psychologie ergonomique. Elles ont favorisé des évolutions respectives et communes sur les bases de concepts et méthodes d'analyse de travail. Il nous reste maintenant à regarder les relations entre la didactique professionnelle et des disciplines. Comme nous l'avons signalé en introduction, la didactique des disciplines a participé à la transformation de la didactique professionnelle.

2.2.3. Didactiques des disciplines et didactique professionnelle

Les relations entre les didactiques des disciplines et la didactique professionnelle sont sous le signe d'une opposition, avec des ruptures, même si les deux didactiques cherchent à comprendre comment les connaissances sont construites par un sujet (Pastré, 2011).

A l'origine, l'opposition porte sur deux points. D'abord, pour les didactiques des disciplines, l'objet d'étude est le savoir, sa transmission et son assimilation. Pour la didactique professionnelle, l'objet d'étude est l'activité, « une activité spécifique puisque c'est une activité d'apprentissage » (Pastré, 2011, p. 50). Cette opposition peut être analysée à deux niveaux (Ibid.). Un premier niveau d'analyse revient à distinguer l'apprentissage d'un savoir de celui d'un savoir-faire. Par exemple, d'un côté, le but peut être d'apprendre des mathématiques et, de l'autre, le but peut être d'apprendre une activité, comme le ski. Dans ce changement de but, nous percevons, d'un côté, le champ de la construction des connaissances analysé par les didactiques des disciplines et, de l'autre, le champ pour produire des actions efficaces analysé par la didactique professionnelle. Le second niveau d'analyse, comme dans toute étude d'apprentissage, pose la question de ce qui a le plus d'importance : la mise en œuvre d'une activité ou la mobilisation d'une connaissance, d'un savoir ? A partir du moment où l'essentiel est dans l'acquisition du savoir, comme dans le cas de l'enseignement d'une matière scolaire, le

savoir est explicite et partagé. Alors, l'activité qui sera menée par le sujet demeurera implicite et pas forcément analysable. Ce sont les conditions d'accès au savoir qui seront analysées (Pastré, 2011, p. 51). Dans l'autre cas, l'essentiel de l'analyse va porter sur « les modalités de déploiement de l'activité » (Ibid., p. 51). Dans les deux cas, il y a des connaissances en jeu et de l'activité mais avec des buts différents : produire une action efficace ou produire des connaissances. Selon Pastré, « cette différence de but aboutit à un renversement de la relation de subordination entre connaissances et actions : nous passons d'un registre épistémique à un registre pragmatique » (Ibid., p. 19). Rabardel illustre l'influence de la psychologie ergonomique sur la didactique professionnelle, en faisant porter l'analyse sur l'activité du sujet, qui amène le savoir en seconde position :

Une grande partie des savoirs professionnels sont non explicites ou n'ont pas besoin de l'être pour leur mise en forme efficace. De ce fait leur explication est problématique et dans certains cas peut se révéler impossible. Leur transmission nécessite de penser les relations didactiques dans les perspectives nouvelles (Nosulenko & Rabardel, 2007).

Pour Munoz (2006), en didactique professionnelle, les objectifs sont d'ordre pragmatique et, en didactique des disciplines, ils sont d'ordre épistémique. Vergnaud (2008) oppose les deux didactiques sur un plan plus général : comme les caractéristiques d'un métier sont différentes de celles d'une discipline, les problématiques abordées sont aussi différentes.

Rabardel montre que suivant ce sur quoi est mis l'accent, savoirs ou activité, des problèmes épistémologiques apparaissent dès lors qu'il s'agit de subordonner l'activité au savoir ou inversement. Cette différence de buts, exposée précédemment, donne « le sentiment d'une altérité presque fondatrice entre didactique professionnelle et didactique disciplinaire » (Ibid., p. 88). Pastré ajoute que lorsque les didactiques disciplinaires s'intéressent au sujet dans son activité, c'est un sujet épistémique « qui sait dire « je sais » (ou « je ne sais pas »), mais qui ne sait pas dire « je peux » (ou « je ne peux pas ») » (Pastré, 2011, p. 19). De fait, d'un point de vue épistémologique, pour passer d'une didactique disciplinaire, en l'occurrence de la didactique des techniques, à la didactique professionnelle, il est nécessaire de faire référence au concept de *pouvoir agir*, caractéristique d'un *sujet capable*, qui n'est pas réduit à un sujet connaissant, et au concept de ressources qu'un sujet se construit pour mettre en œuvre son pouvoir agir (Ibid., pp. 19-20).

Un autre point de divergence se situe au niveau des didactiques des disciplines. Il y a autant de didactiques que de disciplines car chaque didactique met l'accent sur la spécificité de chaque savoir. Pour Pastré (2011, p. 52), « Il n'y a de didactique que de quelque chose (des mathématiques, du français, de l'informatique, etc.). Il ajoute que « les champs professionnels, à la différence des champs disciplinaires, sont trop empiriques pour pouvoir être découpés en entités totalement séparées » (Ibid., p. 52). La centration sur l'activité, sous l'influence de la psychologie ergonomique, est la raison de l'utilisation du singulier (Ibid., p. 52). Par ailleurs, la régulation proactive et rétroactive de l'activité, la résolution de problème et le diagnostic comme activités dépassent la spécificité d'un domaine. Par conséquent, il y a une opposition entre le singulier de la didactique professionnelle et le pluriel des didactiques disciplinaires.

Selon Pastré, ce problème de l'articulation entre le singulier et le pluriel en didactique, autrement dit, entre le générique et le spécifique, fut un élément moteur dans le rapprochement entre les didactiques des disciplines et la didactique professionnelle. Prenons le cas de la didactique des mathématiques. Plusieurs concepts, au-delà de la didactique des mathématiques trouvent un écho en didactique professionnelle : la situation didactique, la transposition, le contrat, le schème et le champ conceptuel (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006, p. 150). Dans la théorie des situations, la place du savoir est centrale, mais, Brousseau met l'accent sur sa mobilisation et sa construction. Par conséquent, la place de l'activité du sujet y est importante. Pour Pastré, ces travaux peuvent être qualifiés de *didactique générale* car il dit n'avoir eu aucun mal à établir un lien entre cette théorie et les résolutions de problèmes, en didactique professionnelle, rencontrées dans des apprentissages sur simulateurs. Pour lui, dans la théorie des situations, il y a un étage spécifique à la didactique des mathématiques, comme en témoignent les recherches, et un étage générique, « qui met en évidence des dimensions de l'apprentissage qui dépassent le domaine strict de la didactique des mathématiques » (Ibid., p. 54).

Pastré souligne que la didactique comparée à travers notamment les travaux de Mercier et Sensevy (2007) ouvrent de nouvelles perspectives dans le dialogue avec la didactique professionnelle. Dans ces travaux, l'analyse de la part du maître dans l'interactivité d'un processus d'apprentissage est prépondérante. Les concepts de *mésogénèse* (constitution d'un milieu au sens de Brousseau), *topogénèse* (la part accordée à chacun des protagonistes dans le procès d'apprentissage) et *chronogénèse* (la

progression de l'apprentissage dans le temps) définis par Sensevy, « débordent le cadre d'une didactique dédiée à une discipline particulière » (Pastré, 2011, p. 56). Nous retrouvons ce qui est de l'ordre du générique et du spécifique. Mais, plus encore, la prise en compte de l'activité de l'enseignant dans l'interactivité maître-élève est une ouverture pour la didactique professionnelle. Car, souligne Pastré, elle considère que « le métier d'enseignant est un métier au même titre que ceux de technicien, de médecin ou de juge (...) » (Ibid., p. 56).

Nous abordons maintenant les travaux de recherche à propos de l'organisation de l'action et du concept de schème qui représente son organisation interne. Nous en donnons une définition puis ses composantes.

2.3. Le schème comme unité élémentaire d'activité

Vergnaud (1990) reprend la notion centrale de schème élaborée par Piaget et opère un développement théorique en l'articulant à la notion de situation. C'est, pour lui, le concept qui permet de montrer que toute activité est organisée. Pastré (2011) rappelle que le noyau central de l'organisation d'une activité est composé d'invariants, de nature conceptuelle. Vergnaud en donne un résumé par cette formule « au fond de l'action, la conceptualisation » (Vergnaud, 1996).

2.3.1. Définition du schème

Piaget définit le *schème* de la manière suivante :

Les actions, en effet, ne se succèdent pas au hasard, mais se répètent et s'appliquent de façon semblable aux situations comparables. Plus précisément, elles se reproduisent telles quelles si, aux mêmes intérêts, correspondent des situations analogues, mais se différencient ou se combinent de façon nouvelle si les besoins ou les situations changent. Nous appellerons schèmes d'actions ce qui, dans une action, est ainsi transposable, généralisable ou différenciable d'une situation à la suivante, autrement dit ce qu'il y a de commun aux diverses répétitions ou applications de la même action (Piaget, 1973, pp. 23-24).

Pour Vergnaud, cette définition est critiquable car Piaget ne précise pas le concept de *classe de situations* auquel, pour lui, s'applique le schème dans sa généralité. Pour Vergnaud (1985) et (1990), un *schème* est « une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée ». Il ajoute : « Il est surprenant que l'auteur du

concept de schème manque le concept dual qui lui donne sa portée significative » (Vergnaud, 2001, p. 112).

Arrêtons-nous un instant sur ce concept de *classe de situations*. Il a été développé par Vergnaud pour signifier des événements porteurs d'une même structure conceptuelle et qui vont convoquer chez ceux qui y sont confrontés des schèmes d'actions spécifiques nécessaires à leur adaptation (Vinatier, 2009). Vergnaud souligne que les situations vécues sont à la fois source et critère de connaissances. C'est en situation qu'on apprend. Autrement dit, une connaissance qui n'est pas opératoire n'est pas une connaissance. Par conséquent, le lien entre les classes de situations et les concepts qui s'y trouvent à l'œuvre est fort. Vinatier souligne que ce sont les situations qui donnent sens aux concepts, par le biais du sujet. Vergnaud (1990) distingue les classes de situations pour lesquelles le sujet dispose des compétences nécessaires au traitement immédiat de la situation, de celles pour lesquelles le sujet ne dispose pas de toutes les compétences nécessaires à son traitement. Il souligne que le concept de schème ne fonctionne pas de la même manière dans les deux cas. Dans le premier cas, le sujet, pour une même classe de situations, procède à des conduites largement automatisées, organisées par un schème unique. Dans le second cas, le sujet amorce successivement plusieurs schèmes « qui peuvent entrer en compétition et qui, pour aboutir à la solution recherchée, doivent être accommodés décombinés et recombinaés ; ce processus s'accompagne nécessairement de découverte » (Ibid., p. 136). De fait, la classe de situations, à laquelle s'adresse le schème, peut être très petite ou très grande. Vergnaud ajoute ceci :

Au cours du développement cognitif, un schème a une portée réduite très locale qu'il s'agit ensuite d'élargir. Du fait qu'il s'adresse à une classe de situations, même petite, c'est un universel en ce sens qu'on peut le formaliser avec des règles et des concepts importants des quantificateurs universels (Vergnaud & Récopé, 2000, p. 45).

Donc, comme nous venons de le voir, le schème se construit et se développe en situation. C'est une catégorie de l'action, par rapport à une classe de situations (Vinatier, 2009).

Le couple conceptuel “ schème-situation ” est la clef de voûte de la psychologie cognitive et de la théorie de l'activité : pour cette raison simple que la connaissance étant adaptation, ce sont les schèmes qui s'adaptent, et qu'ils s'adaptent à des situations (Vergnaud, 2001, p. 112).

Vergnaud donne des définitions complémentaires du *schème* :

- La première, que nous avons énoncée au début de ce paragraphe (p. 24), est d'ordre fonctionnel. Dans cette définition, plusieurs points méritent d'être soulignés. Vergnaud distingue l'activité et son organisation car « le schème n'est pas un stéréotype : ce qui est invariant, c'est l'organisation, non pas l'activité et la conduite » (Vergnaud & Récopé, 2000, p. 45). L'activité est contextualisée, variable et adaptée aux circonstances (Pastré, 2011, p. 86). Nous remarquons que l'invariance dans un schème est à chercher du côté de l'organisation de l'activité et pas au niveau de l'activité elle-même. Enfin, l'organisation de l'activité est déterminée par la classe de situations à laquelle le schème se rapporte ;
- La seconde définition est d'ordre analytique. Elle exprime l'idée que le schème est ce qui engendre l'activité au fur et à mesure de son déroulement. Nous y observons le lien entre le caractère conditionnel de l'activité et la conceptualisation du réel (Vinatier, 2009). Vergnaud (1996) donne les éléments constitutifs du schème :
 - un *but* (ou plusieurs), des *sous-buts* et des *anticipations* ;
 - des *règles d'actions*, de prises d'informations et de contrôle ;
 - des *invariants opératoires* (*concept-en-acte* et *théorème-en-acte*) ;
 - des possibilités d'*inférence*.

Il précise, à travers ces quatre composantes, ce qu'il entend par organisation de l'activité :

Le schème est une totalité dynamique fonctionnelle – cela signifie en clair que le schème est une unité identifiable de l'activité du sujet, qui correspond à un but identifiable, qui se déroule selon un certain décours temporel (et donc une dynamique), et dont la fonctionnalité repose sur un ensemble d'éléments peu dissociables les uns des autres (Vergnaud, 1996, p. 283).

Il est, par conséquent, essentiel d'identifier tous les éléments constitutifs si nous voulons comprendre comment fonctionne un schème et comment il génère l'action.

2.3.2. Les composantes du schème

2.3.2.1. Le but, les sous-buts, les anticipations

Cette première composante du schème, le but, les sous-buts, les anticipations, représente l'intention, le désir, le besoin, et la motivation d'une personne suscités par la

situation. Ce but à atteindre se décline en sous-buts et en anticipations de la même manière que les schèmes se composent et se décomposent hiérarchiquement (Vergnaud & Récopé, 2000, p. 46). En prenant l'exemple du saut à la perche, les auteurs montrent l'organisation séquentielle et simultanée de l'activité. Les buts, sous-buts et anticipations précèdent et accompagnent le mouvement de l'athlète et font l'objet de sa part d'un contrôle quasi permanent pendant le déroulement de l'action. Par conséquent, les buts donnent au schème sa fonctionnalité en organisant l'action et les prises d'informations liées à l'action. Les auteurs signalent que l'intention, le désir, le besoin, la motivation d'une personne ne sont pas habituellement intégrés dans l'organisation du schème :

Si la représentation est composée de formes d'organisation de l'activité, et pas seulement d'images, de mots et de concepts, il est essentiel d'intégrer but, intention et désir dans le schème lui-même (Ibid., p. 46).

Les auteurs définissent quatre sens de la représentation. Le premier, dans notre présentation, est celui qui repose sur la thèse que la représentation, y compris la perception, est structurée par des concepts « qui permettent de penser des objets de différents niveaux, leurs propriétés, leurs relations, leurs transformations » (Ibid., p. 44). Par conséquent, un système de concepts assure plusieurs fonctions cognitives, notamment la sélection dans l'environnement de l'information pertinente et le travail d'inférence de la pensée. Le second sens de la représentation est que, sans signe et sans symbole, la représentation conceptuelle et l'expérience ne peuvent pas être communiquées. Le troisième sens défini par les auteurs, considère la représentation comme une activité fonctionnelle et comme un ensemble de schèmes. La fonctionnalité de la représentation (quatrième sens) permet de simuler le réel et donc l'anticipation ; elle organise l'activité tout en étant elle-même le produit de l'action et de l'activité (Ibid., p. 45). Deux conséquences en découlent : d'une part, le système de concepts doit être placé au centre de l'organisation de l'activité et, d'autre part, « les activités langagières et symboliques sont elles-mêmes gérées par des schèmes de dialogues et d'énonciation » (Ibid., p. 45).

Enfin, les anticipations sont liées au but visé. Ce sont les anticipations des résultats de la mise en œuvre du schème mobilisé.

2.3.2.2. Les règles d'actions, de prise d'informations et de contrôle

Nous avons vu précédemment (exemple du saut à la perche) que le schème, en tant qu'unité identifiable de l'activité du sujet, se compose d'une succession d'actions et de prises d'informations qui peuvent être organisées simultanément et séquentiellement. Les contrôles se produisent tout au long de l'activité. Les règles d'actions permettent de saisir la manière dont l'activité est engendrée au fur et à mesure. Cette composante constitue la partie générative du schème, elle engendre l'activité dans son déroulement temporel. Ces règles n'engendrent pas que l'action, elles engendrent aussi les prises d'informations et les contrôles ainsi que les actions matérielles. Elles permettent l'infléchissement de la conduite en situation, y compris le retour en arrière s'il est possible. Elles organisent, en quelque sorte, l'adaptation du schème à la situation (Vergnaud, 2001). En outre, les auteurs précisent que les règles n'engendrent pas seulement la conduite observable « mais toute une activité non observable comme les inférences et la recherche en mémoire » (Vergnaud & Récopé, 2000, p. 47).

Le caractère adaptable des schèmes est essentiel. Nous reverrons dans le paragraphe suivant les conditions d'adaptation du schème en situation du point de vue des règles et des inférences qui sont généralement implicites pour le sujet, et même inconscientes.

2.3.2.3. Les inférences

L'ajustement du schème aux conditions locales de la situation rend indispensable l'utilisation d'inférences par le sujet. En effet, l'activité en situation n'est jamais automatique c'est-à-dire sans contrôle ni prise d'informations. Elle est, au contraire, régulée par des adaptations locales et des ajustements progressifs. Néanmoins, il est possible, en théorie, qu'une action se déroule de manière totalement automatique, sans contrôle et sans prise de nouvelle information. Cela ne concerne que des segments d'activité très petits (Ibid., p. 48).

Pour représenter le caractère adaptable des schèmes, il faut faire appel à des règles conditionnelles de type SI...ALORS... en fonction des variables de situation. SI telle variable de situation a telle valeur et SI telle autre variable de situation a telle valeur

ALORS l'action X, la prise d'information Y ou le contrôle Z doivent être effectués (Ibid., p. 48).

Comme nous l'avons précisé dans le paragraphe précédent, les règles d'action et les inférences sont très souvent implicites pour le sujet. Par conséquent, cette formalisation est celle du théoricien car les entretiens montrent, notamment avec des experts, que le conditionnel est rarement employé pour décrire les causes et les raisons de leur action. Ils racontent le déroulement des actions, de manière linéaire. Ils en oublient les conditions qui ont conduit aux choix effectués, notamment les prises d'information et de contrôle (Vergnaud, 2002).

Des variables de situations peuvent prendre plusieurs valeurs. Tout l'enjeu, pour les sujets, est de s'adapter à ces différentes valeurs. De fait, les règles d'action, de prise d'information et de contrôle sont l'incarnation pragmatique des théorèmes-en-acte.

2.3.2.4. Les invariants opératoires : concepts-en-acte et théorèmes-en-acte

Pour comprendre quels types de relations existent entre les conditions de l'activité et les formes qu'elle prend, nous rencontrons inévitablement la question de la conceptualisation (Vergnaud, 2002). L'organisation de l'activité repose sur des conceptualisations. Les invariants opératoires forment la partie épistémique du schème. Ils sont composés de concepts-en-acte et de théorèmes-en-acte. Précisons le choix de la formule « *en-acte* ». Elle permet de souligner le fait que, pour certains niveaux d'organisation de l'activité, les invariants opératoires échappent à la conscience du sujet. De plus, ils sont aussi très difficiles à expliciter car ils sont intégrés dans l'exécution de l'activité (Coulet, 2009).

La fonction des invariants opératoires est « d'identifier et de reconnaître les objets, leurs propriétés, leurs relations, et les transformations que les objets subissent » (Vergnaud & Récopé, 2000, p. 47). Ils sont issus du réel. Dans l'articulation avec le schème, les invariants opératoires permettent de prélever et de sélectionner l'information pertinente pour en inférer des conséquences utiles pour l'action. Vinatier (2009) pose la question de ce qui est invariant. Nous savons que le schème s'adresse à une classe de situations. Par conséquent, il s'agit de comparer les variations des objets et les situations d'une même classe. Dès lors, les invariants peuvent se situer au niveau des objets, des

propriétés ou des relations pour sélectionner l'information utile : « telle proposition est vraie, ou tenue pour vraie dans l'action, pour une certaine classe de situations » (Ibid., p. 56).

Vergnaud précise que les concepts ne se prêtent pas directement, à eux seuls, à l'inférence. Un concept est pertinent ou non pertinent. Or, les *inférences* sont ce qui est tenu pour vrai, ce qu'il est raisonnable de tenir pour vrai. Seules les propositions peuvent être vraies ou fausses. Par conséquent, il définit un *théorème-en-acte* comme « une proposition tenue pour vraie dans l'activité » et le concept-en-acte comme des « objets et des prédicats qui sont pertinents ou non-pertinents pour la prise d'informations nécessaire à l'action » (Ibid., p. 56). La relation entre théorèmes et concepts est dialectique. Il n'y a pas de concept sans théorème et réciproquement (Vergnaud & Récopé, 2000). Les auteurs précisent qu'il peut y avoir plusieurs théorèmes-en-acte pour un même concept-en-acte, notamment dans les disciplines scientifiques et techniques.

2.3.3. Les propriétés de l'activité humaine

Pour Vergnaud, les schèmes concernent tous les registres de l'activité : les gestes, les jugements et les raisonnements intellectuels, le langage, les interactions avec autrui et les affects (Ibid., p. 43). Ces registres évoluent avec l'expérience par découverte, combinaison, différenciation et structuration. Ils sont à la fois distincts et interdépendants. Les formes nouvelles de l'organisation de l'activité sont le produit de formes anciennes et de situations nouvelles auxquelles elles sont confrontées.

Pastré (2011) justifie de l'intérêt à étudier l'organisation de l'activité d'un sujet car elle possède les propriétés suivantes : elle est efficace, reproductible, adaptable et analysable. Elle est efficace car à l'intérieur de l'action il y a une organisation « qui n'est ni totalement nécessaire ni totalement contingente » (Ibid., p. 88). Sa reproductivité fait qu'elle ne peut pas être le fruit du hasard. Par conséquent elle repose sur un mouvement de généralisation. Piaget parle des *concepts praxiques* comme des entités produites par la réussite qui engendrent la réussite. Rabardel (2005) synthétise par la formulation suivante : « Le schème d'une action est l'ensemble structuré des caractères généralisables de l'action » (cité dans Pastré, 2011, p. 88). Pour autant, la reproduction de l'action ne se fait jamais à l'identique malgré sa généralisation. Un schème génère « une répétition sans répétition » (Clot, 2008). Pour Pastré, « le concept de schème consiste à articuler le

caractère adaptable de l'activité et l'invariance de son organisation » (Ibid., p. 88). Enfin, l'activité est analysable car elle est intelligible.

La composante inférence permet de montrer comment le schème s'adapte aux conditions locales traduisant l'idée que l'activité en situation n'est jamais automatique. Ces régulations peuvent être de différents types pour des portées plus ou moins locales. Dans les paragraphes suivants, nous allons définir le concept de régulation et nous allons présenter des travaux concernant un modèle de régulation dans une analyse de l'activité.

2.4. Le concept de régulation

Le concept de *régulation* est largement étudié et semble recouvrir des réalités différentes (Cariou, 2004). Il se retrouve dans des domaines aussi variés que la biologie avec la régulation des protéines, l'économie avec la régulation du marché ou dans des domaines technologiques comme la régulation de température (Ibid.,). De fait, il n'est pas évident que le même terme corresponde au même concept. Pour autant, l'idée qui prédomine est celle de maintenir constante la valeur d'une grandeur quelles que soient les perturbations qui pourraient la faire varier. Cariou distingue trois acceptions au terme de régulation. Elle peut être un contrôle sans idée de maintien, un contrôle avec une prévention des dérives ou un contrôle avec maintien « élastique », c'est-à-dire une régulation autour d'un « point de consigne ». C'est une valeur référence pour laquelle une grandeur a une valeur constante. Cette idée de *consigne* est au cœur du concept de régulation. Elle peut être synonyme de « norme » ou « attente », suivant les domaines. Dans la plupart des systèmes, elle est réglée par l'homme, et toute perturbation qui déséquilibrerait le système est régulée. D'un point de vue fonctionnel, nous pouvons décrire ce processus par une *boucle de rétroaction* (ou *feedback*) qui renvoie l'information de la valeur de la grandeur perturbée. Par comparaison avec la consigne, une correction est apportée afin de maintenir la valeur initiale constante (correspondant à la consigne). Ce qui fait dire que, d'un point de vue structurel, un système de régulation est composé d'un capteur (qui permet d'évaluer l'écart avec la consigne) et un effecteur (qui corrige cet écart) avec, entre les deux, un système de contrôle (Ibid.).

Leplat (2006) signale que la notion de régulation revient souvent dans les textes consacrés à l'étude de l'activité en situation de travail « que ce soit dans une perspective psychologique, ergonomique ou dans celle de la formation » (p. 1). Et, comme le souligne

Coulet (2011) : « Il est, en effet, difficile de rendre compte de l'activité sans insister sur les mécanismes de régulation qui l'accompagnent » (p. 15). Par conséquent, Leplat propose une définition et un modèle qui lui permettent de montrer « comment un modèle de régulation peut mettre en lumière certains aspects de l'activité » (Leplat, 2006, p. 5).

2.4.1. Une définition et un modèle

Pour Naslin (1958), « un système asservi ou à régulation est un système dont le fonctionnement est régi par les écarts de son comportement effectif ou instantané par rapport à son comportement assigné » (p. 13). Dans le système de régulation schématisé par Leplat (Figure 1, p. 32), les éléments essentiels d'un modèle de régulation apparaissent : le comparateur, le régulateur, le dispositif contrôlé et la boucle de régulation (feedback).

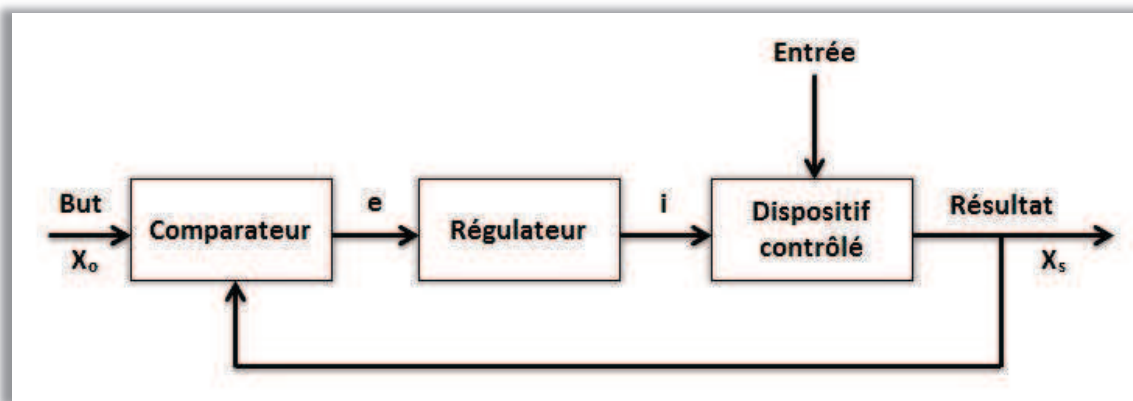


Figure 1 : Schéma d'un système de régulation (Leplat, 2006)

Le *comparateur* évalue l'écart entre le but à atteindre (X_0) et le comportement effectif (X_s) ; le *régulateur* traduit l'écart précédent (e) en actions (i) pour l'éliminer. Ce dispositif se caractérise aussi par ses entrées, par les perturbations qu'il peut subir et par les actions qui peuvent être exercées sur lui. Enfin, la boucle de régulation (ou feedback) transmet au comparateur les informations sur les résultats du fonctionnement du dispositif.

Un tel modèle permet d'identifier les différents types de fonctions mises en œuvre dans une action de contrôle d'un dispositif. Il permet d'étudier la manière dont sont remplies ces différentes fonctions, et de mieux saisir la différence entre règle et régulation.

Une *règle* est une proposition qui indique l'action à réaliser dans des conditions données. Sa forme la plus simple est : « si A se produit, faire X ». Il faut distinguer

l'expression de la règle de son application, de son suivi (« rule following »), le résultat duquel ne dépend pas seulement de la règle, mais des conditions dans lesquelles celle-ci doit être appliquée, conditions qui ne peuvent jamais être complètement définies (Gill, 1996 ; Leplat, 2006).

De fait, en nous référant à la Figure 1 (p. 32), nous pouvons concevoir la mise en œuvre de la règle comme une fonction du régulateur : celle qui transforme l'écart (e) en actions (i) sur le système. La règle n'est, par conséquent, qu'une composante du processus de régulation. Elle est malgré tout essentielle. Leplat remarque que la connaissance des règles ne suffit pas à définir la régulation d'une activité : « celle-ci requiert que soient définies les autres fonctions du modèle » (Ibid., p. 5).

Il s'agit pour nous de distinguer un système qui est en autonomie d'un système qui demande une intervention extérieure, pour être régulé. Certains systèmes, notamment technologiques, sont équipés (par des capteurs et des fonctions électroniques) pour évaluer et réguler : nous pouvons parler d'autorégulation. D'autres systèmes sont dépendants d'évaluations et de régulations « externes ». Dans ce cas, la régulation est qualifiée « d'externe » par opposition aux systèmes autorégulés. Pour Cariou, le concept de *régulation* peut seul s'appliquer à l'autorégulation : la régulation externe est davantage un « réglage ».

2.4.2. Le modèle de régulation dans une analyse de l'activité

Le modèle de régulation est étudié dans la *théorie de l'activité* développée par Leontiev (Leplat, 2006).

Les composantes essentielles des activités humaines sont les actions qui les réalisent. Nous appelons action un processus soumis à la représentation du résultat qui doit être atteint, c'est-à-dire à un processus soumis à un but conscient. De même que le concept de motif est corollaire du concept d'activité, le concept de but est corollaire du concept d'action (Leontiev, 1975, p. 121).

Une activité se réalise par des actions ; l'action répond à un but. Dans une situation de travail, ce but fait partie de la *tâche*³ que Leontiev définit comme « un but donné dans des conditions déterminées » (Leontiev, 1972, p. 96). Toute l'importance de la notion de but apparaît dans le modèle de régulation car, en fonctionnement réel, c'est

³ Nous rappelons la nécessité de bien distinguer la tâche de l'activité (§ 2.2.1., p. 5)

l'écart avec le but assigné qui est traité. Il est par conséquent nécessaire d'étudier comment les buts se développent ; « ce sont des questions fondamentales de la théorie de l'activité » (Bedny & Meister, 1997, p. 37).

Dans ce cadre théorique, Leplat distingue deux situations : une situation paradigmatique et une situation comportant une multiplicité de boucles possibles pour le contrôle du même dispositif.

La première situation correspond au contrôle d'un système simple. La fonction du régulateur, qui est d'annuler l'écart, est réalisable selon des différents modes, caractérisés, par exemple, à partir de la hiérarchie d'abstraction de Rasmussen (Rasmussen, Pejtersen, & Goodstein, 1994) : un mode routinier, un mode règle et un mode connaissances sur le fonctionnement du dispositif technique. Dans le premier mode, à chaque catégorie d'erreur est associé un type d'action (automatisation de l'action). Dans le second mode, l'opérateur dispose d'un ensemble de règles du type « si tel diagnostic, engager tel type d'action » (Leplat, 1997, p. 7). Dans le troisième mode, l'opérateur fait appel à ces connaissances pour trouver comment éliminer l'écart au but. Ce modèle de régulation simple ne prend pas en compte toute la richesse de l'activité mais permet de mettre en évidence que le mode de contrôle est de type rétroactif : « la boucle de feedback centrée sur le résultat ne permet la correction des écarts qu'une fois qu'ils se sont produits » (Ibid., p. 7).

Dans la seconde situation, de nombreuses sources d'informations peuvent être prélevées sur un dispositif en fonctionnement. Une multiplicité de boucles est alors possible pour le contrôle du même dispositif. Ces sources d'informations sont intégrées à des boucles de régulation exploitables pour l'amélioration du fonctionnement de ce dispositif et la prévention des erreurs. Leplat mentionne quelques principaux types de régulations qu'il classe comme des « régulations rétroactives et proactives » (Ibid., p. 8) : la première est fondée sur les résultats, la seconde sur l'anticipation.

Pastré (1999) montre, dans le cadre de sa recherche sur l'apprentissage de la conduite de centrales nucléaires sur simulateurs, qu'il existe deux types de stratégies, qualifiées toutes les deux de « rétroactives et partielles ». Le novice ne parvient pas à avoir une représentation d'ensemble du fonctionnement ; sa stratégie dite à *boucle courte* est de type procédural. Le résultat de la formation sur simulateur permet à Pastré de qualifier la seconde stratégie de *boucle longue* ; elle est de type analytique. Autrement dit,

le novice modifie son activité de proche en proche, suivant un mode que l'on pourrait qualifier d'essai/erreur, où à chaque défaut correspond une règle d'action. La boucle courte est une régulation de type « coordination agie » (Piaget, 1974), essentiellement axée vers la réussite. En ce qui concerne la boucle longue, l'opérateur met en œuvre une forme de « coordination conceptuelle » (Piaget, 1974) à travers une approche globale.

Cependant, il apparaît, dans des travaux sur la résolution de problèmes, une autre forme de régulation rétroactive de l'activité : Celle qui réoriente le sujet vers d'autres formes d'activités, vers d'autres schèmes, qui seraient plus adaptés aux propriétés de la situation et de la tâche. Il s'agit de régulations de type « changement de schème » (Coulet, 2011, p. 20).

Avant de passer à la présentation des travaux de recherche concernant les connaissances des enseignants et la modélisation dans l'enseignement de la physique-chimie, nous effectuons une première synthèse du cadre théorique présenté précédemment.

2.5. Synthèse des outils issus de la didactique professionnelle

Cette revue rapide des travaux en didactique professionnelle nous apporte quelques éléments qui pourront nous aider à l'analyse de nos données en relation avec nos questions de recherche. Nous en faisons un résumé en quatre points :

L'action est organisée et intelligible. Son organisation interne est représentée par le concept de schème qui montre comment celle-ci est efficace, reproductible, adaptable et intelligible. Le schème est défini pour une classe de situations donnée. Cette classe de situations, à laquelle s'adresse le schème, peut être très petite ou très grande. Elle est fonction des compétences dont dispose le sujet.

L'action est une connaissance autonome et la prise de conscience est un travail de conceptualisation. C'est-à-dire que le sujet sait mobiliser des concepts, dans l'action, sans en avoir conscience. Cela fait référence à deux formes de connaissances : une forme prédicative et une forme opératoire. La première permet l'identification dans le réel des objets, des propriétés et de leurs relations. La seconde permet de prélever les informations et d'adapter l'action. La forme opératoire de la connaissance est première.

La tâche prescrite se distingue de l'activité. La tâche est liée au but à atteindre, ce qu'il y a à faire, et l'activité est ce que développe le sujet lors de la réalisation de la tâche. L'activité ne peut donc pas s'analyser indépendamment de la tâche. De plus, l'écart entre la tâche prescrite et le travail réel permet une analyse de l'activité réelle.

Des mécanismes de régulations accompagnent l'activité. Les régulations peuvent être définies comme proactives ou rétroactives. Les premières sont fondées sur l'anticipation et les secondes sur les résultats. Notre travail nous amène à étudier uniquement les régulations rétroactives de l'activité. Elles peuvent être classées en trois catégories : en boucle courte, en boucle longue et en boucle changement de schèmes. La première vise prioritairement la réussite de l'activité, la seconde recherche plutôt des éléments de compréhension et la troisième réoriente le sujet vers d'autres schèmes qui seraient plus adaptés aux propriétés de la situation et de la tâche.

Comme nous l'avons présenté dans l'introduction de ce chapitre, il s'agit, pour nous, d'étudier la tâche des élèves en lien avec l'activité des enseignants, dans le cas d'un enseignement de sciences expérimentales. Pour cela, nous allons examiner les travaux de recherche concernant la modélisation dans l'enseignement des sciences.

2.6. La modélisation dans l'enseignement des sciences

L'enseignement des sciences expérimentales nécessite notamment, de la part des enseignants, de construire des activités scolaires en lien avec la modélisation scientifique. Dans ce cas, le but de l'enseignant est de permettre l'apprentissage d'un concept ou la construction d'un modèle, comme par exemple le concept de masse ou la modélisation du poids. Dès lors, il se pose la question de la référence expérimentale et des types de savoirs sur lesquels l'apprentissage va se fonder (Coquidé, 2008). Pour Martinand (1986), la prise en compte des modèles permet de répondre à la question des rapports entre concret et abstrait, à celle de l'articulation entre théorique et expérimental. Il remarque cependant que la question n'est pas celle du choix d'un bon modèle à enseigner, mais plutôt de comment les modèles manipulés peuvent être hypothétiques, modifiables et pertinents pour le problème étudié.

2.6.1. Le référent empirique

C'est à propos de l'enseignement du concept d'élément chimique que Martinand a introduit la notion de *référent empirique* comme « l'ensemble des objets, phénomènes et procédés pris en compte - par expérience directe ou par évocation - et des premières connaissances d'ordre pratique qui leur sont associées » (Martinand, 1995c, p. 17). Il s'agit de construire une référence commune pour permettre le passage à la pensée scientifique. Martinand définit deux registres, dès 1986, que nous connaissons maintenant sous les noms de « référent empirique » et « élaborations intellectuelles ». Le premier, le référent empirique, est le registre d'une familiarisation pratique avec des objets, des processus, des procédés, des rôles, et le second est le registre des *élaborations intellectuelles*, celui des concepts, modèles et théories (Martinand, 1986). Passer d'un registre à l'autre c'est *modéliser*.

Pour Tiberghien et Vince (2005), c'est dans l'établissement de liens entre deux mondes, celui des modèles et théories et celui d'un monde d'objets et d'évènements que se fondent l'apprentissage et la construction de sens d'un concept donné⁴. Lhoste (2006) montre que ces deux concepts peuvent être rapprochés de ceux de registre empirique et de registre des modèles présents dans le schéma (Figure 2, p. 38) de la modélisation de Martinand (1996). Mais, pour Martinand, le référent empirique n'est pas constitué uniquement d'objets et d'évènements ; il comporte aussi les connaissances phénoménologiques, phénoménotechniques ou phénoménographiques qui leur sont associées.

Pour mieux cerner les démarches de construction d'un référent empirique et leur articulation, dans une perspective curriculaire ou de développement, Coquidé (1998) reprend le schéma de modélisation de Martinand et distingue trois « modes didactiques » différents pour la constitution d'un référent empirique pour les élaborations conceptuelles et modélisantes. Le premier mode est celui d'une familiarisation pratique avec des objets et des phénomènes et évoque une « expérienciation ». Il s'agit de familiariser l'élève à des objets ou à des phénomènes, de l'inciter à un questionnement de lui faire acquérir des savoir-faire préalables et des techniques d'investigation (instruments et procédures)

⁴ En référence à des travaux menés par l'équipe COAST (Communication et Apprentissage des Savoirs Scientifiques et Techniques).

suivant une logique « d'exploration et d'imitation ». Pour le second mode, celui de l'investigation empirique, elle parle « d'expérience-objet » et « d'expérimentation », au sens où l'expérience elle-même est aussi objet d'apprentissage. Ce qui est en jeu, alors, se situe aussi au niveau des méthodologies mises en œuvre. Le troisième mode enfin est celui de l'élaboration théorique ou « d'expérience-validation ». Dans ce mode, la commande essentielle est « le savoir théorique à construire, sa validation et son application ».

Nous reprenons le schéma de Martinand (Figure 2, p. 38) car il permet de décrire la tâche de l'élève durant l'apprentissage : d'un côté, les processus de modélisation que les élèves peuvent prendre en charge, en tout ou en partie, avec la notion de « tâche ou problème impliquant la modélisation » ; de l'autre les « tâches d'application du modèle ».

2.6.2. Un schéma de modélisation

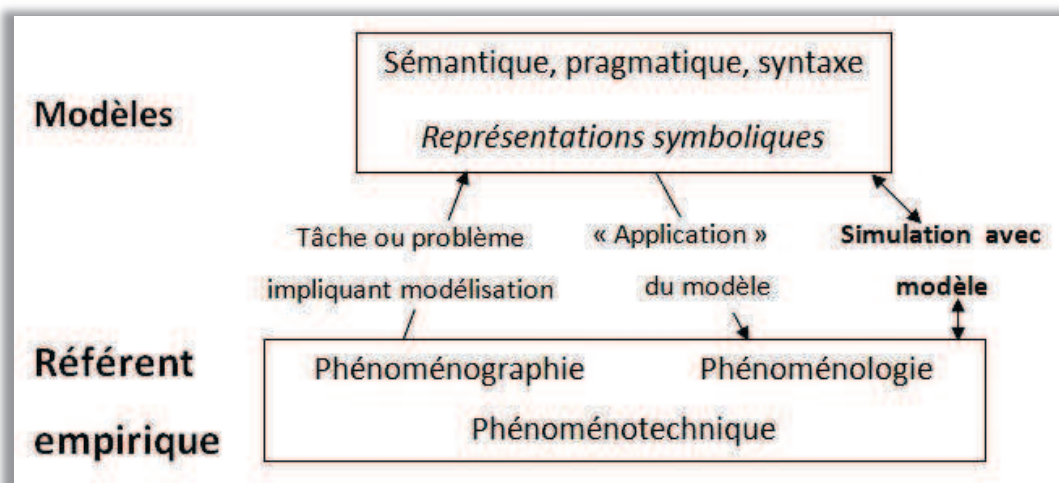


Figure 2 : Schéma sur la modélisation en sciences (Martinand, 1996)

Dans son schéma sur la modélisation en sciences (Figure 2, ci-dessus) Martinand (1996) distingue deux registres : « le registre des modèles et le registre du référent empirique » (pp. 6-7). Le registre du référent empirique est celui des objets, des phénomènes et de leur connaissance phénoménographique, c'est-à-dire leur description empirique mais déjà conceptualisée. Il décrit le réel que l'élève construit et tente de comprendre. Le choix et la définition du référent empirique sont de la responsabilité de la didactique car les objets et les phénomènes ne sont pas « donnés » mais ils sont le résultat d'une lecture de la « réalité ». Cette lecture n'est pas forcément la même pour les élèves et pour des adultes instruits (Bisault, 2009).

Le second registre est celui des modèles construits sur ces référents, selon des exigences qui n'ont pas de solution sur le premier niveau. Il décrit le modèle mobilisé qui permet d'interpréter et de représenter le réel. Ce registre comprend des composantes "sémantiques", "syntaxiques" et "pragmatiques" de l'élaboration et de l'utilisation des modèles (Walliser, 1977). Ce sont les enjeux, les systèmes symboliques c'est-à-dire une sémiographie pour représenter les éléments du modèle (Sanchez, 2008), les ressources qu'apportent ces aspects du modèle pour questionner le référent empirique, se représenter, expliquer, prévoir, inventer.

Ce schéma de la modélisation aide à distinguer l'enseignement d'un modèle, de l'enseignement de la modélisation. Nous sommes dans une perspective didactique de modélisation scientifique et non pas dans une perspective de psychologie cognitive de modèles mentaux (Coquidé & Le Maréchal, 2006). Le processus de modélisation est dynamique : le schéma distingue une description première devant donner lieu à une construction consensuelle (phénoménographie), et une description seconde où le modèle se projette sur le référent (phénoménologie). Ce qui est référent à un moment donné est une description qui remplace la réalité qu'on ne connaît pas ; de la même façon, un modèle peut se substituer à une description antérieure et être incorporé comme phénoménologie dans un nouveau registre empirique (Larcher, 2003). Ce schéma permet enfin d'envisager la simulation qui est une manipulation-exploration du modèle et de ses virtualités, en relation avec le référent.

Nous finissons ce tour d'horizon des travaux de recherche en relation avec notre problématique de recherche par les études qui concernent les connaissances des enseignants. Nous présentons d'abord un bref historique des travaux menés, puis nous détaillons le modèle que nous utiliserons dans notre analyse.

2.7. *Les connaissances des enseignants*

2.7.1. Point historique

D'après Abell (2007), entre les années 1960 et 1970, la recherche était centrée sur l'enseignant, elle définissait ses connaissances en termes de compétences et de qualification, mais sans lien avec la pratique de classe. Il faut attendre les études de Smith et Cooper (1967), puis celles de Bruce (1971), pour voir la recherche s'élargir à la pratique enseignante. Les chercheurs vont alors s'intéresser aussi aux résultats des élèves

(Northfield & Fraser, 1977 ; Rothman, Welch, & Walberg, 1969). Ces études ont débouché sur une production de « connaissances de base » (Reynolds, 1989) nécessaires pour enseigner. Fenstermacher (1994) parlera du « known » et définira les connaissances « TK/F, formal knowledge », les connaissances à propos de l'enseignement.

Dans les années 1980, la recherche sur les connaissances des enseignants se focalise sur leur pratique. Ils sont considérés comme les *knowers*, et les études permettent de définir ce que Fenstermacher nommera les « TK/P, practical Knowledge », les connaissances de l'enseignant dans la pratique d'enseignement. Dans cette étude, outre la classification des connaissances de l'enseignant, Fenstermacher expose quatre programmes de recherche : trois concernent les productions des enseignants et la maîtrise des connaissances (Clandinin & Connelly, 1996 ; Schön, 1983 ; Schön, 1987 ; Cochran-Smith & Lytle, 1993 ; Cochran-Smith & Lytle, 1999) et un programme tente de définir « les connaissances essentielles pour enseigner » (Shulman, 1986). Cette étude est menée dans différentes disciplines (par exemple, Anglais, sciences sociales, sciences), et a pour objectif de rendre l'enseignement plus efficace. Il poursuit les travaux précédents considérant l'enseignant comme knower, en étudiant ses connaissances du sujet et sa façon de l'enseigner. Aux États-Unis, son modèle va servir de base à la formation des nouveaux enseignants, et sera repris dans des rapports comme *Standards for Science Teacher Preparation* (National Science Teachers Association, 1998).

2.7.2. Le modèle de Shulman

Ce qui distingue un enseignant débutant d'un enseignant expert est la maîtrise de chaque connaissance (Steve Oliver, 2007) ; « la capacité d'un enseignant à transformer sa connaissance d'un contenu, dans une forme pédagogique efficace et adaptée aux variations et au contexte présentés par les élèves » (Shulman, 1987, p. 8).

Gess-Newsome (1999) écrit qu'en 1986, Shulman, définit d'abord trois types de « content understanding », compréhension du contenu⁵, et étudie leur impact en classe : « Subject Matter Knowledge (SMK) », la connaissance disciplinaire du sujet, « Pedagogical Knowledge (PK) », la connaissance pédagogique, et « Curricular Knowledge (CK) », la connaissance curriculaire.

⁵ Les formulations de Shulman sont traduites par nos soins.

Puis, il fait évoluer son modèle en redéfinissant les PK en *PCK* (Pedagogical Content Knowledge), connaissances pédagogiques liées au contenu disciplinaire. Magnusson et al. (1999) rapportent que Shulman a nommé ce type de connaissances *PCK* pour exprimer chez l'enseignant un développement des connaissances du contenu et de la pédagogie (Gess-Newsome & Lederman, 1999). Le concept de PCK est défini comme une connaissance spécifique pour enseigner (Shulman, 1986). Les PCK sont une reconnaissance de l'importance de la transformation des connaissances disciplinaires d'un sujet (SMK), en connaissances pour enseigner. De fait, les PCK sont décrits comme des connaissances utiles pour transformer le contenu du sujet dans une forme plus compréhensible pour les élèves (Geddis, Onslow, Beynon, & Oesch, 1993 ; Grossman, 1990 ; Shulman, 1986, 1987). Cela implique « de comprendre le sujet, de trouver de nouvelles approches, de les réorganiser en lien avec des activités et les émotions, en exercices et en métaphores, en exemples et en démonstrations, et il pourra être compris par des élèves » (Shulman, 1987, p. 9).

En 1987, les PCK ont été inscrites par Shulman comme l'une des sept connaissances de bases pour l'enseignement. Elles sont au même niveau que les connaissances du contenu du sujet, les connaissances pédagogiques générales, les connaissances des programmes, les connaissances des apprenants, les connaissances des contextes éducatifs, et les connaissances de l'histoire philosophique et des buts de l'éducation.

2.7.3. Évolutions du modèle de Shulman

Plus tard, Shulman et ses collègues ont continué à explorer les PCK avec, en fin de compte, leur reconnaissance dans l'intégration et la transformation en d'autres formes de connaissances (Willson, Shulman, & Richert, 1987). La description la plus complète se trouve dans l'étude de Grossman (1990), qui définit les « quatre grands domaines de connaissance de l'enseignant (...) comme les pierres angulaires de l'émergence de travaux sur les connaissances professionnelles de l'enseignement : des connaissances pédagogiques générales (PK), les connaissances disciplinaires d'un sujet (SMK), les connaissances pédagogiques liées au contenu disciplinaire (PCK), et la connaissance du contexte KofC » (p. 5). De ces quatre bases de connaissances, les PCK sont celles ayant le plus grand impact en classe, par l'action de l'enseignant.

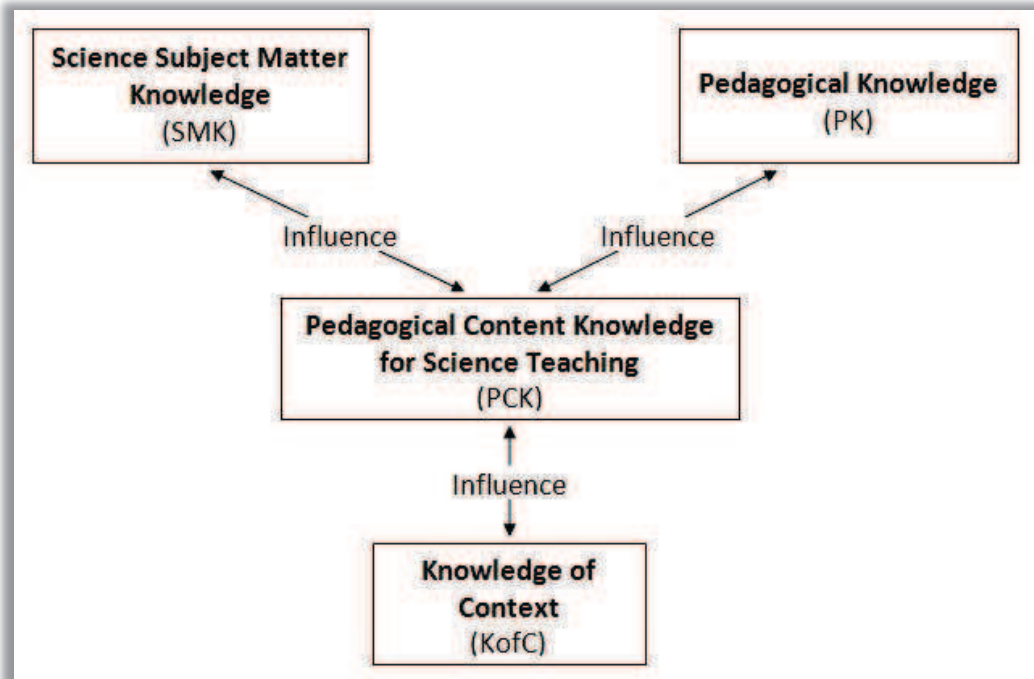


Figure 3 : *A model of the relationships among the domains of teacher knowledge* (Grossman, 1990)

Ces quatre catégories sont liées entre elles :

- **Les connaissances du contenu disciplinaire (SMK)** : il s’agit des connaissances que l’enseignant est chargé d’enseigner (en lien avec le sujet d’étude) mais pas exclusivement. D’après Abell (2007), Schwab (1964) définit deux types de connaissances disciplinaires : « syntactic and substantive ». D’une part ce sont des connaissances sur l’organisation des concepts, des faits, des principes et des théories ainsi que les relations qui les organisent. D’autre part, la structure syntaxique se réfère principalement aux voies de la découverte et aux critères de vérification (preuves) de la qualité des données et du savoir. Ajoutons deux catégories aux précédentes : les convictions et les croyances des enseignants à propos de la discipline (Grossman, Wilson, & Shulman, 1989) ;
- **Les connaissances pédagogiques générales (PK)** : elles incluent la connaissance des principes pédagogiques, la gestion de la classe, les apprenants et l’apprentissage et des objectifs éducatifs, tout ce qui ne concerne pas les contenus disciplinaires ;
- **Les connaissances sur le contexte (KofC)** : elles sont tout ce que l’enseignant sait du contexte dans lequel il enseigne tant au niveau de l’établissement (situation

géographique, sociale, etc.) que de l'origine des élèves (sociale, culturelle, etc.). Ce sont des connaissances qui influencent son enseignement au quotidien ;

- **Les connaissances pédagogiques liées au contenu (PCK)** : elles sont développées par les enseignants pour aider les élèves à comprendre et apprendre un contenu.

Cette dernière catégorie, les PCK, nous intéresse tout particulièrement car elle apporte un cadre d'analyse pertinent à notre recherche. En effet, c'est pour aider les élèves à comprendre et à apprendre un contenu que les enseignants mobilisent des connaissances. De plus, ce modèle nous permet de repérer les connaissances spécifiques à l'enseignement de ce contenu.

2.7.4. Les connaissances du contenu pédagogique (PCK)

En résumé, nous pouvons dire que les PCK sont utilisés pour adapter les connaissances disciplinaires (SMK) dans des situations pédagogiques, à travers le procédé que Shulman appelle « transformation », alors que Ball (1990) parle de « représentation », Veal et MaKinster (1999) de « translation », Bullough de « professionnalisation » et Dewey de « processus psychologisant »⁶ cités par Park et Oliver (2007)

Les chercheurs ont étudié les PCK suivant différents cadres théoriques. Il en ressort un manque de cohérence, ce qui rend difficile leur catégorisation (Abell, 2007). Par exemple, le mot « connaissance » inclut des termes comme conceptions, perceptions, théories, soucis et croyances (ou convictions). Une autre interrogation est régulièrement portée. Elle concerne la relation entre les PCK et le contenu enseigné. Une PCK est-elle spécifique d'un contenu enseigné ? Dans l'enseignement de l'électricité un professeur mobilise-t-il d'autres PCK que dans l'enseignement de la mécanique ?

La nature des connaissances qui constituent les PCK ne fait pas consensus. La méthodologie pour les identifier est questionnée. Pour certains chercheurs, celle qui consiste à analyser uniquement la préparation des enseignants paraît insuffisante, pour les identifier. Peterson et Treagust (1995) suggèrent d'étudier les PCK en amont et en aval de

⁶ Expressions traduites par nos soins

la préparation, c'est-à-dire d'en étudier les effets dans la pratique de la classe, et pas uniquement sur le temps de préparation.

2.7.5. Choix d'un modèle de PCK

Nous suivons Hashweh (2005) lorsqu'il dit qu'une PCK est, par définition, liée à un contenu. De fait, la distinction avec les connaissances pédagogiques (PK) est claire. Dès qu'une connaissance n'est pas liée à un contenu, c'est une connaissance pédagogique. Par exemple, lorsque les enseignants font varier les dispositifs, pendant une séance, pour y apporter du rythme et éviter que les élèves ne restent trop longtemps en interaction avec les mêmes objets.

Nous avons dit précédemment que la nature des connaissances qui composent les PCK ne fait pas consensus. Van Driel et al. (1998) dressent un bilan des recherches qui ont eu lieu entre 1987 et 1995 sur les composantes des PCK. Elles sont présentées sous la forme d'un tableau (Annexe 21). Deux catégories sont communes à toutes les recherches : les stratégies d'enseignement, et les connaissances sur les apprentissages des élèves et leurs difficultés.

Dans le modèle issu des travaux de Magnusson, Krajcik et Borko (1999), nous retrouvons les deux catégories communes aux recherches entre 1987 et 1995. Dans ce modèle, les PCK se composent de la façon suivante (Figure 4, p. 45) :

- Les orientations de l'enseignant pour l'enseignement des sciences, incluant sa connaissance des objectifs et des approches générales pour cet enseignement ;
- Les connaissances curriculaires en sciences ;
- Les connaissances de l'évaluation en sciences, y compris de ce qu'il faut évaluer et de comment l'évaluer ;
- La connaissance des stratégies éducatives en sciences, y compris les représentations, les activités, et des méthodes ;
- La connaissance de ce que peuvent comprendre les élèves en sciences, les conceptions communes et les zones de difficultés.

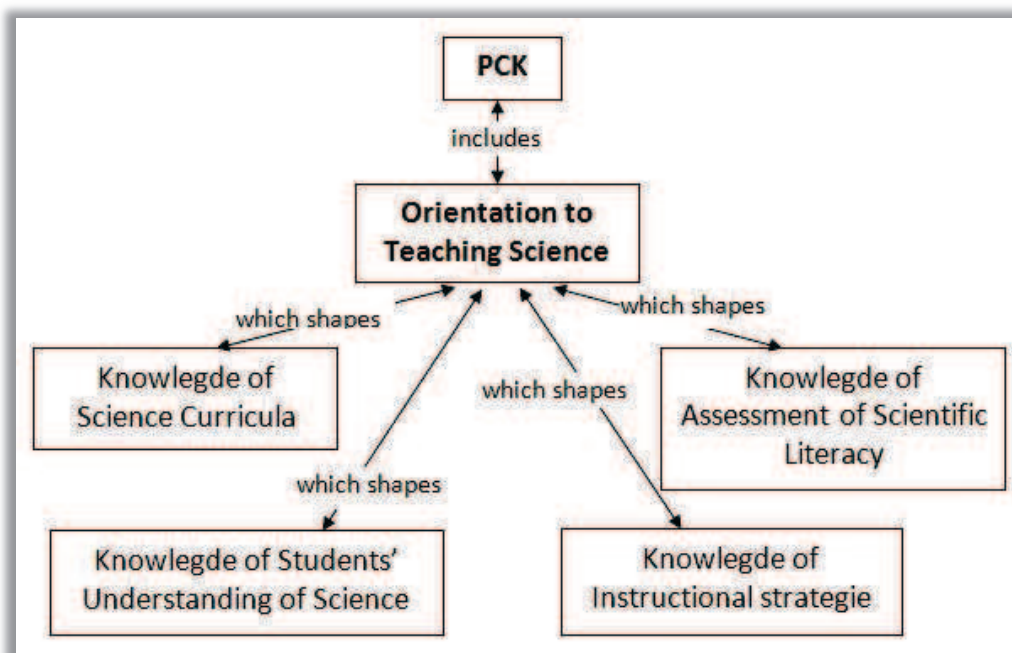


Figure 4 : *Examining Pedagogical Content Knowledge* (J. Gess-Newsome et N.G. Lederman, 1999)

La connaissance « orientations de l'enseignant pour l'enseignement des sciences⁷ » chapeaute les quatre autres composantes. Il est à noter que chacune des quatre catégories est composée de sous catégories.

2.7.6. Étude des cinq composantes des PCK

2.7.6.1. Orientation pour l'enseignement des sciences

Cette composante des PCK, *l'orientation pour l'enseignement des sciences* se réfère aux connaissances des enseignants à propos des buts et des objectifs pour enseigner les sciences à un niveau d'étude particulier.

Anderson et Smith (1987) ont introduit le terme d' « orientation » comme moyen de catégoriser les approches disparates pour l'enseignement des sciences : les activités conduites, la didactique, les approches sous forme de découverte et le changement conceptuel. Grossman (1990) inclut la catégorie « objectifs pour l'objet d'enseignement », que Magnusson et al. (1999) ont remplacé par le terme « orientation ». Ils ont utilisé ce terme afin de définir les connaissances des buts et des objectifs des enseignants pour l'enseignement des sciences, d'une part, mais aussi, d'autre part, une orientation appelée « vue générale ou conceptualisation de l'enseignement des sciences » (Ibid., p. 97). Ils ont

⁷ Traduit par nos soins

élargi la liste d'Anderson et Smith de quatre à neuf orientations (Annexe 21 et Annexe 23).

Chaque orientation a été décrite suivant deux caractéristiques qui sont utiles pour les définir et les différencier les unes des autres : les buts de l'enseignement des sciences que l'enseignant aurait suivant une orientation particulière (Annexe 21), et les caractéristiques de l'enseignement qui serait mené par un enseignant suivant une orientation particulière (Annexe 23). Le choix de l'orientation fait par l'enseignant dépend du contenu traité, de la classe dans laquelle il enseigne, du contexte social dans lequel est situé l'établissement etc. Il peut aussi choisir des orientations différentes au cours de la séance.

Des recherches ont montré qu'il existait bien une influence des orientations sur les apprentissages et la pratique des enseignants, même si cette influence n'est pas directe (Anderson, Smith, & Peasley, 2000 ; Lantz & Kass, 1987 ; Lemberger, Hewson, & Park, 1999). Cependant, le choix d'une orientation par l'enseignant peut changer très souvent ce qui peut rendre difficile leur étude (Anderson & al., 2000 ; Bryan & Abell, 1999 ; Sweeney & al., 2001). De plus, selon Abell (2007), l'inclusion des orientations dans le modèle des PCK est problématique. Premièrement, une orientation est théorisée comme une vue générale de l'enseignement des sciences, et non pas comme des connaissances spécifiques d'un sujet. Deuxièmement, ces vues générales de l'enseignement des sciences et des apprentissages sont souvent étudiées en tant qu'interactions entre les connaissances, les croyances et les valeurs, et non pas strictement comme une structure de connaissances.

2.7.6.2. Connaissances sur les élèves

Cette catégorie de PCK porte sur la connaissance que les enseignants ont des apprentissages des élèves en sciences : les exigences de l'apprentissage de certaines notions, les parties que les élèves trouvent difficiles, les approches de l'apprentissage des sciences, et les conceptions alternatives. Elle comporte deux sous-catégories : les pré-requis nécessaires pour l'apprentissage d'une notion et la connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés. La première concerne la connaissance de l'enseignant de ce que l'élève doit savoir pour comprendre et apprendre une nouvelle notion scientifique. La seconde concerne les notions qui posent des problèmes de compréhension et d'apprentissage, dans les programmes.

2.7.6.3. Connaissance des programmes de sciences

Magnusson et al. (1999) ont défini deux types de connaissances qui sont rangées en deux sous-catégories : la connaissance des buts et objectifs dans les programmes officiels (attentes nationales) et la connaissance spécifique du programme et du matériel pédagogique. La première sous-catégorie concerne une connaissance globale des programmes de leur discipline qui dépasse le seul niveau dans lequel ils enseignent. La seconde rend compte de la connaissance de l'enseignant de tout ce qui concerne le matériel disponible et un ensemble de documents disponibles à l'échelle de son établissement.

2.7.6.4. Connaissance des stratégies d'enseignement des sciences

Ce type de connaissances des enseignants inclut des stratégies spécifiques à l'enseignement de certains sujets : par exemple sur un cycle d'apprentissages, l'utilisation d'analogies, de démonstrations ou d'expériences. Elle est composée de deux sous-catégories : des connaissances sur des activités spécifiques à un sujet en sciences et des connaissances plus générales sur des stratégies pour l'enseignement des sciences (pour plusieurs sujets). Prenons un exemple concernant la première sous-catégorie. Un enseignant sait, par exemple, que pour conceptualiser le poids d'un corps, il faut mettre en place une activité expérimentale dans laquelle l'élève suspend des objets de différentes masses à un ressort ou un dynamomètre pédagogique afin d'observer les effets et d'en faire des mesures. Cette approche n'est pas forcément la même pour d'autres concepts. La seconde sous-catégorie peut être illustrée par une approche de certaines notions à partir de l'analyse d'une bande dessinée : par exemple, à propos des éclipses de Lune, de la gravitation, de la lumière etc.

2.7.6.5. Connaissance de l'évaluation scientifique

Selon Magnusson et al. (1999), ce type de connaissances des enseignants englobe la compréhension de ce qui est important à évaluer dans l'apprentissage des sciences, ainsi que la connaissance des méthodes d'évaluation des apprentissages en sciences. Le premier aspect concerne la compréhension des concepts, l'évaluation de thèmes interdisciplinaires, des principes clés et les idées qui fournissent une description de la science comme un moyen de savoir, ainsi que les caractéristiques de la connaissance

scientifique « nature of science », des investigations scientifiques et des capacités expérimentales. La seconde sous-catégorie concerne la connaissance des enseignants des moyens qui pourraient être employés pour évaluer les aspects spécifiques de l'apprentissage des élèves, importants pour un thème.

2.7.7. Connaissances des enseignants et action

Notre présentation des cadres théoriques, dans les pages précédentes, apporte des outils conceptuels pour nous aider à analyser nos données du côté de l'activité des enseignants et de son organisation, ainsi que sur les types de connaissances qu'ils pourraient mobiliser pendant leur enseignement. Mais, pour pouvoir mener cette étude, nous questionnons la relation entre les connaissances de l'enseignant et son action dans sa classe.

Nous avons vu, dans le paragraphe 2.2.1. (p. 15) que pour Vergnaud, le sujet sait mobiliser des connaissances-en-acte pour atteindre son but. C'est-à-dire, qu'il sait mobiliser des concepts, dans l'action, qu'il a d'abord construits avant de les avoir appris. Ce qui amène Vergnaud à distinguer les connaissances prédicatives des connaissances opératoires. Ces deux formes sont indissociablement liées, avec la forme opératoire qui est première. Pour Altet (2002), l'activité professionnelle se traduit « par la mise en œuvre des savoirs, procédés et compétences en acte par un sujet » (p. 86). Les deux points de vue nous paraissent assez proches et soulignent le lien entre activité et connaissances professionnelles, ce que nous retrouvons aussi dans les travaux de Van Driel et al. (1998).

Grangeat et Munoz (2011) ont défini le concept de « savoir-processus » pour étudier le rôle « des savoirs professionnels dans la pratique enseignante » (p. 9). C'est une adaptation du schème tel qu'il est défini par Vergnaud (1996) associée à la notion de connaissance du processus de travail proposée par Fischer et Boreham (2004). Il est défini comme une unité élémentaire d'un « modèle opératif » (Pastré, 2005) qui est « comme un modèle cognitif qui sous-tend les activités professionnelles (...) pour comprendre les savoirs et les pratiques enseignantes » (p. 10). Le *savoir-processus* est constitué de quatre éléments. Il regroupe le but de l'action, le ou les indices qui la déclenchent, la ou les règles d'action mises en œuvre et les connaissances qui justifient, à la fois, l'action et les choix réalisés en cours d'action.

Les *savoir-processus*, comme les *schèmes*, représentent l'organisation de l'activité des enseignants. Ils renseignent le *modèle opératif* de chaque enseignant « autour de

quelques dimensions critiques de la situation en vue de faciliter l'action pratique » (p. 7). C'est-à-dire que nous ne sommes pas dans une modélisation « dynamique » de ce qui se passe dans la classe en termes de changements de buts et de régulations suivant une échelle de temps mais plutôt dans une modélisation « statique » de ce qui est fait afin de renseigner le modèle opératif. Les *savoirs-processus* sont regroupés selon leurs buts génériques (Grangeat, 2011). Cette « photographie » du modèle opératif de chaque enseignant permet de caractériser son expertise en analysant le développement et l'extension du modèle opératif et elle renseigne aussi sur ses besoins en formation.

Notre choix pour étudier l'organisation de l'activité des enseignants se porte sur le concept de schème et pas sur celui de savoir-processus car notre problématique nécessite d'identifier les changements de but et les régulations opérées par les enseignants dans l'action. En effet, c'est à partir de ces écarts entre ce qu'ils ont prévu et ce qu'ils réalisent que nous pensons identifier les connaissances professionnelles.

Nous avons vu que le schème « est une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée » (Vergnaud, 1990). Cette articulation, opérée par Vergnaud, entre la notion de schème et celle de situation, permet de montrer que toute activité est organisée. Cette organisation est déterminée par la classe de situations à laquelle le schème se rapporte. Vergnaud donne, dans sa définition analytique, ses éléments constitutifs qui sont au nombre de quatre. Il est nécessaire de les identifier pour comprendre comment le schème fonctionne, comment il génère l'action.

C'est dans les invariants opératoires que vont se retrouver les connaissances des enseignants. Ce sont des théorèmes-en-acte et concepts-en-acte, c'est-à-dire, des propositions tenues pour vraies et des objets ou des prédicats qui sont tenus pour pertinents, pour la prise d'information nécessaire à l'action. Nous voyons bien la relation entre des propositions, les concepts et les connaissances des enseignants.

Il nous reste maintenant à savoir si le concept de PCK est compatible avec les connaissances-en-acte, suivant les définitions données précédemment. Le concept de PCK n'est pas issu d'un cadrage théorique mais d'une analyse « des tests pour les professeurs, utilisés pour certifier des candidats au niveau d'un comté »⁸ (Shulman,

⁸ Les citations de Lee Shulman dans ce paragraphe sont tirées d'un article de la revue Education et Didactique, Vol 1, avril 2007. Sensevy et Amade-Escot font une analyse de ces travaux et présentent une « traduction commentée » de son article publié en 1985 qui s'intitule « Those who understand. Knowledge

1985). Shulman constate qu'entre 1885 et 1980, les objets évalués ont changé : du contenu disciplinaire en 1885, du contenu pédagogique en 1980. Il déclare que la distinction entre savoir et pédagogie « ne représente pas une tradition séculaire, mais vient plutôt d'un développement plus récent » (Ibid., p. 102). Il se pose alors le problème de réunir plutôt que de distinguer le contenu disciplinaire et la pédagogie, dans l'idée de « réfléchir sur la connaissance qui se développe dans les esprits des professeurs, et plus particulièrement sur celle relative aux contenus » (Ibid., p. 104). Il définit, alors, la connaissance pédagogique du contenu (PCK) qui répond bien, selon lui, à la réflexion précédente. Ce sont des connaissances propres à l'enseignement d'un contenu.

Par conséquent, le concept de PCK n'appartient pas à un paradigme particulier. Il peut être très utile comme cadre d'analyse des connaissances des enseignants et répond bien à notre question concernant la compatibilité entre les connaissances des enseignants et l'action dans la classe.

2.8. Synthèse du cadre théorique

Depuis la synthèse des outils issus de la didactique professionnelle, nous avons présenté un modèle décrivant quatre catégories de connaissances de l'enseignant dont les PCK qui nous intéressent particulièrement. Au départ, elles sont un amalgame entre des connaissances disciplinaires et des connaissances pédagogiques. Mais, l'évolution du modèle, suivant Grossman, montre que la connaissance du contexte d'enseignement influence aussi les PCK.

Les PCK dépendent d'un contenu à enseigner. Dans le modèle sur lequel nous prendrons appui pour analyser les connaissances mobilisées par les enseignants, les PCK ont cinq composantes incluant chacune des sous-catégories :

- Les orientations de l'enseignant pour l'enseignement des sciences, incluant sa connaissance des objectifs et des approches générales pour cet enseignement ;
- Les connaissances curriculaires en sciences ;

- Les connaissances de l'évaluation en sciences, y compris de ce qu'il faut évaluer et de comment l'évaluer ;
- La connaissance des stratégies éducatives en sciences, y compris les représentations, les activités, et des méthodes ;
- La connaissance de ce que peuvent comprendre les élèves en sciences, les conceptions communes et les zones de difficultés.

Ces sous-catégories nous permettent d'effectuer une analyse extrêmement fine des connaissances en jeu que nous qualifierons de niveau microscopique. Ces éléments de connaissances sont mobilisés par les enseignants quand le discours se précise.

2.9. *Questions et hypothèses de recherche*

Notre questionnaire porte sur les connaissances professionnelles mobilisées par les professeurs dans leur enseignement des sciences expérimentales. Il s'agit d'identifier les types de connaissances en jeu dans la préparation de la classe et au cours de sa mise en œuvre. Notre problématique s'articule autour de trois questions principales :

- Quelles connaissances professionnelles sont mobilisées par les enseignants ?
- Comment évoluent-elles au cours de l'activité du professeur ?
- Quelles sont les spécificités dans l'activité du professeur, des connaissances professionnelles en jeu, lors de DI ?

Les cadres théoriques que nous avons présentés dans ce chapitre nous permettent d'articuler l'action des enseignants avec leurs connaissances. Nous étudions l'organisation de leur activité qui est représentée par le concept de schème. Dans cette organisation, nous faisons l'hypothèse que nous trouverons des connaissances professionnelles dans les invariants opératoires (§ 2.7.7. p. 48). Nous mobilisons le concept de PCK comme cadre d'analyse des connaissances des enseignants en nous référant au modèle de Magnusson, Krajcik, et Borko (1999) pour caractériser les types de connaissances professionnelles en jeu. La première question principale se décline donc en sous-questions de la manière suivante :

- Quels types de connaissances identifions-nous dans les invariants opératoires ?
- Retrouvons-nous les catégories et les sous-catégories de notre modèle de référence ?

- Identifions-nous d'autres catégories ou sous-catégories ?
- Existe-t-il des connaissances dans d'autres composantes du schème ? Le cas échéant, de quel type sont-elles ?
- Quel est l'impact des types de connaissances sur l'activité des enseignants et son organisation ?

L'analyse de l'activité des enseignants à partir du concept de schème nous permet d'identifier les changements de but dans l'action, suite à un *incident critique*. D'un point de vue méthodologique, un *incident critique* est un imprévu que les enseignants ont identifié et qu'ils peuvent caractériser. Nous appelons un *imprévu* une situation de classe qui n'a pas été anticipée par le professeur. Il peut être une réponse d'élève, une attitude, une difficulté inattendue dans une activité, etc.

Nous étudions ces changements dans l'activité des enseignants car nous pensons pouvoir, d'une part, interroger leur préparation, c'est-à-dire ce qu'ils ont prévu et, d'autre part, identifier les régulations qu'ils opèrent dans l'action, c'est-à-dire ce qu'ils réalisent. C'est à partir du concept de boucle de régulation rétroactive de l'activité que nous analysons les conséquences de l'écart entre le prévu et le réalisé. Par conséquent, la seconde question principale se décline en sous-questions de la manière suivante :

- Comment se construisent les nouvelles connaissances ?
- De quel(s) type(s) sont-elles ?
- Comment participent-elles à l'organisation de l'activité et à sa conduite ?
- Comment contribuent-elles à l'acquisition d'expérience des enseignants ?

Notre étude prend en compte l'enseignement des sciences par les démarches d'investigation. Elle nous conduit à comparer des mises en œuvre dans le premier degré et dans le second degré. La troisième question principale se décline donc en sous-questions de la manière suivante :

- Observons-nous les enseignants mobiliser des types de connaissances spécifiquement à certains moments des DI ?
- Entre le premier et le second degré, quels sont les points communs et les différences, du côté de l'activité du professeur dans la mise en œuvre de DI et du côté des connaissances professionnelles ?

Notre travail a nécessité la construction d'une méthodologie qui permette de passer de l'observation des enseignants en action dans la classe à l'identification des connaissances qu'ils avaient mobilisées dans cette action. Nous présentons au chapitre suivant notre méthodologie.

Chapitre 3 : Méthodologie

3.1. *Introduction*

Ce chapitre présente la méthodologie que nous avons élaborée pour répondre à nos questions de recherche.

Nous débutons ce chapitre par la présentation de nos principes méthodologiques. Ils s'articulent autour de notre idée principale qui est d'analyser l'écart entre la préparation de la classe et la mise en œuvre dans la classe. Puis, nous explicitons nos outils de recueil de données. Ils nous permettent de suivre le travail des enseignants hors classe et en classe. Nous explicitons le contexte de l'étude. Nous avons constitué un binôme de professeurs par niveau que nous avons suivi pendant deux années consécutives au collège, et pendant une année à l'école primaire. Nous poursuivons en présentant nos outils de traitement des données que nous exemplifions en fin de chapitre.

3.2. *Principes méthodologiques*

Notre problématique nous conduit à construire une méthodologie propre à cette recherche. Nous analysons l'activité des enseignants en classe que nous comparons à leur préparation afin d'identifier les connaissances professionnelles et leurs évolutions. Nous construisons notre méthodologie suivant trois principes : un suivi des enseignants qui

englobe leur activité hors classe, une comparaison de ce qui est prévu et de ce qui est réalisé, la confrontation du professeur à son action.

3.2.1. Le suivi hors classe des enseignants

Une part importante du travail des enseignants a lieu en dehors de la présence des élèves, au sein ou en dehors de l'établissement (domicile, activités socio-culturelles). Il s'agit, pour nous, de garder une trace de leur activité en lien avec leur enseignement. Pour cela, nous mettons en place un suivi continu tout au long de notre étude, un contrat entre le chercheur et chaque enseignant pour avoir accès à son activité pendant une durée significative. Le professeur est associé au recueil des données, ce qui l'incite à un travail réflexif (Gueudet & Trouche, 2010). Nous devons prendre en compte toutes les interactions des enseignants qui ont un impact sur leur enseignement.

3.2.2. Une étude de l'écart entre le prévu et le réalisé

Nous savons qu'une spécificité du métier d'enseignant par rapport à d'autres professions est que le cours enseigné n'est jamais une application *à la lettre* de la préparation. Des écarts sont observables dans la classe lorsque l'enseignant opère une ou plusieurs régulation(s) pour atteindre son but. Nous pensons que l'étude spécifique de ces écarts nous permet d'identifier les connaissances professionnelles des professeurs mais aussi leurs évolutions.

Les régulations opérées par les enseignants doivent pouvoir être identifiées par le chercheur. Pour cela, nous avons les données issues du travail hors classe des enseignants que nous comparons à la mise en œuvre en classe. Cette étude est menée en deux temps. Le premier temps consiste à analyser des interactions entre le professeur et les élèves dans l'action de la classe. Le chercheur peut identifier des tensions qui sont discutés à chaud à la fin du cours avec le professeur. Dans un second temps, l'analyse peut être faite à partir d'enregistrements audio et/ou vidéo. Ces enregistrements peuvent donner lieu à des transcriptions qui permettent d'effectuer des analyses suivant des grains différents.

La collaboration des professeurs au recueil des données se poursuit lors du choix de la constitution du corpus. Il constitue la base empirique sur laquelle nous effectuons notre analyse. Nous sollicitons son regard *réflexif* sur sa propre activité car il nous permet d'avoir accès à l'ensemble de son activité, hors classe et en classe. Nous présentons au

paragraphe 3.3 (p. 57) nos outils de recueil de données qui sont inspirés de la méthodologie d'investigation réflexive de Gueudet et Trouche (2010).

3.2.3. La confrontation du professeur à son action

Dans les paragraphes précédents, nous avons présenté quelques principes méthodologiques nous permettant d'identifier les connaissances professionnelles des enseignants. Un autre principe que nous avons retenu est de confronter le professeur à son action. Ceci peut se faire par le biais de vidéos, et d'autoconfrontations. Nous avons aussi décidé de suivre deux enseignants simultanément. Cela suppose que les deux professeurs enseignent le même thème. Ce principe nous permet de mettre en place un dispositif dans lequel l'action d'un enseignant est analysée par lui-même et par l'autre professeur du binôme. Ce dispositif est préparé en amont : chaque enseignant participe avec le chercheur à l'élaboration du corpus qui sera discuté avec l'autre élément du binôme. Nous retrouvons l'aspect *réflexif* de la méthodologie décrite aux paragraphes précédents qui permet à chaque professeur une auto-analyse de son action. Au cours de ces auto-analyses, les discussions au sein du binôme peuvent se décentrer sur un objet d'analyse pour lequel les enseignants peuvent se référer à leur préparation, à une formation suivie, etc.

Nos outils de recueil de données nous permettent d'apporter des éléments de réponses à nos questions de recherche. Nous les présentons en distinguant ceux mis en place pour le premier degré et ceux pour le second degré.

3.3. Outils de recueil de données

Ces outils de recueil de données nous permettent d'apporter des éléments de réponses à nos questions de recherche. Nous présentons nos outils de recueil de données en distinguant ceux mis en place pour le premier degré et ceux pour le second degré.

3.3.1. Un questionnaire de présentation

Le questionnaire (Annexe 25, p. 284) est distribué de façon à pouvoir être discuté au premier entretien en début de séquence d'observation. Il a été construit de manière à collecter des renseignements sur chaque professeur du point de vue de son histoire professionnelle, sur la classe qui sera observée, sur l'enseignement des sciences ou de la

physique-chimie et sur l'aspect collectif du travail enseignant. Le document est organisé suivant les paragraphes :

1. Histoire professionnelle
2. L'environnement de travail actuel : élèves, collègues, matériel
3. L'enseignement de la physique-chimie au collège ou des sciences à l'école
4. Travail collectif dans et hors établissement scolaire

Ce questionnaire permet au chercheur de préparer le premier entretien avec l'enseignant. Nous nous focalisons notamment sur les informations qui sont en relation directe avec l'enseignement des sciences ou de la physique-chimie. Elles peuvent être liées au vécu de l'enseignant, aux activités dans le système scolaire et extra-scolaire (par exemple des activités dans le monde associatif). Les conséquences peuvent apparaître dans les orientations que l'enseignant prend pour l'enseignement de son domaine ou de sa discipline, dans certains choix ou certaines prises de décisions de l'enseignant au moment de la préparation de la classe ou dans l'action.

3.3.2. Un journal de bord individuel

Nous avons mis en place un journal de bord pour chaque enseignant (exemples en Annexe 26 et Annexe 27) afin d'avoir une trace de leur activité hors classe à partir d'une prise de note pendant toute la durée de notre étude. Ils doivent le renseigner tout au long de l'étude. Le document que nous leur avons demandé de remplir est préformé. Sa construction s'est faite conjointement avec eux de façon à faciliter le renseignement des items. Ils nous donnent une trace de leur préparation de classe et de leur analyse de la séance précédente.

Le journal de bord des enseignants du second degré (Annexe 27) est légèrement différent de celui du premier degré (Annexe 26). Les items communs sont la date, le lieu, l'horaire, les ressources utilisées, le support d'archivage et un espace commentaire. Un autre tableau est consacré à une analyse de la pratique de classe passée. Deux autres items ont été définis plus spécifiquement à chaque niveau. Les enseignants du second degré parlent de TP, TP/cours, d'expériences de bureau, là où les professeurs des écoles parlent d'investigations, d'apport du maître et d'évaluation. De même, dans le second degré les enseignants ont défini l'item « contenu » et les professeurs des écoles parlent de concepts ou de notions scientifiques. Les significations sont proches mais nous remarquons que le

terme « contenus » est plus large que celui de concepts ou de notions. Les enseignants du second degré l'associent aux attitudes, à l'esprit critique, aux aptitudes et aux démarches scientifiques, etc.

Ce journal nous permet d'approcher le travail hors classe des enseignants, qui est complémentaire de sa préparation et qui nous donne des pistes d'analyse pour les entretiens en relation avec le questionnaire de présentation. C'est un outil essentiel de la méthodologie d'investigation réflexive dans le sens où il incite à la réflexivité sur les activités. Il s'agit pour l'enseignant de « relater l'histoire vécue » (Power, 2008).

3.3.3. Le recueil des données vidéo

La planification du recueil est présentée dans les Figure 5 (p. 61) et Figure 6 (p. 62). La durée totale d'enregistrement est d'environ 38 heures. Nous avons deux caméras à disposition : la première était fixe au fond de la classe centrée sur le tableau et la seconde était mobile prenant les interactions entre le professeur et les élèves. L'enseignant était équipé d'un micro-cravate et deux micros « d'ambiance » étaient placés dans la classe. L'enregistrement vidéo était ensuite numérisé pour pouvoir être lu par n'importe quel ordinateur.

3.3.4. Les entretiens

Nous menons différents types d'entretiens avec les enseignants : un entretien en début de séquence, un entretien à chaud après l'observation de la première séance et des entretiens avec les deux enseignants, du type autoconfrontation simple et croisée (Clot & Faïta, 2000 ; Clot, Faïta, Fernandez, & Scheller, 2001). La fin de notre étude est ponctuée par un dernier entretien.

L'entretien en début de séquence se déroule en deux temps. En premier, les deux enseignants sont réunis pour discuter des principes liés à cette recherche. Ils concernent notamment la programmation de la séquence, le devoir pour chaque enseignant de ne pas communiquer avec son binôme sur tous les sujets concernant notre étude ainsi que la construction et le renseignement du journal de bord. Puis, nous menons la suite de l'entretien avec chacun des professeurs. Il s'agit de prendre des informations supplémentaires à partir du questionnaire de présentation personnelle. Puis, nous discutons de la programmation et de la progression de la séquence envisagée par l'enseignant. Nous mettons les enseignants en situation de raconter leur construction de

cours. Les questions doivent favoriser la narration de l'action et non l'interprétation de celle-ci (Vermersch, 1994, 2003). Nous nous focalisons en particulier sur la première séance afin de prendre des informations sur le déroulement envisagé, les contenus en jeu et les situations construites.

L'entretien à chaud permet de revenir sur des temps forts de la séance. Ils peuvent être identifiés par l'enseignant ou par le chercheur.

Le thème étudié lors de la séquence a été décidé au préalable conjointement par les enseignants et le chercheur. Il sert de base à deux entretiens dans lesquels les enseignants font une auto-analyse de leur action, à partir des enregistrements vidéo des séances, selon des modalités proches de l'autoconfrontation simple et croisée. Cette méthodologie est utilisée dans une perspective de description et de compréhension de l'activité humaine en situation de travail. L'auto-analyse est envisagée ici comme méthode de recueil de données empiriques et d'analyse de protocoles verbaux en relation avec l'action. L'auto-analyse simple consiste en un entretien entre le chercheur et chaque enseignant. Il leur est demandé de décrire puis d'analyser leurs actions, en verbalisant ce qu'ils faisaient, pensaient ou prenaient en compte pour agir, et en évitant les interprétations ou généralités. L'auto-analyse croisée met en scène deux enseignants et le chercheur dans une analyse commune du même enregistrement vidéo. Les deux enseignants doivent être des experts du même domaine avec un niveau d'expertise proche (Clot, 1999). Il s'agit d'analyser les incidents critiques relevés au cours de l'auto-analyse simple. Nous avons donc retenu de suivre deux enseignants simultanément pour pouvoir organiser ces entretiens.

Un entretien final est mené à la suite de l'entretien en auto-analyse croisée. Nous revenons sur la progression de la séquence, les changements que les enseignants envisagent d'opérer dans leur préparation, tant au niveau de la progression qu'au niveau des contenus de chaque séance. Nous revenons aussi sur la construction du journal de bord.

3.3.5. Vue d'ensemble

Comme nous l'avons souligné en ce début de chapitre, les observations dans le second degré se sont déroulées sur deux années alors que dans le premier degré notre étude ne s'est déroulée que sur une année.

3.3.5.1. Dans le second degré

a. Année 1

Nous avons fait le choix de suivre les deux enseignants simultanément pendant toute la séquence de l'enseignement de la mécanique en classe de troisième. Elle a duré onze séances. Ce choix a été dicté par la nécessité, d'une part, d'avoir une vision globale de cet enseignement c'est à dire de voir s'articuler les chapitres dans une progression et, d'autre part, d'identifier notre thème d'étude (poids et masse) dans cette progression afin de mieux comprendre les choix opérés par les enseignants.

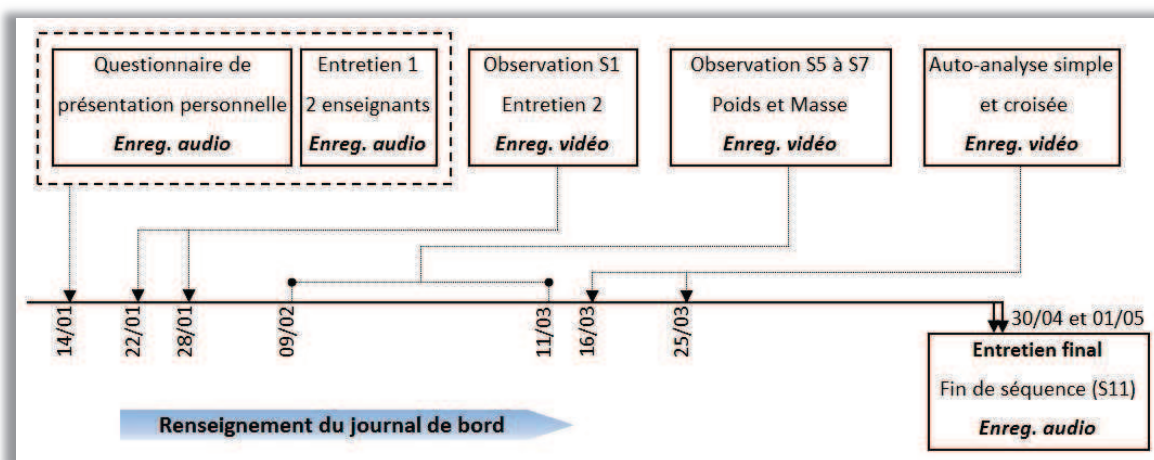


Figure 5 : Suivi de Florence et Henri pendant la séquence de mécanique, année 1

Nous avons effectué des enregistrements audio et vidéo pendant ces onze séances comme nous le présentons à la Figure 5 (p. 61). Nous reviendrons sur cette organisation dans le paragraphe 3.5 (p. 66).

Nous observons que les onze séances de l'enseignement de la mécanique constituent l'enseignement de physique-chimie du second trimestre. Le chapitre « poids et masse » se trouve au milieu de la séquence ; il est traité en trois séances entre les séances 5 et 7. Les premières séances sont consacrées au système solaire et à la notion de gravitation. Les dernières séances ont pour sujet l'énergie mécanique, un nouveau thème au programme de la classe de troisième.

b. Année 2

Nous n'avons suivi que les trois séances concernant le chapitre « poids et masse ». Elles correspondent aux séances 5, 6 et 7 de l'année 1 dans la Figure 5 (p. 61). Nous avons mené un entretien avant la première séance afin de collecter des informations sur

les changements opérés entre les deux années par les enseignants. Ils ont eu lieu le même jour que l'enregistrement vidéo de la séance 1 « poids et masse ». Ces entretiens ont fait l'objet d'un enregistrement audio. Les entretiens en auto-analyse ont eu lieu dans la « foulée » de la dernière séance sur « poids et masse ». Une différence est à noter. Florence a dû avancer l'enseignement de la mécanique au premier trimestre : les deux enseignants n'étaient plus synchrones dans leur progression. Les entretiens en auto-analyse croisée ont été programmés au mois de mars, cinq mois après que Florence ait fini son chapitre. Par conséquent, nous avons inséré une séance d'entretien en auto-analyse simple avec Florence quinze jours avant l'entretien en auto-analyse croisée pour réactiver les incidents critiques identifiés au mois de novembre précédent.

3.3.5.2. Dans le premier degré

L'étude dans le premier degré s'est déroulée sur une période entre deux vacances scolaires (Figure 6, ci-dessous).

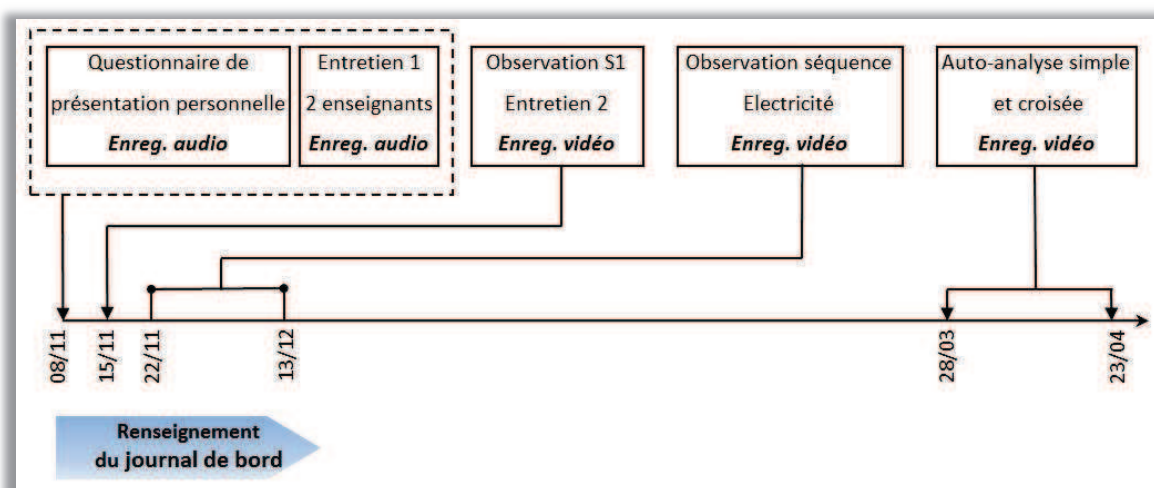


Figure 6 : Suivi de Francis et André pendant la séquence d'électricité

Nous avons observé la totalité de la séquence en sachant que nous concentrerions notre étude sur deux séances. D'un commun accord, nous avons décidé d'analyser les deux premières séances de la séquence d'électricité. La première séance correspond à la mise en place de la séquence. Les stratégies adoptées par les enseignants peuvent être très différentes, aussi, cette première séance offre un contenu assez riche à discuter en entretien surtout si nous faisons référence à la démarche d'investigation préconisée pour l'enseignement des sciences à l'école.

3.4. Contexte de l'étude

Notre étude s'est déroulée dans les conditions de classe ordinaire : nous ne sommes intervenus ni dans la préparation de la classe ni pendant la mise en œuvre en classe.

3.4.1. Le choix des enseignants

Comme nous venons de le décrire, notre méthodologie nous a conduits à suivre deux enseignants simultanément au premier degré comme au second degré. Ces binômes devaient enseigner dans des classes d'un même niveau dans des établissements proches ou dans le même établissement. Ces choix se justifient pour plusieurs raisons. Des établissements proches nous assurent de fixer certains paramètres comme des environnements socioculturels comparables au niveau des élèves, et des enseignants qui se connaissent bien. Ceci nous assure une habitude de travail entre les deux professeurs. Ce paramètre nous a paru très important car, lors des entretiens, un membre du binôme est appelé à analyser l'activité de l'autre membre. Cela peut être très vite difficile à accepter et un malaise peut s'installer n'aidant pas notre étude. Ou, dans l'autre sens, deux enseignants qui ne se connaissent pas peuvent rester sur leur « garde » pour éviter de blesser leur collègue dans leurs analyses.

Dans notre choix des enseignants, nous avons souhaité éviter les enseignants débutants et les enseignants experts. D'un côté, les problèmes inhérents au début de carrière auraient pu occulter les objets de notre étude. De l'autre, chez les enseignants experts qui enseignent au même niveau depuis des années, nous aurions pu observer des préparations succinctes, et des routines installées qui auraient rendu moins visibles les évolutions qui nous intéressent. Les quatre enseignants choisis sont expérimentés. Dans le second degré, notre étude de cas se réfère à un enseignement en mécanique apparaissant dans les nouveaux programmes⁹ de la classe de 3^{ème}. Dans le premier degré, nous avons choisi l'enseignement de l'électricité car les deux enseignants sont peu expérimentés dans l'enseignement de ce thème. Dans tous les cas, les enseignants ne devaient pas communiquer entre eux sur le sujet d'étude, avant les entretiens.

9 A compter de la rentrée 2008

3.4.1.1. Cas du second degré

Les deux enseignants que nous avons nommés Florence et Henri enseignent depuis une vingtaine d'années au collège. Ils sont tous les deux formateurs en formation continue, ils font partie d'un groupe de réflexion mis en place par les IPR¹⁰ et appartiennent à un même groupe de secteur. C'est un groupement local mettant en situation des collègues d'une même discipline, enseignants au collège, de travailler sur des thèmes précis sous la responsabilité des IPR. Henri a été aussi formateur à l'IUFM pendant deux années. Il intervenait pour la formation des PLC¹¹ physique-chimie en première et deuxième année.

Florence intervient dans deux établissements du même secteur. L'un est un établissement situé en périphérie d'une ville moyenne et l'autre est situé dans un village à la campagne. Les deux enseignants sont les seuls à enseigner la physique-chimie dans leur collège respectif. Suivant les années, Henri enseigne les mathématiques en classe de cinquième, en complément de son service.

3.4.1.2. Cas du premier degré

Nous avons choisi deux enseignants intervenant dans la même école en milieu rural. Ils se partagent les classes de cycle 3. Nous les avons appelés André et Francis. Ils enseignent depuis une vingtaine d'années dont dix au cycle 3. Francis est maître-formateur, il intervient en formation initiale et continue des professeurs des écoles. Il participe régulièrement à des groupes de recherche en mathématiques à l'IUFM. Il a une formation initiale dans les métiers du sport. André est le directeur de l'école et maître d'accueil. Il reçoit dans sa classe des étudiants de première année en master MEF¹². Il a une formation initiale en lettres.

Francis possède une décharge de maître-formateur qui ne lui permet pas d'assurer tous les enseignements. Depuis quelques années, c'est son « déchargeant » qui assure l'enseignement des sciences.

¹⁰ Inspecteur Pédagogique Régional

¹¹ Professeur de Lycée Collège

¹² Métier de l'Enseignement et de la Formation

3.4.2. Le choix des thèmes d'étude

Le choix des thèmes d'étude a été fait conjointement avec les enseignants. Il s'agit bien d'une négociation entre, d'un côté, les exigences concernant notre étude et, de l'autre côté, la faisabilité pour les enseignants. Du côté de la recherche, nous souhaitons un thème qui pose des difficultés d'apprentissages aux élèves ou, concernant le premier degré, un thème pour lequel les professeurs des écoles ont peu d'expérience.

Les enseignants du collège ont tous les deux choisi l'enseignement du poids et de la masse en classe de troisième. Pour eux, ce chapitre peut être abordé de différentes manières, ce qui favorise les discussions, d'autant plus que les contenus ont évolué dans les nouveaux programmes (Annexe 3). Les instructions officielles demandent aux enseignants de mettre en œuvre la démarche d'investigation (chapitre 6). Ce changement d'approche, assez important pour les enseignants, motive le choix du sujet pour cette étude. Pour André et Florence, le chapitre « poids et masse » nécessite trois séances d'une heure chacune.

Les deux professeurs des écoles ont choisi l'enseignement de l'électricité. André a enseigné l'électricité pour la première fois au cycle 3, l'année dernière. Francis l'a enseignée il y a sept ans et une seule fois. Les deux enseignants ont peu d'expérience pour l'enseignement de ce thème, ce qui correspond à nos critères, mais ils en ont beaucoup par ailleurs. André a prévu un enseignement en 4 séances suivies d'une évaluation sommative. Francis a prévu une séance de plus.

3.4.3. Les classes observées

Henri et Florence interviennent tous les deux dans trois classes de troisième mais Florence enseigne dans deux établissements différents. Le premier se situe en périphérie d'une ville moyenne, dans un quartier résidentiel ; nous le nommons « collège SM ». Le second se trouve au cœur d'un village de moins de mille deux cents habitants. Nous le nommons « collège P ». André intervient dans un seul établissement qui est dans le même secteur que les collèges P et SM. Le choix des classes observées nous a été imposé par l'emploi du temps. Le niveau des classes étant assez homogène dans chaque établissement, nous ne pensons pas que ce choix a eu un impact sur notre étude. Au cours des deux années, les effectifs des classes n'ont pas beaucoup varié. Nous donnons une

valeur moyenne de 26 élèves pour Henri et de 24 élèves au collège SM pour Florence. Par contre, au collège P Florence a un effectif de 18 élèves.

Dans le premier degré, André et Francis se partagent les deux classes du cycle 3. André enseigne dans un double niveau : CE2/CM1. Francis intervient dans une classe de CM2. L'école élémentaire se situe au cœur d'un village. L'effectif des deux classes est identique : 25 élèves.

3.5. Outils de traitement des données

Notre méthodologie comporte deux niveaux d'analyse. Au premier niveau, nous élaborons un synopsis (Sensevy & Mercier, 2007) des séances à partir d'une première analyse vidéo. Puis nous identifions ce que nous appelons des *événements remarquables*. Ils sont identifiés par le chercheur au moment de prises de décisions du professeur, dans l'action. Ces événements peuvent être la question d'un élève ou du professeur, une réponse, une attitude, etc. Ils peuvent être relatifs à une tension entre l'enseignant et un élève, un binôme ou le groupe classe pendant une activité. Ils ne sont remarquables que pour le chercheur en relation avec sa problématique.

Nous fournissons à chacun des enseignants les vidéos de classe de leur propre pratique avec les synopsis « épurés » des séances : n'y figure pas la colonne « événements remarquables » contenant les observations du chercheur. Afin de préparer l'entretien en auto-analyse simple, nous avons demandé aux deux enseignants de relever toutes les situations qu'ils souhaiteraient discuter avec leur binôme en notant en particulier tous les imprévus survenus en classe. Puis, à la fin de cet entretien, nous établissons en particulier la liste des incidents critiques à discuter lors de l'entretien croisé et nous donnons à chaque enseignant les vidéos des cours dispensés par l'autre membre du binôme ainsi que les synopsis des séances. Ils doivent en faire une première analyse et relever des objets à analyser avec leur binôme. Cela peut concerner la progression, la planification, une situation, etc. Ce corpus sera la base de l'entretien en auto-analyse croisée.

Au second niveau, nous élaborons les transcriptions des situations qui ont été discutées dans les entretiens. Elles sont relatives notamment aux incidents critiques qui ont été définis. Nous élaborons aussi les transcriptions des entretiens relatifs à ces situations. Nous inférons les connaissances des enseignants en triangulant toutes les données issues des vidéos et des transcripts. Nous appelons *transcript* les tableaux des

transcriptions des productions verbales des situations de classe, et des entretiens, associées à quelques descriptions succinctes du chercheur (§ 3.5.2.1. p. 72).

Notre analyse se situe parfois à un grain très fin, au niveau de l'énoncé, pour nous permettre de percevoir les ajustements effectués par les enseignants dans l'action de la classe ce qui nous a conduit à procéder selon la méthodologie de *l'étude de cas*.

3.5.1. Premier niveau d'analyse : les synopsis

Ce premier niveau concerne les données issues du questionnaire de présentation, des analyses vidéo de classe et audio des premiers entretiens, des synopsis des séances.

Le synopsis de la séance a été développé dans le cadre de l'analyse de l'action conjointe (Sensevy & Mercier, 2007) conformément à la visée d'observation du « didactique ordinaire ». D'un point de vue méthodologique, le « synopsis de séance » correspond à une réduction du corpus permettant une vision de l'ensemble de la séance étudiée selon trois grains différents (Figure 7, p. 68).

1. Le premier grain de l'analyse, **le grain « macro »**, donne le profil général de la séance et correspond, en général, à l'action programmée de l'enseignant. Pour nous, il concerne les « phases » de la séance. Elles peuvent définir un ensemble d'épisodes caractéristiques du travail de l'enseignant. Elles permettent d'avoir une vision macroscopique de la séance sur son déroulement. Les phases permettent de borner la séance par un début et une fin et de voir les supports didactiques mis en place par l'enseignant rendant lisible sa cohérence. Elles peuvent être de nature diverse mais débouchent sur des épisodes caractéristiques rendant possible l'acquisition des connaissances par les élèves ;
2. Le second grain de l'analyse, **le grain « méso »**, révèle les changements de jeu du professeur (Ibid.). Ce sont des « scènes ». Elles sont définies par rapport à des éléments de savoirs que l'enseignant veut transmettre, donc identifiables à partir du programme scolaire. Elles peuvent être un dispositif mis en place générant un questionnement (les programmes font référence aux situations-problème), une activité élève en lien avec les savoirs en jeu ou une notion, un concept, une modélisation ou le moment de conceptualisation ;
3. Le troisième grain de l'analyse, **le grain « micro »**, représente le grain le plus fin et concerne, selon Schubauer-Leoni (2000), certains *événements remarquables*. Ils sont liés à une prise de décision du professeur dans l'interaction avec un élève, un groupe

ou la classe consécutivement à un imprévu. Dans ces événements, nous identifions *des tensions* entre le professeur et un élève, un binôme ou le groupe classe. Elles se traduisent par un changement de but de l'enseignant et peuvent être relatives à une consigne, une interaction ou un élément de connaissance. Nous notons les adaptations de l'enseignant à cette situation qui sont caractéristiques des connaissances de l'enseignant.

	Grain MACRO	Grain MESO		Grain MICRO
	Phases <i>Episodes caractéristiques</i>	Scènes <i>Eléments de savoir</i>		Evènements remarquables
Temps	Phases	Scènes	Description	Evènements remarquables

Figure 7 : Les trois grains d'analyse dans un synopsis de séance

3.5.1.1. Début de la séance d'André

Prenons l'exemple de la première séance enseignée par André en classe de CE2/CM1 sur l'électricité. Il introduit la séquence à venir et met en place une phase expérimentale dans laquelle les élèves doivent brancher une pile avec une lampe. Nous présentons un extrait du synopsis (Tableau 1, p. 70). La séance dure 59 minutes. Nous présentons le synopsis dans un tableau (Annexe 30) qui est le résultat d'une première analyse de la séance par le chercheur. Il donne à voir les trois grains de perception de la séance :

- Le grain « macro » comporte 10 phases dans la séance : introduction, mise en place phase expérimentale n°1, phase expérimentale n°1, mise en commun, trace écrite collective, mise en place de la phase expérimentale n°2, phase expérimentale n°2, mise en commun, synthèse, devoirs.
- Le grain « méso » avec 14 scènes qui découpent la séance selon la programmation de l'enseignant. Elles donnent une vision plus fine de la séance et des choix opérés par l'enseignant en relation avec les connaissances qu'il souhaite construire.
- Le grain « micro » montre 29 événements remarquables dont 8 que nous qualifions de tensions entre le professeur et les élèves qui ont nécessité une régulation de l'enseignant.

16,5		Distribution de matériel <i>1 min</i>	PE redonne à l'oral la liste de matériel à distribuer (1 pile, 1 lampe et 1 feuille blanche). PE donne des consignes : appeler le PE en cas de panne, taille du dessin (au feutre noir) dans la feuille	Un élève aide à la distribution du matériel
	Phase expérimentale 12 min	Allumer une lampe avec une pile <i>3 min</i>	PE donne le temps imparti à la tâche (10 min.)	Questions d'élèves : « peut-on colorier / mettre de la couleur » Réponse affirmative
		Trace écrite <i>9 min</i>	PE Distribue le matériel pour accrocher le dessin au tableau Rappel régulier du temps qu'il reste	PE interrompt la phase expérimentale. Il présente le support de la trace écrite individuelle. Il spécifie qu'elle sera à mettre dans le classeur PE met du sens à son utilisation, dans un cadre « habituel » : « vous avez l'habitude maintenant » !

Tableau 1 : Extrait du synopsis de la séance 1 mise en œuvre par André

Les évènements remarquables (pour le chercheur) font l'objet d'une analyse au niveau des connaissances des enseignants car ils sont productifs de prises de décisions dans l'action plus ou moins prévues. Par exemple, lorsque le professeur demande à un élève d'expliquer à la classe ce qu'il y a à faire (après avoir répété deux fois la consigne), nous notons cet évènement et nous interrogeons l'enseignant sur les raisons pour lesquelles il fait reformuler la consigne à nouveau et pourquoi par cet élève. Cela nous permet d'inférer des connaissances sur les élèves, du point de vue pédagogique ou didactique, des orientations qu'il donne à son enseignement, etc.

Prenons un autre exemple. André interrompt l'activité expérimentale pour donner une consigne sur la trace écrite à produire. Cet évènement est discuté dans les entretiens. André explique qu'il a opéré une régulation car il avait oublié de donner cette consigne en

même temps que l'autre (la consigne de manipulation). Effectivement, dans la suite des séances, André donne toujours une consigne double. Ces deux éléments empiriques nous donnent à voir comment un enseignant s'adapte dans l'action, ce que nous modélisons par une régulation rétroactive courte. D'autre part, nous trouvons cette particularité chez les deux enseignants du premier degré. Elle fera l'objet d'une analyse au chapitre 5.

A travers ces exemples, nous percevons l'intérêt de ce premier travail d'analyse. Il nous donne des éléments sur la préparation des enseignants, sur ce qu'ils appellent le scénario de la séance, et des éléments sur les écarts consécutifs à la mise en œuvre qui nous permettent de remonter à des prises de décisions des professeurs et à leurs connaissances.

3.5.1.2. Notation des tensions entre élèves et professeur

D'autres types d'évènements remarquables font l'objet d'analyses et de discussions dans les entretiens (Tableau 2, ci-dessous).

Temps	Phases	Scènes	Description	Évènements remarquables
16,5	Mise en commun 16 min	Symbolisation de la pile et de la lampe 6,5 min	PE demande aux élèves de venir accrocher leur dessin au tableau puis de poser les crayons	PE demande s'il y a des groupes qui n'ont pas réussi à allumer la lampe. Pas de réponses.
			PE : « toutes les ampoules sont allumées au tableau » Les élèves répondent négativement. « ah et pourquoi /d'abord comment voit-on qu'une ampoule est allumée au tableau». Une élève répond qu'elle est coloriée en jaune. PE vérifie que toutes les ampoules sont coloriées en jaune.	
			PE continue sur les codes donnés par les élèves. Il remarque que d'autres signes apparaissent.	PE : « qu'est-ce que vous avez rajouté en plus » Un élève ne donne pas la réponse attendue
			PE : « non non on est toujours sur l'ampoule qui s'allume qu'est-ce que vous avez rajouté autour de l'ampoule pour faire voir qu'elle s'allume ». Réponse d'un élève : « des traits »	

Tableau 2 : Extrait du synopsis montrant les tensions entre le professeur et les élèves

Ce sont les évènements pour lesquels une tension apparaît entre les élèves et le professeur. Pour les mettre en évidence ici, nous en avons souligné en gras quelques-unes. Nous notons la réponse de l'enseignant dans une cellule grisée, entre la colonne « Description » et la colonne « Evènements remarquables ». Ceci indique un arrêt dans le déroulement du cours, tout en se situant suivant un grain d'analyse « micro ».

Si nous prenons le premier exemple, les élèves ne répondent pas à la question de l'enseignant. Il doit reformuler sa question pour rétablir la communication et poursuivre son but. Cette prise de décision nécessite une mobilisation de connaissances dans l'action que nous essayons d'inférer à l'aide des entretiens.

Les enseignants nous donnent à voir des prises de décisions qui ne sont parfois pas prévues. Elles font l'objet d'un incident critique si l'enseignant peut en analyser les origines et les conséquences.

3.5.2. Deuxième niveau d'analyse

Ce second niveau d'analyse s'appuie sur des situations discutées lors des entretiens en auto-analyse simple et croisée. Nous formons un corpus qui est composé :

- Des extraits des vidéos de classe relatifs aux situations ;
- Des extraits des vidéos des entretiens en auto-analyse simple et croisée relatifs à ces situations ;
- Des transcripts :
 - Des vidéos de classe ;
 - Des différents entretiens menés avec les enseignants.

Nous confrontons toutes ces données pour noter les connaissances mobilisées par les enseignants. Tout l'intérêt est de comparer les différentes sources de données relatives à une situation. Les risques d'erreur sont ainsi réduits.

Dans la suite, nous montrons comment nous élaborons la transcription d'une vidéo puis nous prenons l'exemple d'un incident critique.

3.5.2.1. Transcription des vidéos

L'ensemble des situations discutées pendant les entretiens a fait l'objet d'une transcription. Les productions verbales des professeurs ont été transcrites en incluant

parfois des commentaires pour aider le lecteur à bien comprendre la situation. Ces transcripts sont construits en relation avec notre problématique. Par conséquent, nous transcrivons tout ce qui nous permet de comprendre la situation et d'identifier les connaissances professionnelles des enseignants. Chaque transcription est présentée sous la forme d'un tableau (Tableau 4, p. 75). Il est composé de deux colonnes : Locuteurs et Productions verbales. Les locuteurs se succèdent (tour à tour) et sont identifiés par l'initiale de leur prénom. Le chercheur est noté par la lettre C. Lorsqu'un seul élève est locuteur, nous le notons par la lettre E. Mais, si plusieurs élèves prennent la parole les uns après les autres, nous les distinguons dans la transcription par la notation : E1, E2, etc. Chaque production verbale est fidèlement transcrite, sans ponctuation ni majuscule. Les pauses supérieures à deux secondes sont représentées par le symbole « / ». Lorsqu'un propos est inaudible, nous le notons « (... ?) ». Les commentaires sont notés entre double parenthèses comme suit « ((...)) ». Chaque tour de parole fait l'objet d'un retour à la ligne. Ces règles de transcriptions sont inspirées des conventions ICOR¹³.

3.5.2.2. Incident critique : amalgame entre masse et volume

Prenons un exemple : celui d'un incident critique que nous avons nommé « amalgame entre la masse et le volume ». Nous montrons comment à partir de notre méthodologie, et en référence à notre cadre théorique nous inférons les connaissances mobilisées par Florence. Par ailleurs, cette étude est détaillée aux chapitres 4 et 5.

Nous nous situons au début de la séance 1. Florence débute le nouveau chapitre intitulé « Le poids - La masse ». Le synopsis de la séance est produit par le chercheur à l'issue d'une première analyse de la vidéo de classe dont un extrait est donné ci-dessous. Nous avons identifié, dans le synopsis, la distinction que fait Florence entre masse et volume suite à la réponse d'un élève à la question : « alors (... ?) si je vous lance je vous dis comme ça dis le poids la masse à quoi ça vous fait penser ». Pour nous c'est un événement remarquable car la réponse de l'élève paraît surprendre l'enseignante. Nous l'entourons par un cercle dans le synopsis (Tableau 3p.74)

¹³ http://icar.univ-lyon2.fr/ecole_thematique/tranal_i/documents/Mosaic/ICAR_Conventions_ICOR.pdf

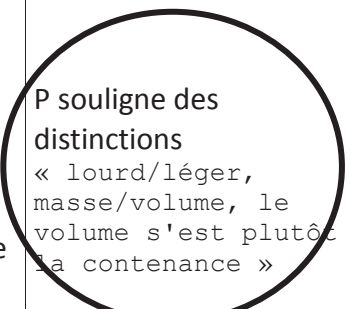
Temps	Phases	Scènes	Description	Évènements remarquables
13,5	Début du deuxième chapitre de mécanique 5 min	Notions de poids et de masse 0,5 min	Mise en situation : rappel de ce qui vient d'être vu (interaction gravitationnelle et gravitation). P demande : « comment s'appelle l'attraction d'un objet par la terre ».	P (Professeure) demande des synonymes à la réponse d'un élève « attraction terrestre ». F souhaite faire émerger un mot précis
		0,5 min	Adaptation de P : réponse « la gravité » P répond « alors on utilise encore autre chose / un mot plus courant ..parfois qu'on confond d'ailleurs avec un autre / quand un objet subit la gravité ou l'attraction de la terre on dit qu'il a un quoi ». Réponse d'un élève « un poids »	
		1 min	P enchaîne : « (... ?) on a tendance à confondre le poids avec un autre mot c'est quoi ». P présente ce qui va être fait dans ce chapitre notamment distinguer le poids de la masse et trouver les caractéristiques du poids	. P veut faire émerger « la masse ». P ajoute « on fera un petit peu de maths aussi ça fait longtemps qu'on en a pas fait »
		1 min	Écriture du titre du chapitre 9 : le poids - la masse P demande : « alors (... ?) si je vous lance je vous dis comme ça dis le poids la masse à quoi ça vous fait penser » P précise « d'accord on prend les mots simplement après on classera tout ça » P demande aux élèves de classer leurs propositions dans un tableau avec une colonne poids et une colonne masse.	P ajoute « comme ça à première vue après on mettra les idées en place et on essaiera de bien distinguer les deux //mais si on vous dit le poids la masse » Un élève répond « kilogramme »  P souligne des distinctions « lourd/léger, masse/volume, le volume s'est plutôt la contenance »
18,5				

Tableau 3 : Extrait du synopsis de la séance 1 de Florence sur poids et masse

Cet évènement remarquable fera l'objet d'une discussion avec Florence lors de l'entretien en auto-analyse simple (Tableau 4, p. 75). L'enseignante décrit son début de séance suite à une question de notre part. Dans son analyse, nous retrouvons la situation que nous avons identifiée comme un évènement remarquable. Par conséquent, nous le classons comme un incident critique qui sera discuté avec Henri. Nous notons en gras des éléments de connaissances qui apparaissent dans cet entretien. Ce sont des PCK/é à propos des domaines dans lesquels ils ont des difficultés (Magnusson, Krajcik, & Borko, 1999).

Locuteurs	Productions verbales
C (Chercheur)	est-ce que tu savais tu avais déjà une idée de ce qui serait dit et pas dit
F (Florence)	kilogramme je pensais ça c'était à peu près sûr / je savais que kilogramme serait dans poids / c'est classique // volume je ne m'y attendais pas du tout / et lourd léger je l'avais eu sur une classe à sm mais pas sur l'autre // sur certains mots je savais qu'ils allaient sortir mais pas au bon endroit // pas dans le bon classement après quoi
C	quand tu reçois volume à ce moment-là tu/
F	je parle de contenance
C	tu parles de contenance
F	j'évacue

Tableau 4 : Extrait du transcript de l'entretien en auto-analyse simple avec Florence

A partir de cet incident critique, il s'agit pour nous de collecter les données des autres sources pour en faire l'analyse du point de vue des connaissances des enseignants. Nous élaborons le transcript de la séance 1 dont un extrait est présenté ci-dessous.

Locuteurs	Productions verbales
F (Florence)	chapitre 9 ce chapitre va s'intituler le poids la masse /// alors si je vous lance / vous dis comme ça le poids la masse à quoi ça vous fait penser comme ça à première vue après on mettra les idées en place et on essaiera de bien distinguer les deux / le poids la masse
E1 (élève n° 1)	kilogramme
F	kilogramme d'accord alors on prend les mots tout simplement alors kilogramme après on casera tout ça /// quoi encore
E2	gramme
F	gramme oui ce sont les unités
E1	volume
F	volume /// ((l'enseignante hoche la tête))
E3	lourd léger
F	lourd léger / alors volume / y'a une petite distinction entre masse et volume / d'accord // donc volume alors après c'est plutôt la contenance / donc lourd léger /// non y'a pas d'autres choses qui viennent

Tableau 5 : Extrait du transcript de la séance 1 de Florence. Amalgame entre masse et volume

Ce transcript traduit précisément les propos de l'enseignante et des élèves. Nous suivons l'interaction dans la classe et nous inférons des connaissances de type PCK/é que nous comparons avec celles déjà identifiées à partir de l'entretien en auto-analyse simple. Nous remarquons aussi la surprise de Florence à la proposition de l'élève « volume » car elle hoche la tête et élabore une réponse dans un second temps (en gras dans le Tableau 5, p. 75). Cela confirme bien que cette réponse n'était pas prévue. De plus, nous observons un changement de but dans l'activité de l'enseignante. Elle répond à l'amalgame fait par l'élève puis elle revient au but initial qui est de repérer les acquis des élèves et leurs conceptions initiales sur le thème du poids et de la masse.

L'entretien en auto-analyse croisée montre les deux enseignants débattre à propos de l'intérêt d'introduire le concept de poids par une question large de type « que savez-vous sur ? ». C'est lors de ce débat, que nous relançons à deux reprises, que les enseignants quittent la vidéo et la description de l'action de Florence pour entrer complètement dans une analyse professionnelle en mobilisant leurs connaissances.

Locuteurs	Productions verbales
H (Henri)	comment tu pouvais euh pressentir qu'ils connaîtraient le terme poids c'est pas évident
F (Florence)	oh si c'est un mot qu'ils rencontrent souvent quand même / poids net euh
H	une attraction ça s'appelle le poids c'est pas évident du tout
F	ouais c'est pour ça que ça a été long à venir
H	ouais parce ce que (... ?) qu'ils associent attraction à gravité à gravitation d'accord mais poids
F	gravitation gravité bon euh
H	ouais ouais
F	parce que gravité est venu tout de suite hein
H	d'accord
F	ouais après il a fallu après ça a été long / enfin
C (Chercheur)	c'est-à-dire ce que tu identifies c'est le lien entre attraction et poids
H	ouais moi je préfère balancer ben l'attraction on l'appelle poids parce qu'ils ne sont pas censés savoir que le poids c'est l'attraction
F	alors moi j'essaie toujours de leur faire deviner les / ouais / à plusieurs reprises leur faire deviner le vocabulaire les //
C	alors toi t'es plus sur du vocabulaire que sur la notion
H	c'est possible j'en sais rien mais le poids si tu veux le poids en plus ils l'associent à la masse
F	à la masse ouais
H	c'est d'autant plus difficile de faire émerger cette notion de poids égale attraction attraction égale poids
F	(... ?) mais c'est sorti hein mais c'est sorti / ça été long

	mais c'est sorti
H	c'est sorti mais je suis pas sûr que ce soit euh tu m'en veux pas hein
F	pas du tout
H	je suis pas sûr que ce soit judicieux de faire émerger cette notion de poids par / de solliciter de la part des élèves qu'ils fassent émerger la notion de poids je suis pas sûr que ce soit judicieux parce que finalement ils n'ont pas à avoir ce prérequis si tu veux
F	alors en cinquième on en parle du poids et de la masse / enfin un petit peu quand même / enfin moi j'en ai parlé ((Florence réagit à l'expression d'interrogation de son collègue))
C	avec les mêmes élèves
F	ben oui
H	moi je parle de la masse mais je veux justement pas entendre parler du poids
F	moi j'ai éliminé enfin je présente les deux dès la cinquième
H	d'accord / et tu présentes le poids comme une attraction
F	ouais attraction lié par la Terre ou par un astre
H	c'est délicat parce que comment peuvent-ils comprendre en cinquième ce que tu veux dire
F	oh ils comprennent
H	ils comprennent
F	à partir d'image / de ///
H	je ne suis pas convaincu

Tableau 6 : Extrait du transcript de l'auto-analyse croisée à propos de la situation d'entrée proposée par Florence

Nous notons en gras les propos que nous relevons et nous poursuivons notre analyse. Nous croisons les données avec celles déjà identifiées. Sans trop anticiper sur l'analyse que nous faisons aux chapitre 4 et 5, nous identifions des connaissances de type SMK sur la gravitation, de type PCK/é, PCK/pgrm et PCK/stratégie.

3.6. Conclusion

Nous avons exposé dans ce chapitre la méthodologie que nous avons développée permettant de suivre des enseignants hors classe et en classe. Nous avons présenté aussi les outils de recueil de données sur lesquels elle s'appuie. L'un des principes que nous avons retenu est de suivre deux enseignants simultanément. Le corpus que nous recueillons comporte des enregistrements audio et vidéo de séquences de classe et des entretiens avec chacun des enseignants, ainsi que des données issues d'un questionnaire de présentation et d'un journal de bord (Power, 2008 ; Gueudet & Trouche, 2009) renseigné par les deux enseignants sur toute la durée de l'étude. Le thème étudié lors de la séquence a été décidé au préalable conjointement par les enseignants et le chercheur. Il

sert de base à deux entretiens dans lesquels les enseignants font une auto-analyse de leur action, à partir des enregistrements vidéos des séances, selon des modalités proches de l'autoconfrontation simple et croisée (Clot & Faïta, 2000 ; Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001).

Nous avons mis en œuvre cette méthodologie dans le second degré, au collège, et dans le premier degré, en cycle 3. Nous avons effectué un suivi pendant deux années au collège et pendant une année à l'école primaire. Notre analyse se fait suivant deux niveaux.

Le premier niveau s'appuie sur le recueil de données issu du questionnaire de présentation de chaque enseignant, du journal de bord individuel et des synopsis (Sensevy, 2007) élaborés à partir de la vidéo de la séance. Les séances sont filmées, dans des conditions de classe ordinaire, et servent de base à un entretien avec le chercheur (auto-analyse simple) afin d'identifier des situations à montrer au collègue lors de l'auto-analyse croisée. Nous focalisons notre analyse sur des imprévus survenus pendant les séances. Le corpus de chaque enseignant est discuté avec le chercheur, lors de l'entretien en auto-analyse simple, où des choix d'incidents critiques (Flanagan, 1954) sont faits. Ce nouveau corpus est alors présenté lors de l'entretien en auto-analyse croisée.

Le second niveau d'analyse s'appuie sur les transcriptions des situations discutées en entretiens. Ce sont des transcripts de séances de classe et des entretiens en auto-analyse simple et croisée relatifs aux situations discutées. Nous confrontons ces données issues de sources différentes, afin de réduire les risques d'erreurs dans l'identification des connaissances.

Chapitre 4 : Une organisation de l'activité

4.1. *Introduction*

Dans le chapitre 2, nous avons souligné le lien entre activité et connaissances professionnelles (Vergnaud, 1996 ; Altet, 2002 ; Van Driel & al., 1998). En partant du principe que les connaissances professionnelles se retrouvent dans l'organisation de l'activité de l'enseignant, nous faisons référence aux travaux de Piaget, repris par Vergnaud avec le concept de schème. Le schème représente l'organisation de l'activité pour une classe de situations donnée. Pour analyser l'activité et comprendre son organisation, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement du schème, d'en identifier tous les éléments constitutifs.

Sur le plan méthodologique, nous identifions l'organisation de l'activité à partir d'une analyse vidéo et des entretiens en auto-analyse simple et croisée. Dans le chapitre précédent, avons exposé notre méthode d'analyse basée sur le recueil de données vidéo et la transcription de scènes ; celles-ci ont été sélectionnées car elles présentent un incident critique ou parce qu'elles ont un caractère expérimental.

Dans ce chapitre, nous analysons une organisation de l'activité des enseignants à travers l'identification des schèmes qu'ils convoquent dans l'action. Nous en

déterminerons les éléments constitutifs. Puis, nous discutons de l'articulation des schèmes entre eux dans l'organisation de l'activité des enseignants.

L'étude concerne les cas de deux enseignants : Florence enseigne la physique-chimie dans le second degré, en classe de troisième et André enseigne, au moment des situations analysées, les sciences à l'école primaire, au cycle 3. Dans les deux cas, nous avons choisi, la première année de notre observation, le début de la première séance.

L'analyse de nos données a mis en évidence la nécessité de représenter différemment le schème de Vergnaud (1996). Dans le cas des enseignants, nous le décrivons suivant six éléments au lieu de quatre dans la définition originale. Nous utilisons cette nouvelle composition pour analyser l'organisation de l'activité des professeurs. Pour cet aspect de notre travail, nous faisons référence à la *Grounded theory* (Glaser & Strauss, 1967). Nos observations nous ont amené à ces propositions théoriques.

4.2. Une nouvelle description du schème

Revenons à la définition analytique du schème présentée dans le cadre théorique. Selon Vergnaud (1996), il est composé de quatre éléments :

- un but (ou plusieurs), des sous-buts et des anticipations ;
- des règles d'actions, de prise d'information et de contrôle ;
- des invariants opératoires (concept-en-acte et théorème-en-acte) ;
- des possibilités d'inférence.

Les résultats de notre travail nous permettent d'étendre ces quatre composantes à six éléments articulés différemment. Nos analyses portent sur des vidéos de classe, dans lesquelles nous voyons les enseignants en action, et sur des vidéos des entretiens en auto-analyse simple et croisée. Or, si dans le cadre théorique de référence, les indices sont subordonnés aux règles de prise d'informations, lors des entretiens, les enseignants présentent ces indices comme des éléments majeurs : les professeurs commentent la relation qui existe entre les indices qu'ils prennent dans la classe et la conduite de leur action. De fait, dans notre description de l'activité des professeurs, nous explicitons les indices prélevés dans l'action. En conséquence, nous ajoutons les indices comme élément constitutif du schème et retirons les règles de prise d'informations, car elles ne sont pas apparues dans les entretiens.

L'analyse de nos données fait apparaître la nécessité de rendre visibles les anticipations, en les dissociant du but et des sous-buts. Il s'agit ici des anticipations que l'enseignant a du but de son activité, c'est-à-dire du résultat de cette activité sur les élèves de manière individuelle ou collective. Elles nous permettent d'observer ses actions, face à des réponses ou des attitudes d'élèves. La description de ce qui se passe dans la classe est affinée par comparaison avec ces anticipations qui nous aident aussi, lors des entretiens, à analyser l'activité de l'enseignant, notamment du point de vue des régulations qu'il met en place.

Par conséquent, nous décrivons ici le schème suivant les six éléments suivants :

- a. un but et des sous-buts ;
- b. des anticipations ;
- c. des inférences ;
- d. des indices ;
- e. des règles d'actions ;
- f. des invariants opératoires (concept-en-acte et théorème-en-acte).

Nous allons maintenant caractériser les schèmes convoqués par Florence et André dans leur première séance en renseignant ses six éléments. Puis, nous montrerons comment ils s'articulent entre eux dans l'organisation de l'activité de chaque enseignant.

4.3. Cas de Florence

4.3.1. Transcript de la séance n° 1

Nous élaborons ce transcript (Transcript de séance - 1, p. 82) à partir de la vidéo réalisée lors de la séance 1. Dans cet extrait, Florence débute la séquence sur poids et masse. Nous nous situons à environ 17 minutes de son début. Auparavant, l'enseignante a corrigé des exercices que les élèves avaient à faire à la maison, concernant le chapitre précédent sur la gravitation. Dès le premier tour de parole, Florence veut faire émerger les conceptions initiales (CI) des élèves sur le poids et la masse : elle leur demande ce qu'ils savent sur ce sujet, « alors si je vous lance / vous dis comme ça le poids la masse à quoi ça vous fait penser ».

Locuteurs	Productions verbales
F	chapitre 9 ce chapitre va s'intituler le poids la masse /// alors si je vous lance / vous dis comme ça le poids la masse à quoi ça vous fait penser comme ça à première vue après on mettra les idées en place et on essaiera de bien distinguer les deux / le poids la masse
E1	kilogramme
F	kilogramme d'accord alors on prend les mots tout simplement alors kilogramme après on casera tout ça /// quoi encore
E2	gramme
F	gramme oui ce sont les unités
E1	volume
F	volume /// ((l'enseignante hoche la tête))
E3	lourd léger
F	lourd léger / alors volume / y'a une petite distinction entre masse et volume / d'accord // donc volume alors après c'est plutôt la contenance / donc lourd léger /// non y'a pas d'autres choses qui viennent

Transcript de séance - 1 : Emergence des conceptions initiales. Cas de Florence

L'observation de la vidéo permet d'inférer sur l'organisation de l'activité de l'enseignante. Elle interagit avec les élèves en recueillant leurs réponses à la question posée. Florence valide « kilogramme », « gramme » et « lourd léger » car elle ponctue chaque proposition d'élève par « d'accord » ou « oui ». Nous pouvons émettre l'hypothèse, à ce moment de l'analyse, que l'enseignante s'attendait à ces réponses. Ce déroulement devait être prévu dans sa préparation. L'entretien en auto-analyse simple devra confirmer, ou non, cette hypothèse.

Par contre, nous constatons une rupture dans le déroulement prévu, lors de la proposition « volume » faite par l'élève E1. En effet, à cette proposition, Florence ne répond pas comme elle l'a fait pour les autres propositions. Une pause de quelques secondes apparaît pendant laquelle elle hoche de la tête. Elle paraît surprise ! La proposition « lourd léger » est donnée par l'élève E3, répétée par Florence, puis elle décide de répondre à la proposition « volume ». Par conséquent, à ce moment de la séance, son but n'est plus de récolter les propositions des élèves, concernant le poids et la masse, mais il est de « corriger » l'erreur de l'élève E1. Nous remarquons que l'intervention de Florence est brève, hésitante, car elle est ponctuée de pauses d'au moins deux secondes chacune. Pour nous, la réponse « volume » n'était pas prévue par Florence. Elle élabore une « correction », dans l'action. Cette hypothèse devra être vérifiée lors de l'entretien avec l'enseignante. Nous reviendrons un peu plus tard (§ 4.3.5 p. 92) sur l'analyse de cette situation.

Nous notons une rupture dans le déroulement prévu de l'activité par ce changement de but de l'enseignante. Florence revient au déroulement prévu avec la question « donc lourd léger /// non y'a pas d'autres choses qui viennent ». Ensuite, d'autres propositions seront faites par les élèves.

4.3.2. Transcript de l'entretien en auto-analyse simple

Nous reportons (Transcript d'entretien - 1, p. 83) les passages de l'entretien en auto-analyse simple concernant ce début de la première séance de Florence présenté au paragraphe précédent.

Locuteurs	Productions verbales
C (Chercheur)	quel est ton objectif là
F	mon objectif c'est justement de pouvoir classer tout ce qui va avec le poids d'un côté et tout ce qui va avec la masse de l'autre mais déjà dans leurs connaissances d'essayer de faire un peu le ménage avant de commencer quoi /
C	de voir un peu où ils en sont
F	oui faire un diagnostic / où ils en sont oui sur les prérequis quoi // c'est vrai que sur le poids et la masse y'a des choses à casser entre guillemets / je laisse dire les mots /

Transcript d'entretien - 1 : Deux buts. Avec Florence

Du point de vue de l'organisation de son activité, dans le premier tour de parole, Florence nous donne un nouvel élément par rapport à l'analyse précédente : le but de l'enseignante est de classer les propositions des élèves concernant le poids et la masse, à partir de leurs conceptions initiales sur le sujet. Nous pouvons identifier, ici, deux buts : classer les réponses des élèves par rapport au poids ou à la masse et repérer les acquis des élèves, ainsi que leurs conceptions initiales, sur le thème du poids et de la masse. Par conséquent, en nous référant à la définition analytique des schèmes, nous pouvons identifier deux schèmes correspondants aux deux buts formulés par Florence. Nous les nommons schème A et schème B afin de différencier les descriptions synthétiques des activités analysées :

- Schème A : « Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » ;
- Schème B : « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse ».

Chacun des buts induit une nouvelle règle d'action. Nous relevons deux propos correspondants aux objectifs de Florence pour ce début de séance : « c'est justement de pouvoir classer tout ce qui va avec le poids d'un côté et tout ce qui va avec la masse de l'autre mais déjà dans leurs connaissances d'essayer de faire un peu le ménage avant de commencer quoi / faire un diagnostic ». Nous faisons correspondre aux schèmes A et B des règles d'actions :

- Règle d'action du schème A : « Demander aux élèves si leur proposition concerne le poids ou la masse » ;
- Règle d'action du schème B : « Demander aux élèves à quoi ils pensent quand on parle de poids ou de masse ».

Nous avons émis deux hypothèses lors de l'analyse du transcript (Transcript de séance - 1, p. 82). D'une part, Florence ne s'attendait pas à avoir « volume » comme hypothèse et, d'autre part, elle s'attendait à ce que les élèves répondent « kilogramme » et « lourd léger ». Ces hypothèses demandent à être croisées entre l'analyse vidéo de la classe et celle des entretiens, car elles concernent directement les connaissances que Florence a des conceptions des élèves sur le poids et la masse. C'est donc une PCK sur les élèves que nous noterons PCK/é. Par conséquent, avant de la noter, il est nécessaire de croiser les sources pour s'en assurer. Regardons la suite du transcript de l'entretien en auto-analyse simple.

Locuteurs	Productions verbales
C	est-ce que tu savais tu avais déjà une idée de ce qui serait dit et pas dit
F	kilogramme je pensais ça c'était à peu près sûr / je savais que kilogramme serait dans poids / c'est classique // volume je ne m'y attendais pas du tout / et lourd léger je l'avais eu sur une classe à sm mais pas sur l'autre // sur certains mots je savais qu'ils allaient sortir mais pas au bon endroit // pas dans le bon classement après quoi
C	quand tu reçois volume à ce moment-là tu/
F	je parle de contenance
C	tu parles de contenance
F	j'évacue

Transcript d'entretien - 2 : PCK/é. Avec Florence

L'extrait ci-dessus (Transcript d'entretien - 2, p. 84) nous permet de valider nos deux hypothèses. D'une part, les réponses « kilogramme », « lourd léger » étaient attendues par Florence et, d'autre part, la proposition « volume » ne l'était pas. Nous avons, ici, une PCK/é acquise par l'enseignante au cours d'enseignements précédents.

Elle fait le choix de corriger cette erreur en associant volume à contenance, très rapidement, de manière à l'évacuer, dit-elle, pour ne pas ajouter une confusion supplémentaire avec la notion de masse volumique qui est une grandeur approchée empiriquement au collège mais qui ne doit pas être définie. Elle n'est pas au programme. Nous étudierons cet incident critique au paragraphe 4.3.5.2.

4.3.3. Caractérisation des schèmes A et B

Nous allons décrire l'activité de Florence suivant deux schèmes : le schème A « Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » et le schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse ». Dans le paragraphe 4.3.5. (p. 92), nous analyserons comment ils s'articulent. Nous détaillerons notre étude des deux schèmes en précisant comment nous renseignons chacun de leurs composants.

4.3.3.1. Le schème A

a. But

Nous avons montré précédemment qu'en croisant les données issues de la vidéo de la séance 1 et de l'entretien en auto-analyse simple, nous identifions le but de Florence et la règle d'action associée. Son but est de « classer les réponses des élèves par rapport au poids ou à la masse ».

b. Anticipation

Dans son entretien, Florence précise « je laisse dire les mots (...) sur certains mots je savais qu'ils allaient sortir mais pas au bon endroit ». Nous reformulons les propos de Florence en la notant : « J'attends que les élèves me disent si leur proposition concerne la masse ou le poids ».

c. Inférences

Dans l'extrait suivant (Transcript de séance - 2) d'un autre moment de la séance 1, Florence demande aux élèves de classer leurs propositions dans la colonne poids ou dans la colonne masse du tableau.

Nous identifions deux inférences du schème convoqué par Florence. Elle décide de mettre en doute la réponse de l'élève E1 « pour l'obliger à réfléchir et pour

amener la classe / euh / c'est peut être la bonne réponse pas la bonne réponse mais euh / » dit-elle dans l'entretien. C'est bien un principe d'une régulation locale. Elle veut induire un doute chez les élèves pour qu'ils ne se contentent pas d'une réponse donnée, qu'ils disent « ce qu'ils savent ou ne savent pas ».

Locuteurs	Productions verbales
F	alors vous m'avez parlé de balance / vous m'avez parlé de kilogramme / de lourd léger où est-ce que vous classeriez ces mots là si on prenait une colonne poids une colonne masse // alors si je prends les mots les uns après les autres / si je prends le mot balance /
E1	masse
F	masse tout le monde est d'accord /// ((silence dans la classe)) vous êtes sûr
Es	non

Transcript de séance - 2 : Mise en doute, séance 1. Cas de Florence

La deuxième inférence correspond au moment où l'enseignante demande à tous les élèves s'ils sont d'accord avec la réponse proposée par E1. Nous la distinguons de l'inférence précédente car, dans ce cas, Florence attend d'eux qu'ils « arrivent à justifier / à donner des arguments ».

Nous notons dans la suite de la vidéo une autre inférence. L'enseignante interroge un deuxième élève dès qu'elle sent le premier en difficulté. C'est aussi une forme de régulation.

Voici les trois inférences issues de notre analyse ;

- Si un élève hésite alors je demande à un autre élève ;
- Si un élève donne une réponse alors je demande si tout le monde est d'accord ;
- Si je sens des hésitations alors je demande s'ils sont sûrs de leur réponse.

Cette liste n'a pas un caractère exhaustif car elle est le résultat de notre travail de déduction à partir de la vidéo de la classe et/ou des entretiens avec les enseignants. Les inférences sont très souvent implicites pour eux (Vergnaud, 2002).

d. Indices

Nous formulons les indices comme « Les réponses des élèves », qu'elles soient verbales ou non. Florence attend certaines réponses verbales, elle est aussi attentive aux hésitations, aux mains levées, à tous les gestes qui peuvent suggérer une information en lien avec la situation. Les indices pris dans la classe englobent tous ces éléments.

e. Règles d'action

Les règles d'actions qui composent le schème permettent de saisir la manière dont l'activité est engendrée au fur et à mesure. Dans le cas de Florence, nous avons indiqué au paragraphe 4.3.2 notre procédure pour identifier la règle d'action du schème A. Nous l'avons reformulé ainsi : « Demander aux élèves si leur proposition concerne le poids ou la masse ».

f. Invariants opératoires

Au fil de la séance 1, Florence continue le travail de classement des propositions des élèves (Transcript de séance - 3, p. 87).

Locuteurs	Productions verbales
F	si je prends kilogramme // c'est là qu'on a un souci si on le met dans poids si on le met dans masse
E1	ben oui mais quand on va sur une balance
F	quand on va sur une balance
E1	c'est en kilo
F	c'est en kilogramme et quel verbe on utilise
E1	se peser
F	se peser alors c'est vrai qu'on a envie de dire hein que la balance donne le poids parce qu'on se pèse / alors justement / on a parlé donc on va voir hein si c'est vraiment masse ou poids pour le kilogramme

Transcript de séance - 3 : Confusion entre poids et masse. Cas de Florence

Nous observons la difficulté des élèves pour choisir de classer le mot « kilogramme » avec le poids ou avec la masse. Florence savait qu'ils feraient la confusion (Transcript d'entretien - 2, p. 84) et nous considérons que c'est un théorème-en-acte. Auparavant, dans la séance (Transcript de séance - 2, p. 86), nous observons les élèves en désaccord au sujet du classement de la balance dans la colonne masse. Florence l'avait aussi anticipé (Transcript d'entretien - 3).

Locuteur	Productions verbales
C	du coup ce choix que tu fais d'insister sur un mot plutôt qu'un autre / là en l'occurrence là comment tu sais que sur balance par exemple tu dois dire « vous êtes sûrs »
F	parce qu'il y a tellement de confusions entre le poids et enfin poids net indiqué sur les boîtes de conserve et cette notion de masse avec la balance que je sais que c'est source d'erreur donc je préfère insister les faire douter pendant un petit moment jusqu'à qu'on arrive à la solution où on va indiquer que c'est vraiment la balance (...?) je sais que les soucis viendront de là /

Transcript d'entretien - 3 : Confusion entre poids et masse. Avec Florence

Nous avons donc identifié plusieurs théorèmes-en-acte :

- Je sais que tous les élèves ne seront pas d'accord ;
- Je sais que kilogramme sera dans le poids ;
- Je sais que le mot balance n'ira pas forcément avec masse ;
- Je sais que certains mots ne sortiront pas au bon endroit (Transcript d'entretien - 1, p. 83) ;
- Je sais que classer les propositions en tableau avec une colonne masse et une colonne poids permet de mettre en évidence les erreurs et les doutes.

Parmi les concepts-en-acte dans ce schème, nous pouvons identifier les concepts de poids et de masse. La relation « dialectique » entre les théorèmes et les concepts « en-acte » est identifiable à travers les propositions listées ci-dessus.

4.3.3.2. Le Schème B

Notre analyse pour identifier les constituants du schème B est en tout point identique à celle que nous avons développée pour le schème A. Nous avons montré, au paragraphe 4.3.2, que **le but** de Florence est de « repérer les acquis des élèves et leurs conceptions initiales sur le thème du poids et de la masse ». Sa **règle d'action** associée est de « demander aux élèves à quoi ils pensent quand on parle de poids ou de masse ».

L'anticipation du but de Florence est donnée dans l'entretien en auto-analyse simple. Elle souhaite « faire un diagnostic », c'est-à-dire qu'elle s'attend à ce qu'ils fassent des erreurs notamment dans la confusion, qu'elle sait très prégnante, entre le poids et la masse d'un objet (Transcript d'entretien - 3, p. 87). Alors, nous notons l'anticipation de son but comme suit : « J'attends de repérer les CI des élèves à travers leur réponse à la question posée et notamment tout ce qui est en rapport avec l'amalgame qu'ils font entre le poids et la masse ».

En ce qui concerne **les inférences** faites par l'enseignante, nous les notons sous la forme suivante : « Si les élèves répondent des unités de masse, lourd/léger, la balance alors je note les propositions et je poursuis. Si les élèves répondent des erreurs scientifiques alors je les corrige ». Nous avons déjà souligné les réponses attendues par Florence et son action qui consiste à ponctuer chaque réponse par « d'accord » ou « oui ». A travers cette déclaration de l'enseignante, « déjà dans leurs connaissances d'essayer de faire un peu le ménage avant de commencer »,

nous savons qu'elle s'attend à devoir corriger les erreurs des élèves. C'est bien ce qu'elle tente de faire lorsqu'un élève associe volume à masse.

Les indices pris par Florence sont encore les réponses des élèves : un contenu juste ou faux, un contenu attendu ou non et des informations données par les élèves, « sans paroles ». Par conséquent nous formulons les indices comme « les réponses des élèves ».

En ce qui concerne **les invariants opératoires**, nous nous appuyons sur les analyses réalisées dans les paragraphes précédents. Les théorèmes-en-acte sont listés ci-dessous, et référencés (tableau du transcript dans lequel se trouve l'information) :

- Je sais qu'il y a des choses à casser ! (Transcript d'entretien - 1, p. 83) ;
- J'attends lourd/léger car je l'ai eu dans une autre classe (Transcript d'entretien - 2, p. 84) ;
- Je sais que j'aurai kilogramme et la balance classe (Transcript d'entretien - 2, p. 84) ;
- Je sais qu'il faut faire émerger les conceptions initiales des élèves au début de la séquence pour pouvoir construire des apprentissages par la suite ;
- Je débute la séquence en posant une question à toute la classe.

Nous retrouvons, parmi les concepts-en-acte, ceux de poids et de masse.

4.3.4. Développement des schèmes

Chaque schème peut être formalisé sous la forme d'un tableau (Tableau 7 et Tableau 8). La colonne de gauche indique les éléments constitutifs du schème, la colonne de droite propose ce que l'enseignant fait ou pense en situation. Nous avons exposé, au paragraphe 4.3.3, comment nous renseignons chaque élément. Nous faisons le choix, dans le cas présent, de ne pas noter explicitement les concepts-en-acte dans les invariants opératoires des schèmes A et B. Nous pouvons les déduire des théorèmes-en-acte, tels que nous les avons écrits.

Les schèmes A et B montrent l'organisation de l'activité de Florence en ce début de séquence. Nous nous rappelons qu'elle débutait la séance par une question de manière à connaître les conceptions des élèves sur ce thème. Dans les programmes de physique-chimie au collège, ce début de cours correspond à « la situation-problème ». Elle est identifiée comme un « des sept moments essentiels de la démarche d'investigation »

(chapitre 6). Elle vise, notamment, à « identifier les conceptions ou les représentations des élèves, ainsi que les difficultés persistantes (analyse d'obstacles cognitifs et d'erreurs) »¹⁴. Nous retrouvons le but du schème B convoqué par Florence. Par conséquent, elle a organisé son début de séquence comme les programmes le préconisent, afin « d'élaborer un scénario d'enseignement en fonction de l'analyse de ces différents éléments ((de la situation-problème)) ».

Le problème pour les élèves est de lier chacune des propositions au poids ou à la masse. La situation-problème, construite par Florence, se compose des conditions qu'elle réunit pour confronter les élèves aux problèmes que pose ce classement (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006).

Dans les deux paragraphes suivants, nous présentons chaque schème, et nous montrons leur cohérence vis-à-vis de la situation de classe observée et transcrite. Nous spécifions les relations entre chaque élément, en référence à l'organisation de l'activité de Florence.

4.3.4.1. Le schème A

Comparons le but et la règle d'action. Demander aux élèves si chaque proposition concerne le poids ou la masse est bien en adéquation avec le but de Florence qui est de classer ces propositions. Florence s'attend notamment à des erreurs, ce qui constitue une partie des théorèmes-en-acte du schème : « Ce que l'enseignant sait des élèves ». A partir des propositions de classement et en s'appuyant sur les invariants opératoires, ainsi que sur les indices qu'elle prend, Florence élabore le classement (Tableau 7).

Schème A : Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse	
But	Classer les réponses des élèves par rapport au poids ou à la masse
Anticipation	J'attends que les élèves me disent si leur proposition concerne la masse ou le poids
Inférences	Si un élève hésite alors je demande à un autre élève Si un élève donne une réponse alors je demande si tout le monde est d'accord Si je sens des hésitations alors je demande s'ils sont sûrs de leur réponse
Indices	Les réponses des élèves

¹⁴ BO spécial N°6 du 28 Aout 2008

Règle d'action	Demander aux élèves si leur proposition concerne le poids ou la masse
Invariants opératoires	Je sais que tous les élèves ne seront pas d'accord Je sais que kilogramme sera dans le poids Je sais que le mot balance n'ira pas forcément avec masse Je sais que certains mots ne sortiront pas au bon endroit Je sais que classer les propositions en tableau, avec une colonne masse et une colonne poids, permet de mettre en évidence les erreurs et les doutes des élèves

Tableau 7 : Année 1. Schème A « Classification des propositions des élèves ». Cas de Florence

4.3.4.2. Le schème B

La règle d'action est bien conforme au but que Florence s'est fixé. Demander aux élèves ce qu'ils savent sur le poids et la masse devrait permettre à l'enseignante de repérer leurs conceptions initiales. Florence s'attend à identifier un amalgame entre la masse et le poids ainsi que d'autres types de réponses. Toutes ces réponses attendues constituent une partie des théorèmes-en-acte du schème, « Ce que l'enseignant sait des élèves ». A partir de leurs propositions, tout en s'appuyant sur les invariants opératoires et sur les indices qu'elle prend, Florence fait émerger les conceptions initiales des élèves (Tableau 8).

Schème B : Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse	
But	Repérer les acquis des élèves et leurs conceptions initiales (CI) sur le thème du poids et de la masse
Anticipation	J'attends de repérer les CI des élèves à travers leur réponse à la question posée et notamment tout ce qui est en rapport avec l'amalgame qu'ils font entre le poids et la masse
Inférences	Si les élèves répondent des unités de masse, lourd/léger, la balance alors je note les propositions et je poursuis. Si les élèves répondent des erreurs scientifiques alors je les corrige
Indice	La réponse d'un élève
Règle d'action	Demander aux élèves à quoi ils pensent quand on parle de poids ou de masse
Invariants opératoires	Je sais qu'il y a des choses à casser ! J'attends lourd/léger car je l'ai eu dans une autre classe Je sais que j'aurais le kilogramme et la balance Je sais qu'il faut faire émerger les conceptions initiales des élèves au début de la séquence pour pouvoir construire des apprentissages par la suite Je débute la séquence en posant une question à toute la classe

Tableau 8 : Année 1. Schème B « Connaissance des C.I. des élèves ». Cas de Florence

4.3.5. Organisation de l'activité de Florence

Nous considérons qu'en ce début de séance, Florence a mobilisé un schème A « Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » et un schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse ». Selon la théorie de Vergnaud, un schème peut comporter un but et des sous-buts ou bien il peut piloter l'utilisation de plusieurs autres schèmes. Les schèmes se composent et se décomposent hiérarchiquement (Vergnaud & Récopé, 2000). Nous avons décrit l'activité de Florence en deux schèmes A et B. Nous allons maintenant justifier ce choix.

4.3.5.1. Une organisation en schèmes et sous-schèmes

Chaque but induit une nouvelle règle d'action. Nous modélisons l'activité de Florence en comparant les anticipations pour chacun des buts. Si nous constatons que ses anticipations sont identiques, alors il n'y a pas de nouveau schème : le schème « initial » s'écrit avec un but et des sous-buts correspondants à chaque nouvelle règle d'action. Par contre, si les anticipations ne sont pas les mêmes alors il y a un nouveau schème. De plus, nous considérons que ce nouveau schème est un sous-schème du schème « initial » c'est-à-dire que l'activité pourra se décrire en un schème et un ou des sous-schèmes.

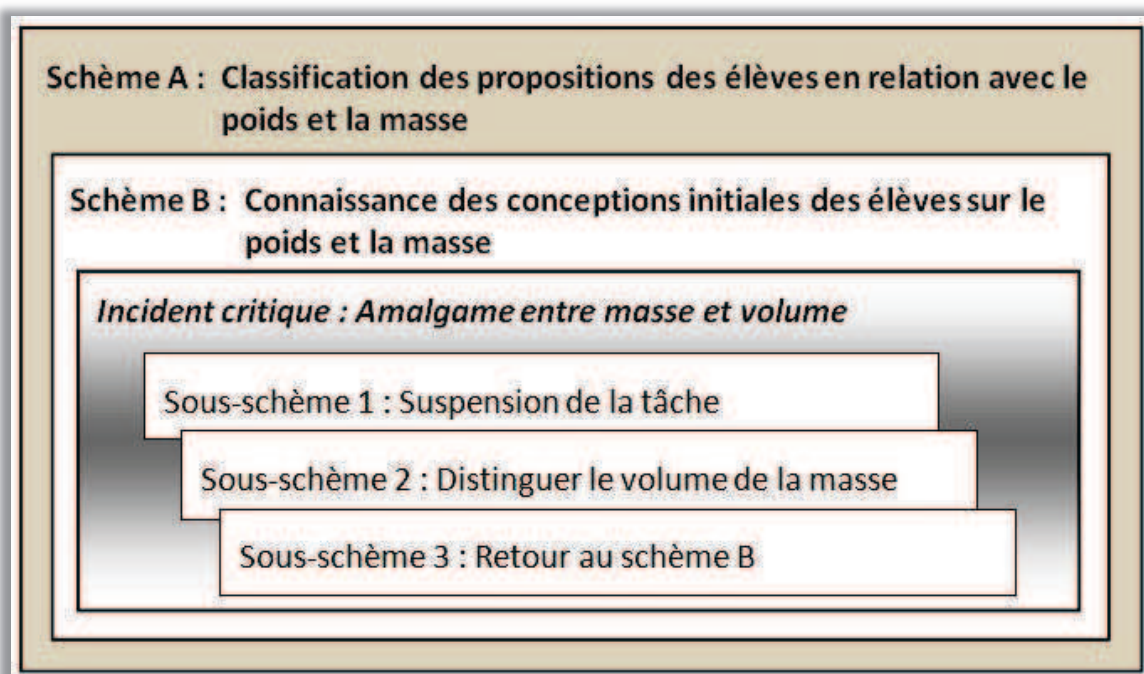


Figure 8 : Modélisation de la situation d'entrée. Cas de Florence

Dans l'exemple de l'activité produite par Florence, les anticipations du schème A « Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » ne sont

pas identiques à celles du schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse ». En effet, d'un côté, Florence attend des élèves une proposition de classement et, de l'autre, elle attend qu'ils disent ce qu'ils savent sur le poids et la masse, pour éventuellement corriger leurs erreurs. Donc, le schème B est un sous-schème du schème A (Figure 8, p. 92).

4.3.5.2. Un incident critique

Lorsque Florence fait émerger les conceptions initiales des élèves, elle se trouve confrontée à une réponse qu'elle n'avait pas prévue (Transcript d'entretien - 2, p. 84) : un élève dit que la masse lui fait penser au volume. Florence décide, dans l'action, de préciser la distinction qu'il existe entre ces deux grandeurs afin de ne pas laisser d'idées fausses « qui pourraient constituer un obstacle plus tard » (Transcript de séance - 4).

Locuteurs	Productions verbales
E1	volume
F	volume /// ((l'enseignante hoche la tête))
E3	lourd léger
F	lourd léger / alors volume / y'a une petite distinction entre masse et volume / d'accord // donc volume alors après c'est plutôt la contenance / donc lourd léger /// non y'a pas d'autres choses qui viennent

Transcript de séance - 4 : Amalgame entre masse et volume. Cas de Florence

Nous observons l'enseignante mobiliser la classe sur un amalgame, en formulant un premier élément de réponse qu'elle termine par « d'accord », en regardant toute la classe et en faisant une pause d'environ 4 secondes, juste après. Ensuite, elle dit que le volume est lié à une contenance, avant de revenir au déroulement prévu du cours en posant la question : « y'a pas d'autres choses qui viennent ». Nous notons cet incident critique « amalgame entre masse et volume » que nous décrivons suivant trois sous-schémes du schème B car la nature des anticipations du schème B change pendant l'adaptation de l'enseignant à la réponse de l'élève. En effet, Florence mobilise la classe sur la « petite distinction entre masse et volume ». Elle s'attend à ce que tous les élèves soient attentifs à la précision qu'elle donnera au sujet de ce qui distingue les deux concepts. Nous pouvons percevoir que l'anticipation de son but « Mobiliser toute la classe » est différente de celle du schème B que nous avons formulé par : « J'attends de repérer les CI des élèves à travers leur réponse à la question posée et notamment tout ce qui est en rapport avec l'amalgame qu'ils font entre le poids et la masse ». De ce fait, le

schème B se décline en sous-schèmes. Nous les numérotons pour montrer que le schème B se décompose hiérarchiquement.

Nous montrons au paragraphe 7.2.1.1. (p. 175) l'organisation de l'incident critique « Amalgame entre masse et volume » à partir des trois sous-schèmes.

4.4. Cas d'André

L'extrait analysé se situe au milieu de la première séance d'une séquence en électricité. Lors de la mise en commun, après la première phase expérimentale, André souhaite que les élèves décrivent ce qu'ils ont fait et comment ils ont allumé la lampe à l'aide de la pile. Il veut mettre en évidence la nécessité de définir du vocabulaire scientifique pour pouvoir être précis dans sa description.

4.4.1. Séance 1 : pile/lampe

Nous nous situons à environ 23 minutes du début de la séance. Auparavant, l'enseignant a introduit la séquence, pour contextualiser le travail qui sera fait. Puis il a mis en place une phase expérimentale, dans laquelle les élèves ont à allumer une lampe avec une pile et dessiner leur montage. La mise en commun qui suit comporte deux épisodes. Un travail à partir de la trace écrite de chaque groupe pour symboliser la pile et la lampe et la schématisation du montage pile/lampe avec un apport de vocabulaire sur les points de contact.

La question « que faut-il pour que cette ampoule s'allume » a été posée deux fois par André, à six minutes d'intervalle : ceci définit deux moments distincts. La première fois, la question sert à faire émerger la nécessité d'un vocabulaire scientifique commun pour pouvoir décrire l'expérience. Elle trouvera une réponse, dans un second temps.

Nous présentons plusieurs extraits du transcript des six minutes pendant lesquelles les élèves et l'enseignant définissent le vocabulaire scientifique dédié à la pile et à la lampe (Transcript de séance - 5, Transcript de séance - 6, Transcript de séance - 7, Transcript de séance - 8).

Locuteurs	Productions verbales
A	que faut-il pour que mon ampoule s'allume
E6	faut qu'elle soit appuyée sur les

A	sur les quoi
E6	sur les bornes
A	sur les bornes c'est quoi les bornes

Transcript de séance - 5 : Identification des bornes de la pile. Cas d'André

Locuteurs	Productions verbales
E9	du métal
A	oui c'est du métal bien sûr
E10	des bornes
A	oui des bornes oui on appelle ça aussi des lames d'accord bien / est-ce qu'elles sont de la même longueur
Es	non

Transcript de séance - 6 : Définition des lames de la pile. Cas d'André

Locuteurs	Productions verbales
A	mais si je prends par exemple mon ampoule et que je mets mon ampoule sur les bornes ((andré joint le geste à la parole))
Es	ça marche pas
E13	(... ?) faut que le noir touche la pile
A	le noir c'est quoi le noir le noir ici là
E13	oui et le gris
A	le noir le gris ben déjà déjà on ne parle pas de la même chose ça serait peut-être bien qu'on parle de la même chose des choses que vous avez vues l'année dernière ça ((andré montre la pile)) ici on a été capable de donner le nom des différentes parties là avec les bornes plus et moins mais ici au niveau de l'ampoule

Transcript de séance - 7 : Nécessité d'un vocabulaire commun. Cas d'André

Locuteurs	Productions verbales
E18	c'est le culot
A	qu'est-ce qui est le culot
E18	euh le truc noir
A	le truc noir ou le machin noir / ou le bidule noir tu sais bien que je n'aime pas les trucs
E18	ce qui est noir
A	ce qui est noir qui se trouve où /
E19	au bout
A	au bout / ça c'est le culot ça
E18	oui
A	ici c'est le culot ((André pointe le plot)) (... ?)
A	(... ?) bon alors ça je n'sais plus ((en montrant le plot)) mais ça ça s'appelle comment alors ((en montrant le culot))
Es	c'est ça le culot
Es	non
Es	oui
E21	si c'est ça le culot

Transcript de séance - 8 : Définition du culot de la lampe. Cas d'André

André dessine un schéma de la lampe qu'il légende, au fur et à mesure que les propositions de vocabulaire liées aux différentes parties sont validées.

Puis, la question est posée une seconde fois :

Locuteur	Production verbale
A	((andré complète la légende avec plot et culot)) // d'accord / donc là encore on parlera de la même chose / d'accord maintenant je repose ma question que faut-il pour que cette ampoule s'allume que faut-il que je fasse avec / ma pile

Transcript de séance - 9 : Reformulation de la question de départ. Cas d'André

Nous constatons, à travers ces différents extraits du transcript de la séance 1, l'organisation de l'activité d'André. Son but apparaît dès le premier tour de parole (Transcript de séance - 5, p. 95). Il pose la question : « que faut-il pour que mon ampoule s'allume ». Il souhaite que les élèves décrivent l'expérience pour allumer une lampe à l'aide d'une pile. Pour cela, il interagit avec eux. Dans le dernier extrait (Transcript de séance - 9, p. 96), André pose la même question légèrement reformulée ; son but n'a pas changé pendant l'intervalle de temps de six minutes, entre les deux questions.

Dans ces différents extraits, nous observons André mettre en évidence la nécessité d'un vocabulaire commun pour bien comprendre l'expérience qui a été faite. Il choisit de définir le vocabulaire scientifique attribué à chaque élément, la pile et la lampe, au fur et à mesure des interactions. Dans l'entretien en auto-analyse simple il dit : « le vocabulaire se pose tout doucement au fur et à mesure que l'on redécouvre le matériel ».

Pour nous, le but d'André est de « Décrire l'expérience permettant d'allumer une lampe à l'aide d'une pile en utilisant le vocabulaire scientifique ». Il se décline en un sous-but qui est de « Définir un vocabulaire scientifique concernant les parties de chaque élément constituant le montage ». Pourquoi le but se décline-t-il en sous-but ?

Comme nous l'avons écrit au paragraphe 4.3.5.1., si nous constatons que les anticipations de chaque but restent identiques, alors il n'y a pas de nouveau schème : le schème « initial » s'écrit avec un but et des sous-buts correspondants à chaque nouvelle règle d'action. C'est bien le cas que nous décrivons. C'est pour atteindre son but que l'enseignant définit le vocabulaire scientifique. Donc l'anticipation est inchangée. Il attend que les élèves participent à la définition d'un vocabulaire scientifique pour décrire l'expérience.

Nous nommons le schème convoqué par André : schème A « Identification des points de contact entre la pile et la lampe ». Nous avons déjà identifié quelques-uns de ses éléments constitutifs :

- But : Décrire l'expérience permettant d'allumer une lampe à l'aide d'une pile en utilisant le vocabulaire scientifique ;
- Anticipation : J'attends que les élèves participent à la définition d'un vocabulaire scientifique pour décrire l'expérience ;
- Sous-but 1 : Définir un vocabulaire scientifique concernant les parties de chaque élément constituant le montage ;
- Indice : Une main levée ;
- Règle d'action : Nommer l'élève et lui demander d'expliquer ;

La suite du transcript montre le retour à l'organisation prévue. Il interagit à nouveau avec les élèves afin d'atteindre son but « Décrire l'expérience permettant d'allumer une lampe à l'aide d'une pile en utilisant le vocabulaire scientifique appris ».

Après une nouvelle phase expérimentale très courte, qui constitue un premier incident critique André revient sur son but. L'extrait du transcript qui suit (Transcript de séance - 10, p. 97) fait apparaître un second sous-but du but du schème A.

Locuteurs	Productions verbales
E24	le plot faut le poser
A	alors si tu veux bien je vais dessiner / ma pile d'accord avec une borne ((andré dessine en même temps)) et une autre borne que faut-il que je fasse maintenant
E24	on pose le plot sur la borne de gauche
A	d'accord donc il faut que je fasse quelque chose comme ça ((andré dessine)) et ensuite / la borne de droite
E24	et le culot sur la borne de droite
A	et le culot sur la borne de droite

Transcript de séance - 10 : Schéma du montage pile/lampe. Cas d'André

L'enseignant schématise le montage pile/lampe sous la dictée d'un élève. André justifie cette situation dans l'entretien : « ben pour avoir une vision plus correcte si j'avais fait la manipulation comme ça devant les élèves c'est tout petit avec mes gros doigts et mes petites ampoules, c'est pas facile à voir alors que là ça permet à tout le monde de voir ce qui se passe au tableau et ensuite c'est la phase d'institutionnalisation qui se met aussi en place c'est ce qui va se retrouver aussi dans leur trace

écrite ». Cet extrait confirme notre hypothèse. André décide de schématiser le montage pour que ce soit plus visible par les élèves et, en même temps, le schéma constituera la trace écrite institutionnalisée. Il s'agit d'un sous-but car il participe à la description de l'expérience pour allumer la lampe à l'aide d'une pile. Par conséquent l'anticipation de l'enseignant ne change pas.

Nous notons éléments constitutifs du sous-but 2 :

- Sous-but 2 : Schématiser le montage pile / lampe ;
- Indice : Les indications de l'élève ;
- Règle d'action : Dessiner ce que l'élève dit en plaçant précisément les points de contacts ;

Le schème convoqué par André est donc constitué d'un but et de deux sous-buts. Il traduit l'organisation de son activité telle que nous pouvons l'observer à partir de la vidéo. Nous allons, dans le paragraphe suivant, renseigner tous ses éléments constitutifs, puis nous modéliserons l'activité d'André dans laquelle apparaissent deux incidents critiques.

4.4.2. Une organisation en but et sous-buts

Nous décrivons l'activité d'André par un schème A « Identification des points de contact entre la pile et la lampe ». Nous le représentons par un tableau (Tableau 9, p. 99) dont nous avons renseigné les éléments suivant la même méthodologie que celle décrite dans le paragraphe 4.3.3..

Schème A : Identification des points de contact entre la pile et la lampe	
But	Décrire l'expérience permettant d'allumer une lampe à l'aide d'une pile en utilisant le vocabulaire scientifique
Anticipation	J'attends que les élèves participent à la définition d'un vocabulaire scientifique pour décrire l'expérience Le schéma du montage participera à l'écrit d'institutionnalisation
Inférences	Si les élèves ne sont pas assez précis dans le vocabulaire employé alors je leur demande de préciser Si un élève veut décrire son expérience alors je lui demande de venir au tableau et de montrer à tout le monde avec du matériel Si un élève n'arrive pas à répondre précisément alors j'interroge un autre élève Si un élève parle d'électricité alors je demande si avec une pile je risque de m'électrocuter

Sous-but1	Définir un vocabulaire scientifique concernant les parties de chaque élément constituant le montage
Indice	Une main est levée
Règle d'action	Nommer l'élève et lui demander d'expliquer
Sous-but2	Schématiser le montage pile / lampe
Indice	La réponse de l'élève
Règle d'action	Dessiner ce que l'élève dit en plaçant les points de contacts
Invariants opératoires	<p>Je sais qu'une pile est composée de 2 lames de longueur différentes</p> <p>Je sais que le plot doit toucher une lame et le culot l'autre lame</p> <p>Je sais que la lampe est un dipôle non polarisé</p> <p>Je sais que les élèves l'ont déjà appris l'année dernière</p> <p>Je sais qu'il n'y a pas de risque d'électrocution si les élèves touchent des parties métalliques du montage électrique</p> <p>Je sais que la lumière est produite par le filament car il chauffe pendant le passage du courant électrique</p> <p>J'expérimente en même temps que les élèves me décrivent leur action passée. Le résultat observé constitue une preuve</p> <p>Je construis le schéma légendé de la lampe au tableau au fur et à mesure que le vocabulaire scientifique est identifié</p> <p>Je schématise le montage pile / lampe au tableau avant que les élèves ne répondent pour mieux conceptualiser l'action décrite</p> <p>Je construis le schéma légendé de la lampe au tableau au fur et à mesure que le vocabulaire scientifique est identifié</p> <p>Je prends l'exemple d'un élève absent à qui nous allons devoir expliquer où brancher la lampe avec la pile quand il reviendra</p>

Tableau 9 : Schème A « Identification des points de contact entre la pile et la lampe ». Cas d'André

Nous rajoutons un élément dans l'**anticipation** du but de l'enseignant. André a déclaré que le schéma du montage constituerait la trace écrite d'institutionnalisation qui sera placée dans le classeur de sciences. Par conséquent, il organise son activité de manière à finir sur ce schéma.

Les **inférences** sont déduites du croisement entre la vidéo de la séance et les vidéos des entretiens. Nous avons déjà relevé le travail sur le langage effectué par André qui nous amène à noter ses demandes de précisions ou la sollicitation d'un autre élève pour aider le premier qui n'est pas assez clair (§ 4.4.1.). Il demande aussi à une élève de venir au tableau car « elle dit quelque chose d'intéressant au niveau du vocabulaire au niveau de la description de la pile (...) et aussi pour remobiliser l'attention des élèves qui séchaient (...) ». Il dit faire ceci régulièrement dans beaucoup de matières scolaires. Enfin, nous observons André faire une digression vers les « risques électriques » pour vérifier les connaissances des élèves et « parce qu'elle m'a tendu la perche quoi / ce sont des petites régulations qui arrivent comme ça ».

Les invariants opératoires convoqués par André relèvent de connaissances disciplinaires de type SMK et de connaissances pédagogiques du contenu de type PCK. Par exemple, la proposition « je sais que la lampe est un dipôle non polarisé » montre une connaissance disciplinaire très au-dessus du niveau dans lequel André enseigne et qui lui permet de débloquent les élèves lors de l'incident critique n° 2 (Transcript de séance - 12, p. 101). Par contre, la proposition « Je sais que les élèves l'ont déjà appris l'année dernière » est une connaissance sur les élèves que nous notons PCK/é. Nous ne ferons pas ici l'étude des connaissances mobilisées par André ; ce sera l'objet du paragraphe 5.2.1.2. (p. 110). Toutes ces propositions sont issues des analyses vidéo comme nous l'avons montré précédemment.

4.4.3. Modélisation de l'activité d'André

Nous modélisons cette situation suivant un schème A « Identification des points de contact entre la pile et la lampe » et deux incidents critiques (Figure 9, p. 102).

4.4.3.1. Deux incidents critiques

Revenons sur la vidéo de la séance concernant l'épisode décrit au paragraphe 4.4.1.. Les extraits du transcript (Transcript de séance - 11, p. 100 et Transcript d'entretien - 4, p. 101) ont été sélectionnés pour faire apparaître deux ruptures dans l'organisation de l'activité d'André, consécutives à deux incidents critiques.

Locuteurs	Productions verbales
A	(... ?) que faut-il pour que cette ampoule s'allume que faut-il que je fasse avec / ma pile
E22	faut mettre le plot dessus ici comme ça
A	non non faut mettre le plot ici alors c'est où ici imagine imagine imagine max n'est pas là on va lui donner ce soir une feuille et on va lui dire max il faut que tu poses la pile ici et le culot là est-ce que tu crois que max va comprendre quelque chose
Es	non
A	non alors moi je veux des explications qui soient claires / mireille
M	ben le plot
A	attends mireille ce que vous allez faire je vais vous laisser 30 secondes vous allez recommencer et vous allez décrire précisément ce que vous devez faire// où se trouve chaque partie ((les élèves expérimentent pendant 15 secondes)) c'est bon pour tout le monde vous me posez votre matériel clément je t'écoute

Transcript de séance - 11 : Incident critique n°1. Cas d'André

Nous avons observé (paragraphe 4.4.1., p. 94) André avoir les plus grandes difficultés à faire émerger chez les élèves des explications claires et précises à propos du montage qu'ils ont fait. Dès qu'il s'aperçoit, après avoir terminé de définir le vocabulaire scientifique, que les élèves ont à nouveau du mal à décrire clairement leur expérience, il décide de les faire expérimenter à nouveau. André dit que cette situation n'était pas prévue (Transcript d'entretien - 4, p. 101).

Locuteurs	Productions verbales
C	(...) cette décision de repasser une nouvelle fois par l'expérience tu te rappelles pourquoi tu l'as prise
A	parce que c'était le seul moyen pour les enfants de se rendre compte comment ça fonctionnait leur dire faut faire ci faut faire ça ça n'apporte rien pour moi ça n'apportait rien du tout c'est une phase là aussi improvisée mais je dirai que c'est une improvisation judicieuse parce que ça leur permet de se rendre compte mais là on est concrètement dans la phase de redécouverte

Transcript d'entretien - 4 : A propos de l'incident critique n°1. Avec André

André nous donne l'indice qui lui a fait changer son organisation : « alors pourquoi j'ai arrêté là je vais te dire parce que connaissant Mireille je la voyais dire alors tu vois on va prendre le plot et puis alors on va elle elle parle pour parler bon je savais que son explication n'allait pas donner quelque chose ». Donc, c'est à partir du contenu de la réponse proposée par l'élève et sa connaissance de l'élève que l'enseignant a décidé de changer le dispositif.

Nous appellerons cet incident critique n° 1 : « Mise en mots des points de contact entre la pile et la lampe ». Il est très court et il a permis aux élèves d'expliquer très précisément la manipulation à faire pour allumer la lampe avec la pile.

Cependant, un nouveau changement apparaît dans l'organisation de l'activité d'André (Transcript de séance - 12, p. 101). Au cours de l'explication précédente, suite au retour par l'expérience, les élèves n'étaient pas d'accord entre eux sur le sens du branchement de la lampe.

Locuteurs	Productions verbales
A	c'est-à-dire inverser est-ce que cela fonctionne aussi
Es	oui
A	essayez essayez des deux côtés
Es	(...?)
E25	((en binôme)) ah ça marche nous on a réussi des deux côtés / des deux côtés ça marche

Transcript de séance - 12 : Incident critique n°2. Cas d'André

André remet les élèves à expérimenter. La preuve s'établit à nouveau par l'expérience. André nous donne l'indice qui lui a fait changer l'organisation de son activité : « ben le brouhaha de la classe ». Les élèves concluent que la lampe peut se brancher dans les deux sens.

La phrase du dernier tour de parole indique que l'enseignant pense avoir atteint son but. Les élèves vont construire l'écrit de synthèse.

4.4.3.2. L'activité d'André

Nous décrivons les deux incidents critiques respectivement suivant trois sous-schémas du schème A car la nature des anticipations du schème A change pendant l'adaptation de l'enseignant. Nous avons noté l'anticipation du schème A comme ceci : « J'attends que les élèves participent à la définition d'un vocabulaire scientifique pour décrire l'expérience. Le schéma du montage participera à l'écrit d'institutionnalisation ».

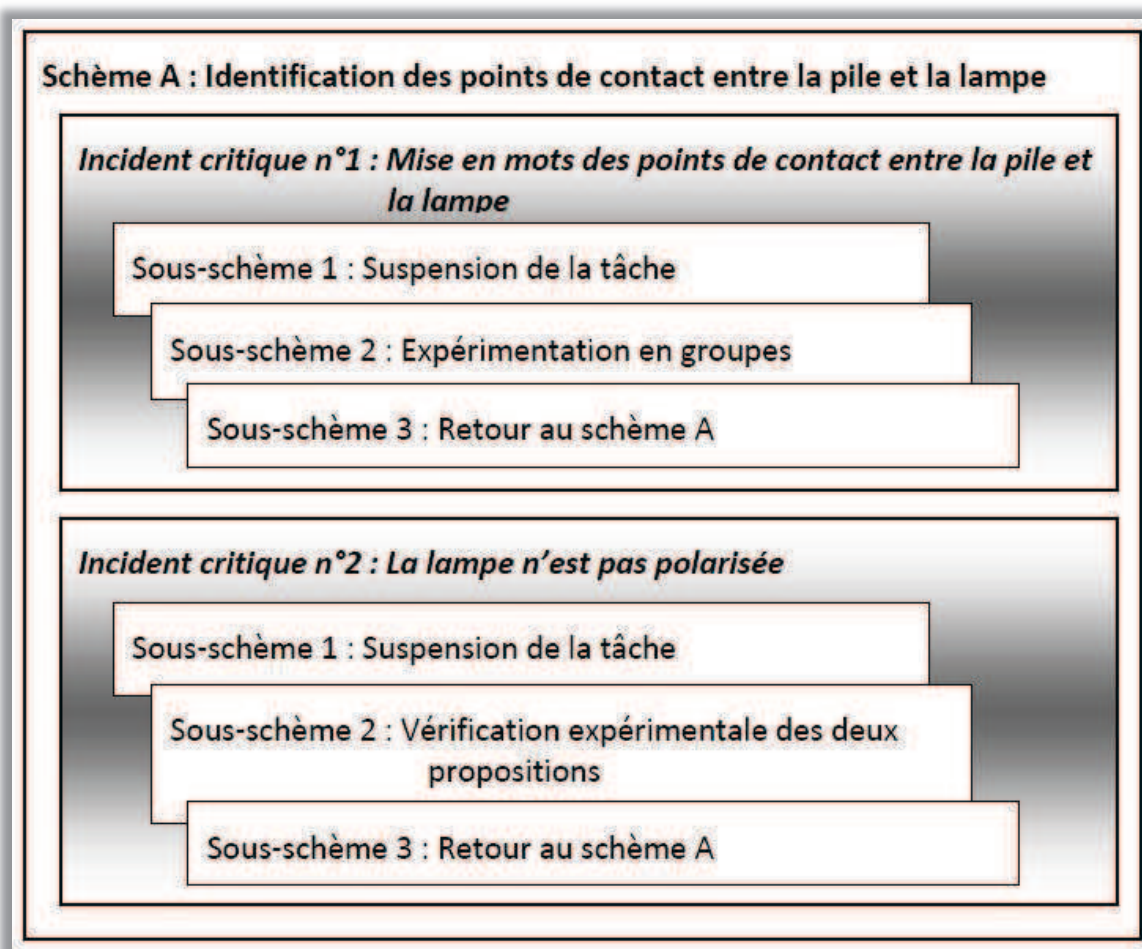


Figure 9 : Modélisation de l'activité « Points de contact entre la pile et la lampe ». Cas d'André

Dans le cas de l'incident critique n° 1, André mobilise toute la classe en disant : « attends mireille ce que vous allez faire ». Cette phrase permet à André de suspendre la tâche en cours. De même, dans le cas de l'incident critique n° 2, André dit « non non non je lève la main vous avez essayé ». Ce n'est qu'après qu'il dira aux élèves de tester les deux possibilités et de conclure.

Par conséquent, l'anticipation du schème A change pour chaque incident critique. Dans les deux cas, André doit suspendre la tâche en cours et mobiliser la classe pour donner sa nouvelle consigne. L'anticipation pour chacun des sous-schémas 1 est notée : « J'attends que tous les élèves écoutent la nouvelle consigne ».

Dans ce chapitre, nous avons étudié deux cas pour montrer que l'organisation de l'activité des enseignants peut se décrire à partir de l'identification d'un ou plusieurs schèmes mobilisés. Nous allons revenir sur les deux types d'organisation puis introduire le chapitre suivant.

4.5. Conclusion

Nous avons étudié deux cas spécifiques. Cependant, ils nous permettent de mettre au jour des résultats de portée générale. Nous montrons comment nous identifions les éléments constitutifs des schèmes mobilisés par les enseignants. D'un point de vue méthodologique, nous croisons l'analyse de la vidéo dans laquelle nous observons l'enseignant en classe avec l'analyse des vidéos des entretiens en auto-analyse simple et croisée. Nous identifions les incidents critiques avec les enseignants, dans les entretiens. Ensuite, nous élaborons un transcript de la vidéo de classe et des passages des entretiens s'y rapportant. Les extraits de transcripts nous permettent de renseigner, avec plus de précisions, les éléments des schèmes.

Dans notre description du schème, nous présentons les six composantes sous la forme d'un tableau.

Nous exprimons le ou les indices que l'enseignant prélève dans l'action car ils apparaissent dans les entretiens. Ces indices sont des informations prises dans la classe en relation avec le but de l'enseignant et son anticipation. Ils peuvent expliquer des changements dans le déroulement prévu. Autrement dit, ils sont à l'origine d'une réorganisation de l'activité du professeur, soit dans l'instant, soit *a posteriori*. Nous reviendrons sur ces aspects, lors de notre étude des boucles de régulation rétroactives de

l'activité. Ces indices peuvent être de natures différentes : des réponses erronées d'élèves, du bruit dans la classe, des désaccords entre les élèves, etc.

Nous avons montré que seuls les inférences et les invariants opératoires ne sont pas explicitement exprimés par les enseignants pendant les entretiens. Ils racontent le déroulement des actions, de manière linéaire, sans relever les conditions qui ont conduit aux choix effectués. Ils ont souvent des difficultés à énoncer leurs connaissances, notamment celles qui sont liées à la classe, car elles sont intégrées dans l'exécution de l'activité. Par conséquent, elles peuvent échapper à leur conscience. De ce fait, l'identification des inférences et des invariants opératoires est une reconstruction de l'observateur à partir des analyses des différentes sources à disposition. L'interprétation peut paraître subjective ; la liste donnée n'est pas exhaustive ; le contenu est discutable.

Les deux cas que nous avons choisi de présenter ici, permettent de montrer comment un but peut se décliner en sous-buts et un schème en sous-schèmes. Nous avons observé que chaque but induit une nouvelle règle d'action. Nous comparons les anticipations pour chacun des buts. Si nous constatons que les anticipations restent les mêmes, alors il n'y a pas de nouveau schème : le schème « initial » s'écrit avec un but et des sous-buts correspondants à chaque nouvelle règle d'action. Par contre, si les anticipations ne sont pas les mêmes alors il y a un nouveau schème. De plus, nous considérons que ce nouveau schème est un sous-schème du schème « initial » c'est-à-dire que l'activité pourra se décrire en un schème et un ou des sous-schèmes.

Dans les deux cas, celui de Florence et celui d'André, chaque incident critique correspond à une déclinaison du schème initial en trois sous-schèmes. Les anticipations de chaque but changent car la réponse à l'imprévu nécessite, de la part du professeur, de mobiliser la classe sur l'origine de la tension. L'organisation de l'activité de l'enseignant est hiérarchisée : elle peut être décrite par un schème général qui pilote l'utilisation de plusieurs autres schèmes. Les schèmes se composent et se décomposent hiérarchiquement (Vergnaud & Récopé, 2000).

En revanche, une partie de l'organisation de l'activité de chacun des enseignants est différente. Dans le cas de Florence, elle convoque deux schèmes. Chacun des buts est différent. Par conséquent, l'anticipation que l'enseignante a du résultat produit par les élèves sera différente pour chacun des buts. Dans le cas d'André, il convoque un seul schème dont le but se décompose en sous-buts. Son organisation est construite de manière

à ce qu'il atteigne son but en plusieurs étapes donc l'action est organisée autour du but et des sous-buts.

Dans le chapitre suivant, nous allons analyser plus précisément deux composantes du schème : les inférences et les invariants opératoires. Nous identifions les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants à partir du cadre théorique des PCK.

Chapitre 5 : Les connaissances professionnelles dans l'organisation de l'activité

5.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons montré comment nous identifions les éléments constitutifs des schèmes convoqués par les enseignants et renseignons les six composantes dans un tableau.

Nous allons, dans ce chapitre, indiquer comment nous relevons les connaissances des enseignants dans les schèmes qu'ils convoquent. Nous allons étudier plus précisément deux de ces six composantes : les invariants opératoires et les inférences. Nous avons postulé, dans le paragraphe 2.7.7. (cadre théorique), que certaines connaissances des enseignants allaient se retrouver dans les invariants opératoires. Nous avons établi la relation entre les propositions, les concepts et les connaissances des enseignants. Nous étudions les inférences, à deux moments particuliers : lors d'une activité mise en œuvre telle qu'elle était prévue et lors d'un incident critique.

Nous poursuivons l'identification des connaissances professionnelles des enseignants d'une part, en complétant les catégories des PCK déjà repérées dans les invariants opératoires des schèmes et, d'autre part, en analysant les connaissances disciplinaires (SMK) et des connaissances sur le contexte (KofC), du point de vue de leur impact sur l'organisation de l'activité des enseignants. Nous discutons, notamment, trois sous-catégories des PCK du modèle de Magnusson et al..

Nous illustrons ce travail d'élaboration théorique par l'analyse de l'organisation de l'activité des quatre enseignants. L'étude à ces différents niveaux d'enseignement nous permet de confronter le cadre d'analyse des PCK à certaines spécificités qui pourraient questionner sa typologie.

5.2. *Liens entre les connaissances et les schèmes*

Nous faisons le choix de débiter cette étude en revenant sur les activités de Florence et d'André, décrites au chapitre précédent, car l'analyse présentée nous permet de bien situer les contextes et l'organisation de leur activité. Dans ce paragraphe, nous présentons une autre situation : André introduit une activité expérimentale dans laquelle les élèves doivent élaborer un circuit électrique simple. Elle comporte une spécificité que nous avons identifiée chez les deux enseignants de cycle 3 : ils donnent une consigne de travail « double » ; elle comporte à la fois une manipulation à réaliser et une trace écrite à produire. Cette spécificité a une incidence sur la nature des connaissances mobilisées par les enseignants.

5.2.1. Dans les invariants opératoires

5.2.1.1. Dans le second degré. Cas de Florence

Florence souhaite faire émerger les conceptions initiales des élèves et les classer dans un tableau. Elle convoque deux schèmes : le schème A « Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » et le schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse » (§ 4.3.4.).

Dans les invariants opératoires des deux schèmes (Tableau 10, p. 109 et Tableau 11, p. 109) nous identifions une connaissance scientifique, de type SMK, sur les concepts de poids et de masse. Analysons alors les propositions correspondant aux théorèmes-en-acte.

a. Invariants opératoires du schème A

Schème A : Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse	
Invariants opératoires	<p>Je sais que tous les élèves ne seront pas d'accord</p> <p>Je sais que kilogramme sera dans le poids</p> <p>Je sais que le mot balance n'ira pas forcément avec masse</p> <p>Je sais que certains mots ne sortiront pas au bon endroit</p> <p>Je sais que classer les propositions en tableau, avec une colonne masse et une colonne poids, permet de mettre en évidence les erreurs et les doutes des élèves</p>

Tableau 10 : Année 1. Invariants opératoires. Schème A « Classification des propositions des élèves » . Cas de Florence

Nous observons, dans ces théorèmes-en-acte, deux types de connaissances propres à l'enseignement du poids et de la masse : d'une part des connaissances sur les élèves que nous notons *PCK/é* et, d'autre part, une connaissance sur les stratégies, *PCK/stratégie*. Cette dernière connaissance est présente dans la proposition « Je sais que classer les propositions en tableau, avec une colonne masse et une colonne poids, permet de mettre en évidence les erreurs et les doutes des élèves ». C'est une stratégie car c'est bien par le classement que les problèmes se posent et que les conceptions initiales peuvent être discutées. C'est une *PCK/stratégie* qui entre dans la sous-catégorie « Connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences ». Nous pensons qu'elle peut se retrouver dans l'enseignement d'une autre notion scientifique. Les quatre autres propositions s'appuient sur des connaissances que Florence a des élèves à propos de l'enseignement de poids et masse. Elle sait les confusions qui sont faites généralement entre le poids et la masse et tout ce qui s'y rapporte.

b. Invariants opératoires du schème B

Schème B : Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse	
Invariants opératoires	<p>Je sais qu'il y a des choses à casser !</p> <p>J'attends lourd/léger car je l'ai eu dans une autre classe</p> <p>Je sais que j'aurai le kilogramme et la balance</p> <p>Je sais qu'il faut faire émerger les conceptions initiales des élèves au début de la séquence pour pouvoir construire des apprentissages par la suite</p> <p>Je débute la séquence en posant une question à toute la classe</p>

Tableau 11 : Année 1. Invariants opératoires. Schème B « Connaissance des C.I. des élèves... ». Cas de Florence

Nous retrouvons les deux types de connaissances observées dans le paragraphe précédent : des *PCK/é* et des *PCK/stratégie*. La stratégie de Florence est de débiter par

une question de type « que savez-vous sur.. » pour faire émerger les conceptions initiales des élèves. Pour nous, cette PCK/stratégie appartient au sous-groupe « connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences » car elle n'est pas spécifique à l'enseignement de l'électricité. Puis elle expose ses connaissances de certaines conceptions des élèves à propos du poids et de la masse. Il apparaît cependant une autre catégorie de PCK dans la proposition « Je sais qu'il faut faire émerger les conceptions initiales des élèves au début de la séquence pour pouvoir construire des apprentissages par la suite ». Florence fait référence aux programmes et, plus précisément, à la démarche d'investigation. En effet, nous avons souligné dans le chapitre précédent que ce moment de la séance correspond à la situation-problème qui vise, notamment, à « identifier les conceptions ou les représentations des élèves, ainsi que les difficultés persistantes (analyse d'obstacles cognitifs et d'erreurs)¹⁵ ». Cette démarche permet aux élèves de réaliser des investigations dont « 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 » (Ibid.).

D'après le modèle de Magnusson et al. (1999), cette connaissance est une « PCK programme ». Elle correspond aux connaissances des buts et des objectifs dans les programmes officiels. Notons cette catégorie *PCK/pgrm*.

5.2.1.2. Dans le premier degré. Cas d'André

a. Mise en commun suivant une activité expérimentale

André souhaite que les élèves décrivent avec un vocabulaire scientifique l'expérience nécessaire pour allumer une lampe à l'aide de la pile. Il convoque un schème A « Identification des points de contact entre la pile et la lampe » (§ 4.4.2.) dont le but se décline en deux sous-buts. Analysons les invariants opératoires du schème A (Tableau 12, p. 111).

Schème A : Identification des points de contact entre la pile et la lampe	
Invariants opératoires	Je sais qu'une pile est composée de deux lames de longueurs différentes Je sais que le plot doit toucher une lame et le culot l'autre lame Je sais que la lampe est un dipôle non polarisé Je sais qu'il n'y a pas de risque d'électrocution si les élèves touchent des

¹⁵ MEN. *Les programmes du collège*. BO spécial N°6 du 28 Aout 2008

	parties métalliques du montage électrique Je sais que la lumière est produite par le filament car il chauffe pendant le passage du courant électrique Je sais que les élèves l'ont déjà appris l'année dernière J'expérimente en même temps que les élèves me décrivent leur action passée. Le résultat observé constitue une preuve Je schématise le montage pile/lampe au tableau avant que les élèves ne répondent pour mieux conceptualiser l'action décrite Je construis le schéma légendé de la lampe au tableau au fur et à mesure que le vocabulaire scientifique est identifié Je prends l'exemple d'un élève absent à qui l'on va devoir expliquer où brancher la lampe avec la pile quand il reviendra
--	---

Tableau 12 : Invariants opératoires. Schème A « Identification des points de contact... ». Cas d'André

Nous retenons une première catégorie qui concerne les connaissances scientifiques du professeur (SMK). André mobilise les concepts de dipôle polarisé et non polarisé ainsi que celui de courant électrique. Il a aussi des connaissances scientifiques concernant les risques électriques.

Ensuite, nous trouvons des connaissances qui sont propres à l'enseignement du circuit électrique. André sait que les élèves ont déjà appris à réaliser ce montage l'année précédente : c'est une PCK/é. C'est aussi le cas lorsqu'il expérimente en même temps que les élèves décrivent l'expérience à faire ou lorsqu'il schématise le montage. André dit que « les élèves ont besoin de voir / certains élèves comprennent mieux avec un schéma ». Il ajoute que « l'expérience c'est du concret je mets l'ampoule je mets la pile pof ça s'allume ». Il sait que des propos trop abstraits mettent les élèves en difficulté. Donc il schématise, il reproduit des expériences.

André mobilise aussi une PCK/pgrm à propos du matériel pédagogique et de son fonctionnement. C'est une sous-catégorie issue du modèle de Magnusson, Krajcik, et Borko (1999) (§ 2.7.5.).

Enfin, nous classons la dernière proposition concernant l'exemple que prend l'enseignant dans les stratégies. C'est une stratégie que nous avons retrouvée à d'autres moments de la séquence. Elle consiste, pour l'enseignant, à montrer concrètement aux élèves que leur réponse ou leur proposition n'est pas assez précise. Nous ne la classons pas dans les PCK car nous pensons qu'André s'en sert dans la plupart des matières scolaires qu'il enseigne. Ce serait une connaissance de type pédagogique (PK).

b. Lancement d'une activité expérimentale

Les élèves ont effectué la synthèse du montage pile/lampe et doivent maintenant réaliser un circuit électrique simple. André présente et décrit le matériel à utiliser pour effectuer ce montage. Puis il donne une consigne qui comporte à la fois l'aspect manipulateur et la trace écrite à produire. Nous étudions plus en détail cette particularité au paragraphe 6.3.3.2. (p. 162).

Nous analysons les invariants opératoires (Tableau 13 p. 112) du schéma A « Réalisation d'un circuit élémentaire » (Annexe 36) convoqué par André. Nous inférons une connaissance de type SMK sur les circuits électriques à partir de la première proposition. Nous identifions des PCK/stratégie concernant la distribution du matériel et la consigne double ; des PCK/é sur les difficultés à utiliser certains matériels spécifiques comme les pinces crocodiles et le support de lampe.

Schème A : Réalisation d'un circuit élémentaire	
Invariants opératoires	<p>Je sais qu'il faut fermer le circuit avec les fils pour que la lampe s'allume</p> <p>Je sais que la présentation du matériel avant de donner la consigne permet aux élèves de suivre sa description et de se projeter dans le travail à faire</p> <p>Je sais que les élèves peuvent ne pas savoir le fonctionnement d'une pince crocodile et comment utiliser le support de lampe</p> <p>Je sais que donner les deux consignes (manipulateur et trace écrite) en même temps évite de couper les élèves pendant leur manipulation et permet de réguler les plus rapides</p> <p>La feuille blanche permet de mettre les travaux des élèves en valeur et d'observer le travail accompli par chacun des groupes en lien avec la consigne de travail.</p> <p>Je sais que l'affichage des feuilles blanches au tableau permet un travail pluridisciplinaire de lecture et de compréhension</p> <p>Le dessin sur la feuille de synthèse préformée permet aux élèves de garder une trace de ce qu'ils ont réalisé avec leurs erreurs. Il me permet d'analyser les productions et de revenir sur certaines.</p> <p>Je donne la durée de l'activité en montrant l'horloge</p>

Tableau 13 : Invariants opératoires. Schème A « Réalisation d'un circuit élémentaire ». Cas d'André

La trace écrite individuelle (feuille blanche) est affichée au tableau car, nous dit Francis, « elle permet de construire la trace écrite collective qui constituera la synthèse ». Nous pensons que cette orientation pour l'enseignement n'est pas spécifique à l'enseignement des sciences (§ 5.3.1.3., p. 125). Les enseignants fonctionnent de la même manière dans d'autres domaines d'enseignement, dès qu'il s'agit de construire un écrit de synthèse à partir d'une production de recherche individuelle ou

de groupe. Pour Alain, c'est un dispositif qui « comporte un caractère pluridisciplinaire dans le sens où (... ?) on va pas simplement se contenter de produire quelque chose on va être capable aussi d'analyser quelque chose de voir un peu ce que les autres ont fait si on le garde ou si on le garde pas donc (... ?) capacité d'analyse des enfants capacité de lecture etc. ».

Nous relevons ici un élément qui nous paraît spécifique au premier degré (dans notre étude) : le rôle des traces écrites dans les apprentissages et plus spécifiquement la construction d'une trace collective pour apprendre des notions en sciences. Pour nous, il y a des connaissances professionnelles en jeu pour lesquelles le cadre d'analyse des PCK n'offre pas de catégorie.

Dans notre exemple, André demande aux élèves de dessiner leur montage sur une feuille blanche qui sera ensuite exposée au tableau. La synthèse sera construite à partir de ces traces. Les enseignants se situent dans l'interdisciplinarité au service de la construction de connaissances en sciences. André décrit dans l'entretien un exemple filmé en classe concernant l'écriture. Un élève prononce [pil] le mot qu'il a écrit /pille/. Dans l'action, l'enseignant fait une correspondance entre la phonie et la graphie des sons [il] et [ij] par rapport à un mot connu : *bille*.

Lorsqu'il corrige l'élève, l'enseignant mobilise, entre autres, des connaissances de type PCK concernant l'apprentissage de l'écriture et de la lecture. Notre cadre d'analyse ne nous permet pas d'identifier ces connaissances qui sont d'un autre domaine que les sciences. Nous pensons qu'elles sont des PCK/é concernant l'apprentissage du français.

L'erreur d'orthographe et de prononciation de cet élève constitue un incident critique. André sait que l'affichage des productions individuelles au tableau permet un travail interdisciplinaire mais il ne peut pas anticiper sa nature. Pour nous, c'est dans le traitement d'un l'incident critique qu'un enseignant peut mobiliser des connaissances de type PCK d'un autre domaine d'enseignement. Il semblerait que ce soit une spécificité des enseignants de l'école primaire car, d'une part, ils enseignent différents domaines aux mêmes élèves et, d'autre part, les apprentissages « fondamentaux » comme la lecture sont en cours d'acquisition.

5.2.1.3. Bilan des connaissances identifiées

Nous présentons (Tableau 14, p. 114) les catégories et les sous-catégories auxquelles se réfèrent les connaissances que nous avons identifiées dans le cas de Florence et d'André (Grossman, 1990 ; Magnusson & al., 1999).

Catégorie de connaissances	Sous-catégorie des connaissances
SMK	Concepts, théories
PCK/é	Connaissances sur les difficultés des élèves
	Connaissances sur les conceptions initiales des élèves
	Connaissance sur ce que les élèves ont appris les années passées
PCK/pgrm	Connaissances des instructions officielles
	Connaissances du matériel pédagogique et de son fonctionnement
PCK/stratégie	Connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences

Tableau 14 : Types de connaissances identifiés dans les invariants opératoires. Cas de Florence et d'André

Une sous-catégorie n'apparaît pas explicitement dans le modèle des PCK de Magnusson et al. : celle que nous avons intitulée « Connaissance sur ce que les élèves ont appris les années passées ». Pour nous, il s'agit d'une connaissance sur les élèves qui n'entre pas dans la sous-catégorie des prérequis car elle n'est pas forcément nécessaire pour comprendre des notions enseignées dans la séquence. Elle est spécifique aux situations où un enseignant intervient dans les différents niveaux de classe, comme Florence et Henri dans leur collège respectif. Mais, aussi, comme dans le premier degré, quand les enseignants changent de niveau de classe d'une année sur l'autre. Alors, ils peuvent retrouver des élèves plusieurs années d'affilée. Enfin, nous retrouvons ce cas lorsqu'un enseignant peut avoir accès au contenu précis enseigné à ses élèves, les années précédentes.

Nous n'avons pas découvert de SMK dans les invariants opératoires du schème convoqué par Florence. Par contre, nous avons identifié une SMK dans le cas d'André : la lampe est un dipôle polarisé. Les connaissances scientifiques sont difficiles à relever, dans les entretiens, car les enseignants sont centrés sur leur action ou l'action des élèves dans la classe. C'est un problème d'ordre méthodologique que nous retenons. Nous reviendrons sur cet aspect dans le paragraphe 5.3.2. (p. 126).

Les enseignants de l'école primaire peuvent mobiliser des connaissances de type PCK d'un autre domaine d'enseignement, lors d'un incident critique. Nous avons pris l'exemple d'une erreur de lecture/écriture que l'enseignant n'avait pas prévue. Sa

connaissance du programme de cycle 2 et de l'apprentissage de la lecture lui ont permis de la corriger. André a mobilisé des PCK/é des trois sous-catégories et une PCK/pgrm « Connaissances des instructions officielles » concernant l'apprentissage du français. Nous postulons que c'est dans le traitement d'un incident critique que les enseignants du premier degré convoquent des PCK d'un autre domaine d'enseignement. Elles sont alors identifiables et cela nous permet de comprendre comment l'approche pluridisciplinaire de l'enseignement dans le premier degré peut favoriser les apprentissages en sciences.

5.2.2. Dans les inférences

Nous relevons deux cas où les inférences contiennent des connaissances :

- lorsque l'activité mise en œuvre correspond à ce qui a été construit lors de la préparation et,
- lorsque le but est de construire ou d'identifier des connaissances chez les élèves.

5.2.2.1. Etude en fonction du but dans une organisation prévue

Revenons sur les inférences du schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse » convoqué par Florence (Tableau 15, p. 115). Son but est de « Repérer les acquis des élèves et leurs conceptions initiales (C.I.) sur le thème du poids et de la masse ». Nous avons souligné, dans le chapitre précédent, qu'elle prévoit de corriger des erreurs « déjà dans leurs connaissances d'essayer de faire un peu le ménage avant de commencer » : ce qu'elle tente de faire lorsqu'un élève associe volume à masse.

Nous identifions des connaissances scientifiques dans les inférences qui correspondent aux conceptions initiales que prévoit de rencontrer Florence.

Schème B : Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse	
Inférences	Si les élèves répondent des unités de masse, lourd/léger, la balance alors je note les propositions et je poursuis. Si les élèves répondent des erreurs scientifiques alors je les corrige

Tableau 15 : Année 1. Inférences. Schème B « Connaissance des C.I... ». Cas de Florence

Dans cet exemple, il y a une relation claire entre le but qui est de relever des CI des élèves et les erreurs scientifiques attendues (liées aux connaissances scientifiques).

Si nous considérons les inférences du schème A « Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse » (Tableau 16, p. 116) nous n'observons aucune connaissance scientifique.

Schème A : Classification des propositions des élèves en relation avec le poids et la masse	
Inférences	Si un élève hésite alors je demande à un autre élève Si un élève donne une réponse alors je demande si tout le monde est d'accord Si je sens des hésitations alors je demande s'ils sont sûrs de leur réponse

Tableau 16 : Année 1. Inférences. Schème A « Classification des propositions... ». Cas de Florence

Le but de l'enseignante est de « classer les réponses des élèves par rapport au poids ou à la masse ». Nous avons montré que ce classement est une stratégie pour mettre en évidence des désaccords entre les élèves et les faire douter de leurs réponses. Par conséquent, nous voyons apparaître des éléments de régulation correspondant à de la gestion de classe, sans que des connaissances scientifiques n'apparaissent.

Prenons un autre exemple dans la classe d'Henri.

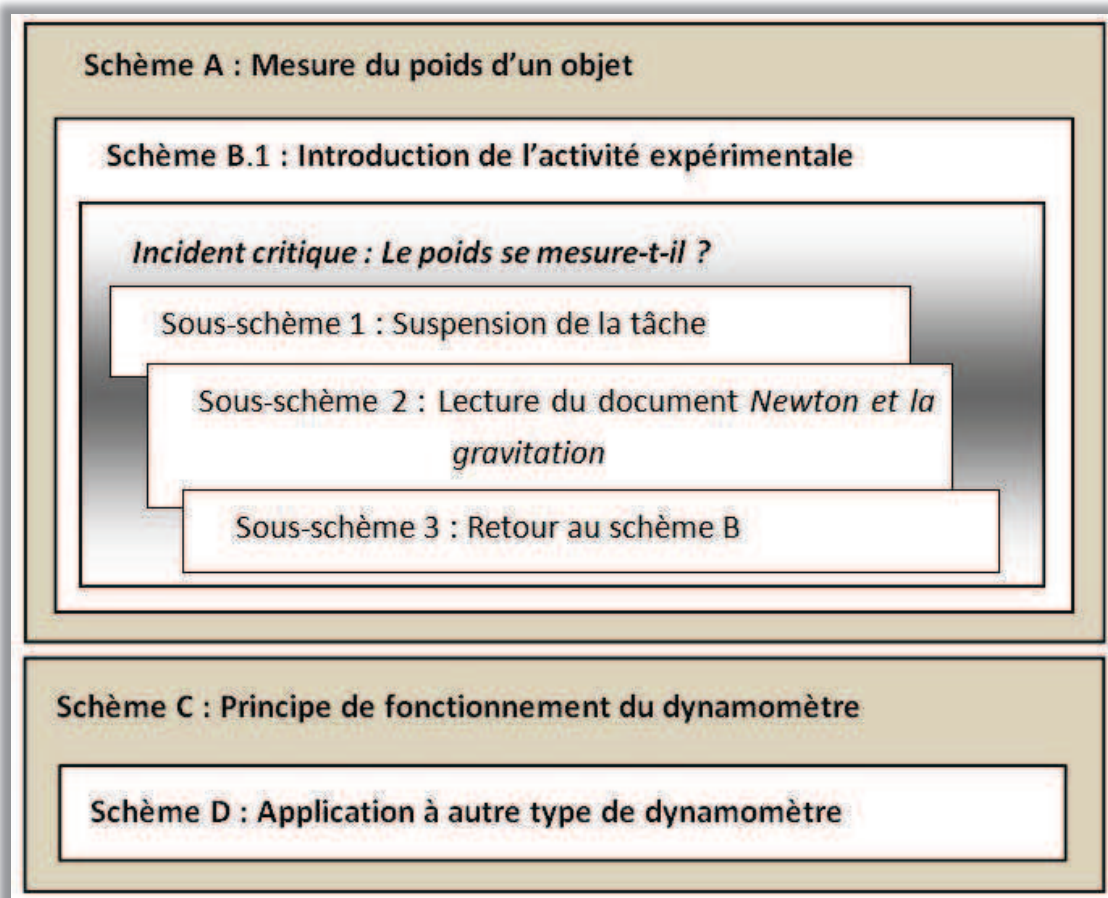


Figure 10 : Organisation de l'activité sur la mesure du poids d'un objet. Cas d'Henri

Henri met en évidence le principe de fonctionnement du dynamomètre à partir d'une activité expérimentale dans laquelle les élèves ont à mesurer le poids d'un objet. La modélisation de l'activité de l'enseignant peut se représenter par la Figure 10 (p. 116). Dans un second temps, il propose une application des nouvelles connaissances sur un autre type de dynamomètre. L'activité de l'enseignant se représente par deux schèmes que nous notons schème C « Principe de fonctionnement du dynamomètre » et schème D « Application à autre type de dynamomètre » le schème D étant un sous-schème du schème C (Annexe 37).

Etudions les inférences de ces deux schèmes (Tableau 17, p. 117 et Tableau 18, p. 117). Le but de l'enseignant est de « connaître le principe de fonctionnement du dynamomètre ». Pour cela, il convoque le schème C. Nous identifions des connaissances scientifiques sur l'unité de mesure de l'intensité du poids et sur le rôle du ressort dans la mesure.

Schème C : Principe de fonctionnement du dynamomètre	
Inférences	Si un élève parle de graduation je lui demande en quelle unité elle est exprimée et comment on le sait Si un élève ne parle pas d'étirement du ressort alors je pose la question à la classe

Tableau 17 : Inférences. Schème C « Principe de fonctionnement du dynamomètre ». Cas d'Henri

Nous constatons une corrélation entre le but de l'enseignant et la régulation attendue par Henri au niveau scientifique.

Nous notons aussi des connaissances scientifiques dans les inférences du schème D. Le but de l'enseignant est d'« effectuer une mesure du poids à l'aide d'un nouveau dynamomètre ».

Schème D : Application à un autre type de dynamomètre	
Inférences	Si un élève dit une valeur sans donner l'unité de mesure alors je lui demande quelle est l'unité associée Si un élève n'emploie pas le mot poids alors je le corrige

Tableau 18 : Inférences. Schème D « Application à un autre type de dynamomètre ». Cas d'Henri

Henri attend des élèves qu'ils associent la valeur lue à l'unité de mesure du poids en disant la phrase « le poids de ... est de ... newton ». Là, encore, il nous paraît logique de retrouver des connaissances scientifiques dans les régulations prévues quand le but est d'effectuer la mesure d'une grandeur scientifique.

Dans le premier degré, nous faisons une constatation similaire. Dès que le but de l'enseignant est de mesurer une grandeur scientifique, de définir un concept ou une notion, les inférences du schème qu'il convoque comportent des connaissances scientifiques. Et, dès qu'il s'agit d'organiser ou de gérer la classe les inférences du schème qu'il convoque ne comportent pas de connaissances scientifiques. Revenons au schème A, « Identification des points de contact entre la pile et la lampe », convoqué par André (§ 4.4.2.). Nous l'avons décrit au chapitre précédent. Le but de l'enseignant est de « décrire l'expérience permettant d'allumer une lampe à l'aide d'une pile en utilisant le vocabulaire scientifique ».

Inférences	Si les élèves ne sont pas assez précis dans le vocabulaire employé alors je leur demande de préciser Si un élève veut décrire son expérience alors je lui demande de venir au tableau et de montrer à tout le monde avec du matériel Si un élève n'arrive pas à répondre précisément alors j'interroge un autre élève Si un élève parle d'électricité alors je demande si avec une pile je risque de m'électrocuter
-------------------	--

Tableau 19 : Inférences du schème A. Cas d'André

Nous notons, parmi les éléments de régulation prévus au niveau de l'organisation de la classe, une connaissance sur les risques électriques. Comme les élèves manipulent du matériel électrique pour la première fois cette année, André veut vérifier s'ils ont tous des connaissances scientifiques minimales sur les conditions qui favorisent l'électrocution.

5.2.2.2. Cas d'un incident critique

Au chapitre précédent, nous avons décrit les incidents critiques suivant trois sous-schémas. Ils traduisent une organisation en trois temps : d'abord l'enseignant provoque une rupture avec l'organisation en cours, il suspend la tâche des élèves pour les mobiliser sur l'incident critique ; puis il apporte une réponse à l'incident ; et il revient à l'organisation initiale de l'activité. Les inférences du sous-schème 1 et du sous-schème 3 ne contiennent pas de connaissances scientifiques puisque l'enseignant est dans la gestion de classe. Son but est de mobiliser les élèves avant et après un changement (en général) de dispositif. C'est dans les inférences du sous-schème 2 que nous pourrions trouver des connaissances scientifiques. Or nous n'en avons pas observées. Regardons ce qu'il se passe dans deux autres exemples, étudiés dans le chapitre précédent.

Dans le cas d'André, concernant l'incident critique n°1 « Mise en mots des points de contact entre la pile et la lampe », les élèves doivent refaire l'expérience pile/lampe pour répondre à la question « que faut-il pour que cette ampoule s'allume ? ». Le sous-schème n°2 « Expérimentation en groupe » est de courte durée car ils ont déjà réalisé l'expérience. L'enseignant sait qu'il n'a pas besoin d'intervenir, sauf si un élève lève la main. Par conséquent, l'inférence du schème est : « Si un élève lève la main alors je me déplace ».

Nous retrouvons le même résultat dans le cas de Florence lors de l'incident critique « Amalgame entre poids et masse ». En effet, elle élabore une réponse brève de sorte qu'il n'y ait aucun commentaire des élèves (elle « évacue » la réponse de l'élève) en disant que le volume « c'est plutôt la contenance ».

Nous pensons que, d'une part, le caractère imprévu de l'incident critique et, d'autre part, sa durée courte font que les inférences ne contiennent que des éléments de régulation concernant la gestion des élèves, et aucune connaissance scientifique de type SMK.

En conclusion, dans le cas d'une organisation prévue, les inférences du schème convoqué peuvent contenir des connaissances scientifiques, des SMK, suivant le but des enseignants. Dans le cas d'un incident critique, le caractère imprévu de la situation ne permet pas aux enseignants de prévoir des régulations dans lesquelles il y aurait des connaissances de type SMK. Nous n'y avons observé que des connaissances concernant la gestion des élèves.

Cependant, ces résultats demandent à être confirmés par d'autres études.

5.3. Les connaissances professionnelles

5.3.1. Les PCK

Dans ce paragraphe, nous allons poursuivre l'identification des catégories et sous-catégories des PCK en complément de celles présentées dans le paragraphe précédent. Cependant, il ne s'agit pas d'en faire une liste exhaustive car ce n'est pas l'objet de notre travail.

5.3.1.1. Connaissances sur les stratégies

Dans notre étude précédente, nous avons identifié la sous-catégorie « Connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences ». Les stratégies de cette sous-catégorie peuvent se retrouver dans l'enseignement de plusieurs sujets scientifiques. Une autre sous-catégorie appartient à notre modèle de référence. Cette sous-catégorie, notée « Connaissances sur des activités spécifiques à un sujet de science » nous questionne. En effet, la frontière entre une stratégie spécifique à un sujet et une stratégie commune à plusieurs sujets en sciences nous paraît difficile à placer.

Prenons un exemple : Henri met en place une expérience de bureau. Il installe un fil de pêche suspendu à une potence, avec un plomb qui pend à son extrémité, et il demande aux élèves de décrire ce qui se passe. Il justifie cette expérience : « c'est important d'associer le poids à une attraction verticale c'est pas n'importe quelle attraction quand même poids égale attraction suivant la verticale vers le bas ». Cette expérience permet de caractériser le poids sans définir la force qui n'est pas au programme. C'est une stratégie. Mais dans quelle sous-catégorie se place-t-elle ? La stratégie est-elle de faire une expérience de bureau au milieu d'un cours ou est-elle de choisir un fil à plomb ? Dans le premier cas, c'est une stratégie que nous retrouvons pour l'enseignement de différents sujets scientifiques. Dans le second cas, c'est une stratégie spécifique à l'enseignement du poids.

Nous aurions tendance à grouper toutes les stratégies que nous avons identifiées en une seule catégorie, sans différencier ce qui est spécifique à un sujet et ce qui est commun à plusieurs sujets en science. Notre étude ne nous permet pas d'aller plus loin dans la réflexion.

5.3.1.2. Connaissances de l'évaluation

Ce type de connaissances est décrit suivant deux aspects (Magnusson, Krajcik, & Borko, 1999) : le premier concerne la compréhension de ce qui est important à évaluer dans l'apprentissage des sciences, le second, la connaissance des méthodes d'évaluation des apprentissages en sciences.

Nous avons effectué un entretien spécifique sur l'évaluation avec les quatre enseignants. L'analyse que nous présentons s'appuie sur ces entretiens et sur les documents distribués aux élèves (Annexe 11, Annexe 14, Annexe 19 et Annexe 20). Nous

distinguons, dans ce paragraphe, le premier degré du second degré car les directives institutionnelles, dans le second degré, apportent des spécificités dans les évaluations.

a. Dans le second degré

Les enseignants doivent construire leur évaluation formative et sommative en relation avec des items référencés. C'est une demande institutionnelle en référence au socle commun de connaissances et de compétences¹⁶. Florence en distingue cinq (Tableau 20, p. 121) et Henri en note quatre (Tableau 21, p. 121). L'item supplémentaire identifié par Florence correspond à l'évaluation des capacités expérimentales :

La gravitation – Le poids – La masse (classe de 3^{ème})					
Items	connaître	appliquer	raisonner	communiquer	expérimenter
Points ... /23	/7.5	/4.5	/5.5	/2.5	/3

Tableau 20 : Items référencés dans l'évaluation. Cas de Florence

Devoir de mécanique (classe de 3^{ème})				
Items	Je connais mon cours	J'applique mon cours	Je raisonne	Je communique
Points ... /30	/6	/17	/4	/3

Tableau 21 : Items référencés dans l'évaluation. Cas d'Henri

Il s'agit de distinguer, dans l'évaluation, ce qui est de l'ordre de la connaissance d'un concept ou d'une loi, d'un raisonnement qui demande à être argumenté, et ce qui relève de l'application directe d'un principe « clef » ou d'une loi symbolique. L'aspect présentation du raisonnement et des résultats de l'élève est identifié sous l'item « communiquer ». Ces items sont présents sur la fiche d'évaluation : cela permet aux élèves d'identifier clairement ce qui est évalué (Annexe 19 et Annexe 20). Pendant les deux années, nous avons observé des évaluations où tous les items étaient évalués. Les enseignants disent que ce n'est pas toujours le cas.

Chaque item est pondéré par un nombre de points. Cette pondération dépend des notions abordées et du chapitre étudié. Florence nous dit qu'en classe de cinquième, par exemple, elle évalue beaucoup plus de connaissances relatives à une loi qu'à un raisonnement argumenté, car les élèves ne sont que dans leur première année d'étude de la physique et de la chimie. Par conséquent, l'item « connaissance » comporte davantage

¹⁶ Décret du 11 juillet 2006

de points. Pour nous, c'est une PCK/éval qui correspond au premier aspect : une connaissance de ce qu'il est important d'évaluer.

Florence évalue les capacités expérimentales des élèves, chaque fois qu'elle le peut et que le sujet s'y prête. Pour le poids et la masse, elle met en place un dispositif où les élèves viennent individuellement tirer au sort un sujet. Pour nous, c'est une PCK/éval qui correspond au second aspect : une connaissance des méthodes d'évaluation des apprentissages en sciences. Elle évalue des aspects spécifiques de l'apprentissage des élèves sur le poids et sur la masse.

Les deux enseignants nous indiquent une particularité dans la construction de leur évaluation. Au moins un exercice intégré dans l'évaluation a été traité à l'identique en classe. Parfois, les enseignants disent changer simplement les valeurs numériques. Selon Henri, il permet « de voir s'ils ont acquis les méthodes de résolution de faire un graphique / c'est pour ça ce n'est pas dans raisonner c'est vraiment appliquer quoi ». Les enseignants évaluent la méthodologie lorsqu'elle est spécifique à la discipline : par exemple, la lecture graphique ou le tracé d'un graphique à partir d'un tableau de mesures. Nous la noterons PCK/éval correspondant au second aspect du modèle : une connaissance des méthodes d'évaluation des apprentissages en sciences.

Dans le second degré, nous retrouvons les deux aspects présents dans le modèle de Magnusson et al. : la connaissance concernant l'évaluation des concepts, des lois et des principes et celle sur les moyens d'évaluer spécifiquement un sujet.

Nous allons maintenant comparer le principe de l'évaluation par items du second degré avec celui posé par des enseignants du premier degré. L'évaluation sommative est posée à l'écrit par les deux professeurs des écoles (Annexe 11 et Annexe 14).

b. Dans le premier degré

Les deux enseignants disent évaluer des connaissances, des applications de connaissances et une capacité de l'élève à raisonner (Transcript d'entretien - 5, p. 123). Nous retrouvons là des contenus corrélés à trois items présentés dans l'évaluation au collège.

Locuteur	Productions verbales
F	c'est ça que j'aime bien parce que c'est une situation qui n'est pas seulement une application de connaissances pas une maîtrise de connaissances dures c'est savoir faire avec les connaissances les connaissances apprises là te permettre de répondre à l'exercice suivant il y a une réflexion c'est intéressant ça
A	et indirectement pour les gamins qui réfléchissent un petit peu ils se rendent compte qu'en regardant ce qu'il y a ici ça leur permet de répondre / j'aime bien aussi de mettre des éléments de réponse dans l'évaluation qui permettent de répondre à certaines questions et ça les élèves ça les oblige aussi à on parle souvent du sens à vraiment lire et à ne pas voir l'évaluation ou un exercice comme étant une suite de questions qui n'ont pas de sens

Transcript d'entretien - 5 : Evaluations sommatives. Avec André et Francis

Dans les deux évaluations, nous retrouvons principalement le premier aspect présenté dans le modèle de Magnusson et al.. Les enseignants évaluent des concepts et des principes en électricité. Une question se pose cependant, concernant le deuxième aspect à propos d'un moyen connu par l'enseignant pour évaluer un caractère spécifique de l'apprentissage. Evaluer la capacité des élèves de cycle 3 à faire le schéma d'un montage ne correspondrait-il pas à ce second aspect ? Un schéma électrique est, en effet, un contenu spécifique dans l'enseignement des sciences et, au cycle 3, c'est une compétence à atteindre. Dans ce cas, nous pouvons trouver le deuxième aspect dans l'évaluation proposée par André. Il demande aux élèves de dessiner deux montages, l'un en série et l'autre en parallèle. Il attend d'eux un schéma à l'aide du code international.

Par ailleurs, André et Francis disent ne pas pouvoir mettre en place une évaluation des capacités expérimentales, par manque de temps et de place dans leur classe.

A travers cet exemple, se pose la question de la définition des PCK : les PCK sont spécifiques à un contenu mais ne dépendraient pas aussi d'un niveau scolaire ? Nous venons d'identifier une spécificité au niveau d'une évaluation, mais n'y aurait-il pas d'autres exemples pour d'autres catégories de PCK ?

c. L'évaluation permet l'acquisition de nouvelles PCK

Nous constatons que l'évaluation par items permet aux enseignants du second degré d'acquérir de nouvelles connaissances.

L'organisation de l'évaluation formative ou sommative renseigne l'élève et l'enseignant. La note à l'item « connaissance » est un repère pour l'élève : « en général la compétence où ils ont le plus de difficultés c'est connaître

/ parce qu'ils ont du mal à apprendre des cours ». Donc, lorsqu'un élève perd des points dans cet item, il sait que c'est parce qu'il n'a pas appris son cours : « c'est clair pour lui il sait » confirme Florence.

Pour les deux enseignants, cette organisation permet de connaître plus précisément le profil de la classe et celui de chaque élève. Elle est fonction des notes obtenues dans chaque item. Ils analysent chaque évaluation suivant ce critère et ils en déduisent des « profils élèves » et des « profils classes ».

Par exemple, un élève qui atteint quasiment une note maximum à l'item « connaître » et peu de points à « raisonner » peut être un élève qui apprend ses leçons et qui a besoin d'acquérir des méthodes de résolution d'exercices. Les enseignants acquièrent une connaissance plus précise, de la classe et de chaque élève. Elle a une influence directe sur la pratique de classe de Florence :

Locuteur	Productions verbale
F	sur les exercices que je donne en classe ouais // parce que du coup pour connaître dans ce cas là quand je vois qu'il y a vraiment de grosses difficultés sur connaître qu'ils apprennent pas bien leur leçon je multiplie les interros surprises (... ?) et sur raisonner j'insiste plus sur les exercices on n'en fait plus quand je vois qu'il y a beaucoup de difficultés dans raisonner

Transcript d'entretien - 6 : Influence des évaluations sur la pratique de classe. Avec Florence

Les résultats des évaluations formatives ont un impact assez important sur l'organisation de l'activité des enseignants. Ils leur permettent d'ajuster le type d'exercice à faire en classe au profil de l'élève. Florence différencie, dans le sens où elle propose, dans les évaluations formatives, des types d'exercices adaptés à certains types de difficultés identifiées. Nous dirons que cette connaissance est une PCK/é qui se construit grâce à ce type d'évaluation.

Florence décrit un évènement qui a eu lieu lors de l'évaluation des capacités expérimentales (Transcript d'entretien - 7, p. 125). Une élève lui indique un changement d'échelle anormal sur la balance.

Locuteurs	Productions verbales
F	et j'ai compris d'où venait une erreur pour certains pourquoi (... ?) pourquoi est-ce qu'ils avaient pas de belles droites /
C	ouais
F	et en fait c'est quand ils ont fait la capacité expérimentale la balance elle indiquait les grammes normalement et après elle passait en oz s'ils appuyaient ((florence montre la touche on/off)) et donc du coup ils ont dû faire des changements d'unités dans euh

C	et tu as compris ça quand ?
F	quand euh une des premières élèves qui est passée sur poids et masse qui m'a dit mais madame c'est pas gramme là (... ?) et moi j'avais pas pensé à ça c'est des balances toutes neuves euh /

Transcript d'entretien - 7 : Erreur d'unité de mesure de masse. Avec Florence

Florence insiste sur ce point : sans le signalement de cette élève elle n'aurait pas identifié l'origine d'un type d'erreurs faite par les élèves à deux reprises dans la séquence : dans le T.P. sur la relation entre poids et masse, et dans l'évaluation des capacités expérimentales. La balance change d'échelle à chaque fois que le bouton central on/off est actionné brièvement. Florence affine sa connaissance sur le matériel pédagogique : c'est une PCK/pgrm. Elle connaît maintenant un type d'erreur que peuvent faire les élèves : c'est une PCK/é.

5.3.1.3. Orientations pour l'enseignement des sciences

Cette composante des PCK, que nous notons PCK/orientations, chapeaute les quatre autres. Ce sont les connaissances des enseignants à propos des buts et des objectifs pour enseigner les sciences à un niveau d'étude particulier. Nous rejoignons l'interrogation de Abell à inclure des orientations pour un enseignement dans le modèle des PCK, c'est-à-dire comme une connaissance spécifique d'un sujet.

Prenons un exemple. Henri a choisi de débiter la séquence sur « poids et masse » par la projection d'une planche de bande dessinée des *Aventures de Tintin* tirée de l'album *On a marché sur la Lune*¹⁷. Il justifie son choix : « je suis convaincu que tu ne rentres bien dans une situation que quand elle est pré-connue / que tu suscites l'attention / c'est ce en quoi je crois ». Henri utilise la planche de B.D. dans différentes classes du collège, à différents niveaux de classe, aussi bien en chimie qu'en physique « le plus souvent possible ». C'est une connaissance qu'il a construite avec l'expérience. Henri parle aussi de « croyance ». Abell souligne que les vues générales de l'enseignement des sciences et des apprentissages sont souvent étudiées en tant qu'interaction entre les connaissances, les croyances et les valeurs, et non pas strictement comme une structure de connaissances.

¹⁷ Hergé (1950), *On a marché sur la Lune*, *Les Aventures de Tintin* (p. 30), Editions Casterman

Nous considérons que l'enseignant montre une orientation générale qu'il donne à son enseignement ; il l'applique pour « poids et masse » mais aussi pour d'autres notions. Elle n'est pas spécifique à une notion enseignée.

Notre analyse, au paragraphe 5.3.1.2.b. (p. 122), nous amène à la même conclusion concernant le premier degré. Donc, nous pensons que les orientations font partie des connaissances professionnelles en interaction avec les PCK pour un sujet d'étude mais ne peuvent pas être incluses dans les PCK.

5.3.2. Les SMK

Dans les entretiens en auto-analyse simple et croisée, les enseignants sont centrés sur leur action ou l'action des élèves dans la classe. Aussi, leurs connaissances scientifiques sont souvent difficiles à inférer car elles ne sont pas explicitées. Ou bien ils décrivent ce qu'ils voient à la vidéo ou bien ils justifient leur choix en mobilisant des connaissances essentiellement de type PCK. De plus, dans le second degré, les enseignants sont disciplinaires ; ils ont tous un niveau d'étude scientifique équivalent et ne cherchent pas à justifier « théoriquement » leurs choix : implicitement, ils considèrent que le collègue sait.

Il peut arriver toutefois, après plusieurs demandes de justifications, que des connaissances scientifiques soient exprimées explicitement dans les entretiens en auto-analyse croisée. Le sujet de la discussion décentre les enseignants de l'action dans la classe. Ils mobilisent parfois alors des arguments qui relèvent de connaissances disciplinaires d'un niveau universitaire. Nous pouvons alors observer comment ces connaissances disciplinaires influencent leurs choix pour la classe et, indirectement, les connaissances de type PCK qu'ils vont mobiliser.

Prenons l'exemple d'une discussion entre Florence et Henri (Transcript d'entretien - 8, p. 127). Florence lui propose d'utiliser un dessin animé comme situation d'entrée pour la séquence sur la mécanique. Dans ce dessin animé, Tintin, Milou et le capitaine Haddock « flottent dans une fusée ».

Locuteurs	Productions verbales
H	non parce que là si ils flottent c'est qu'il y a une absence de pesanteur
F	ouais
H	il faut quand même montrer qu'il y a une pesanteur
F	justement avec une absence de pesanteur est-ce que la notion

	de poids ne pourrait pas venir plus facilement
H	après tu entres sur la notion d'apesanteur
F	d'impesanteur
H	et là encore tu crées une difficulté supplémentaire

Transcript d'entretien - 8 : Notion d'apesanteur. Avec Florence et Henri

Henri critique la proposition de Florence car elle induit une nouvelle difficulté pour les élèves : les héros du dessin animé sont en état d'impesanteur. Remarquons, par ailleurs, que Florence corrige Henri qui parle d'apesanteur¹⁸. Henri pense qu'il ne faut pas ajouter un concept supplémentaire. Il faut « montrer qu'il y a une pesanteur », autrement dit, mettre en évidence le poids pour pouvoir le définir. Florence, en revanche, pense pouvoir définir le poids en présentant un cas d'absence de pesanteur. Nous sommes dans une discussion de stratégies pour la mise en évidence du concept de poids. Les deux enseignants mobilisent une PCK/stratégie mais ils ne sont pas d'accord.

Après plusieurs relances, Henri va mobiliser des connaissances scientifiques pour se justifier (Transcript d'entretien - 9, p. 127) :

Locuteurs	Productions verbales
C	pourquoi tu penses qu'il y a une difficulté supplémentaire
H	ben parce que c'est encore une notion différente / là on mélange /on /c'est ce que j'ai essayé de te dire tout à l'heure / a-t-on intérêt à complexifier de trop au collège
F	ouais mais est-ce que c'est pas plus facile / ben d'un côté on est sur terre il y a du poids / de l'autre on est dans la fusée y'en a pas
H	attention y'a la fameuse vitesse qui compense
F	oui oui qui compense
H	qui compense le poids donc euh...le danger c'est de dire qu'il n'y a pas de poids
F	oui
H	le poids
F	il est compensé oui
H	il est compensé et c'est ça qui est délicat / et c'est pour ça je pense qu'il faut surtout pas leur en parler /
F	/ ah oui c'est sûr

Transcript d'entretien - 9 : Notion de force centrifuge. Avec Florence et Henri

Il faut la relance de Florence de type « oui mais... » pour qu'Henri justifie son propos en convoquant des connaissances universitaires : le poids (la force de gravitation

¹⁸ Notons que le terme *apesanteur* a été remplacé par *impesanteur*, avec la même signification (absence de pesanteur en un lieu). En effet, les deux expressions « la pesanteur » et « l'apesanteur » peuvent être confondues dans le langage oral.

exercée par la Terre sur la fusée) est compensé par la force centrifuge due à la vitesse de la fusée sur son orbite : « attention y'a la fameuse vitesse qui compense ». Il démontre ainsi que ce qui permet aux héros de « flotter » n'est pas une absence de pesanteur¹⁹. Nous observons Florence se souvenir de cet aspect théorique « oui oui qui compense » et accepter la justification d'Henri. Ils sont d'accord pour dire que ce dessin animé n'est pas un bon choix pour mettre en évidence le poids d'un corps.

Henri rappelle, par ailleurs, que cette notion n'est pas au programme du collège et qu'elle est à peine effleurée au lycée. Il mobilise une PCK/pgrm.

Dans cet exemple, nous relevons deux points importants. Le premier concerne la présence implicite de connaissances de type SMK dans les choix que font les enseignants pour la classe. Nous venons de le montrer pour la construction d'une situation-problème. Nous postulons que, de manière générale, des connaissances scientifiques sont mobilisées dès qu'un enseignant construit une nouvelle activité. Nous avons dit qu'elles sont implicites chez les enseignants du second degré pour les raisons citées en introduction de ce paragraphe mais, dans le premier degré, les enseignants ont parfois besoin d'un apport notionnel important avant de commencer une nouvelle séquence. Ils n'ont pas forcément suivi un cursus scientifique. Prenons l'exemple d'André. Il s'est documenté sur internet et a travaillé avec un enseignant de technologie pour « me mettre les idées au clair car je connaissais déjà mais c'était confus ». Son collègue du second degré l'a renseigné sur les circuits en série et en dérivation et leurs applications dans la vie quotidienne. Quand il a appris que les guirlandes de Noël sont une application de ces circuits, il a décidé d'en faire fabriquer une aux élèves. Pour lui, être au clair sur les contenus qu'il enseigne est primordial : « qu'est-ce que je vais enseigner si je ne suis pas clair là-dessus je ne peux pas je ne peux pas leur enseigner quelque chose même s'ils sont petits ». Il fait le lien entre les connaissances scientifiques et sa préparation de la classe : « c'est ce qui va servir entre guillemet de fil conducteur pour mes séances ». André nous dit qu'il commence par imaginer une progression notionnelle puis qu'il entre dans les détails de chacune des séances. Nous avons eu les mêmes remarques de la part de Francis.

¹⁹ Plus précisément, la fusée tombe à la même vitesse que les héros à l'intérieur.

Le deuxième point concerne la relation mise en évidence entre des SMK et des PCK. Dans notre exemple, les enseignants mobilisent une PCK/stratégie : choisir ou pas ce dessin animé pour faire émerger le concept de poids en classe. Ce choix est validé, ou non, par la mobilisation de connaissances scientifiques et il est en relation avec les programmes de la classe. Par conséquent, la PCK/stratégie est construite à partir de SMK et d'une PCK/pgrm. Toutes ces connaissances s'amalgament, au sens de Shulman, pour permettre aux enseignants de construire une activité qu'ils jugent adaptée à la classe. Néanmoins, ils savent qu'il y aura des régulations à apporter car tout ne peut pas être pensé à l'avance.

5.3.3. Les connaissances sur le contexte : KofC

Le contexte dans lequel les enseignants travaillent peut influencer leur préparation car ils ont le souci de le prendre en compte au mieux pour favoriser les apprentissages des élèves. Nous ne faisons pas ici une étude des facteurs qui peuvent influencer l'enseignement d'un point de vue social, culturel ou bien en lien avec des politiques éducatives. Nous nous plaçons du côté de l'enseignant et de ses choix, en fonction de son établissement. Nous prenons l'exemple de Florence. Dans notre présentation au chapitre 2, nous avons signalé que l'enseignante intervenait dans deux collèges, distants d'environ 36 km. L'un est situé en périphérie d'une ville moyenne, dans un quartier résidentiel et l'autre en pleine campagne, au cœur d'un village de moins de mille deux cents habitants. Nous nommons le premier collège « collège SM » et le second « collège P ».

Notre exemple est extrait du milieu de la première séance. Florence débute ce chapitre dans deux classes du collège SM, en début de semaine et elle le commence dans deux classes du collège P en fin de cette même semaine. La planification de son enseignement est identique dans les deux collèges, « sachant que le collège P arrive après c'est mieux ». L'enseignante dit que les élèves scolarisés dans le collège P sont d'origines modestes, qu'ils ont moins de facilités pour faire leurs devoirs en rentrant le soir. La plupart habitent dans des fermes et « ils doivent aider le soir en rentrant à la maison ». Le niveau culturel est assez faible. Elle ajoute que les cas difficiles sont plus nombreux dans ce collège. De fait, elle change sa préparation en fonction des difficultés qu'elle perçoit lors de son enseignement dans le collège SM.

Dans le collège SM, Florence enseigne « de façon classique » c'est à dire que les caractéristiques du poids et de la masse se succèdent dans des paragraphes distincts,

numérotés, en prenant appui sur un texte extrait du mensuel *Science&Vie Junior*²⁰. Au fil de son cours, elle se rend compte du manque de clarté de sa présentation (Transcript d'entretien - 10, p. 130).

Locuteurs	Productions verbales
C	c'est toi qui as trouvé en analysant que c'était moins clair ou c'est une information que tu as eu des élèves
F	non moi j'ai trouvé que en le faisant même en regardant le tableau ((le support au mur)) même de loin que ça faisait moins heu / ben déjà la distinction poids masse n'est pas spécialement claire / on faisait le va et vient pour savoir si c'était le poids ou la masse donc je me suis dit il faut que je trouve un truc pour euh pour bien séparer les deux bien distinguer surtout que le titre c'était distinction donc euh l'idée du tableau ce n'était pas si mal que ça

Transcript d'entretien - 10 : Mise en tableau du poids et de la masse. Avec Florence

Lors de son enseignement au collège SM, elle s'aperçoit que la présentation « classique » de son cours ne permet pas la distinction poids-masse. Elle décide, pour le même cours dans le collège P, de renseigner les caractéristiques du poids et de la masse dans un tableau, en même temps, à partir du texte de *Science&Vie Junior* « pour bien séparer les deux bien distinguer ((le poids de la masse)) ».

Au cours de l'entretien croisé, Henri lui demande pourquoi elle n'a pas fait ça dans les autres classes (Transcript d'entretien - 11, p. 130).

Locuteurs	Productions verbales
H	et pourquoi t'as pas fait ça dans les autres classes
F	parce que quand j'ai vu déjà comment ça tournait sur la gravitation la fois précédente je me suis dit holà ici il va falloir faire un truc
C	t'as fait ça dans quelle classe
F	j'ai fait comme ça avec les deux classes de p et avec les deux classes de sm j'ai fait classique

Transcript d'entretien - 11 : Différences selon les classes. Avec Florence et Henri

Lorsqu'elle analyse son cours réalisé avec les élèves du collège SM, Florence se projette au collège P. Elle évoque les difficultés que les élèves ont rencontrées dans le chapitre précédent sur la gravitation. Elle décide de modifier sa préparation initiale pour les élèves du collège P ; elle y ajoute une mise en tableau des notions de poids et masse : « comme ça c'est synthétique euh quand ils vont relire c'est clair euh plus clair que faire tout à la suite / comme il y a la confusion entre

²⁰ Le poids et la masse, *Science&Vie Junior*. N° 157 Octobre 2002 (Annexe 16, p.142)

poids et masse du coup en faisant un tableau à chaque fois on distingue les deux ».

Cela montre qu'un enseignant est capable de se projeter hors de sa classe pour juger de la pertinence de son travail présent dans un contexte différent. Pour pouvoir faire cette analyse, l'enseignant doit mobiliser des connaissances de types PCK et KofC. Dans le cas de Florence, ce sont des PCK/é sur les difficultés des élèves du collège P et des connaissances sur le contexte (KofC) social et culturel du collège qui lui ont fait changer sa préparation. Nous reprendrons cette étude dans le chapitre 6, à propos des boucles de régulation.

Florence juge de l'efficacité de cette présentation à la réussite de ses élèves lors de l'évaluation sommative de fin de séquence sur la mécanique (Transcript d'entretien - 12, p. 131) :

Locuteurs	Productions verbales
C	et au final pour l'avoir testé sur les 2 classes de p est-ce qu'au final t'es convaincue
F	ah oui c'est sûr / t'as l'impression que c'est quand même plus clair dans leur esprit
C	ça c'est une impression
F	oui mais sur les contrôles quand même je trouve que ça a mieux marché la question sur poids et masse tu demandes le poids d'un objet de 800 grammes sur la lune j'ai eu plus de bonnes réponses à p qu'à sm / alors que sm est une classe meilleure

Transcript d'entretien - 12 : Mise en tableau du poids et de la masse. Avec Florence et Henri

L'efficacité de la nouvelle préparation combine un ensemble d'indices qualitatifs et quantitatifs. Elle est jugée à travers une impression, un ressenti, et des données plus quantitatives, les résultats de l'évaluation que Florence a donnée dans les deux collèges. La comparaison est d'autant plus pertinente que l'évaluation a été identique dans les collèges SM et P. Florence est convaincue de l'efficacité de cette préparation qu'elle réutilisera l'année scolaire prochaine dans les deux collèges.

Henri va dans son sens : « en tant qu'observateur je trouve que c'est vachement bien ce qu'elle fait là / quand deux notions posent problème car justement elles sont trop imbriquées l'une dans l'autre c'est bien visuellement de bien distinguer les 2 notions // j'ai jamais pensé le faire et ça ça me plaît beaucoup ça ». Les deux enseignants disent leur connaissance, acquise sur le terrain, de la nécessité de faire attention à la présentation du cours. Henri ajoute : « à différencier ceux qui sont plutôt visuels et les auditifs / c'est vachement important / j'en suis convaincu c'est

nécessaire ». Florence approuve. Cette représentation est discutable car, pour nous, les enseignants confondent la technique de mémorisation et celle d'apprentissage. La première peut servir à la seconde mais d'autres éléments sont à prendre en compte pour favoriser les apprentissages.

Nous relevons maintenant un autre argument de Florence : certains élèves ont besoin d'un cours synthétique, plus facile à la relecture, « plus attrayant aussi car ils ne revoient pas le cours chez eux c'est comme ça ». Cette connaissance, que nous qualifions de pédagogique, notée *PK* dans le modèle de Grossman (1990), influence l'enseignement de Florence concernant la notion du poids et de la masse. La mise en tableau est un produit de cette influence.

D'autres facteurs font que la préparation de Florence est différente pour les deux collèges. Par exemple, elle cite le matériel pédagogique et multimédia. Elle n'a pas de vidéoprojecteur et de webcam dans l'un des deux collèges. Cela influence directement la construction des activités. Le budget du laboratoire est plus faible dans l'un des collèges, elle ne peut pas faire réparer ou remplacer le matériel défectueux. En conséquence, elle n'a pas assez de matériel pédagogique pour tous les groupes. Elle fait plus d'expérience de bureau, devant la classe, et les élèves sont moins en situation d'expérimenter. Le caractère expérimental de son enseignement est tronqué.

Nous avons vu que Florence mobilise des PCK pour adapter sa préparation aux élèves du collège P par rapport à ceux du collège SM. Ces connaissances concernent les difficultés des élèves ou le matériel pédagogique.

5.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes appuyés sur le modèle de Magnusson, Krajcik, et Borko (1999), pour analyser les connaissances professionnelles en jeu dans l'activité des enseignants. D'abord, nous avons montré le lien entre ces connaissances et l'organisation de l'activité en étudiant deux composantes du schème convoqué dans l'action : les invariants opératoires et les inférences. Puis, nous avons exemplifié les trois types de connaissances présents dans notre modèle de référence : les connaissances disciplinaires (SMK), les connaissances sur le contexte (KofC) et les connaissances pédagogiques liées au contenu (PCK). Nous avons soulevé la difficulté à inférer des SMK et nous avons discuté deux catégories de PCK : les PCK/stratégie et les PCK/orientations.

Le lien entre les connaissances professionnelles et l'organisation de l'activité se fait par les invariants opératoires du schème que les enseignants convoquent dans l'action. Nous identifions des connaissances à partir des théorèmes-en-acte et concepts-en-acte. Les enseignants s'appuient sur ces connaissances pour prélever et sélectionner l'information afin d'atteindre leur but. Par ailleurs, nous avons montré qu'elles ne sont pas toujours présentes dans les inférences. Nous avons montré que, dans le cas d'un incident critique, le caractère imprévu de la situation ne permet pas aux enseignants de prévoir des régulations dans lesquelles il y aurait des connaissances de type SMK. Nous n'avons observé que des connaissances concernant la gestion des élèves. Par contre, dans le cas d'une organisation prévue, nous avons remarqué des connaissances de type SMK si le but de l'enseignant est en lien avec des connaissances à construire ou à identifier chez les élèves. Nous n'avons pas remarqué d'autres types de connaissances.

L'utilisation du modèle de Grossman complété par Magnusson et al., comme cadre d'analyse, nous a permis de vérifier que les trois types de connaissances sont présents dans l'activité des enseignants. La connaissance de type KofC permet à un enseignant d'adapter sa préparation à un contexte social particulier, comme dans le cas de Florence. Nous avons retrouvé toutes les catégories des PCK. Mais, nous n'avons pas su placer une connaissance que nous avons intitulée « Connaissance sur ce que les élèves ont appris les années passées ». Elle appartient à la catégorie PCK/é mais nous ne voyons aucune sous-catégorie, correspondant à ce type de connaissance, dans le modèle de Magnusson et al..

L'étude de la catégorie PCK/évaluation nous apporte deux informations. D'une part, les enseignants de l'école et du collège ont des références semblables dans les éléments importants à évaluer et, d'autre part, la sous-catégorie « La connaissance des enseignants sur les moyens qui pourraient être employés pour évaluer les aspects spécifiques de l'apprentissage des élèves » nous paraît difficile à retrouver. Nous nous demandons si un apprentissage spécifique, dans un niveau donné, pourrait faire partie de cette sous-catégorie ; par exemple, si évaluer la schématisation d'un circuit électrique au cycle 3 ne correspondrait pas à cette sous-catégorie. A ce niveau d'étude, contrairement à la fin du collège, utiliser un schéma et savoir schématiser un circuit sont des compétences en cours d'acquisition. Par conséquent, au niveau du cycle 3, cet élément évalué correspondrait à cette sous-catégorie ; le même élément évalué en fin de collège n'y appartiendrait pas.

Cet exemple pose la question de la définition des PCK par rapport à un niveau scolaire donné. Les PCK sont spécifiques d'un contenu mais ne dépendraient-elles pas aussi d'un niveau scolaire ?

Une autre spécificité de l'enseignement des sciences à l'école primaire a été constatée : les enseignants mobilisent des connaissances d'un autre domaine d'enseignement pour favoriser les apprentissages en sciences. Ils revendiquent une approche pluridisciplinaire de leur enseignement. Nous avons observé, lors de la construction de la synthèse du cours, que le dispositif qu'ils ont mis en place leur permet ce type d'approche. Mais, le cadre d'analyse des PCK ne peut pas nous permettre d'identifier ces connaissances car elles sont, par définition, liées à un contenu. Nous postulons que c'est dans le traitement d'un incident critique que les enseignants du premier degré convoquent des PCK d'un autre domaine d'enseignement.

En effet, dans le cas de la construction de la synthèse, les incidents critiques peuvent être de différentes natures notamment concernant la lecture, l'écriture et la compréhension (mais nous imaginons que les autres domaines d'enseignement peuvent être sollicités suivant le type travail en cours). C'est dans leur traitement que les enseignants mobilisent des connaissances, entre autres, de type PCK/é et PCK/pgrm d'un autre domaine d'enseignement. Elles sont alors identifiables et cela nous permet de comprendre comment l'approche pluridisciplinaire de l'enseignement dans le premier degré peut favoriser les apprentissages en sciences.

Par ailleurs nous discutons deux catégories des PCK : les PCK/stratégie et les PCK/orientations.

Il nous paraît difficile de distinguer les deux sous-catégories des PCK/stratégie : les « Connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences » et « Connaissances sur des activités spécifiques à un sujet de science ». La frontière est difficile à placer car c'est la définition d'une stratégie qui est posée. Qu'est-ce qui est stratégique pour un enseignant ? Est-ce la mise en place d'un dispositif particulier comme une expérience dans un cours ou le choix d'un type de support comme une planche de BD ou encore le dispositif et le contenu qui y est associé ? Nous aurions tendance à répondre que c'est le dispositif ou le type de support qui est stratégique. Dans ce cas, nous placerions toutes les stratégies que nous avons identifiées dans une seule catégorie sans différencier ce qui est

spécifique à un sujet de ce qui est commun à plusieurs sujets en science, car un dispositif ou un support, comme stratégie, n'est pas spécifique à un sujet d'étude.

Une question se pose concernant les PCK/orientations : sont-elles des connaissances spécifiques d'un sujet ? Nos résultats nous amènent à rejoindre le problème tel qu'il est posé par Abell (§ 2.7.6., p. 45). Nous avons observé, d'une part, des orientations qui ne sont pas spécifiques à l'enseignement de poids et masse et, d'autre part, une interaction entre les connaissances et les croyances dans la décision de l'orientation prise par l'enseignant. L'étude des orientations ne peut donc pas être réduite à celle d'une connaissance.

Nous avons relevé que les connaissances scientifiques (SMK) sont souvent difficiles à identifier, dans les entretiens en auto-analyse simple ou croisée, car les enseignants sont centrés sur leur action ou l'action des élèves dans la classe. Mais, dès qu'une discussion entre les deux enseignants s'intensifie nous voyons apparaître des SMK dans leurs justifications. Ils ne sont plus centrés sur la vidéo. Nous soulignons cet aspect méthodologique car il nous permet d'identifier les SMK des enseignants et de voir comment, à partir des différents types de connaissances, les professeurs opèrent leurs choix, lors de la préparation ou dans l'action.

Dans le chapitre suivant, nous poursuivons l'identification des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants mais dans le cadre particulier de la mise en œuvre d'une démarche d'investigation. Cette démarche est au programme de l'école primaire et du collège. Dans les programmes du collège, il est fait référence à la DI à l'école primaire pour souligner un aspect de continuité entre les deux niveaux. Par conséquent, notre étude comportera deux aspects : la relation entre la DI et les connaissances professionnelles, et la question de la continuité ou de la rupture entre l'école primaire et le collège.

Chapitre 6 : Démarches d'investigation et connaissances professionnelles

6.1. *Introduction*

Ce chapitre est consacré à l'étude des connaissances professionnelles des enseignants dans le cadre particulier de la mise en œuvre d'une démarche d'investigation (DI). Les programmes dans le premier degré et dans le second degré font référence à la DI qui constitue à la fois une modalité pédagogique de mise en œuvre en classe et un objectif de programme. Nous menons cette étude dans les deux niveaux scolaires en analysant sa définition dans les programmes et sa mise en œuvre dans les classes.

Les programmes du collège font référence à la DI à l'école primaire pour souligner une continuité. Nous comparons donc les programmes et leur mise en œuvre à l'école primaire et au collège. Concernant la mise en œuvre de la DI dans chacun des niveaux, nous examinons l'influence, du point de vue des connaissances, de la DI sur l'activité des enseignants et sur la tâche des élèves. Plus précisément, nous analysons

comment les enseignants mettent en place le problème scientifique à résoudre et comment se font les articulations avec les investigations menées par les élèves, sur une séquence.

Nous étudions également la nature de la démarche qui est en jeu. Elle évolue avec les difficultés que les enseignants rencontrent pour atteindre leur but. Nous analysons, d'un côté, la relation entre la nature de la démarche et la tâche des élèves et, de l'autre côté, la nature de la démarche et l'autonomie laissée aux élèves pour mener leur investigation.

Nous faisons référence au modèle à six dimensions issu du projet européen S-TEAM²¹ (Grangeat, 2010 ; Grangeat, à paraître) qui permet d'identifier l'activité d'enseignants de science au cours d'une séance fondée sur les démarches d'investigation (ESFI). Ce modèle (Annexe 24) identifie six dimensions critiques ou six axes représentant des continuums « sur lesquels les acteurs de l'enseignement scientifique peuvent situer des pratiques réalisées ou observées » (p. 8). Sur ce continuum, quatre paliers servent de repère : les premiers paliers sont centrés sur l'enseignant et le contenu ; les derniers paliers sont centrés sur les apprenants et la maîtrise de connaissances et de compétences mises en œuvre dans les ESFI. Ils sont notés respectivement de 1 à 4. Nous positionnons l'activité des enseignants de notre étude dans ce modèle ESFI à six dimensions.

6.2. La DI au collège

6.2.1. La DI dans les programmes

Dans le contexte français, d'un point de vue institutionnel, la DI est apparue pour la première fois dans les programmes de cinquième en 2005²² dans la continuité de ceux de l'école primaire²³. Elle apparaît dans les programmes de troisième en 2008 (Annexe 2). Elle est présentée comme une « démarche qui privilégie la construction du savoir par l'élève (...) qui s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel (en sciences expérimentales et en technologie) et sur la résolution de problèmes (en mathématiques) »

²¹Science Teacher Education Advanced

²²MEN, Programme des collèges. BO HS N°5 du 25 Août 2005

²³MEN, Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire. BO HS n° 1 du 14 février 2002

(p. 4). Elle est associée à un « canevas » pour une séquence d'enseignement dans lequel « sept moments essentiels » sont identifiés :

- le choix d'une situation-problème ;
- l'appropriation du problème par les élèves ;
- la formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles ;
- l'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves ;
- l'échange argumenté autour des propositions élaborées ;
- l'acquisition et la structuration des connaissances ;
- la mobilisation des connaissances.

Ce « canevas » a pour but d'aider les enseignants à construire la préparation de la séquence. Cependant, il est noté que « ce canevas n'a pas la prétention de définir « la » méthode d'enseignement, ni celle de figer de façon exhaustive un déroulement imposé » (p. 4). Ce n'est qu'une commodité de présentation : « l'ordre dans lequel ils (les sept moments essentiels) se succèdent ne constitue pas une trame à adopter de manière linéaire » (p. 4).

Les programmes du collège font apparaître la DI comme une démarche « qui privilégie la construction du savoir par l'élève ». Il est signalé qu'elle n'est pas unique ni exclusive. Elle contribue au développement des capacités « nécessaires pour mettre en œuvre les connaissances » et des attitudes « développées par l'enseignement de la physique-chimie » (p. 9). Par conséquent, les élèves doivent savoir la pratiquer en sachant que les investigations sont réalisées avec l'aide du professeur, mais il n'apparaît pas explicitement qu'ils doivent avoir des compétences sur la démarche elle-même et une capacité à la mettre en œuvre de manière pertinente. Pour autant, un élément dans les programmes apporte une ambiguïté. Il est mentionné qu'« une éducation scientifique complète se doit de faire prendre conscience aux élèves à la fois de la proximité de ces démarches (résolution de problèmes, formulation respectivement d'hypothèses explicatives et de conjectures) et des particularités de chacune d'entre elles (...) » (p. 4). Pour nous, les élèves doivent acquérir des compétences sur la démarche et des capacités à la mettre en œuvre pour pouvoir « prendre conscience » des différences et des concordances entre les démarches pour les mathématiques et les sciences expérimentales, sachant qu'il est précisé dans les programmes qu'« une présentation (de la DI) par l'enseignant est parfois nécessaire » (p. 4). Si l'enseignant en fait une présentation c'est

bien pour que les élèves acquièrent des connaissances sur cette démarche et des compétences dans sa mise en œuvre.

Dans certains travaux de recherche, la DI est identifiée comme une démarche hypothético-déductive qui se déroule à partir d'un conflit cognitif (Mathé, Méheut, & de Hosson, 2008), en faisant ressortir en particulier l'activité des élèves (Coquidé, Fortin, & Rumelhard, 2009). Dans ce modèle hypothético-déductif, la mise à l'épreuve d'hypothèses avec une dimension expérimentale paraît centrale (Mathé & al., 2008 ; Triquet & Guillaud, 2011). De fait, la preuve est généralement fondée sur une prise de mesures suivant une démarche empirique inductiviste dans la pure tradition de l'enseignement français des sciences physiques (Balpe, 2001).

Lorsque les enseignants décident qu'un sujet sera abordé en recourant à la DI, ils savent qu'ils devront créer et mettre en œuvre des situations plus ouvertes qu'à l'accoutumée, dans lesquelles les élèves auront une plus grande autonomie pour participer activement à l'élaboration des savoirs (Boilevin & Brandt-Pomares, 2009). D'après les instructions officielles « tous les objets d'étude ne se prêtent pas également à sa mise en œuvre » ; les enseignants doivent faire des choix « pertinents » en pensant notamment aux contenus des activités et au contexte de classe dans lequel l'enseignement va se dérouler. Ce choix se fait lors de la préparation de la classe ; l'enseignant doit alors mobiliser des connaissances professionnelles notamment en lien avec les connaissances pédagogiques du contenu (PCK).

6.2.2. Choix des situations-problème

Pour les deux enseignants que nous avons suivis, un sujet est « pertinent », avant tout, s'il peut être associé à une situation-problème « concrète », c'est à dire « qui fait référence au quotidien de l'élève ». Henri souligne « c'est la situation-problème qui fait l'investigation ». Les deux enseignants précisent : « elle doit permettre de faire émerger des erreurs chez les élèves pour être efficace ». Ils disent la nécessité de prendre en compte les connaissances préalables des élèves, leurs conceptions initiales, pour aborder de nouveaux apprentissages. Nous en avons eu un aperçu au chapitre 4 avec Florence. Les obstacles cognitifs sont connus ; cette PCK/é participe à la prise de décision sur le choix de mettre en œuvre une DI par les enseignants. Dans le cas des concepts de poids et de masse, les

enseignants savent que les élèves confondent les deux. Ils soulignent que cette confusion est ancrée dans le quotidien des élèves où le poids d'un objet est énoncé en kilogramme.

Le choix de la situation-problème paraît difficile, compte-tenu de son importance : il conditionne la mise en œuvre de la DI donc la suite de la séquence. La discussion entre Florence et Henri, que nous avons relatée au paragraphe 5.3.2. (p. 126), en est la preuve. Pour choisir une situation-problème, les enseignants jugent de sa pertinence d'un point de vue scientifique et par rapport au programme de la classe. C'est une stratégie, d'une part, pour faire entrer les élèves dans le thème étudié et, d'autre part, pour identifier les conceptions initiales des élèves.

Prenons l'exemple de la situation-problème mise en œuvre par Henri.

6.2.2.1. Connaissances professionnelles en jeu

Henri fait le choix de débiter le chapitre « poids et masse » par la projection d'une planche de bande dessinée des *Aventures de Tintin* tirée de l'album *On a marché sur la Lune*²⁴. Sur cette planche, nous voyons un des héros Dupont et Dupond, sur la Lune, sauter par-dessus une crevasse et retomber beaucoup plus loin que prévu. Puis, les deux héros commentent leur saut respectif : ils comparent implicitement la longueur d'un saut sur la Lune avec la longueur d'un saut sur Terre. Henri remarque : « c'est une situation qui parle ». Pour lui la situation est suffisamment explicite pour que les élèves identifient le problème et émettent des hypothèses explicatives en réinvestissant leurs connaissances sur la gravitation, vues dans les cours précédents.

Il débute la séance en posant la question : « regardez cet extrait de planche BD et dites-moi ce que vous en pensez qu'est-ce que ça évoque pour vous ». Un élève fait la réponse suivante : « ben la lune heu / n'a pas la même force d'attraction que la terre ». Henri rebondit immédiatement sur les deux éléments contenus dans cette réponse : il discute d'une part le fait que la Lune attire Dupont et d'autre part que la force d'attraction n'est pas la même que sur la Terre. Le même élève justifie l'action attractive par le fait qu'en sautant, Dupont « partirait dans les airs », si la Lune ne l'attirait pas. Henri ne laisse pas passer cette conception erronée. Il lui repose la question : « il partirait dans les airs tu crois qu'il

²⁴Hergé (1950), *On a marché sur la Lune*, *Les Aventures de Tintin* (p.30), Editions Casterman

y a de l'air sur la lune ? ». A la suite de la réponse négative de l'élève, il corrige en disant que Dupont « partirait tout droit ». Nous remarquons que l'enseignant a adapté sa réponse au niveau de la classe puisque la notion de mouvement d'un objet n'est pas au programme du collège. Puis, Henri profite du second élément de la réponse de l'élève pour définir le poids comme « l'attraction d'un astre sur un corps ». C'est ce qu'il avait prévu dans sa préparation.

Pourquoi Henri a-t-il choisi une B.D. comme situation de départ ?

L'enseignant parle de stratégie : « tintin c'est connu par tout le monde donc ça parle si tu veux (...) donc on rentre dedans c'est facile ». Son but est d'attirer chaque élève, de l'intéresser dès le début du cours, pour s'assurer de son adhésion le plus longtemps possible. De plus, il dispose d'un ordinateur et d'un vidéoprojecteur en permanence dans sa salle de classe, ce qui lui donne plus de possibilités pour la mise en œuvre de son enseignement. Dans ce cas, il s'appuie sur ses connaissances techniques pour numériser la planche de B.D. car, à la lecture de son journal de bord, nous constatons que cette bande dessinée fait partie de sa collection personnelle. Son choix vient aussi du fait qu'il utilise une planche de B.D. des *Aventures de Tintin* pour la notion d'éclipse de Soleil²⁵ en classe de 5ème. Il sait cette situation efficace en termes de motivation des élèves et d'intérêt.

Nous constatons que pour construire une situation-problème et pour la mettre en œuvre, Henri mobilise des connaissances scientifiques, de type SMK, sur les notions de gravitation universelle, sur le système solaire et sur le mouvement des corps. Le choix de la situation-problème nécessite de sa part la mobilisation de connaissances spécifiques à l'enseignement du poids : une PCK/pgrm, une PCK/é et une PCK/stratégie. Nous avons remarqué que son objectif est formulé en adéquation avec le niveau de la classe et les réponses aux questions sont adaptées d'un point de vue des notions et du vocabulaire employé. Nous remarquons aussi que le matériel à disposition dans la salle de classe influence sa préparation, pour laquelle il mobilise des connaissances techniques.

Par contre, cette situation-problème ne débouche directement ni sur l'investigation de la première séance qui répond à la question « est-ce que le poids se mesure », ni sur l'investigation de la seconde séance qui permet de montrer la relation de

²⁵ Hergé (1930), Le temple du Soleil. Dans *Les Aventures de Tintin*, Editions Casterman

proportionnalité entre le poids et la masse. Il n'y a pas de question dite « productive »²⁶ ; Henri donne des consignes de travail, sans lien avec la situation d'entrée décrite ci-dessus.

6.2.2.2. Quel support pour une situation-problème ?

Florence nous montre l'étiquette numérisée d'une boîte de haricots beurre, sur laquelle il est noté *poids net 1kg*. Elle considère *a priori* ce support intéressant pour une situation-problème « pertinente » : d'une part, la situation est concrète car issue du quotidien des élèves et, d'autre part, elle sait qu'ils confondent le poids et la masse d'un objet. Par ailleurs, l'enseignante sait que « les élèves auront beaucoup de mal à trouver le problème » : Elle s'attend à ce qu'ils répondent qu'il y a de l'eau dans la boîte, qu'ils discutent « sur la quantité d'eau par rapport à la quantité d'haricots ou sur le poids net ou brut mais ils n'iront pas sur la notion de poids », sous-entendue de force, « donc ça donnerait rien ». La conclusion de Florence est sans appel : la boîte de haricots beurre ne constituera pas une situation-problème pertinente. Pour cela, elle mobilise des connaissances scientifiques, de type SMK, qui lui permettent de dire que la situation-problème a une pertinence scientifique. Elle mobilise, aussi, des PCK/pgm et des PCK/é. Elle anticipe sur ce que les élèves vont en dire. Ce sont ses propres connaissances sur les élèves et leurs difficultés qui l'amènent à cette conclusion.

Par conséquent, une situation-problème est jugée pertinente par les enseignants si :

- elle est cohérente scientifiquement ;
- elle est conforme aux programmes de la classe ;
- elle est attirante pour les élèves ;
- les tâches des élèves sont des recherches de solutions pour lesquelles ils émettent des hypothèses explicatives, ou des conjectures que l'enseignant relève et corrige si nécessaire. Elles peuvent être matérielles comme des réalisations d'expériences, des mesures, des schémas, etc..

²⁶ Une question productive répond à deux critères : elle débouche sur des formes d'investigations et elle conduit à de nouvelles connaissances. Les questions productives peuvent être de natures différentes suivant les groupes d'élèves.

Du point de vue du modèle à six dimensions de Grangeat (à paraître), dans la dimension « qui est à l'origine du questionnement ? » les deux enseignants se situeraient à deux niveaux différents lors de la mise en œuvre de leur situation-problème. Florence serait au niveau 1 « L'enseignant apporte le questionnement initial » (elle pose la question aux élèves de ce qu'ils savent sur le poids et la masse) et Henri au niveau 2 « L'enseignant propose un questionnement initial en lien avec l'expérience des élèves ». Florence souhaite faire émerger les conceptions initiales des élèves ; Henri souhaite faire émerger le poids à travers une situation-problème. Les niveaux 1 et 2 atteints par les deux enseignants nous renseignent sur leur stratégie pour ce début de séquence. Les deux enseignants proposent le questionnement initial et ils font en sorte qu'il devienne celui des élèves (Ibid.). Pour nous, c'est dans cette articulation que les élèves peuvent être en difficultés pour mener des investigations. Lors de notre étude, les questions productives sont imposées par les enseignants, là où elles auraient pu être élaborées conjointement avec les élèves pour donner du sens aux recherches. C'est la conséquence d'un manque de lien entre la situation-problème et les futures investigations. Les hypothèses explicatives des élèves énoncées lors de la situation-problème ne sont pas reformulées en questions productives pour de futures investigations.

6.2.2.3. Manque de liaison entre la situation-problème et les investigations

Comme nous l'avons relevé au paragraphe précédent, la question productive qui donne lieu à des investigations est imposée par Henri. Elle n'est pas construite conjointement avec les élèves conséquemment à la situation-problème. Nous avons fait le même constat chez Florence. Dans la deuxième séance, elle demande aux élèves de proposer une expérience pour montrer qu'il existe une relation entre la masse et le poids d'un objet. Cette question est posée par l'enseignante, sans aucun lien avec la situation-problème qui était de classer les conceptions des élèves dans un tableau avec une colonne poids et une colonne masse.

Pourtant, les deux enseignants auraient pu établir une liste de questions avec les élèves pendant l'analyse de leur situation-problème. Ces questions productives auraient donné lieu à des investigations, de la part des élèves, pour trouver des réponses. Par exemple, la question « existe-t-il une relation entre le poids et la

masse ? » aurait pu être formulée soit à partir de l'étude de la bande dessinée des *Aventures de Tintin* soit lors du classement en tableau des conceptions des élèves.

Pour autant, cette relation entre la situation-problème et les investigations conduites n'est pas très explicite dans les programmes du collège. Les programmes évoquent une séquence d'investigation, en soulignant qu'« une séquence est composée de plusieurs séances relatives à un même sujet d'étude ». Les enseignants devraient donc penser la mise en œuvre d'une DI sur plusieurs séances. Mais, les programmes ne mentionnent pas clairement que la situation-problème a aussi la fonction d'identifier des questions qui donneront lieu plus tard à des investigations. Ce peut être une raison pour laquelle elle est souvent réduite à « corriger » les erreurs des élèves. Dans ce cas, nous pensons qu'il y a un manque de cohérence dans la démarche, ce qui a peut avoir un impact sur les difficultés d'apprentissages des élèves.

Ce manque de liaison entre la situation-problème et les investigations nous font proposer que la DI pourrait se résumer à une succession de phases d'investigation, qui se déploient dans le temps, dont la cohérence est visible par l'enseignant mais pas forcément par les élèves. De plus, devant leurs difficultés à conduire des investigations, les enseignants prennent en charge certains moments de la démarche : pour nous, elle est contrôlée (Coquidé, Fortin, & Rumelhard, 2009). Nous observons aussi les enseignants changer la question de départ, entre les deux années d'observation. La conséquence est que la nature de la démarche évolue : elle peut être inductive, déductive ou successivement les deux à la fois.

Le modèle ESFI à six dimensions nous permet d'envisager des améliorations en comparant le niveau atteint par l'enseignant dans une dimension critique et le moment dans le déroulement de la séquence où l'étude se passe. Dans notre exemple, les deux enseignants sont au début de la séquence à la première séance. Ils pourraient construire leur situation-problème pour bâtir avec les élèves un questionnement. Dans ce cas ils seraient au niveau 3 ou 4 dans le modèle. Les avantages sont certains. D'une part les professeurs s'assurent que les élèves se sont approprié le questionnement et, d'autre part, ce questionnement permettrait aux élèves de mener des investigations en plus grande autonomie. La liaison situation-problème / investigation est assurée.

6.2.3. La démarche de nature inductive ou déductive

La première année, Florence a laissé les élèves proposer et mettre en œuvre des expériences en totale autonomie pour montrer la relation entre le poids et la masse. Elle a donné la consigne suivante (Transcript de séance - 13, p. 146) :

Locuteur	Production verbale
F	((écrit au tableau)) existe-t-il un lien entre le poids et la masse des objets // et là je vais vous demander de réfléchir // donc là moi je ne vais plus rien écrire pendant un petit moment // alors je vous demande enfin / voici les consignes que vous avez vous devez montrer qu'il y a ou qu'il n'y a pas de lien entre la masse et le poids de différents objets / pour se faire sous la partie expérience vous allez me décrire ce que vous allez faire par quelle expérience vous pourriez montrer qu'il y a un lien ou qu'il n'y a pas hein moi j'en sais rien entre la masse et le poids de différents objets / donc je vous laisse écrire au crayon gris / par quelle expérience vous allez montrer qu'il existe ou qu'il existe pas j'en sais rien un lien entre la masse et le poids de différents objets

Transcript de séance - 13 : Relation entre le poids et la masse. Année 1. Cas de Florence

Les élèves ne sont pas arrivés à montrer la relation de proportionnalité entre la masse et le poids. Pour Florence, ils « ne savaient pas ce qu'ils devaient trouver ». Elle reformule la consigne à plusieurs reprises pour aider les élèves en difficultés. Au bout de quatre minutes de régulations, elle prend l'exemple d'un groupe qu'elle commente (Transcript de séance - 14, p. 146).

Locuteurs	Productions verbales
F	/ bon c'est bon hein y a bien un lien / enfin / y'a un lien entre les deux / moi j'aimerais essayer de trouver une relation mathématique dans ce lien-là / donc peut-être qu'il faudrait peut-être déterminer la masse
E1	exact
F	donc il vous manque quelque chose
Es	la balance

Transcript de séance - 14 : Relation mathématique. Année 1. Cas de Florence

Dans l'échange avec ce groupe, Florence reformule le problème à résoudre : « moi j'aimerais essayer de trouver une relation mathématique dans ce lien-là ». Cette reformulation de la consigne permet à tous les groupes de mettre en place une expérience. Mais aucun n'est arrivé à trouver la relation mathématique entre le poids et la masse. Florence identifie les sources d'erreurs qui ont empêché les élèves de trouver la relation mathématique : des erreurs de lecture au niveau du dynamomètre, des erreurs de calibre sur la balance électronique neuve (Florence n'avait pas anticipé que la balance était sur oz par défaut) le tout amplifié par la grande diversité des objets choisis

par les élèves. C'est un incident critique lié au référent empirique à la balance numérique. Elle sait, à l'issue de cette séance, qu'elle doit reprendre sa préparation de la classe.

La deuxième année de notre observation, Florence a changé l'introduction de la question productive. Mais, c'est toujours elle qui la donne aux élèves (Transcript de séance - 15, p. 147).

Locuteur	Production verbale
F	je vous avais demandé de réfléchir à une expérience ou des expériences que vous pourriez faire pour montrer que le poids est proportionnel à la masse c'est ça alors qui a eu une idée

Transcript de séance - 15 : Relation entre le poids et la masse. Année 2. Cas de Florence

Elle leur demande d'imaginer une expérience permettant de montrer que la relation, entre le poids et la masse, est une relation de proportionnalité (après avoir défini la proportionnalité). La consigne est radicalement différente, cette deuxième année. D'une part, les élèves prennent le temps chez eux d'élaborer le protocole d'une expérience et, d'autre part, ils savent qu'ils doivent trouver que le poids est proportionnel à la masse. Florence justifie son évolution entre les deux années, car elle pense qu'ils ne sont pas capables de trouver seuls qu'il existe une relation de proportionnalité : « il y a trop de difficultés du côté des maths et de la mesure qui engendrent tout et n'importe quoi ». L'enseignante met en commun les différentes propositions des élèves et définit un protocole avec la classe. Elle dessine le tableau de mesures à compléter, elle les laisse libres toutefois de choisir les objets, en précisant qu'ils doivent avoir des masses significativement différentes.

Nous avons observé des élèves qui corrigeaient leurs mesures afin de trouver la proportionnalité. Ils savaient ce qu'ils cherchaient. Pour autant, elle est plus satisfaite que l'année précédente : « pour certains groupes c'est pas si mal ».

Entre les deux années, la nature de la démarche a changé. La première année, elle est de nature inductive ; la deuxième année elle est de nature déductive. De fait, la tâche des élèves n'est plus la même. Ce changement radical est la conséquence des erreurs identifiées par Florence à l'issue de son cours mis en œuvre la première année de notre observation. Donc, ce sont bien des PCK/é qui sont à l'origine du changement de nature de la DI.

Ce changement de nature de la démarche peut être analysé avec le modèle à six dimensions de Grangeat. La dimension critique correspondante s'intitule : « Quelle est la nature du problème ? ». La première année, Florence se situerait au niveau 4 « les élèves

disposent d'un matériel libre pour une question ouverte ». C'est le niveau le plus « complexe » car il est centré sur les élèves. La deuxième année, l'enseignante met en place une démarche déductive dont le protocole est construit conjointement avec les élèves. Elle se situerait au niveau 2. Nous voyons que l'autonomie des élèves est réduite suite aux difficultés occasionnées par des situations de niveau 4. Dans l'entretien en auto-analyse simple, Florence nous dit, à l'issue de la deuxième année : « et je pense que l'année prochaine ils seront encore moins autonomes / ouais / je pense que dans ce cas-là je leur imposerai des objets ». Elle minimise les erreurs de mesures en choisissant la masse des objets « pour que ça tombe à peu près juste ». Dans ce cas les élèves auront encore moins d'autonomie. Nous pensons qu'elle se situerait à un niveau intermédiaire entre le 1 et le 2.

Henri va plus loin. Il écrit la relation $P = m \times a$ et il demande aux élèves de trouver le coefficient de proportionnalité a . Pour cela, il impose le matériel : des masses marquées, un dynamomètre et une balance numérique. C'est un groupe qui passe au tableau et qui effectue les mesures. C'est aussi la conséquence d'un échec la première année, lorsque les élèves avaient la liberté de choisir leurs objets pour trouver le coefficient a . Il se situerait au niveau 1 relativement à la dimension critique correspondante « Quelle est la nature du problème ? ». Les élèves ont très peu d'autonomie.

Florence suit la même progression qu'Henri. Lui aussi se situait au niveau 4 la première année des nouveaux programmes de la classe de troisième (2008). Puis il a restreint l'autonomie des élèves et a fini par imposer le protocole devant les difficultés rencontrées. Le modèle montre que la prise en compte des élèves est minimale dans les deux cas. La démarche déductive ne permet pas aux enseignants de décentrer l'activité sur les élèves. Cette approche est renforcée par le fait que les enseignants mettent en scène des connaissances déjà établies, qui ne peuvent pas se constituer comme ils le font dans la communauté scientifique de référence (Darley & Bomchil, 1998 ; Cariou, 2010 ; Coquidé & al., 2009). De fait, nous posons la question des apprentissages réalisés.

Dans les deux cas, nous constatons que l'autonomie des élèves est réduite pour assurer à l'enseignant d'atteindre son but. Il prend en charge des moments de la démarche. Pour nous, elle est contrôlée.

6.2.4. Une démarche contrôlée

Les enseignants réduisent l'autonomie des élèves dans les investigations pour différentes raisons. La première, et la plus mentionnée, est que la mise en œuvre de la DI est très chronophage (Mathé, Méheut, & de Hosson, 2008). Florence définit un protocole commun à toute la classe et dessine le tableau de mesures à compléter pour gagner du temps car « si certains partent sur leur expérience euh pour rattraper ça va perdre du temps après ». En même temps, l'enseignante est assurée que tous les élèves partent d'une expérience qui fonctionne. C'est la deuxième raison. Les enseignants « cadrent » le travail des élèves en agissant sur différentes variables pour s'assurer d'atteindre leur but. Ils agissent sur le matériel, par exemple. Henri fait manipuler les élèves avec des masses marquées. Il trouvera plus facilement le coefficient de proportionnalité égal à 10. Nous avons dit au paragraphe précédent que Florence envisage de réduire encore l'autonomie des élèves en imposant le matériel « parce que comme ça après quand on fait l'exploitation ils auront quasiment tous le même résultat et c'est plus facile d'exploiter avec des graphiques identiques des valeurs quasiment identiques ». Les enseignants font des mises en commun régulièrement dans lesquelles ils donnent des résultats intermédiaires importants. Une autre raison invoquée par les professeurs concerne les problèmes de sécurité. Prenons le cas de l'enseignement de la loi d'Ohm en classe de quatrième.

Henri donne la « résistance » à utiliser, « car elle est adaptée à ce qu'ils doivent faire » ainsi que le générateur à tension réglable, avec les symboles. Il dit gagner du temps car « de toutes façons ils ne trouveront pas, ils ne penseront pas au générateur à tension réglable ». Les élèves doivent effectuer le schéma en plaçant les deux multimètres et après vérification de l'enseignant, ils font le montage et prennent les mesures. Henri impose les calibres ainsi que la valeur des tensions aux bornes de la résistance « sinon ils font n'importe quoi ». Il justifie sa position par rapport aux conditions de sécurité : en effet, les élèves manipulent du matériel nécessitant des réglages précis, avec des risques de court-circuit et des conséquences irréversibles sur le matériel. Henri ajoute : « donc là j'ai pas le choix je leur donne le calibre 200 milli et je leur impose la tension ».

Florence n'a pas les mêmes problèmes qu'Henri. Elle possède un matériel partiellement sécurisé, ce qui lui permet de laisser les élèves autonomes dans le choix des

valeurs, contrairement à Henri. Ils peuvent proposer une manipulation à réaliser et une liste de matériel. Par contre, elle s'assure que tous les groupes ont le bon schéma de montage avant de commencer.

Nous observons que les conditions matérielles influencent le degré d'autonomie laissé aux élèves dans la construction et la mise en œuvre de la DI. Ce PCK/pgrm a beaucoup d'importance ici ; chaque enseignant construit sa séance en le mobilisant. Elle s'ajoute aux PCK/é lors de l'élaboration de l'activité expérimentale.

Nous poursuivons notre analyse avec le modèle à six dimensions de Grangeat. Pour nous, la responsabilité des élèves est questionnée dès que les enseignants « contrôlent » la démarche. Nous nous référons à la dimension critique « Quelle responsabilité ont les élèves ? ». Nous avons quelques difficultés à placer le niveau de Florence et André en lien avec cette dimension. Le niveau 1 « l'enseignant met en place les étapes de la DI » ne nous paraît pas compatible avec le niveau 3 « les élèves sont responsables du processus d'investigation ». Pour nous, les étapes de la DI représentent la démarche dans sa totalité à savoir de la situation-problème aux nouvelles connaissances. Au collège, elle est présentée en sept moments essentiels. Nous comprenons le niveau 3 comme une responsabilité des élèves dans le choix de la forme d'investigation et concernant sa conduite. Donc, il n'y aurait pas de continuum entre ces deux niveaux.

Les deux enseignants, Florence et André n'ont pas mis en place de DI car il n'y a pas eu de liaison entre la situation-problème et les investigations par la construction conjointe d'un questionnement. La DI pourrait se résumer à une succession de phases d'investigation qui se déploient dans le temps. Pour pouvoir poursuivre notre analyse avec le modèle à six dimensions nous proposons de l'adapter à nos cas d'étude. Nous considérons que la dimension critique citée ci-dessus ne concernerait que les investigations ; nous la noterions « Quelle responsabilité ont les élèves lors des investigations ? ». Nous pourrions placer quatre niveaux parmi lesquels Florence et Henri pourraient se situer :

1. L'enseignant met en place l'investigation en proposant un protocole et le matériel.
2. L'enseignant met en place l'investigation en proposant un protocole et en laissant le choix du matériel aux élèves.
3. Les élèves sont responsables du processus d'investigation
4. Les élèves disposent d'outil d'auto-évaluation conçu par ou avec l'enseignant

La première année, Florence serait au niveau 3 et Henri au niveau 3 puis 1 (il adapte son enseignement entre la séance 2 et la séance 3 suite aux difficultés des élèves). La deuxième année, Florence se situerait au niveau 2 et Henri au niveau 1. La responsabilité des élèves diminue avec le processus de « contrôle » de la démarche qui augmente alors que, selon les programmes, la DI favorise l'autonomie et à la responsabilisation des élèves à travers les différents modes des gestions des élèves.

Les trois autres dimensions critiques du modèle seraient à étudier en fonction du moment dans la DI.

6.2.5. Bilan de notre analyse avec le modèle ESFI

Nous avons analysé différents moments d'une DI en faisant référence au modèle ESFI à 6 dimensions (Grangeat, à paraître). Le premier moment de la DI dans les programmes concerne le choix d'une situation-problème. Le modèle ESFI nous permet de montrer que les enseignants se situent aux deux premiers niveaux dans la dimension critique « qui est à l'origine du questionnement ? ». Cela indique que leur activité n'est pas centrée sur les élèves. Ce sont les professeurs qui proposent le questionnement initial en faisant en sorte que les élèves se l'approprient pour mener des investigations. Nous pensons que l'une des origines des difficultés rencontrées par les élèves se situe dans cette articulation. Le modèle ESFI apporte des informations pouvant aider les professeurs à se situer, lors de la construction d'une activité. En décentrant l'activité sur les élèves ils passent à un niveau de 3 ou 4 dans la dimension critique correspondante, suivant le degré d'autonomie des élèves dans la construction. Pour nous, cela permet de s'assurer qu'ils s'approprient le questionnement et qu'ils donnent du sens à leurs recherches.

Nous avons observé aussi que les enseignants s'adaptent aux difficultés des élèves en changeant la nature de la démarche ou en la contrôlant. Le modèle ESFI nous apporte des éléments d'analyse complémentaires. Lorsque les professeurs passent d'une démarche inductive à une démarche déductive, ils passent d'un niveau 4 à un niveau 1 ou 2 concernant la dimension critique correspondante : « Quelle est la nature du problème ? ». Les élèves perdent en autonomie et en responsabilité. L'analyse de la dimension critique redéfinie (§ 6.2.4) « Quelle responsabilité ont les élèves lors des investigations ? » nous amène à la même conclusion. Nous montrons que l'autonomie et la responsabilité des élèves au cours des investigations diminue entre les deux années de notre analyse. C'est une conséquence de l'adaptation des professeurs aux difficultés rencontrées pour atteindre

leur but. Cette évolution va à l'encontre des préconisations incluses dans les programmes et questionne les apprentissages effectués en classe.

6.3. La DI à l'école : points communs et différences avec le collège

Il s'agit pour nous de comparer la mise en œuvre de la DI entre le premier degré et le second degré, toujours du point de vue des connaissances mobilisées par les enseignants.

6.3.1. La DI dans les programmes de l'école primaire

Nous ne rentrerons pas dans les détails concernant le contexte institutionnel français qui est l'origine de la mise en œuvre de la DI. Nous rappelons que l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école s'inscrit dans le cadre du *Plan de Renovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie à l'Ecole (PRESTE)*, adopté en juin 2000²⁷. La démarche à mettre en œuvre est désignée comme « les démarches expérimentales d'investigation ». Elle obéit aux principes d'unité et de diversité décrits dans le document d'application (Annexe 1) et dans le document d'accompagnement des programmes de 2002.

Le principe d'unité est que cette démarche s'articule autour du questionnement des élèves sur le monde réel. Ils mènent des investigations pour répondre à leurs questions, ce qui les conduit à l'acquisition de connaissances et de savoir-faire. Il y a une continuité entre le questionnement et l'acquisition de connaissances et de savoir-faire.

Le principe de diversité est que cette démarche peut recourir à diverses formes de travail, y compris au cours d'une même séance :

- expérimentation directe, à privilégier à chaque fois qu'elle est possible ;
- recherche d'une solution technique et réalisation matérielle ;
- observation, directe ou assistée par un instrument, avec ou sans mesure ;

²⁷ MEN, Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école. *BOEN* n° 23 du 15 juin 2000

- recherche sur documents ;
- enquête et visite.

Il est souligné dans les programmes que « la répartition entre ces méthodes d'accès à la connaissance est à équilibrer en fonction de l'objet d'étude ».

Quatre moments clefs sont identifiés :

- le choix de la situation de départ (mise en place par le professeur) ;
- la formulation du questionnement des élèves avec l'aide du professeur. Exploitation de questions qui sont qualifiées de « productives » ;
- L'investigation conduite par les élèves (expérimentation, recherche documentaire, etc.) ;
- L'acquisition et la structuration des connaissances nouvelles (sous la conduite du professeur).

Ce canevas de séquence d'une investigation peut être rapproché de celui recommandé par l'introduction commune pour les disciplines scientifiques et technologique au collège (§ 6.3.1, p. 152). La continuité entre l'enseignement des sciences à l'école et celui de la physique-chimie (en classe de cinquième au collège) peut s'opérer, entre autre, par la DI : « Dans la continuité de l'école primaire, les programmes du collège privilégient pour les disciplines scientifiques et la technologie une démarche d'investigation »²⁸.

Deux éléments dans les programmes peuvent toutefois générer des ruptures : d'une part, le principe de diversité est absent du programme du collège ; d'autre part, la DI qui est présentée comme une démarche non exclusive car « tous les objets d'étude ne se prêtent pas également à sa mise en œuvre ». C'est aux enseignants à déterminer les sujets « qui feront l'objet d'un exposé et ceux pour lesquels la mise en œuvre d'une démarche d'investigation est pertinente ». Les deux professeurs nous disent mettre en place une DI pour, en moyenne, deux sujets par an et par niveau d'enseignement.

²⁸ MEN, *Les programmes du collège*, Introduction commune des disciplines scientifiques et technologique, BO spécial n° 6 du 28 août 2008, p. 4.

6.3.2. Le principe de diversité absent au collège

Dans le premier degré, il est conseillé aux enseignants de mettre en place une DI en utilisant les différentes formes de travail que nous avons décrites précédemment. Elles peuvent se compléter pour « l'acquisition de nouvelles connaissances et de nouveaux savoir-faire », dans la même séance. Et, les enseignants sont incités à mettre en place, sur une année scolaire, toutes ces formes de travail. Or, ce principe de diversité de la DI n'apparaît pas dans les programmes de l'enseignement de la physique-chimie au collège. Nous avons souligné que les quatre moments clefs de la DI présentés dans les programmes de l'école primaire sont à rapprocher du canevas décrit en sept moments essentiels dans les programmes du collège. Dans un des sept « moments essentiels » du canevas, dans l'intitulé « l'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves », seule l'expérience est préconisée dans le cas des sciences expérimentales. Les élèves doivent la décrire (schémas, description écrite) et la réaliser « en isolant et en faisant varier les paramètres ». Par ailleurs, au cours de nos observations, Florence et Henri n'ont eu recours qu'à l'expérience comme forme d'investigation. Que faire alors de la recherche et de la lecture documentaires ? Pour eux, la recherche sur documents n'est pas une forme d'investigation.

Nous relevons deux conséquences à cette absence du principe de diversité : d'une part, nous n'avons observé que des lectures de documents que nous qualifions « d'encadrées » (l'enseignant guide les élèves pour trouver les informations à l'aide de commentaires ou de questions de compréhension) ; d'autre part, les textes sont fournis sans que les élèves ne voient explicitement pourquoi l'étude de ce texte intervient à ce moment de la séance.

Les deux enseignants travaillent beaucoup avec des documents, aussi bien des articles de revue de vulgarisation scientifique que des textes en relation avec l'histoire des sciences. Les textes étudiés sont en relation avec une question ou un problème mais sans que cela soit explicite pour les élèves. C'est à dire, qu'il n'y a pas de transformation des questions ou du problème en question(s) productive(s) permettant des investigations. Le texte appartient à l'organisation prévue de l'enseignant, il répond à une certaine cohérence mais qui peut être opaque du point de vue des élèves. De plus, nous observons que le document a un statut de référence scientifique, c'est-à-dire qu'il est censé donner les réponses « justes » aux questions posées.

Prenons un exemple. Il est caractéristique, selon nous, de l'utilisation des documents que font les deux enseignants pour construire le cours. Après avoir mis en évidence les différences de conceptions entre les élèves concernant le poids et la masse (chapitre 4), Florence présente aux élèves un extrait d'article de *Science&Vie Junior* de 2002 intitulé « Le poids et la masse »²⁹ (Annexe 16, p. 268).

Locuteur	Production verbale
F	((florence écrit le paragraphe du cours : « 1. distinction poids masse au tableau »)) et après on va essayer de comprendre pourquoi est-ce qu'il y a des confusions /// donc on voit bien que quand on lance les mots comme poids masse c'est difficile de dire quel mots correspondent au poids et quels mots correspondent à la masse ((f distribue un texte)) alors c'est un petit texte hein un petit document tiré d'un science et vie junior de 2002 / d'accord / alors l'intérêt du science et vie junior la plupart du temps ça permet de vulgariser un petit peu la science donc de remplacer des mots un petit peu compliqués par des mots que vous pouvez comprendre d'accord / pour ramener à une échelle heu ben quelque chose de plus compréhensible / ça va? Alors premier commentaire avant de lire le texte /// si vous regardez la photo mm

Transcript de séance - 16 : Introduction du texte extrait du magazine Science&Vie Junior. Cas de Florence

Elle introduit le texte (Transcript de séance - 16, p. 155) en essayant de montrer son intérêt par rapport aux difficultés de l'activité précédente à classer dans un tableau les propositions des élèves. Elle ne dit cependant pas à quel problème, à quelle(s) question(s) l'étude de ce texte permet de répondre. Elle pose les questions au fur et à mesure de sa lecture : les élèves n'ont pas de difficultés à trouver les réponses. Florence nous décrit deux autres intérêts d'étudier cet article : celui de varier les dispositifs au cours de la séance « pour mobiliser à nouveau les élèves » et celui de leur donner envie de consulter le magazine en dehors du collège. C'est stratégique.

Elle s'appuie sur ce texte pour renseigner les caractéristiques du poids et de la masse : définition, unité, appareil de mesure, etc. Les informations extraites sont discutées pour permettre l'écriture d'une caractéristique dans le tableau.

Dans l'extrait ci-dessous (Transcript de séance - 17, p. 156), Florence construit la définition du poids avec les élèves.

²⁹ Le poids et la masse, *Science&Vie Junior*. N° 157 Octobre 2002

Locuteur	Productions verbales
F	on va se servir du texte pour comparer ou distinguer le poids et la masse // alors qu'est-ce qu'on va noter dans la définition du poids / en fait on va écrire ce qui a été dit par oral // alors qu'est-ce que tu proposes kenzo?
K	/((pas de réponse))
F	comme définition du poids
K	((il lit le texte))
F	ouais alors ça c'est ce qu'il y a dans le texte mais par rapport à ce qu'on a dit / qu'est ça qu'on a dit dans le chapitre précédent // en utilisant des mots des adjectifs vus dans le chapitre précédent // sandy
S	l'attraction d'un objet à un astre
F	l'attraction d'un objet à un astre en général on prend plutôt dans l'autre sens c'est vrai ça marche hein vu que les deux objets ont une masse hein l'objet et l'astre ont une masse c'est une interaction mutuelle mais on parlera plutôt de l'attraction de l'objet par l'astre d'accord donc ((florence écrit dans le tableau)) le poids c'est l'action attractive à distance exercée par un astre sur un objet alors je mets objet entre guillemet ça peut être une personne ça peut être autre chose hein // situé en son voisinage

Transcript de séance - 17 : Définition du poids. Cas de Florence.

Le statut du texte est clair : il doit donner les réponses aux confusions passées. Son contenu fait donc office de preuve scientifique mais il doit parfois être adapté car les notions écrites ne sont pas toujours au programme. Par exemple, la définition du poids écrite dans le tableau est celle que Florence avait prévue, sans que des informations extraites du texte n'y participent directement. La raison est que dans le texte, l'auteur parle de « force que subit l'objet » qu'il définit suivant une direction, un sens et une intensité. Cette définition n'est pas au programme de la classe de troisième. La phrase lue par Kenzo, « C'est la force que subit un objet lorsqu'il est soumis à la gravité de la Terre ou d'un autre astre », permet à l'enseignante de proposer sa définition en réinvestissant les connaissances des élèves sur la gravitation. Dans ce cas, le texte ne donne pas directement l'information recherchée. Nous observons les limites de l'étude telle qu'elle est menée par l'enseignante.

Pour nous, une lecture en autonomie avec une recherche de réponses à des questions productives puis, une confrontation en classe entière des réponses trouvées, aurait permis à Florence une véritable construction des connaissances pour renseigner le tableau. Nous retrouvons tout ce que la DI peut apporter par les principes d'unité et de diversité.

Alors qu'Henri est d'accord avec la menée de l'étude du texte par Florence, la discussion entre les deux enseignants montre une divergence de points de vue dans le

choix du texte. Henri dit toujours se l'approprier en le réécrivant partiellement : « y-a toujours des détails qui me dérangent ». Il aurait enlevé la fin de ce texte, qu'il juge hors programme, « ça n'apporte rien de plus ». Florence dit l'intérêt de prendre ce document « en l'état » pour montrer aux élèves qu'ils peuvent lire ce genre d'article dans cette revue : « je trouvais que les informations qu'il y avait dedans allaient bien avec le cours et c'est facile à lire pour les élèves ». Elle n'est pas gênée par la définition du poids « hors programme ». Nous voyons, à travers cette divergence, des intentions éducatives différentes entre les deux enseignants. D'un côté, Henri construit un document pour la classe, que nous qualifions de « didactisé », suivant des objectifs en lien avec les programmes et pour des apprentissages ciblés et, de l'autre, Florence présente un document extérieur à la classe, afin d'ouvrir les élèves sur la littérature de vulgarisation scientifique.

Cette discussion met en évidence le type de connaissances mobilisées par les enseignants pour choisir un texte. Nous identifions des SMK qui permettent de juger de sa valeur scientifique, une PCK/pgrm à propos de sa pertinence au regard du programme de la classe et une PCK/é sur les difficultés que pourraient occasionner certaines formulations.

Cette rupture au niveau de la démarche, entre l'école et le collège, peut engendrer des difficultés supplémentaires pour les élèves. En effet, dans le premier degré, les principes d'unité et de diversité favorisent la cohérence de la démarche, à travers une relation explicite entre des questions productives et différentes formes d'investigations. Francis et André nous disent la mettre en place assez régulièrement dans la classe. Cette cohérence peut-être questionnée au niveau du collège à cause de l'absence de principe de diversité. La recherche documentaire n'est pas une investigation. Les enseignants en font des lectures compréhensions, ce qui, outre le fait de changer l'approche de la référence aux savoirs pour les élèves, peut engendrer un manque de sens dans les apprentissages et la « passivité » de certains élèves. Nous en avons observé plusieurs qui attendaient la bonne réponse. Nous pensons que cette attente, de surcroît, les met en difficulté pour comprendre le sens des réponses.

Etudions maintenant la mise en œuvre de la DI dans deux classes du cycle 3. La DI est-elle cohérente ? Les deux principes sont-ils respectés ?

6.3.3. Choix de mises en œuvre observés au cycle 3

6.3.3.1. La situation d'entrée

Les deux enseignants ont mis en place deux situations d'entrée différentes. Celle d'André est expérimentale : les élèves doivent allumer une lampe avec une pile ; celle de Francis est sous la forme de quatre questions (Annexe 14) et d'un exercice (Annexe 15). Elles ont toutes les deux une valeur de diagnostic « savoir quelles connaissances avaient les élèves en électricité ». Pour Francis, une évaluation diagnostique a toutefois une autre fonction : « pouvoir faire remarquer au bout de la séquence qu'ils ont progressé un écrit reste une manipulation ben euh on se souvient qu'on y arrivait pas au départ mais qu'est-ce qui nous gênait réellement ». Francis bâtit sa situation d'entrée comme une évaluation diagnostique, pour lui et pour les élèves. Il revient dessus en fin de séquence et chaque élève peut constater précisément les progrès qu'il a faits.

Cette approche de la situation d'entrée, Francis l'a construite depuis très longtemps en mathématiques et en EPS. Rappelons, ici, qu'il n'enseigne pas habituellement les sciences dans sa classe. C'est l'enseignante, qui le remplace pendant son temps de décharge de maître-formateur, qui est chargée de cet enseignement. Deuxième rappel important : Francis participe depuis des années à des groupes de recherche en mathématiques et il a fait des études de « sport » avec un statut de sportif de haut niveau. Par conséquent, c'est dans ces deux domaines scolaires que Francis a développé le plus son enseignement. Il corrobore ce fait en parlant de son évaluation diagnostique : « alors encore une fois c'est peut-être ma dérive de ma façon de faire que ce soit en EPS ou en mathématiques ».

C'est ce que nous appelons un *invariant* : un dispositif ou une situation comme la situation-diagnostic ou une situation-problème qui a été développé dans un domaine scolaire et que les enseignants transfèrent dans d'autres domaines, sans en changer l'organisation. L'invariant peut être aussi d'ordre pédagogique : par exemple, Francis cite le principe de brassage des groupes en mathématiques qu'il transfère en sciences. D'après nos observations, un invariant peut être utilisé dans le cas de l'enseignement d'une nouvelle notion. Il permet de rassurer le professeur mais aussi d'aider les élèves en apportant des repères connus : l'invariant apporte une forme d'automatisation et d'autonomie dans la classe.

Un invariant peut engendrer des situations qui ne sont pas forcément adaptées à la notion à enseigner ou aux spécificités du domaine en question. Le professeur est confronté à des problèmes d'ordre épistémologique dont il n'a pas forcément connaissance. Nous développerons notre étude au chapitre 8, à propos de la spécialité des enseignants.

Les deux situations d'entrées font débat entre les deux enseignants. Chacun y voit des avantages et des inconvénients.

André conçoit que l'évaluation diagnostique mise en place par Francis permet d'estimer les progrès faits par les élèves pour donner du sens aux apprentissages. Mais son but était différent de celui de Francis : « pour moi ce n'était pas l'idée première à ce moment là parce que moi je voulais d'abord réamorcer toutes les connaissances des élèves pour pouvoir ensuite véritablement commencer le travail ». André sait que les élèves ont déjà fait cette expérience et qu'ils n'auront pas de difficulté : « parce que c'est connu dès le cycle 2 ». Il ajoute : « mais là on est quand même entre guillemet au b.a.-ba de l'électricité tous les élèves sont en mesure de réussir cette manipulation tous les élèves ».

Francis formule une critique sur la situation d'entrée d'André : les élèves d'André sont déjà dans les apprentissages « c'est à dire qu'il va essayer plusieurs façons de mettre l'ampoule avec la pile directement pour voir comment est-ce qu'on arrive à l'allumer et puis par miracle à un moment ça va fonctionner il va regarder il va étudier ». Pour Francis, l'évaluation diagnostique permet de faire émerger les conceptions initiales sans construire d'apprentissages : « on voit bien s'il y a des ratures mais généralement comme il ne peut pas vérifier expérimentalement il va rester sur sa lère idée préconçue c'est à dire qu'on ne rentre pas du tout dans les apprentissages ».

La situation d'entrée mise en place par André ne permet pas de faire émerger les conceptions initiales des élèves sur les circuits électriques et aucune des deux mises en place par les deux enseignants n'a pour fonction de construire des questions productives dont les réponses seront trouvées par la mise en place de différentes investigations. Francis est de cet avis : « c'est une hypocrisie de se dire que c'est une démarche d'investigation parce qu'il n'y a pas d'hypothèses à formuler ». Le principe d'unité de la DI n'est pas appliqué.

Francis critique sa situation diagnostique. Elle n'est pas adaptée à l'enseignement de l'électricité : « si j'avais à refaire cette séance-là je ferais totalement différemment c'est à dire que je commencerais par faire manipuler puis ensuite représenter mais pas l'inverse ». La situation diagnostique qu'il utilise en EPS et en mathématiques n'est pas adaptée dans ce cas. L'invariant ne fonctionne pas. Francis continue cependant de penser qu'il faut que les élèves puissent identifier leurs progrès, en fin de séquence : « c'est vraiment ma conception de l'enseignement ». Il poursuit son analyse (Transcript d'entretien - 13, p. 160).

Locuteur	Production verbale
F	là je reformule je favorise les échanges entre élèves pour qu'ils argumentent mais il y a sur un autre circuit plus tard on voit bien que les enfants ne suivent plus parce que ça ne les intéresse pas à mon sens il faudrait leur redonner du matériel / qu'ils manipulent en même temps parce que là en plus c'est le premier circuit ils sont attentifs mais moi je pense que les phases orales trop longues ils décrochent

Transcript d'entretien - 13 : Phases orales trop longues. Avec Francis

Le problème que soulève Francis est, selon nous, la conséquence de l'utilisation d'un invariant dans son enseignement. Dans les autres domaines scolaires, après l'évaluation diagnostique il y a une correction. Là, il s'aperçoit que les élèves sont focalisés sur le matériel qu'ils ne peuvent pas manipuler. Les corrections se font au tableau : « j'ai amené une frustration je vois bien frustration de la part des élèves qui ont envie de manipuler qui ont envie de chercher et en plus ce je leur demande de construire lors de l'exercice la plupart le savent déjà et ça j'ai trouvé ça avec du recul forcément il n'y a aucun apprentissage ». D'une part, l'envie des élèves de manipuler les fait décrocher du cours et, d'autre part, Francis constate qu'il n'y a aucun apprentissage car la plupart savent déjà « la théorie ». Par conséquent, il préconise de les faire expérimenter dès le début : « je leur donnerai directement le matériel non pas pour vérifier mais au départ pourquoi pas leur demander de construire des circuits avec une avec des ampoules pour voir ce qu'ils sont capables de faire réellement et ensuite peut-être donner un exercice ».

Francis exprime une nécessité de débiter la séquence par une évaluation diagnostique, mais sous une autre forme que celle mise en œuvre ici, puis de mettre les élèves en expérimentation. Comme dans le cas d'André, les élèves seraient ici dans l'acquisition de connaissances phénoménographiques qui participeraient à la construction d'un référent empirique au circuit électrique, suivant un mode didactique de

familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes scientifiques (Martinand, 1986; Coquidé, 1998).

André débute son enseignement par un premier défi : « allumer une lampe avec une pile ». Nous observons l'acquisition de connaissances phénoménographiques de la part des élèves, comme dans le cas envisagé par Francis, et construction d'un référent empirique au circuit électrique suivant un mode de familiarisation pratique.

Francis a mobilisé des connaissances sur le matériel pédagogique pour faire un choix pertinent pour le niveau de la classe. Il sait que c'est du programme de cycle 2 : il mobilise deux PCK/pgrm. André nous dit que cette activité ne posera aucune difficulté aux élèves : c'est une PCK/é. Puis, les deux enseignants déclarent que ce début de séquence est stratégique. Pour André, c'est propre à l'enseignement de l'électricité car il cite le cas différent de son début de séance sur la digestion (Transcript d'entretien - 14, p. 161).

Locuteurs	Productions verbales
A	une évaluation diagnostique pour savoir où en sont leurs représentations quand on est sur la digestion comment ça fonctionne la respiration comment ça fonctionne
C	la digestion tu leur demandes quoi par exemple
A	je commence par le dessin parce que je ne peux pas faire autrement parce que là ça se prête aussi à ça et puis ça permet de casser euh de casser aussi des schémas qui euh qui se répètent en classe en classe

Transcript d'entretien - 14 : Exemple de la digestion. Avec André

Dans le cas de la digestion, André passe par la trace écrite pour faire émerger les conceptions initiales des élèves. Il sait que c'est un domaine où les conceptions erronées sont nombreuses. Il ne met donc pas en place un début de séquence similaire à celle de l'électricité. Par conséquent, la stratégie d'André en ce début de séance est propre à l'enseignement de l'électricité : il mobilise une PCK/stratégie.

Francis, lui, fait entrer un invariant dans son enseignement. Ce n'est pas une PCK. Il ne mobilise pas non plus de PCK/pgrm sur le choix du matériel pédagogique puisque ses élèves n'expérimentent pas. Par contre, l'évaluation diagnostique montre qu'il mobilise une PCK/pgrm car les questions posées sont appropriées au niveau de la classe et une PCK/é car la formulation des questions n'a posé aucun problème aux élèves.

Dans les deux cas, les enseignants ne respectent pas les préconisations des programmes concernant la DI. Ils ne mettent pas en place de situation d'entrée pour faire émerger les conceptions initiales des élèves et construire des questions productives. Ils

donnent les problèmes à résoudre sous forme de défis. La cohérence est notionnelle comme nous l'explique André : « l'objectif de la séquence c'était on passe par les circuits la différence entre circuit en série et circuit en parallèle enfin c'est de la séquence avant de passer par là il faut qu'on voit les différents éléments à savoir la pile l'ampoule et puis après y'avait les fils pour monter ce circuit voilà ». Nous pensons que, pour les élèves, cette cohérence dans la séquence n'est pas visible malgré la présentation de l'objectif par l'enseignant, au début de la séquence : « on va fabriquer une guirlande ».

Nous observons une succession de phases d'investigation, de forme essentiellement expérimentale où les résultats issus de l'expérience font office de preuve pour les élèves. Nous retrouvons un fonctionnement similaire à celui observé chez les deux enseignants du collège malgré des programmes plus explicites dans le premier degré. Pour autant, les enseignants doivent remonter à la description faite en 2002 pour avoir une lecture détaillée de la DI et en comprendre le sens. Les programmes en vigueur actuellement³⁰ ne reprennent pas cette description.

Du point de vue de la DI, notre analyse, dans le premier degré et dans le second degré, fait apparaître deux éléments communs : la DI se décline en phases expérimentales et la nature de la démarche est davantage inductive. Analysons plus en détails ces points communs et regardons aussi si la démarche est contrôlée dans le premier degré.

6.3.3.2. Des phases expérimentales

Dans notre étude, une phase expérimentale est de nature différente dans le premier degré et dans le second degré. Dans le premier degré elle contient notamment une trace écrite, produite par les élèves, sur laquelle l'enseignant va s'appuyer pour construire les savoirs. De sorte que sa consigne de travail est double : elle contient une partie en relation avec l'expérience à faire et une autre sur la trace écrite à produire.

Nous pensons que cette distinction dans la nature des phases expérimentales entre le collège et l'école primaire provient d'un contrat didactique institutionnel qui diffère entre le premier degré et le second degré. Dans le second degré, la construction des savoirs s'appuie très peu sur la production d'écrits individuels ou de groupes ; elle est

³⁰ MEN, Programmes d'enseignement de l'école primaire. BO n° 3 du 19 juin 2008

consécutive à des résultats expérimentaux ou liées à des modélisations. Nous pensons que les programmes de l'école primaire³¹, les documents d'accompagnement³² et d'application³³ parus en 2002 ont incité les professeurs des écoles à prendre en compte le langage dans l'apprentissage des sciences. Le renforcement de sa maîtrise est inscrit en introduction du programme de sciences et technologie :

Tout au long du cycle, les élèves tiennent un carnet d'expériences et d'observations. L'élaboration d'écrits permet de soutenir la réflexion et d'introduire rigueur et précision. L'élève écrit pour lui-même ses observations ou ses expériences. Il écrit aussi pour mettre en forme les résultats acquis (texte de statut scientifique) et les communiquer (texte de statut documentaire). Après avoir été confrontés à la critique de la classe et à celle, décisive, du maître, ces écrits validés prennent le statut de savoirs. (MEN, *Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire*, 2002, p. 87)

Prenons deux exemples de consigne : l'une dite par André (Transcript de séance - 18, p. 163) et l'autre par Francis (Transcript de séance - 19, p. 164). Cette consigne d'André correspond à la seconde phase expérimentale de la première séance.

Locuteur	Production verbale
A	vous allez me réaliser un circuit électrique simple / c'est-à-dire que vous allez me disposer les différents éléments les uns avec les autres ((andré a présenté le matériel avant de donner la consigne)) afin que l'ampoule s'allume ((andré montre comment accrocher un fil à la douille)) / il est midi treize vous avez quatre minutes / pendant ce temps-là je vais vous donner à nouveau non non non vous croisez les bras vous écoutez // je vais vous donner à nouveau une feuille ((andré montre au tableau le travail précédent encore affiché)) pour redessiner votre circuit d'accord et vous me dessinerez ce que vous avez fait dans la partie ici ((andré montre la feuille affichée au tableau)) mes dessins partie verte thierry d'accord

Transcript de séance - 18 : Effectuer un circuit simple. Cas d'André

La tâche des élèves est double : réaliser un montage « circuit électrique simple » et dessiner le circuit sur la feuille. André dit qu'il donne « à nouveau une feuille » pour la trace écrite afin que les élèves s'inscrivent dans la continuité au niveau de cette production. Il en profite pour rappeler à Thierry qu'il attend ce dessin à une place bien définie sur la feuille de synthèse.

³¹ MEN, *Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire*. BO HS n° 1 du 14 février 2002

³² MEN, *Enseigner les sciences à l'école*. Document d'accompagnement des programmes de 2002, Sceren

³³ MEN, *Sciences et technologie (cycle3)*. Document d'application des programmes de 2002, Sceren

Nous retrouvons la même organisation chez Francis (Transcript de séance - 19, p. 164) lors de la seconde séance. Francis énumère le matériel pendant la consigne alors qu'André l'avait montré juste avant. Nous retrouvons la double consigne : effectuer un montage et produire une trace.

Locuteur	Production verbale
F	alors aujourd'hui on va apprendre à faire des circuits un peu plus perfectionnés // dans chaque groupe vous allez avoir non pas deux fils mais trois fils une ampoule qui est posée sur son petit support / une pile et je rajoute à mettre obligatoirement dans le circuit / un trombone // ici ((francis montre une feuille blanche)) vous allez pouvoir me dessiner soit en utilisant les symboles soit en utilisant le dessin un circuit électrique avec tout la matériel où l'ampoule s'allume / et le même circuit en changeant un p'tit truc où l'ampoule s'allume plus

Transcript de séance - 19 : Effectuer un montage série. Cas de Francis

Cette organisation, commune aux deux enseignants, répond à une double stratégie (Transcript d'entretien - 15, p. 164).

Locuteur	Production verbale
A	pourquoi ben pour éviter de couper leur élan remobiliser le travail ça les oblige à revenir à ce qu'ils faisaient avant et les perturber en fait / y'a des élèves qui vont aller très vite d'autre qui ne vont pas aller très vite les élèves qui vont très vite ont le temps de passer à la phase suivante sans vraiment de coupure et puis aussi ça leur euh au niveau du timing ça permet de dire ben voilà vous avez un quart d'heure pour faire ça dans un quart d'heure on affiche tout est affiché au tableau voilà

Transcript d'entretien - 15 : Organisation de la consigne de travail. Avec André

La phase expérimentale est construite de telle sorte que les élèves sont autonomes. L'enseignant sait que s'il les coupe dans leur travail, certains vont se démobiliser. Il sait aussi que c'est une manière de gérer la différence de rapidité dans l'exécution des tâches qui évite que certains attendent les autres.

Un autre élément nous semble important à relever : la trace écrite produite par les élèves, pendant la phase expérimentale, a un statut différent de celui d'un écrit de brouillon. C'est une grande différence avec ce que nous avons observé chez Florence et Henri, au collège. André se sert de cette production d'abord pour valoriser le travail de chaque groupe puis pour évaluer ce qui a été fait par rapport à la consigne qu'il a donnée. Cette évaluation est menée par tous les élèves puisque toutes les productions sont affichées au tableau. C'est un moment de langage très important pour les deux enseignants. Nous ajoutons qu'il comporte une dimension métacognitive (Piaget, 1975 ;

Grangeat, 1997, 2^e éd. 1999) qui participe à l'acquisition des savoirs. Enfin, André nous dit le rôle majeur de la trace écrite produite par chaque élève (Transcript d'entretien - 16, p. 165).

Locuteur	Productions verbales
A	comment est-ce qu'on a construit cette trace écrite bon on l'a construit à partir de ce qui est fait on peut très bien prendre un dessin en exemple parce que il s'avère que ce dessin-là représente le mieux ce qui a été mis en place mais dans d'autre euh dans d'autre euh je pense aux sciences dans ce que j'ai mené avec les oiseaux par exemple sur une démarche d'investigation et bien on s'est servi de tous les travaux des enfants pour piocher les choses qui nous permettrait de continuer à l'intérieur de chaque travaux donc là aussi c'est intéressant justement de ça permet aux enfants d'apprendre à lire un document et puis de voir ce qui est validé et pas validé là encore c'est pluridisciplinaire quoi
C	c'est pluridisciplinaire dans quel sens
A	dans le sens où euh on va pas simplement se contenter de produire quelque chose on va être capable aussi d'analyser quelque chose de voir un peu ce que les autres ont fait si on le garde ou si on le garde pas donc euh capacité d'analyse des enfants capacité de lecture etc. etc. voilà

Transcript d'entretien - 16 : Construction d'un écrit de synthèse. Avec André

La trace produite par les élèves participe à l'écrit de synthèse, dans tous les cas. Elle est construite conjointement avec eux à partir des productions de chaque groupe. C'est un invariant chez les deux enseignants c'est-à-dire que cette organisation pour établir la trace de synthèse se retrouve parfois dans d'autres matières scolaires : la trace finale s'établit à partir des traces individuelles qui sont discutées en classe entière aussi bien sur l'aspect langagier que sur l'aspect scientifique. C'est une analyse pluridisciplinaire, citée par André dans l'entretien. Les enseignants utilisent cette organisation en mathématiques, en arts plastiques et parfois dans d'autres matières scolaires.

C'est pour cette raison, essentielle dans l'organisation des enseignants, qu'ils donnent une consigne double lors des phases expérimentales. De fait, la tâche liée à la trace écrite est aussi importante, pour les élèves, que celle de réussir le montage. Elles sont indissociables.

Dans le second degré, cette dimension n'a pas été observée. La trace écrite concerne essentiellement l'écrit de synthèse qui est construit par les enseignants. Ils s'appuient, le plus possible, sur des propositions d'élèves, à l'oral, lors des mises en commun. L'écrit de synthèse est généralement produit par l'enseignant, au tableau. Il arrive, parfois, que les enseignants demandent aux élèves de prendre le cahier de

brouillon, au cours d'une activité. Le rôle de cet écrit est flou. Dans tous les cas, il ne participe pas directement à la synthèse. Il n'est jamais valorisé, c'est-à-dire qu'il n'est pas pris en exemple ou simplement énoncé à l'oral. C'est peut-être ce qui explique que les élèves sortent leur cahier mais n'écrivent parfois rien dedans.

Cette différence d'organisation des phases expérimentales concernant la place et la fonction des écrits induit la mobilisation d'une PCK/stratégie, d'une PCK/pgrm et d'une PCK/é chez les enseignants du premier degré que nous ne trouvons pas chez les enseignants du second degré :

- La PCK/stratégie vient du fait que la double consigne donnée par l'enseignant apporte une forme de régulation entre les élèves rapides et les autres, et une autonomie des élèves. Dans le second degré, comme les élèves n'ont qu'une tâche à faire à la fois, quand ils ont fini, ils doivent attendre l'intervention de l'enseignant ;
- Une PCK/pgrm car les enseignants s'appuient sur l'introduction des programmes de 2008 : « La présentation des programmes par discipline à l'école élémentaire ne constitue pas un obstacle à l'organisation d'activités interdisciplinaires ou transversales. Par exemple, les activités d'expression orale, de lecture ou de rédaction de textes en français ont évidemment toute leur place en sciences, en histoire et géographie, en histoire des arts et elles interviennent en mathématiques ». Les deux enseignants proposent une feuille blanche à chaque phase expérimentale qui sert d'affiche lors de la mise en commun des travaux. Les apprentissages langagiers sont intégrés aux sciences ;
- La PCK/é correspond à une approche spécifique de l'apprentissage des sciences (Magnusson, Krajcik, & Borko, 1999). Pour nous, le fait de prendre appui systématiquement sur les traces écrites des élèves pour élaborer de nouveaux savoirs est spécifique du premier degré (§ 5.2.1.2). Nous pouvons y inclure l'aspect pluridisciplinaire et interdisciplinaire des travaux d'analyse qui nous font dire que les enseignants mobilisent aussi des PCK d'autres disciplines. Nous poursuivrons cette étude dans le chapitre 8 à propos de la spécialité des enseignants.

6.3.3.3. Une démarche contrôlée

Pour André et Francis, Nous observons, comme pour les cas de Florence et Henri, une démarche contrôlée. Le matériel est imposé aux élèves, jusqu'au nombre de fils électriques distribués, pour éviter, comme le dit Francis, de trouver autre chose que le montage prévu : « je m'en souviens bien je voulais pas qu'ils rentrent dans le circuit parallèle là je les contraignais à avoir un circuit série ». Une crainte, pour les enseignants, est de devoir gérer différentes sortes de montages ou bien des montages qui ne fonctionnent pas car il y a des « court-circuits ». Pour André, c'est aussi un problème de temps « je n'ai pas le temps non plus d'exploiter 14 productions de groupe en disant lui il a pris 2 fils comparé avec lui qui n'a pris qu'un fil ou l'autre qui a pris 5 fils est-ce qu'on peut comparer les choses ». La crainte de devoir gérer trop d'imprévus apparaît aussi chez André.

La frontière entre induire un montage et contrôler la démarche n'est pas facile à définir. Prenons l'exemple d'André. Il introduit une phase expérimentale, en référence à la guirlande de Noël. Il souhaite que les élèves en construisent une petite avec le matériel pédagogique. Pour cela, il demande à la classe de décrire une guirlande (Transcript de séance - 20, p. 167).

Locuteur	Productions verbales
A	vous allez me monter un circuit représentant une guirlande ((a vient de montrer le matériel)) / qui peut me dire ce qu'est une guirlande de Noël ? c'est quoi son principe d'une guirlande de Noël thierry
T	de décorer
A	d'accord / comment elle est faite
E1	(... ?)
A	comment est-ce qu'elle est faite
E2	et ben ça fait un fil une lampe un fil une lampe un fil /
A	très bien donc fil
Es	lampes
A	fil ampoule pardon
Es	fils
A	ampoule fil ampoule fil

Transcript de séance - 20 : Description de la guirlande de Noël. Cas d'André

André donne le principe du montage de la guirlande. Les élèves répètent « en chœur » la succession entre le fil et la lampe. Il finit son introduction en rappelant qu'il faut penser à fermer le circuit « donc il y a un fil qui revient à la pile ».

Pour nous, il induit le montage qu'il attend et, par conséquent, il contrôle la démarche des élèves. Les phases de recherche sont plus courtes, les élèves arrivent plus vite au résultat. C'est un gain de temps pour l'enseignant et moins de risques à devoir gérer des montages inattendus.

Pour les élèves, c'est toutefois une construction de référent empirique au circuit électrique moins riche. En effet, ils n'ont pas la possibilité de tester des circuits « non conventionnels », qui fonctionnent mais dont les éléments sont branchés à la fois en série et en dérivation, ou des circuits qui ne fonctionnent pas car il y a un court-circuit. Les connaissances phénoménographiques seront moins nombreuses. De ce fait, nous pouvons avoir des doutes au niveau de la conceptualisation des montages en série et en dérivation. A vouloir trop contrôler, les élèves auront, peut-être, plus de difficultés à conceptualiser les circuits.

6.3.3.4. Une démarche inductive

Les deux enseignants du premier degré privilégient une démarche inductive car, selon eux, elle est plus favorable aux apprentissages des élèves. C'est à partir des résultats expérimentaux qu'ils bâtissent la « leçon ». Il ne s'agit pas d'un point de vue épistémologique concernant la construction des connaissances en sciences expérimentales mais plutôt du constat que, à l'école primaire, « les notions sont suffisamment simples pour que le résultat expérimental constitue une preuve », nous disent les deux enseignants. André justifie aussi cette approche, par le fait que les résultats expérimentaux sont concrets : « on travaillerait sur des mathématiques ou sur de la grammaire ou la conjugaison euh ça serait beaucoup plus compliqué parce que ça serait beaucoup plus abstrait là c'est du concret je mets l'ampoule et je mets la pile ça s'allume pof c'est concret ça fonctionne ça fonctionne / donc pourquoi se priver de la manipulation ». Par conséquent, les enseignants s'appuient sur les résultats expérimentaux pour construire les connaissances « théoriques » mais aussi pour régler les différends entre les élèves. Dans le chapitre précédent, nous avons montré comment André a eu recours à l'expérimentation, à propos de l'incident critique n° 2 « La lampe n'est pas polarisée », pour répondre au désaccord entre les élèves sur le sens de branchement de la lampe sur la pile.

La démarche déductive paraît difficile à mettre en place en électricité. D'une part, il n'y a pas de loi symbolique au programme de l'école primaire en électricité. D'autre part, bien que l'enseignement de la proportionnalité existe au cycle 3, les enseignants ne peuvent pas l'appliquer car la mesure des grandeurs électriques n'est pas au programme.

6.3.4. Analyse avec le modèle ESFI

Le modèle de Grangeat nous apporte des confirmations concernant nos analyses : les activités des enseignants ne sont pas centrées sur les élèves mais plutôt sur les savoirs. Nous retrouvons les mêmes résultats que pour les enseignants du second degré. La démarche est contrôlée par le choix du matériel, ou en induisant le résultat à trouver. C'est une manière de s'assurer que les élèves s'approprient le questionnement et ne soient pas en difficulté pour mener les investigations.

Dans sa situation d'entrée, Francis et André mettent en place une évaluation diagnostique de forme différente. Pour Francis c'est un passage par l'écrit répondant à une question générique de la forme « Que savez-vous sur ? » ; pour André c'est un défi « allumer la lampe avec la pile » au programme du cycle 2. Nous plaçons les enseignants suivant la première dimension critique « Qui est à l'origine du questionnement ? » : Francis se situerait au niveau 1 et André au niveau 2. Comme dans le second degré, la centration des enseignants sur ces deux premiers niveaux pour une situation d'entrée indique que la DI n'est pas en place.

Intéressons-nous à la dimension « Quel niveau d'explicitation des savoirs visées par l'enseignant ? ». A chaque fin de séance, les professeurs des écoles demandent aux élèves ce qu'ils ont appris. Les enseignants n'attendent pas que des connaissances. Ils souhaitent que les élèves expliquent les procédures qui leur ont permis d'acquérir ces apprentissages. Les deux enseignants se situeraient au niveau 3 de cette dimension critique.

6.4. Conclusion

Nous avons étudié, dans ce chapitre, les connaissances mobilisées par des enseignants de physique-chimie au cours de la mise en œuvre de la DI en classe, ainsi que les continuités et les ruptures, entre l'école primaire et le collège, dans les programmes et au niveau des mises en œuvre.

L'étude des programmes, concernant la DI au collège et à l'école primaire, a mis au jour quelques différences dans les approches préconisées, alors qu'un principe de continuité entre ces deux niveaux est mentionné dans les textes institutionnels. Les principes d'unité et de diversité de la DI, présents dans les programmes de l'école primaire, n'apparaissent pas explicitement dans les programmes du collège. L'expérimentation est la seule forme d'investigation préconisée au collège et la seule forme que les deux enseignants disent mettre en place lors des DI. Nous constatons aussi un manque de liaison entre la situation-problème et les investigations. La DI se résume à une succession de phases expérimentales dont la cohérence, sur la séquence, n'est visible que par les enseignants.

Cette absence du principe de diversité au collège a une conséquence : la recherche documentaire n'est pas une forme d'investigation pour les enseignants, alors qu'elle l'est pour les professeurs des écoles. De fait, nous avons observé Florence et Henri mettre en place des études de texte à partir de questions qu'ils posent. Nous les avons qualifiées de « lectures compréhensions » car les deux enseignants sont très présents pendant ce travail : les élèves ont très peu d'autonomie. Par ailleurs, les professeurs des écoles nous disent mettre en place des recherches documentaires ou des lectures de documents pour chercher des réponses à des questions identifiées par la classe. Dans ce cas, les élèves ont une part d'autonomie assez importante dans le travail.

Nous percevons un point de rupture dans la démarche entre le premier degré et le second degré. Cette approche différente de l'étude de documents peut engendrer, au collège, une « passivité » de certains élèves que nous attribuons à un manque de sens dans la démarche visant à acquérir de nouveaux apprentissages et à une absence d'autonomie dans le travail. Nous avons identifié un point commun : pour les quatre enseignants, les textes ont généralement un statut de référence scientifique ; le contenu n'est pas discuté. Il valide la connaissance.

Malgré le principe d'unité dans les programmes de l'école, nous observons un manque de liaison entre la situation d'entrée et les phases d'investigation chez les deux professeurs des écoles. La démarche se résume, comme au collège, en une succession de phases d'investigation qui, dans les deux cas observés, ne sont qu'expérimentales. Cependant, le contenu de ces phases est différent entre les deux niveaux : dans le premier degré, la consigne de l'enseignant est double, réaliser une expérience et produire une trace écrite. Ce n'est pas le cas au collège : la consigne des enseignants ne contient que la

partie « manipulatoire ». Cette différence d'organisation induit la mobilisation d'une PCK/stratégie, une PCK/é et d'une PCK/pgrm chez les enseignants du premier degré que nous ne trouvons pas chez les enseignants du second degré.

Nous avons montré que, pour la construction de la situation-problème, les enseignants du collège mobilisent des connaissances de type SMK pour juger de sa pertinence scientifique et une PCK/é, une PCK/pgrm et une PCK/stratégie pour qu'elle soit adaptée à la classe. A l'école primaire nous n'avons pas observé de situation d'entrée telle que le préconisent les programmes. Francis met en place une situation diagnostique et André un défi. La situation diagnostique est un invariant : elle a été construite en mathématiques et en EPS. Un invariant permet de rassurer le professeur mais aussi d'aider les élèves en apportant des repères connus : il apporte une forme d'automatisation et d'autonomie dans la classe.

Cependant, un invariant peut engendrer des situations qui ne sont pas forcément adaptées à la notion à enseigner ou aux spécificités du domaine en question. Le professeur est confronté à des problèmes d'ordre épistémologique dont il n'a pas forcément connaissance. Dans le cas que nous avons décrit, l'enseignant s'aperçoit que les élèves n'ont rien appris pendant la première séance. Son analyse rejoint celle de son collègue. Pour eux, il est nécessaire de mettre les élèves, dès le début de la première séance, dans l'acquisition de connaissances phénoménographiques qui participent à la construction d'un référent empirique au circuit électrique. Ce travail participe à une meilleure conceptualisation des circuits.

Du point de vue des connaissances, les deux enseignants mobilisent le même type de PCK que celles de leur collègue du collège pour cette situation d'entrée. Les PCK permettent aux enseignants de s'assurer que la situation d'entrée est adaptée à la classe. Par contre, nous n'avons pas identifié de SMK.

La nature de la démarche peut changer. Dans le second degré, la démarche peut être inductive ou déductive, en fonction de ce que peut anticiper l'enseignant des difficultés des élèves. Par conséquent, une PCK/é leur permet d'adapter au mieux la démarche pour élaborer une loi. Dans le premier degré, nous n'avons observé qu'une démarche inductive car, selon l'avis des enseignants, le niveau de connaissances n'est pas très élevé. La preuve apportée par les données empiriques suffit pour élaborer les savoirs dans la classe.

Au collège comme à l'école primaire, notre étude montre que les enseignants maîtrisent les investigations des élèves. Les variables d'ajustement sont le matériel, des étapes de la démarche pour aller plus vite ou pour des problèmes de sécurités ou pour limiter le nombre de réalisations différentes. Pour cela, les enseignants peuvent donner le protocole à suivre, le schéma du montage ou son principe, un tableau de mesure, etc. Pour nous, la démarche est contrôlée, c'est-à-dire que l'autonomie des élèves est réduite. Cela demande aux enseignants de mobiliser des connaissances de type PCK/é, et PCK/pgm.

Ces résultats sont confirmés par notre analyse avec le modèle ESFI à six dimensions (Grangeat, à paraître). Les quatre enseignants se situent dans les deux premiers niveaux concernant les trois dimensions critiques que nous avons étudiées. Cela montre que leur activité n'est pas centrée sur les élèves et sur la maîtrise de connaissances et de compétences mises en œuvre dans les ESFI. Nous pensons que la DI n'est pas en place dans le sens où ce sont les enseignants qui proposent le questionnement que les élèves doivent s'approprier pour mener des investigations. Certaines des difficultés qu'ils rencontrent à mener leurs investigations peuvent provenir d'un questionnement qui ne fait pas sens pour eux. Nous avons observé les enseignants mettre en place une démarche « contrôlée » en réponse aux difficultés rencontrées. Au niveau du modèle, ils passent d'un niveau 3 ou 4 à un niveau 1 ou 2 pour une dimension critique donnée parmi les trois dimensions que nous avons étudiées. De fait, la responsabilité des élèves diminue ce qui va à l'encontre des préconisations des programmes.

Nous avons montré que, lorsque la démarche est contrôlée, un référent empirique peut-être moins riche car les connaissances phénoménographiques seront moins nombreuses. Nous pensons que cela peut engendrer des difficultés, pour les élèves, à conceptualiser ou à modéliser des notions ou des concepts comme le circuit électrique ou le poids.

Dans le chapitre suivant, nous étudions la relation entre les connaissances professionnelles et la régulation rétroactive de l'activité. Nous analysons l'évolution des connaissances et comment elles sont à l'origine de l'acquisition d'expérience des enseignants.

Chapitre 7 : Evolution(s) de l'activité des enseignants

7.1. *Introduction*

Les enseignants sont confrontés à des imprévus lorsqu'ils mettent en œuvre³⁴ leur préparation dans la classe. Dans les chapitres précédents, nous avons identifié des incidents critiques et nous avons analysé comment les enseignants apportaient une réponse à ces imprévus tout en atteignant leur but.

Les enseignants opèrent des régulations rétroactives de l'activité (Pastré, 1997 ; Leplat, 2006 ; Coulet, 2011) pour adapter au mieux leur préparation à la classe. Ces régulations sont opérées dans l'action pour apporter une réponse à un imprévu mais aussi en dehors de la classe. Dans ce cas, la préparation peut être réécrite si l'organisation de

³⁴ Une spécificité du métier d'enseignant par rapport à d'autres professions est que la « leçon » n'est jamais une application de la préparation. C'est « un travail interactif » (Tardif, 1992). L'adaptation au contexte de classe nécessite de la part de l'enseignant une multitude de prise de décisions, une mobilisation de connaissances dans l'action voire une modification des décisions dans l'action de la classe (Altet, 1996).

l'activité de l'enseignant change. Dans ce chapitre, nous analysons la relation entre les connaissances professionnelles et la régulation rétroactive de l'activité.

Nous prenons des exemples tirés de nos observations dans le second degré car cette étude nécessite un suivi prolongé des enseignants, que nous avons seulement réalisé au collège, pendant deux années. Dans l'organisation de leur activité (Leplat, 1997 ; Vinatier, 2009), nous étudions en particulier les invariants opératoires et les inférences du schème convoqué. Nous analysons l'évolution des connaissances des enseignants et ses conséquences sur l'organisation de l'activité d'une part, et sur l'acquisition de l'expérience d'autre part.

7.2. *Connaissances professionnelles et régulation rétroactive de l'activité*

Nous avons décrit, dans le chapitre 4, une organisation de l'activité des enseignants dans laquelle étaient identifiés des incidents critiques. Dans la classe de Florence, un élève proposait le volume comme une caractéristique de la masse ; dans la classe d'André, les élèves ont eu des difficultés pour décrire, à l'aide d'un vocabulaire scientifique, leur manipulation (premier incident critique) et les deux possibilités de branchement de la lampe avec la pile leur ont posé problème (second incident critique). Dans tous les cas, nous avons observé, dans la classe, un changement dans l'organisation de l'activité des enseignants. Ils ont adapté leur préparation, ce que nous appelons « le prévu », à la réalité de la classe, « le réalisé ». Cet écart entre « le prévu » et « le réalisé » est à l'origine des régulations apportées par les enseignants. Il est nécessaire d'étudier ces régulations car « il est difficile de rendre compte de l'activité sans insister sur les mécanismes de régulation qui l'accompagnent » (Coulet, 2010, p. 15).

Nous étudions ici l'adaptation ou l'évolution de la préparation en modélisant celle-ci à l'aide des trois boucles de régulation rétroactives de l'activité (Leplat, 2006) : une boucle courte, une boucle longue et une boucle « changement de schème » (Pastré, 1997 ; Coulet, 2011). La boucle courte permet aux enseignants d'adapter leur préparation dans l'action alors que les boucles longues et « changement de schème » aident les professeurs à faire évoluer leur préparation suite à un incident critique.

7.2.1.1. Une boucle courte de régulation

Revenons sur l'incident critique « Amalgame entre masse et volume » (§ 4.3 et Figure 8, p. 92) observé lors de la situation-problème mise en œuvre par Florence. Lorsqu'elle fait émerger les conceptions initiales des élèves, elle se trouve confrontée à une réponse qu'elle n'avait pas prévue : un élève dit que la *masse* lui fait penser au *volume*. Florence décide, dans l'action, de préciser la distinction qu'il existe entre ces deux grandeurs afin de ne pas laisser d'idées fausses « qui pourraient constituer un obstacle plus tard ». Nous décrivons cet incident critique suivant trois sous-schémas du schème B « Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse » car, d'une part, la nature des anticipations du schème B change pendant l'adaptation de l'enseignante à la réponse de l'élève et, d'autre part, les anticipations de chacun des trois sous-schémas changent au cours de l'incident critique (Tableau 22, Tableau 23, Tableau 24, ci-dessous).

Sous-schème 1 : Suspension de la tâche	
But	Mobiliser toute la classe
Anticipation	En mobilisant la classe, tous les élèves seront à l'écoute de la réponse donnée. J'attends des réactions d'élèves.
Inférence	Si les élèves sont attentifs alors je poursuis sinon je mobilise à nouveau les élèves qui ne le sont pas.
Indice	La réponse de l'élève
Règle d'action	Renvoyer à toute la classe la réponse de l'élève
Invariants opératoires	Je sais que toute la classe n'a pas entendu la réponse d'un élève. Je sais que si un élève fait une confusion, c'est que d'autres la font aussi.

Tableau 22 : Année 1. Sous-schème 1 - Incident critique « Amalgame... ». Cas de Florence

Sous-schème 2.1 : Distinguer le volume de la masse	
But	Préciser la notion de volume
Anticipation	Le concept de volume sera plus clair et les élèves le différencieront mieux du concept de masse qu'ils connaissent déjà.
Inférence	Si je n'ai pas d'autre question alors je poursuis.
Indice	Les élèves sont attentifs.
Règle d'action	Dire que le volume est lié à la contenance
Invariants opératoires	Je sais qu'il faut distinguer la masse du volume. Je sais que le concept de masse et le concept de volume sont différents. Je sais que le volume n'est pas une caractéristique de la masse. Je sais que la masse volumique n'est pas au programme du collège. Je sais que le volume est lié à une contenance.

Tableau 23 : Année 1. Sous-schème 2.1 - Incident critique « Amalgame... ». Cas de Florence

Sous-schème 3 : Retour au schème B	
But	Clore l'interaction
Anticipation	J'attends de pouvoir reprendre la progression prévue du cours.
Inférence	Si les élèves n'ont pas de question alors je poursuis
Indice	Les élèves ne réagissent pas.
Règle d'action	Demander à toute la classe s'il y a d'autres propositions.
Invariants opératoires	Il faut évacuer cette réponse car je sais que ça peut devenir très compliqué. Je sais qu'il peut y avoir d'autres propositions.

Tableau 24 : Année 1. Sous-schème 3 - Incident critique « Amalgame... ». Cas de Florence

Le sous-schème 1 montre comment l'enseignant mobilise la classe sur la proposition de l'élève. Florence opère une rupture avec le déroulement en cours. Le sous-schème 3 indique la fin de l'incident critique et le retour au schème B. Florence convoque le sous-schème 2 pour apporter une correction à la proposition de l'élève. Ce déroulement est très bref : il dure moins de trente secondes.

Les invariants opératoires du sous-schème 2 contiennent des connaissances de type SMK sur le poids, la masse, le volume et la masse volumique. Nous trouvons aussi une PCK/pgrm et une PCK/é. Ils traduisent l'apport notionnel fait par Florence. Dans les invariants opératoires du sous-schème 3 nous retrouvons une PCK/é « il faut évacuer cette réponse car je sais que ça peut devenir très compliqué³⁵ ». Elle participe à la décision de Florence de ne pas s'appesantir sur la question de masse et de volume et de revenir au déroulement prévu.

Florence relève un indice qui va à l'encontre des anticipations qu'elle a faites. Elle ne s'attend pas à cette confusion entre la *masse* et le *volume*. Elle apporte une correction à la réponse de l'élève. L'enseignante a opéré une boucle courte de régulation.

Cette boucle de régulation est fondée sur un écart entre l'anticipation du schème convoqué et l'indice pris dans l'action. Florence mobilise une série de règles d'action qu'elle juge pertinentes dans l'action. Cette forme de régulation permet à l'enseignante d'atteindre son but en opérant « de proche en proche » (Pastré, 1997).

7.2.1.2. Une boucle longue de régulation

L'année scolaire suivante, Florence s'est retrouvée en classe dans la même situation que celle décrite précédemment mais sa réponse a été différente. L'enseignante a

³⁵ Souligné par nous.

fait référence au programme de la classe de cinquième où le volume et la masse sont définis. Ce qu'elle tenait pour vrai a varié : l'invariant opératoire du schème convoqué a évolué. Dans les entretiens, Florence justifie ce changement par le fait qu'elle s'attendait à cette réponse puisqu'elle l'avait déjà rencontrée l'année précédente. De fait, l'incident critique de la première année s'est transformé en un *incident prévu* la deuxième année. Pour autant, sa préparation est restée identique. Ce changement est caractéristique d'une régulation rétroactive en boucle longue. Nous pensons que les nouvelles connaissances acquises par Florence se retrouvent à deux niveaux différents dans notre description de l'organisation de l'activité : dans le schème B et dans le sous-schème 2 (Figure 8, p. 92).

Schème B : Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse	
Invariants opératoires	<p>Je sais qu'il y a des choses à casser !</p> <p>J'attendais lourd/léger car je l'avais eu dans une autre classe.</p> <p>Je savais que j'aurais les unités de mesures et la balance.</p> <p>Je sais qu'il faut faire émerger les CI des élèves au début de la séquence pour pouvoir construire des apprentissages par la suite.</p> <p>Je débute la séquence en posant une question à toute la classe.</p> <p>Je sais que le volume peut être associé à la masse.</p> <p>Je sais que la définition du volume donnée en classe de cinquième peut convenir.</p>

Tableau 25 : Année 2 : Evolution d'un invariant opératoire. Schème B « Connaissance des C.I... ».

Cas de Florence

Dans le schème B, nous identifions deux nouveaux invariants opératoires (Tableau 25, ci-dessus) de type théorème-en-acte : « Je sais que le volume peut être associé à la masse » et « la définition du volume au programme de la classe de cinquième ».

Schème B : Connaissance des conceptions initiales des élèves sur le poids et la masse	
Inférences	<p>Si les élèves répondent des unités de masse, lourd/léger, la balance alors je note les propositions et je poursuis.</p> <p>Si les élèves répondent des erreurs scientifiques alors je corrige.</p> <p>Si le volume est associé à la masse alors je donne la définition du volume de la classe de cinquième</p>

Tableau 26 : Année 2. Evolution d'une inférence. Schème B « Connaissance des C.I... ». Cas de

Florence

Une nouvelle inférence (Tableau 26, p. 177) « Si le volume est associé à la masse alors je donne la définition du volume de la classe de cinquième » s'appuie sur les nouveaux invariants opératoires.

L'incident, ici « prévu », garde la même organisation que l'incident critique c'est-à-dire que nous le modélisons avec trois sous-schémas (Figure 11, p. 178).

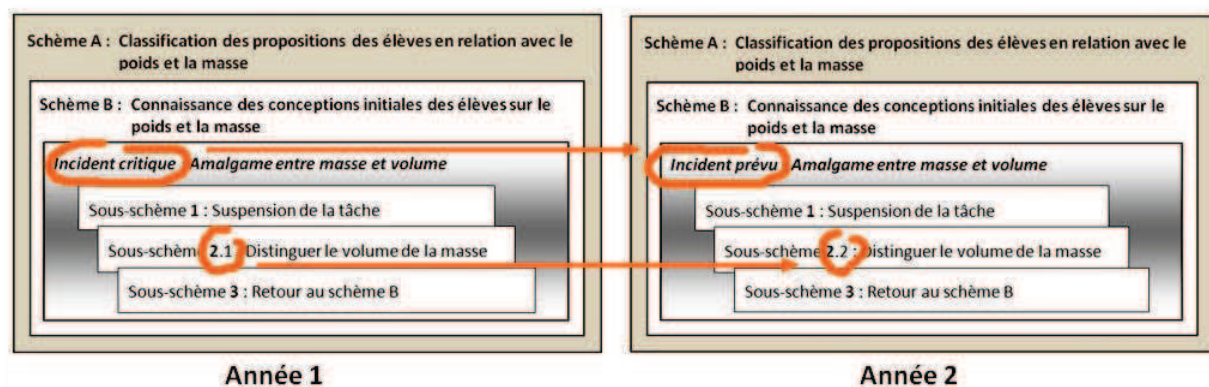


Figure 11 : Boucle longue : Evolution de l'incident critique en incident prévu. Cas de Florence

Florence interrompt la tâche en cours pour mobiliser toute la classe sur la réponse de l'élève. Puis, après l'apport notionnel, elle reprend le déroulement prévu de son cours. Par conséquent, les sous-schémas 1 et 3 restent identiques à ceux décrits dans le paragraphe précédent. Par contre, le sous-schéma 2 est modifié au niveau de la règle d'action et d'un invariant opératoire. Nous les avons nommés *sous-schéma 2.1* pour l'année 1, et *sous-schéma 2.2* pour l'année 2.

Sous-schéma 2.2 : Distinguer le volume de la masse	
But	Préciser la notion de volume
Anticipation	Le concept de volume sera plus clair et ceci devrait permettre aux élèves de bien le distinguer du concept de masse qu'ils connaissent déjà.
Inférence	Si je n'ai pas d'autre question alors je poursuis.
Indice	Les élèves sont attentifs.
Règle d'action	Rappeler aux élèves la définition du volume de la classe de cinquième
Invariants opératoires	Je sais qu'il faut distinguer la masse du volume Je sais que le concept de masse et le concept de volume sont différents. Je sais que le volume n'est pas une caractéristique de la masse. Je sais que la masse volumique n'est pas au programme du collège. Je sais que le volume c'est l'espace qu'occupe un objet et qu'il se mesure

Tableau 27 : Année 2. Evolution du sous-schéma 2.2- Incident prévu « Amalgame... ». Cas de Florence

La nouvelle connaissance de type PCK/é, « Le volume peut être associé à la masse », est à l'origine de cette boucle longue. Elle est construite la première année. Nous observons que la réponse apportée par Florence, la deuxième année, est plus structurée et

plus précise que celle qu'elle a formulée la première année. Nous montrons que Florence est attentive à mieux adapter ses réponses aux situations et aux élèves et que ce n'est pas toujours dans l'action ou après la classe que les enseignants trouvent les réponses aux difficultés des élèves. C'est en faisant le cours sur la mesure de volume en classe de cinquième, un mois plus tard, que Florence a construit sa réponse. L'enseignante a trouvé que la définition du volume au programme de la classe de cinquième était performante pour aider les élèves de troisième à distinguer le volume de la masse car tous les élèves de troisième l'ont déjà étudiée, deux ans plus tôt. Elle a construit sa réponse dans un autre contexte d'enseignement, à un autre niveau.

7.2.1.3. Capitalisation des connaissances

Notre modèle nous a amené à considérer, qu'entre les deux années, Florence a acquis une nouvelle connaissance de type PCK/é : « Le volume peut être associé à la masse ». En conséquence, les contenus des composantes *invariants opératoires* et *inférences* du schème convoqué par l'enseignante sont modifiés. Nous parlerons d'une *capitalisation* de ces deux composantes par la construction de nouvelles connaissances :

- Dans les *invariants opératoires* : « Je sais que la définition du volume donnée en classe de cinquième peut convenir » ;
- Dans les *inférences* : « Si le volume est associé à la masse alors je donne la définition du volume de la classe de cinquième ».

Florence a acquis une nouvelle connaissance dans l'action, en situation. Son activité possède un « versant constructif » et un « versant productif » (Samurçay & Rabardel, 2004). Le *versant constructif* correspond à une capitalisation de connaissances ; le *versant productif* se rapporte au changement de règle d'action opéré par Florence. Ces deux versants de l'activité sont indissociables. Nous remarquons que cette construction est très « locale » (Morge, 2003) puisqu'elle est en relation avec une notion précise à enseigner.

La capitalisation d'une inférence est liée à celle d'un invariant opératoire. L'enseignant sera en mesure d'apporter une réponse plus précise si l'incident se reproduit. La nouvelle inférence joue le rôle d'une régulation prévue. Elle s'appuie sur le nouvel invariant opératoire de type théorème-en-acte.

Un autre point est à souligner : Florence n'est pas sûre de rencontrer cet amalgame dans chaque classe. D'ailleurs, elle ne l'a rencontré qu'à quatre reprises en deux ans, c'est-à-dire pour une classe sur deux. Par conséquent, les schèmes construits par Florence ne seront pas toujours convoqués. Nous discuterons ce dernier aspect au paragraphe 7.3.3. (p. 192).

7.2.2. Une boucle courte puis une boucle « changement de schème »

Pendant nos deux années d'étude, nous avons observé Henri mettre en place une activité expérimentale lors de la première séance : « Mesure du poids d'un objet » (Figure 10, p. 116). L'introduction de cette activité a été modifiée entre les deux années.

7.2.2.1. Une boucle courte de régulation

La première année, Henri introduit l'activité expérimentale dans laquelle les élèves doivent mesurer le poids d'un objet par la question : « est-ce que l'on peut mesurer le poids ». Le schème convoqué par Henri est présenté ci-dessous.

Schème B.1 : Introduction de l'activité expérimentale	
But	Mettre en évidence que le poids se mesure
Anticipation	J'attends que les élèves répondent par l'affirmative en donnant son unité
Inférences	Si les élèves ne répondent pas alors je pose la question en nommant un élève. Si je sens des doutes alors je demande si quelqu'un pense que non. Si un élève répond par l'affirmative je lui demande pourquoi. Si les élèves font référence au document « Newton et la gravitation » alors je poursuis le déroulement du cours.
Indice	Les élèves répondent à la question.
Règle d'action	Demander aux élèves si le poids se mesure
Invariants opératoires	Je sais que le poids se mesure avec un dynamomètre. L'unité de mesure du poids est le newton de symbole N. La réponse à la question est présente dans le document « Newton et la gravitation » déjà étudié. Poser la question de la mesure du poids permet d'introduire le dynamomètre.

Tableau 28 : Année 1. Schème B.1 « Introduction de l'activité expérimentale ». Cas d'Henri

Henri sait que la réponse à sa question se trouve dans le texte *Newton et la gravitation* (Annexe 18) étudié au cours précédent. Le contenu des inférences nous

renseigne sur les régulations prévues par l'enseignant pour aider les élèves à trouver la réponse. Lorsque la réponse attendue est donnée, Henri convoque le schème A « Mesure du poids d'un objet » dont la règle d'action est « Demander aux élèves d'utiliser un dynamomètre pour mesurer le poids d'un objet quelconque ».

Mais les élèves n'ont pas su répondre à la question. L'enseignant dit avoir été surpris qu'elle ne provoque aucune réaction dans la classe. Il reformule la question, sans davantage de succès. Henri fait alors référence au texte *Newton et la gravitation*. Cette référence n'était pas prévue : c'est un incident critique, identifié par Henri pendant l'entretien comme une rupture dans le déroulement prévu du cours.

Nous décrivons cet incident critique suivant trois sous-schémas du schème B « Introduction de l'activité expérimentale » (Figure 10, p. 116). Nous retrouvons l'organisation décrite dans le cas de Florence, à savoir le sous-schème 1 pour mobiliser les élèves sur la nouvelle tâche et le sous-schème 3 pour reprendre le déroulement prévu. Le but du sous-schème 2 convoqué par Henri est de permettre aux élèves de trouver la réponse dans le texte.

L'enseignant a opéré une boucle courte de régulation pour débloquer la classe. Il s'attendait à ce que les élèves répondent par l'affirmative à la question posée et donnent l'unité de mesure du poids. Nous observons l'écart entre l'anticipation du schème convoqué et l'indice pris dans l'action.

7.2.2.2. Une boucle « changement de schème »

L'année suivante, l'incident critique que nous venons de décrire a participé à la modification du début du cours d'Henri. La première année, il a identifié deux dysfonctionnements dans la première séance : d'une part, il dit avoir construit le cours au tableau trop tard (au bout de trente-cinq minutes, dans la première séance) et, d'autre part, il a constaté que le concept de gravitation n'était pas acquis pour beaucoup d'élèves. Or, il s'appuie sur ce concept pour définir le poids et introduire sa mesure. A l'issue de cette analyse, Henri a construit trois nouvelles connaissances de type PCK/é :

- le concept de gravitation n'est pas acquis pour beaucoup d'élèves ;
- la définition du poids donnée à l'oral n'est pas comprise ;
- les élèves ne se souviennent plus de l'étude du texte *Newton et la gravitation*.

Les deux premières appartiennent à la sous-catégorie « La connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés » et la troisième « Les pré-requis nécessaires pour l'apprentissage d'une notion ».

Ces trois nouvelles connaissances sont à l'origine de changements assez profonds dans la séquence. D'abord, Henri souligne avoir insisté beaucoup plus sur le concept de gravitation au chapitre précédent : « même si ce n'est pas clairement dans le programme il me paraît nécessaire de leur faire comprendre (...) d'insister sur le fait que quelque chose a une masse il est attiré par la terre c'est la gravitation j'avais vachement insisté la dessus ». Puis, l'enseignant a construit la définition du poids conjointement avec les élèves ; elle constitue la première trace écrite de la leçon. Enfin, Henri modifie l'introduction de l'activité expérimentale. En effet, il présente le dynamomètre et sa fonction en relation avec la définition du poids donnée précédemment alors que, la première année, il avait demandé aux élèves si le poids se mesurait. Par conséquent, comme le but et la règle d'action changent, entre les deux années, le schème B « Introduction de l'activité expérimentale » change, contrairement au schème A « Mesure du poids d'un objet » (Figure 10, p. 116).

Schème B.2 : Introduction de l'activité expérimentale	
But	Introduire un nouvel appareil de mesure : le dynamomètre.
Anticipation	J'attends que les élèves écoutent.
Inférence	Si aucun élève ne pose de question alors je poursuis.
Indice	Les élèves sont attentifs.
Règle d'action	Présenter le dynamomètre et sa fonction.
Invariants opératoires	Je sais que le poids se mesure avec un dynamomètre. Je donne le nom de l'appareil de mesure et sa fonction en relation avec la définition construite précédemment. Les élèves connaissent les travaux de Newton concernant la gravitation.

Tableau 29 : Année 2. Changement de schème B.2 « Introduction de l'activité expérimentale ». Cas d'Henri

Nous observons trois composantes du schème B qui ont évolué : le but, la règle d'action et les invariants opératoires. Ceci est caractéristique d'une boucle de régulation « changement de schème ». L'activité d'Henri a changé car il présente le dynamomètre comme « l'appareil qui permet de mesurer l'attraction exercée par une planète sur un corps ». La conduite de l'activité change aussi car il attend que les

élèves écoutent et nous constatons que les inférences du schème B.2 ne font référence qu'à une seule régulation, de type « gestion de classe ».

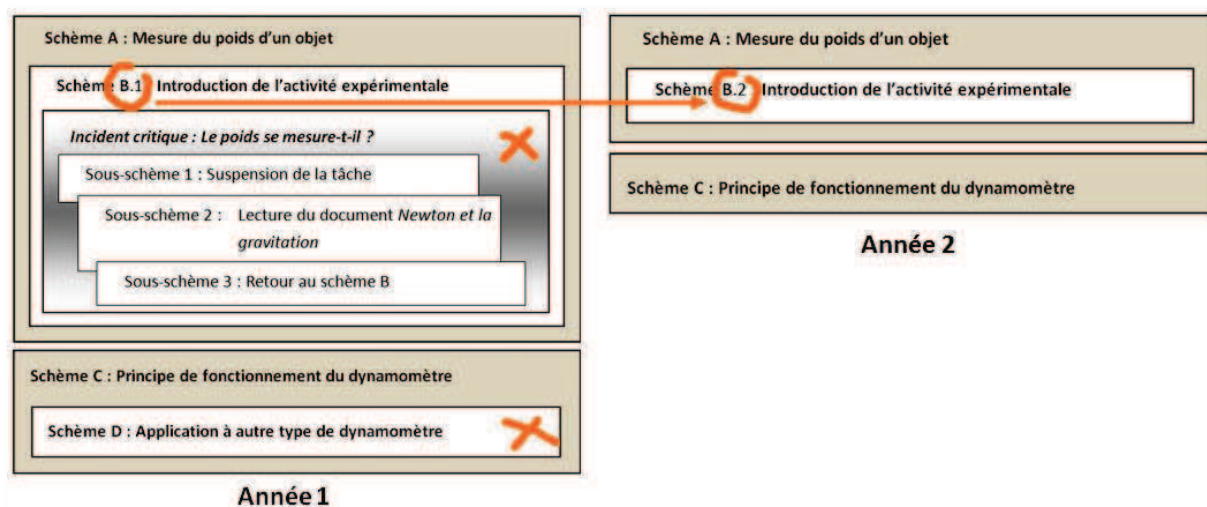


Figure 12 : Boucle à changement de schème. Cas d'Henri

Comparons les invariants opératoires du schème B « Introduction de l'activité expérimentale », les deux années. La première année, Henri décide de « poser la question de la mesure du poids pour introduire le dynamomètre ». Cette décision s'est révélée inappropriée, après analyse. Alors, la deuxième année, il propose de « donner le nom de l'appareil de mesure et sa fonction en relation avec la définition construite précédemment ». Nous observons, entre les deux années, un changement de théorème-en-acte à l'origine du nouveau schème B. En effet, le but du schème et la règle d'action sont corrélés avec le nouveau théorème-en-acte. Du point de vue des connaissances, c'est une PCK/stratégie qui correspond à ce changement de théorème-en-acte. Elle indique le choix que fait l'enseignant pour articuler deux activités : la définition du poids et sa mesure.

7.2.2.3. Effets des régulations sur la nature de la tâche des élèves

L'évolution de l'introduction de l'activité expérimentale n'a pas eu d'influence sur l'activité de mesure suivante. Henri n'a rien changé, ni dans son organisation ni dans sa conduite ni dans le matériel utilisé, au cours des deux années. Les élèves ont une totale liberté pour mesurer le poids d'un objet quelconque à l'aide d'un appareil de mesure, le dynamomètre, qu'ils n'ont jamais utilisé auparavant. Henri ne donne ni consigne précise ni protocole à suivre. Il n'intervient que « sur demande » ou s'il constate des difficultés.

a. Le référent empirique au dynamomètre

La tâche demandée aux élèves permet la constitution d'un référent empirique au dynamomètre et son utilisation, suivant un mode de familiarisation pratique, mode didactique de pratiques expérimentales (Martinand, 1986 ; Coquidé, 1998). Les élèves s'approprient le dynamomètre en tant qu'objet puis comme appareil de mesure. Ils développent des connaissances phénoménotechniques, c'est-à-dire des savoir-faire instrumentaux qui permettent d'effectuer correctement une mesure et des connaissances phénoménographiques c'est-à-dire des connaissances empiriques liées à l'utilisation pratique du dynamomètre. Ces deux types de connaissances constituent en partie le référent empirique au dynamomètre (Martinand, 1986).

Les élèves observent, décrivent et manipulent à vide le dynamomètre. Ils testent les propriétés d'élasticité du ressort, la relation entre l'allongement, le repère et la graduation. Nous pouvons dire que tous les élèves font preuve d'une attitude scientifique, dans le sens où ils évaluent son principe de fonctionnement avant d'y suspendre un objet et d'effectuer une mesure. Ils travaillent en autonomie, de manière responsable. La plupart d'entre eux réinvestissent des savoirs sur la prise de mesure : ils placent le repère au niveau de l'œil pour éviter les erreurs de parallaxe dans la lecture de la valeur du poids de l'objet. Nous observons des élèves tester les limites de l'appareil dans le cas d'une masse trop importante ou trop faible. Ils choisissent l'objet afin que le repère soit situé à peu près au centre de la graduation.

b. Première année d'étude : le principe de fonctionnement d'un dynamomètre

Henri s'appuie sur le référent empirique au dynamomètre pour mettre en évidence son principe de fonctionnement. L'échange se fait en grand groupe.

Locuteurs	Interactions verbales
H	/ par un ressort qu'est-ce qui fait ce ressort ((brouhaha)) charlotte il monte il descend oui au moment où on suspend quelque chose
E	il descend
H	/ et il est toujours étiré de la même manière ou pas
E	non
H	non ça dépend de quoi ça son étirement
C	du poids
H	du poids de l'objet donc euh plus l'objet /
E	est lourd

H	plus il a un poids important plus il est étiré voilà vous avez le principe de cet appareil qu'on appelle un dynamomètre ((henri écrit au tableau))
---	--

Transcript de séance - 21: Année 1 : Mesure du poids d'un objet. Cas de Henri

Ce début d'échange, entre l'enseignant H et une élève E, porte sur des éléments qui appartiennent au registre du référent empirique à travers une connaissance phénoménographique de l'élève sur le dynamomètre (*Le ressort descend au moment où l'on suspend quelque chose, il n'est pas étiré toujours de la même manière*). Henri s'appuie sur cette connaissance pour basculer dans le registre des modèles (*L'étirement dépend du poids de l'objet*). Cette mise en relation entre ces deux registres lui permet d'expliquer le principe de l'appareil de mesure et d'en justifier l'utilisation. Pour autant, il n'y a pas de référence à la cause de la déformation du ressort, à savoir l'action de la Terre sur l'objet suspendu. Nous observons que l'enseignant justifie son étirement par l'action du poids, alors que l'élève interrogée fait référence à « lourd » c'est-à-dire à la masse. Or, Henri dit, dans l'entretien, qu'il attendait une relation entre l'intensité du poids et l'étirement du ressort sans référence à la masse. En effet, il ne souhaite pas, à ce moment de la séance, que les élèves parlent de masse alors que l'étude porte sur le poids. Il ajoute : « il faut séparer au plus vite ces deux notions que les élèves confondent ». C'est-à-dire que, pour Henri, la conceptualisation du poids ne peut se faire qu'en rejetant toute relation entre le poids et la masse. Or, à la seconde séance, il va montrer qu'il y a une relation entre le poids et la masse puis établir la loi : $P = mg$. Il va donc nécessairement rencontrer une difficulté.

Pourquoi les élèves restent-ils uniquement dans un registre du référent empirique, pendant cette mise en commun ?

Pour nous, il est nécessaire d'avoir conceptualisé le poids pour pouvoir décrire le principe de fonctionnement du dynamomètre. Or, le poids est identifié à partir de la planche de B.D. (Annexe 17) et, à aucun moment, Henri ne construit sa modélisation avec les élèves. Il ne met pas en tension les deux registres, celui du référent empirique et celui du modèle. Les élèves ne peuvent donc rester que sur le registre du référent empirique qu'ils ont développé pendant l'activité de mesure. De plus, puisque la conceptualisation du poids n'est pas faite, il n'y a pas de raison que les élèves le distinguent de la masse. Par conséquent, le problème n'est pas de séparer à tout prix ces deux concepts mais plutôt de construire la modélisation du poids qui doit permettre de les distinguer.

c. Deuxième année d'étude : évolution de la tâche des élèves

La deuxième année, les élèves construisent le référent empirique au dynamomètre, dans les mêmes conditions que l'année précédente. La mise en commun, après la phase empirique, nous montre que ceux qui participent semblent avoir déjà conceptualisé le poids. Voici deux extraits (Transcript de séance - 22 et Transcript de séance - 23) qui nous paraissent représentatifs :

Locuteurs	Interactions verbales
H	est-ce que le ressort s'étire toujours de la même manière manu
E2	ben non ça dépend du poids de l'objet

Transcript de séance - 22 : Cas de Henri

Dans ce tour de parole, l'enseignant H se place au niveau du registre empirique. C'est sous son influence que l'élève E2 explique le phénomène empirique en faisant référence à la définition du poids construite précédemment.

Locuteurs	Interactions verbales
H	c'est très bien donc plus le poids de l'objet sera important /
E2	plus le euh le ressort
H	le ressort
E2	va s'étirer

Transcript de séance - 23 : Cas d'Henri

Henri se situe au niveau du registre du modèle. Sous son influence, l'élève opère une projection du modèle sur le référent empirique. Il décrit ce qui se passerait si l'on augmentait le poids. Par conséquent, il développe une connaissance phénoménologique qui élargit le référent empirique au dynamomètre. C'est une description seconde où le modèle se projette sur le référent (Martinand, 1996).

Dans ces deux extraits, nous observons l'enseignant placer les élèves dans l'application de la définition du poids, à travers les questions qu'il pose. En nous référant au schéma de la modélisation de Martinand, nous pouvons analyser que l'articulation entre le registre du référent empirique et le modèle du poids n'est pas complète. La description ne se fait que dans un sens : du modèle vers le registre du référent empirique. Il paraît donc nécessaire que le poids soit défini et conceptualisé avant cette phase expérimentale. C'est un des objectifs de la situation d'entrée, mais nous avons un doute sur les savoirs construits par les élèves. En effet, ils sont peu nombreux à participer à la mise en commun et nous observons un des élèves interrogé faire une confusion entre la

masse et le poids. L'enseignant mobilise la classe sur cette confusion et un seul élève l'identifie après plusieurs relances. De plus, ni l'élève, ni l'enseignant, n'exprime les différences entre ces deux concepts.

Nous reprendrons, au chapitre 8, cette étude en comparant le but de l'enseignant et la tâche, au cours de ces deux années d'observation, en combinant une analyse en didactique des sciences et en didactique professionnelle.

7.2.3. Conséquences de notre étude sur les boucles de régulation

Dans tous les cas étudiés, l'acquisition de nouvelles connaissances de type PCK/é est à l'origine d'une boucle de régulation de type longue ou « changement de schème ». Plus précisément, c'est une connaissance de type PCK/é dans la sous-catégorie « Connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés » (Magnusson & al., 1999) qui est à l'origine d'une boucle longue de régulation et, ce sont plusieurs PCK/é qui sont à l'origine d'une boucle « changement de schème ».

Ces deux types de régulation sont construits par les enseignants, à la suite d'un incident critique. Nous les avons observés, à chaque fois, opérer une boucle courte de régulation suite à l'incident. Cette boucle, qui n'apporte pas de réponse définitive, est axée vers la réussite (Piaget, 1974). Elle permet aux enseignants d'atteindre leur but. Dans notre étude, les professeurs apportent des réponses plus précises, plus performantes du point de vue des apprentissages des élèves, à travers des boucles de régulation longues ou des boucles de « changement de schème ». Pour autant, il peut arriver que les régulations ne débouchent pas sur un « succès » car la stratégie choisie n'est pas bonne. Nous ajoutons aussi que les changements d'organisation qui font suite à des régulations rétroactives ne sont pas figés. Les professeurs sont dans une recherche perpétuelle d'efficacité que nous pourrions définir comme le résultat d'une comparaison entre les indices pris en classe et le but de l'activité. Elle permet au professeur de valider son organisation.

Nous avons observé que les enseignants récrivaient leur préparation dès qu'ils jugeaient les changements pertinents lors de nouveaux essais en classe. Cela concerne essentiellement les « boucles de changement de schème ». Dans le cas d'une boucle courte ou longue, la préparation peut être annotée.

Une question se pose : un incident critique pour lequel une boucle courte a été opérée par un enseignant génère-t-il à chaque fois une boucle longue ou une boucle changement de schème ? Nous pensons que ce résultat est une conséquence de notre méthodologie et de notre modèle. Rappelons ici que les incidents critiques ont été identifiés à la fois par les enseignants et par le chercheur. Notre problématique a focalisé le type d'imprévu : ce sont des incidents pour lesquels la question des apprentissages d'une connaissance est centrale. Par exemple, nous n'avons pas relevé d'incident critique de type « gestion de la classe ». Les enseignants ont considéré que cela faisait partie de leur quotidien et nous n'avons pas observé d'évènement particulier de ce point de vue. Ce type de régulation se trouve dans les inférences du schème qu'ils convoquent.

Il nous paraît nécessaire d'être prudents sur la relation « d'implication » entre un incident critique et une boucle longue ou une boucle « changement de schème ». Elle est peut-être propre à notre étude. Nous formulons la même réserve concernant le type de connaissances à l'origine d'une boucle de régulation. L'acquisition de connaissances de type PCK/é permet aux professeurs de réaliser des boucles de régulation mais d'autres types de connaissances pourraient être en jeu.

7.3. Evolution de connaissances pour l'acquisition de l'expérience professionnelle

Du point de vue de notre modèle, nous abordons l'acquisition d'expérience des enseignants en analysant les régulations rétroactives de leur activité. Nous envisageons la notion d'*expérience* à la fois comme

- la mobilisation, dans l'action, d'un ensemble de schèmes que l'enseignant a précédemment construits ;
- le choix qu'il opère grâce à sa lecture de la situation.

Le professeur convoque le schème en fonction des caractéristiques de la tâche spécifique qu'il a à traiter, ici et maintenant (Coulet, 2010). Cet ensemble représente un potentiel dont il dispose pour engendrer son activité. Nous verrons que la notion d'*inférence* dans la définition analytique du schème de Vergnaud (1990) a toute son importance dans ce processus.

7.3.1. Repérer des mécanismes d'acquisition d'expérience

Nos analyses nous ont montré que les connaissances professionnelles ne sont pas figées : elles évoluent selon des réorganisations de l'activité des enseignants, lors des incidents critiques. Pour Michaud (1993), « le processus de l'apprentissage expérientiel comprend deux dimensions structurelles fondamentales : la préhension et la transformation. Chacune des deux dimensions repose sur deux modes d'apprentissages dialectiquement opposés : l'action versus la réflexion » (Michaud, 1993, p. 40). La *préhension* permet la compréhension d'une réalité par un travail intellectuel ou par la simple perception dans l'action : il s'agit de la production de connaissance dans l'action. La réflexion sur l'action permet la production de connaissance à propos de l'action. Pour Kolb, « l'apprentissage est le processus par lequel la connaissance est créée à travers la transformation de l'expérience » (1984, p. 38).

Les incidents critiques et les processus de régulations de l'activité qui en résultent permettent, selon nous, de montrer des mécanismes d'acquisition d'expérience. En effet, les incidents critiques sont à l'origine de la construction de nouvelles connaissances de type PCK/é et les boucles de régulation montrent comment ces connaissances participent à l'adaptation de l'enseignement du professeur à la classe, suivant une échelle de temps plus ou moins large. Les mécanismes qui pourraient modéliser, en partie, l'acquisition de l'expérience professionnelle sont la capitalisation des inférences et des invariants opératoires dans les schèmes, la construction de nouveaux schèmes ou de groupements organisés (type incident « prévu »).

7.3.2. Le modèle opératif des enseignants

Grangeat et Munoz (2011) modélisent le développement « des savoirs professionnels » en se référant au concept de *modèle opératif* (Pastré, 2005) « comme un modèle cognitif qui sous-tend les activités professionnelles (...) pour comprendre les savoirs et les pratiques enseignantes ». Le *modèle opératif* (MO) regroupe et organise ces unités élémentaires autour de quelques dimensions critiques de la situation en vue de faciliter l'action pratique. Il se transforme, par extension et approfondissement, en s'appuyant sur une réélaboration et une réorganisation d'unités de sens élémentaires que construisent et mobilisent les professionnels afin d'agir de manière pertinente. Pour les auteurs, cette transformation caractérise une avancée vers l'expertise : un enseignant

expérimenté a un MO plus étendu et plus approfondi qu'un débutant, il convoque plus d'unités de sens élémentaires, comme des savoir-processus (§ 2.7.7, p. 48) ou des schèmes. De fait, les règles d'actions sont plus nombreuses ; elles sont la conséquence d'une variété plus large d'indices extraits en situation.

Notre analyse de l'activité des enseignants dans l'action de la classe apporte des résultats complémentaires. Nous décrivons un processus dynamique à travers des boucles de régulation ayant pour origine des incidents critiques alors que le MO des enseignants est renseigné *a posteriori* en regroupant les différents savoir-processus selon leurs buts génériques. Ce modèle statique ne prend pas en compte les choix et les mécanismes opérés par les professeurs dans l'action pour adapter leur enseignement. Les deux modèles nous paraissent complémentaires : notre modèle permet d'observer l'acquisition d'expérience alors que le MO permet de comparer l'expérience acquise entre des enseignants.

Dans le cas d'une boucle longue de régulation, nous avons montré précédemment qu'un *incident critique* pouvait devenir un *incident « prévu » et organisé*. Cette construction permet aux enseignants d'anticiper les actions et leurs conséquences. Ils gagnent donc en expérience. De fait, il y a un gain en règles d'action au cours de l'acquisition d'expérience. Le modèle opératif est approfondi (Grangeat & Munoz, 2011) à partir d'une capitalisation de connaissances dans les invariants opératoires et dans les inférences du schème convoqué.

Nous avons analysé dans le chapitre 5 (§ 5.3.3, p. 129) le cas où Florence a modifié, entre les deux collèges dans lesquels elle enseigne, la forme de son cours sur les caractéristiques du poids et de la masse. Dans le collège SM (collège d'une ville moyenne), elle enseigne « de façon classique » c'est-à-dire que les caractéristiques du poids et de la masse se succèdent dans des paragraphes distincts, numérotés ; dans le collège P, elle décide de les renseigner parallèlement dans un tableau. Ce sont des PCK/é sur les difficultés des élèves et des connaissances sur le contexte (KofC) social et culturel du collège P qui l'ont décidée à changer sa préparation. Elle a opéré une boucle de régulation de type « changement de schème ». Cet exemple montre que Florence tient à sa disposition des schèmes différents pour le même but initial « distinguer le poids et la masse ». Pour Grangeat et Munoz, cela correspond à un MO étendu qui participe à l'acquisition de l'expérience. C'est le propre des enseignants experts que d'ajuster leur action et la conduite de celle-ci par rapport au collectif (Wagemann & Percier, 2004).

L'année suivante, Florence a opté pour la même présentation en tableau dans les deux établissements car les élèves du collège P avaient eu de meilleurs résultats à l'évaluation sommative que les élèves du collège SM. Nous observons que l'enseignante a construit de nouvelles connaissances de type PCK/é à la suite de son analyse comparative des évaluations. Ces nouvelles connaissances lui permettent, d'une part, de juger d'une efficacité de sa pratique à travers l'organisation de son activité et, d'autre part, d'opérer une boucle *changement de schème* en homogénéisant sa pratique.

Une question se pose concernant l'étude de l'expérience en fonction de la transformation du modèle opératif. L'inventaire des savoir-processus ou des schèmes selon leurs buts génériques suffit-il à caractériser l'expérience des enseignants ?

Revenons sur la situation décrite précédemment. La première année, Florence dispose de deux organisations différentes pour le même but « Distinguer le poids de la masse ». Du point de vue de Grangeat (2011), ce but et les sous-buts correspondants pourraient être regroupés dans un but générique que nous nommerions « Différencier deux concepts reliés par une relation mathématique ». Ils renseigneraient le MO de Florence. Le fait qu'elle dispose de deux stratégies différentes pour enseigner les caractéristiques du poids et de la masse nous permet d'en déduire que son MO est plus étendu et plus approfondi que celui d'un enseignant qui a la même stratégie quelle que soit la classe. Mais, l'observation de la pratique de l'enseignante nous donne une autre information. La deuxième année, Florence applique la même organisation dans les deux établissements. Et, cette prise de décision a pour origine de nouvelles PCK/é qui participent à l'acquisition de son expérience.

De fait, il nous apparaît important d'ajouter à l'inventaire des savoir-processus ou des schèmes dans le MO, les connaissances mobilisées par l'enseignant qui participent à la prise de décision dans l'action. Car, pour nous, il y a un écart entre ce que les enseignants peuvent identifier comme buts et sous-buts en relation avec un but générique et ce qu'ils mettent réellement en œuvre en classe. Nous pensons que c'est dans cet écart que réside une partie des mécanismes d'acquisition d'expérience. Il nous paraît important d'identifier l'origine des choix faits par les enseignants pour caractériser leur expérience.

Par conséquent, l'étude de l'expérience acquise par des enseignants peut se faire de manière complémentaire par une analyse de leur *modèle opératif* en quantifiant les unités élémentaires (*savoir-processus* ou *schèmes*), les règles d'action en relation avec

des buts et des sous-buts et, par une analyse qui montre l'origine des choix opérés par les professeurs pour une adaptation de leur préparation, et en particulier les types de connaissances qu'ils mobilisent dans l'action. Pour nous, ce sont des éléments caractéristiques de l'expérience des enseignants.

7.3.3. Coexistence de schèmes : cas de l'*incident* « prévu »

Dans les mécanismes qui pourraient modéliser, en partie, l'acquisition de l'expérience professionnelle, nous avons cité la construction de groupements de schèmes organisés, de type *incident* « prévu », que les enseignants ont à leur disposition et qu'ils ne convoquent que lorsqu'ils le jugent opportun. Ces *groupements organisés* ont pour origine des connaissances de type PCK/é. Nous disons que les professeurs disposent de ces schèmes qu'ils convoqueront uniquement dans le cas où les indices pris dans l'action leur montreront qu'ils sont adaptés à la situation : c'est un ensemble de schèmes qui coexistent (Vergnaud & Récopé, 2000).

Les boucles de régulation de type « changement de schèmes » permettent aux enseignants soit de construire un nouveau schème, soit de convoquer un schème déjà existant. Chacun des schèmes est relatif à une classe de situations. Dans le cas où un enseignant mobilise un schème déjà existant, alors, la situation dans laquelle ce schème est convoqué change de classe de situations. De fait, ce schème élargit sa portée : c'est un exemple de « développement cognitif » (Vergnaud & Récopé, 2000). Ce mécanisme participe à l'acquisition de l'expérience des enseignants.

L'acquisition d'expérience se ferait donc soit par l'augmentation de la portée d'un schème, ce qui a pour conséquence l'élargissement d'une classe de situations, soit par la construction d'activités organisées, comme les incidents prévus, qui donne une dimension à la pratique des enseignants. Le *modèle opératif* des enseignants est transformé : il est étendu et approfondi.

7.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les régulations opérées par les enseignants pour adapter au mieux leur enseignement à la classe. Nous nous sommes appuyés sur les travaux de Leplat (2006), Pastré (1997) et Coulet (2011) pour analyser trois types de

boucles de régulation rétroactives de l'activité en nous concentrant sur les connaissances professionnelles en jeu lors de ces moments particuliers.

Nous avons observé qu'une origine des régulations pouvait être un incident critique dans le déroulement de la classe. Dans le cadre de notre étude, pour chacun des incidents, les enseignants ont apporté une réponse, en mobilisant des règles d'actions qu'ils jugent pertinentes dans l'action. Nous décrivons un incident critique suivant trois sous-schémas : les schémas se composent et se décomposent hiérarchiquement (Vergnaud & Récopé, 2000). L'activité des enseignants lors d'un incident critique est organisée.

Une boucle courte de régulation est fondée sur un écart entre l'anticipation du schéma convoqué et l'indice pris dans l'action. Cette forme de régulation permet aux enseignants d'atteindre leur but en opérant « de proche en proche » (Pastré, 1997). Au cours d'un incident critique, ils construisent une nouvelle connaissance de type PCK/é. Ils apprennent sur le seul fait d'agir en situation (Ibid.). Cette nouvelle connaissance, très « locale » (Morge, 2003), leur permet de mettre en place d'autres formes de régulation car les enseignants sont toujours à la recherche d'une réponse plus précise ou d'une activité plus adaptée à la classe. Notre étude a montré qu'une boucle courte est une réponse à un incident, qui n'est pas définitive. L'incident critique produit d'autres formes de régulation qui permettent d'adapter l'enseignement au plus près de la classe.

Dans le cas d'une régulation en boucle longue, l'incident critique peut devenir un *incident « prévu »* :

- l'incident est connu et la réponse est organisée ;
- les enseignants prévoient de rencontrer à nouveau cet incident pendant leur enseignement.

Cela leur permet d'anticiper sur les actions à venir. L'organisation de l'incident prévu est identique à celle de l'incident critique mais sa construction n'est pas immédiate.

Du point de vue de notre modèle, les enseignants capitalisent des connaissances dans les invariants opératoires et dans les inférences du schéma qu'ils mobilisent. Cela montre comment une nouvelle connaissance, construite lors d'un incident critique, influence l'organisation de l'activité des enseignants, lors d'une boucle longue. Nous retrouvons dans les invariants opératoires la PCK/é construite, ainsi qu'une autre PCK qui leur a permis d'élaborer la réponse à l'incident. Ce sont des théorèmes-en-acte. La capitalisation des inférences montre que les professeurs prévoient de donner la réponse si

l'incident se reproduit. Mais ils ne sont pas assurés qu'il se reproduise donc l'incident « prévu » reste une organisation de schèmes à disposition.

Lorsque les enseignants opèrent une boucle « changement de schème », nous observons des modifications dans leur préparation. Celle-ci est généralement partiellement réécrite. Dans notre étude, cette régulation est la conséquence de la construction d'une PCK/é lors d'un incident critique et d'autres types de connaissance comme des connaissances sur le contexte (KofC). Concernant notre modèle, nous observons trois composantes du schème qui ont évolué : le but, la règle d'action et les invariants opératoires. Ceci est, pour nous, caractéristique d'une boucle de régulation « changement de schème ». Nous observons que l'activité des enseignants change, ainsi que sa conduite. Nous identifions un changement de théorème-en-acte, lors de la construction du nouveau schème. Du point de vue des connaissances, les enseignants mobilisent une PCK/stratégie.

Ces nouvelles connaissances, construites par les professeurs dans l'action, sont à l'origine de l'acquisition d'expérience. Elles sont de type PCK/é et peuvent s'amalgamer avec d'autres types de connaissances pour engendrer des régulations rétroactives de l'activité. Ces régulations montrent comment les enseignants anticipent les actions à venir et comment ils adaptent leur enseignement à une classe. La dimension anticipation est le résultat de la construction d'incidents prévus. Ce sont des groupements organisés de schèmes que les professeurs ont à leur disposition et qu'ils ne convoqueront que s'ils le jugent opportun.

La dimension adaptation est le résultat de deux processus montrant l'acquisition de l'expérience :

- la capitalisation des inférences et des invariants opératoires dans les schèmes, qui montre concrètement l'effet de la construction d'une nouvelle connaissance sur l'organisation de l'activité ;
- l'élargissement de la portée d'un schème après sa construction. Dans ce cas, les classes de situation s'élargissent.

Nous avons discuté de la modélisation de l'expérience d'un enseignant à partir de son *modèle opératif* (Pastré, 2005 ; Grangeat & Munoz, 2011 ; Grangeat, 2011). Notre modèle dynamique a montré les mêmes résultats que ceux présentés par les auteurs : le *modèle opératif* s'étend et s'approfondit lors de l'acquisition d'expérience. Nous avons

cependant identifié un écart entre ce que les enseignants peuvent disposer comme savoir-processus, ou schèmes en relation avec un but générique, et ce qu'ils mettent réellement en œuvre en classe. Cet élément de notre analyse nous incite à prendre en compte l'origine des choix opérés par les professeurs dans l'action. Nous pensons que les types de connaissances qu'ils mobilisent sont un élément caractéristique de leur expérience.

Chapitre 8 : Conclusion et perspectives

Dans cette recherche, nous avons étudié les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants dans leur enseignement des sciences expérimentales. L'analyse de l'organisation de l'activité des enseignants dans l'action de la classe nous a permis d'identifier les connaissances en jeu. Nous faisons un bilan de nos travaux à propos des connaissances professionnelles présentes dans les schèmes convoqués par les enseignants, et de leur impact sur l'activité du professeur et son organisation ; nous revenons aussi sur l'évolution des connaissances des enseignants qui permet une acquisition d'expérience. Ce bilan est surtout source d'interrogations afin d'ouvrir de nouvelles pistes de recherche. Nous discutons aussi quelques éléments susceptibles d'éclairer la formation des enseignants aux démarches d'investigation en sciences.

8.1. Retour sur les questions et les hypothèses de recherche

Revenons sur les trois questions principales présentées au paragraphe 2.9 (p. 51). Nous les avons énoncées de la manière suivante :

- Quelles connaissances professionnelles sont mobilisées par les enseignants ?

- Comment évoluent-elles au cours de leur activité ?
- Quelles sont les spécificités dans l'activité du professeur, des connaissances professionnelles en jeu, lors de DI ?

Tout d'abord, nous présentons quelques éléments de réponses relatifs à chacune des questions. Puis, nous détaillons nos résultats dans les paragraphes suivants.

Notre étude des invariants opératoires des schèmes mobilisés par les professeurs dans l'action nous a permis de retrouver les quatre types de connaissances de notre cadre d'analyse. Nous avons observé que les connaissances disciplinaires (SMK) et les connaissances sur le contexte (KofC) se retrouvent mêlées aux connaissances pédagogiques du contenu (PCK) dans l'activité des enseignants. Les connaissances disciplinaires permettent aux professeurs d'élaborer une progression d'enseignements ou de faire des choix de documents. Les KofC sont mobilisées dès qu'il s'agit d'adapter l'enseignement aux spécificités (contexte socio-culturel, hétérogénéité du groupe, etc.) d'une classe ou d'un établissement. Les PCK permettent aux professeurs de s'assurer que tel document ou telle activité est adaptée à la classe. Tous ces types de connaissances sont mobilisés dès la préparation de l'enseignant. Par conséquent, les SMK ne suffisent pas pour enseigner.

Les professeurs opèrent des boucles de régulation dès qu'il y a un écart entre la préparation et sa mise en œuvre. Au cours d'un incident critique, ils construisent une nouvelle connaissance de type PCK/é. Leurs connaissances professionnelles évoluent. La réponse à un incident peut se faire dans l'instant mais aussi de manière décalée dans le temps. Au cours des boucles longues de régulation, les professeurs capitalisent des connaissances dans les invariants opératoires et dans les inférences du schème qu'ils convoquent : elles sont de type PCK. Dans les boucles de régulation « changement de schème », l'activité de l'enseignant est réorganisée : nous observons une nouvelle connaissance de type PCK/stratégie dans l'invariant opératoire du nouveau schème mobilisé. Ces nouvelles connaissances, construites par les professeurs dans l'action, sont à l'origine de l'acquisition d'expérience.

Notre étude de la mise en œuvre d'une DI au cycle 3 et au collège montre que certains types de connaissances sont mobilisés par les enseignants spécifiquement à certains moments de la démarche. Au collège, lors de la construction de la situation-problème, les professeurs mobilisent des connaissances de type SMK, PCK/é, PCK/pgrm et PCK/stratégie

pour s'assurer de sa pertinence scientifique et qu'elle soit adaptée à la classe. En cycle 3, nous n'avons pas observé de SMK mais les professeurs des écoles mobilisent le même type de PCK que les enseignants du collège. Notre étude montre que les professeurs maîtrisent les investigations des élèves et peuvent changer la nature de la démarche pour s'assurer d'atteindre leur but. Dans les deux cas, ils mobilisent des connaissances de type PCK/é et PCK/pgrm.

Nous allons maintenant analyser plus précisément certains des résultats obtenus puis nous présentons des perspectives à notre travail de recherche.

8.2. Intérêts de décrire les schèmes des enseignants

Dans notre étude, nous analysons l'organisation de l'activité des enseignants dans la classe pour identifier les connaissances professionnelles en jeu. Nous utilisons une modélisation en termes de schème constitué de six composantes sous forme de tableau. A partir de la définition analytique du schème donnée par Vergnaud (1996), nous avons rendu visibles deux composantes supplémentaires : les indices³⁶ et les anticipations³⁷ que l'enseignant a du but de son activité. Nous avons montré qu'à partir de cette description nous pouvions analyser l'organisation de l'activité des professeurs en montrant notamment comment les buts peuvent se décomposer hiérarchiquement, en identifiant les connaissances dans les invariants opératoires et, parfois, dans les inférences des schèmes. Notre modèle nous a permis de montrer une forme d'acquisition d'expérience à partir des régulations opérées par les enseignants, suite à des incidents critiques. Les connaissances des enseignants évoluent et participent à la nouvelle organisation de l'activité.

8.2.1. Identification des connaissances professionnelles en jeu

Notre modèle nous permet de comprendre comment l'activité de chaque enseignant est organisée. Nous avons identifié deux formes différentes d'organisation de

³⁶ Nous avons défini les indices comme des informations prises dans la classe que l'enseignant compare avec son but et son anticipation (chapitre 4)

³⁷ Plus précisément, il s'agit pour l'enseignant de l'anticipation du résultat de cette activité sur les élèves de manière individuelle ou collective

l'activité : ou bien un but se décline en sous-buts ou bien un schème se décline en sous-schèmes. Pour savoir si un but se décline en sous-buts ou si un schème se décline en sous-schèmes, nous comparons les anticipations de chaque but. Si les anticipations restent les mêmes, alors il n'y a pas de nouveau schème : le schème « initial » s'écrit avec un but et des sous-buts correspondants à chaque nouvelle règle d'action. Par contre, si les anticipations ne sont pas les mêmes, alors il y a un nouveau schème qui est un sous-schème du schème « initial » : l'activité pourra se décrire en un schème et un ou des sous-schèmes. Cette différence d'organisation nous renseigne sur les étapes que doivent franchir les enseignants pour atteindre leur but. L'action est alors organisée autour de ces buts et de ces sous-buts.

Le lien entre les connaissances professionnelles et l'organisation de l'activité se fait par les invariants opératoires du schème que les enseignants convoquent dans l'action et, plus précisément, à partir des théorèmes-en-acte et concepts-en-acte. Ils s'appuient sur ces connaissances pour prélever et sélectionner l'information afin d'atteindre leur but. Notre cadre d'analyse nous a permis d'identifier les quatre types de connaissances présents dans le modèle de Magnusson, Krajcik, et Borko (1999) : des connaissances du contenu disciplinaire (SMK), des connaissances pédagogiques (PK), des connaissances pédagogiques liées au contenu (PCK) et des connaissances sur le contexte (KofC). Notre étude s'est déroulée suivant deux grains différents. Le premier a été de regarder comment les SMK et les KofC se retrouvent dans l'activité des enseignants. Le second a été d'étudier toutes les composantes des PCK de notre cadre d'analyse. Ce sont des connaissances plus locales (Morge, 2003) dans le sens où elles sont propres à un sujet d'étude et où elles sont inférées à partir d'interactions verbales.

Nous avons montré comment les SMK et les KofC se retrouvent mêlées aux PCK dans l'activité des enseignants. Les connaissances du contenu disciplinaire (SMK) sont difficiles à identifier dans les entretiens en auto-analyse simple ou croisée, car les professeurs sont centrés sur leur action ou l'action des élèves dans la classe. Dans notre analyse, nous avons exemplifié le rôle que tiennent les connaissances de type SMK dans les choix opérés par les enseignants pour la classe. Les professeurs des écoles ont souligné l'importance pour eux de s'assurer d'une bonne maîtrise des contenus avant de les enseigner. Ils construisent des progressions « en contenus disciplinaires » assurant une cohérence « notionnelle » de leur séquence et un début de planification. Ce n'est qu'après ce travail qu'ils rentrent dans les détails de la construction de chaque séance. Dans le

second degré, nous avons observé la mobilisation de ce type de connaissance lors du choix de documents pour la classe. Ainsi, les professeurs s'assurent que le document ne contient pas d'erreur préjudiciable pour les élèves. Mais nous avons observé les enseignants mobiliser des connaissances de type PCK pour savoir si le contenu du document correspondait au programme de la classe, s'il était adapté aux élèves, c'est à dire s'il ne contenait pas de difficultés apparentes, et si sa mise en œuvre était possible d'un point de vue stratégique. Toutes ces connaissances sont nécessaires pour l'utilisation d'un document dans la classe. Par conséquent, les connaissances du contenu disciplinaire (SMK) ne suffisent pas pour enseigner. Les connaissances sur le contexte (KofC) permettent aux enseignants de différencier leurs cours en fonction de critères socio-culturels. Cette adaptation, dès la préparation de la classe, est le résultat de la mobilisation d'une KofC, de PK et d'une PCK/é.

Cette description permet de repérer et d'analyser les buts des enseignants et d'identifier les changements de buts consécutivement à des imprévus en classe.

8.2.2. Caractériser des évolutions de l'activité

Notre modèle nous permet de caractériser les réorganisations que les enseignants opèrent consécutivement à l'écart qu'il y a entre la préparation et sa mise en œuvre dans la classe. En effet, nous observons que le cours dispensé n'est jamais une application de la préparation. Les professeurs opèrent des régulations qui ne sont pas toujours prévues. Dans leur préparation, ils imaginent des scénarii pour anticiper tel comportement, telle difficulté, etc. Mais ils ne peuvent pas tout prévoir. Ces régulations ont pour origine des indices pris dans la classe comparés au but de l'enseignant et à son anticipation. Ils sont à l'origine d'une réorganisation de l'activité du professeur, soit dans l'instant, soit *a posteriori*. De nouvelles règles d'actions sont observables pour chaque nouveau but.

Pour distinguer des réorganisations pendant le déroulement de la classe, nous repérons les changements de but des enseignants. Dans le cas des réorganisations prévues, nous montrons que c'est à partir d'une inférence de type « Si...Alors.. » que l'enseignant prévoit, au niveau de sa préparation, différents scénarii pour atteindre son but. Il s'appuie sur un ou plusieurs invariants opératoires pour chaque nouvelle règle d'action. Nous modélisons ces scénarii par des schèmes qui sont organisés mais qui ne seront pas forcément convoqués. Ils restent à disposition du professeur et, en fonction des indices qu'il prend dans l'action, il convoque telle organisation plutôt que telle autre. Notre étude

des incidents critiques dans le déroulement de la classe nous a permis d'analyser les régulations rétroactives non prévues opérées par les enseignants. Ils mobilisent des règles d'action qu'ils jugent pertinentes dans l'action afin d'apporter la réponse la plus adaptée. En référence à notre cadre théorique, nous avons étudié trois types de régulations rétroactives de l'activité : les boucles courtes, les boucles longues et les boucles « changement de schème ». Chacune de ces régulations produit des évolutions dans l'activité des enseignants.

Une boucle courte de régulation est fondée sur un écart entre l'anticipation du schème convoqué et l'indice pris dans l'action. Au cours d'un incident critique, les professeurs construisent une nouvelle connaissance, très locale (Morge, 2003), de type PCK/é. Ils apprennent sur le seul fait d'agir en situation (Pastré, 1997). Notre étude a montré qu'une boucle courte est une réponse à un incident ; elle n'est pas définitive, car les enseignants sont toujours à la recherche d'une réponse plus précise ou d'une activité plus adaptée à la classe. Nous décrivons l'incident critique avec trois sous-schémas organisés hiérarchiquement. L'incident critique peut produire d'autres formes de régulation qui permettent d'adapter l'enseignement au plus près de la classe : une boucle longue ou une boucle « changement de schème ».

Dans le cas d'une régulation en boucle longue, l'incident critique devient un incident prévu c'est-à-dire que, d'une part, l'incident est connu et la réponse est organisée et, d'autre part, les enseignants prévoient de rencontrer à nouveau cet incident pendant leur enseignement. Cela leur permet d'anticiper sur les actions à venir. En d'autres termes, cet incident prévu est un scénario à disposition des professeurs tel que nous l'avons décrit précédemment. L'incident prévu garde la même organisation que l'incident critique : nous le décrivons suivant trois schémas organisés hiérarchiquement. La nouvelle PCK/é construite au cours d'un incident critique est à l'origine de la boucle longue de régulation. Du point de vue de notre modèle, les enseignants capitalisent des connaissances dans les invariants opératoires et dans les inférences du schème qu'ils mobilisent. Nous retrouvons dans les invariants opératoires la PCK/é construite ainsi qu'une autre PCK qui leur a permis d'élaborer la réponse à l'incident. Ce sont des théorèmes-en-acte. La capitalisation des inférences montre que les professeurs prévoient de donner la réponse si l'incident se reproduit.

Une boucle de régulation « changement de schème » conduit les enseignants à réécrire partiellement leur préparation. Elle est la conséquence d'incidents critiques au

cours desquels le professeur construit de nouvelles connaissances notamment de type PCK/é. Concernant notre modèle, nous observons trois composantes du schème qui ont évolué : le but, la règle d'action et les invariants opératoires. Nous identifions un changement de théorème-en-acte, lors de la construction du nouveau schème. Du point de vue des connaissances, les enseignants mobilisent une PCK/stratégie. L'activité de l'enseignant change, ainsi que sa conduite.

Notre analyse a permis de montrer comment ces nouvelles connaissances sont à l'origine d'évolutions dans l'activité des enseignants et comment elles permettent aux professeurs d'anticiper les actions à venir afin d'adapter l'enseignement au plus près de la classe. Ces nouvelles connaissances sont à l'origine de l'acquisition d'expérience.

8.2.3. Comprendre une forme d'acquisition d'expérience

Notre étude nous a permis d'identifier quelques éléments concernant l'acquisition d'expérience des enseignants. D'un point de vue des connaissances professionnelles, les professeurs acquièrent de nouvelles connaissances de type PCK/é, propres à l'enseignement d'un sujet d'étude. Ces nouvelles connaissances sont la conséquence d'incidents critiques dans le déroulement de la classe. Ils opèrent des régulations qui leur permettent de pouvoir anticiper lorsqu'il enseignera à nouveau cette notion. Nous avons montré deux processus d'acquisition d'expérience.

Le premier processus est la conséquence de la transformation d'un incident critique en incident prévu à la suite d'une boucle longue de régulation rétroactive de l'activité. D'une part, des inférences et des invariants opératoires sont capitalisés dans les schèmes et, d'autre part, le professeur dispose d'un groupement de schèmes hiérarchisés qu'il convoque si l'incident se reproduit. Cela montre concrètement l'effet de la construction d'une nouvelle connaissance sur l'organisation de l'activité des enseignants. Les professeurs accumulent aussi des groupements organisés de schèmes qui coexistent et qu'ils peuvent convoquer lorsque les indices pris en classe sont favorables. Il s'agit de scénarii pour répondre à des difficultés d'élèves.

Le second processus est le résultat d'une régulation de type « changement de schème ». Au cours de ce type de régulation, le professeur peut convoquer un schème qui appartenait à une autre classe de situations. Dans ce cas, il augmente la portée du schème ce qui a pour conséquence d'élargir la classe de situations. C'est un exemple de « développement cognitif » (Vergnaud & Récopé, 2000).

L'acquisition d'expérience se ferait donc soit par l'augmentation de la portée d'un schème, ce qui a pour conséquence l'élargissement d'une classe de situations, soit par la construction d'activités organisées, comme les incidents prévus, qui donne une dimension anticipation à la pratique des enseignants. Le modèle opératif des enseignants est transformé : il est étendu et approfondi (Grangeat & Munoz, 2011).

Nous avons identifié les connaissances professionnelles en utilisant le concept de PCK comme cadre d'analyse de nos données. Nos résultats ont soulevé quelques questions à propos de sa définition et de certaines de ses catégories.

8.3. *Discussion concernant le modèle des PCK*

Nous avons observé que des connaissances propres à l'enseignement d'un contenu, les PCK, se retrouvaient dans l'organisation de l'activité des enseignants à travers les théorèmes-en-acte et les concepts-en-acte du schème convoqué. De plus, les professeurs construisent des PCK au cours de leur pratique : nous avons identifié des PCK/é sur les domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés. Elles sont à l'origine de boucles de régulation dont nous avons observé les effets : l'organisation de l'activité évolue par la capitalisation des invariants opératoires et des inférences du schème de l'enseignant. Ces évolutions permettent aux enseignants d'adapter leur enseignement au plus près.

Nos résultats concernent le premier degré comme le second degré. Cependant, ils soulèvent quelques questions concernant la définition et la caractérisation des PCK. Nos résultats dans le premier degré montrent que les PCK dépendraient du niveau dans lequel le professeur intervient. En effet, certaines notions peuvent être en cours d'acquisition à un niveau d'étude et acquises au niveau supérieur. De fait, la PCK/évaluation mobilisée par les enseignants dans ces deux cas varierait. Une sous-catégorie ne serait pas renseignée de la même manière.

Notre analyse nous a mis en situation de questionner deux catégories de PCK : les PCK/stratégie et les PCK/orientations. La PCK/stratégie comporte deux sous-catégories : des connaissances sur des activités spécifiques à un sujet en sciences et des connaissances plus générales sur des stratégies pour l'enseignement des sciences (pour plusieurs sujets). La frontière nous paraît difficile à placer entre ces deux sous-catégories. La définition d'une stratégie est questionnée. Qu'est-ce qui est stratégique dans l'action du professeur ?

Est-ce le dispositif utilisé indépendamment du contenu ou est-ce le tout ? Peut-on distinguer facilement les deux ? Une autre question se pose : si des stratégies sont communes à plusieurs sujets d'étude, en quoi sont-elles des PCK ? Des études plus spécifiques sur les stratégies des enseignants dans leur enseignement sont nécessaires pour apporter des réponses à ces questions.

L'inclusion des orientations que donne un enseignant à son enseignement dans le modèle des PCK est questionnée par la recherche (Anderson & al., 2000 ; Bryan & Abell, 1999 ; Sweeney & al., 2001 ; Abell, 2007). Notre analyse apporte des résultats qui vont dans le même sens. L'étude des orientations ne peut pas être réduite à celle d'une connaissance : nous observons une interaction entre les connaissances et les croyances dans les décisions d'orientation prises par les enseignants.

Notre étude s'est déroulée dans le cadre de l'enseignement des sciences dans le premier degré et dans le second degré. Les programmes préconisent la DI pour favoriser les apprentissages des élèves en sciences. Nous avons analysé les connaissances professionnelles des enseignants dans ces moments particuliers.

8.4. Eléments de continuité(s) et de rupture(s) des DI entre le collège et l'école primaire

8.4.1. Au niveau des programmes et dans les pratiques

Un des éléments communs dans les programmes de l'école primaire et du collège est la démarche préconisée pour enseigner les sciences : la DI. Les programmes du collège font référence à ceux de l'école primaire marquant une continuité entre les deux niveaux. Cependant, nos analyses mettent au jour des éléments de ruptures concernant les préconisations respectives des programmes et la mise en œuvre de la DI dans chaque niveau.

Les principes d'unité et de diversité de la DI, présents dans les programmes de l'école primaire, n'apparaissent pas explicitement dans les programmes du collège. En conséquence, une seule forme d'investigation est préconisée en physique-chimie au collège : l'expérimentation. De plus, la continuité entre le questionnement et les investigations n'est pas clairement identifiée par les enseignants.

Les deux enseignants du collège mettent en place des expérimentations comme seules formes d'investigation (Mathé & al., 2008 ; Triquet & Guillaud, 2011). La démarche se présente comme de type hypothético-déductive se déroulant à partir d'un conflit cognitif (Mathé & al., 2008). Nous constatons un manque de liaison entre la situation-problème et les investigations. La DI se résume à une succession de phases expérimentales dont la cohérence, sur la séquence, n'est visible que par les enseignants. La nature de la démarche varie en fonction des difficultés connues des élèves. Elle peut être inductive ou déductive. Mais, la validation est généralement fondée sur une prise de mesures suivant une « démarche empirique inductiviste » (Balpe, 2001). Dans le premier degré, nous n'avons observé qu'une démarche inductive car, selon l'avis des enseignants, le niveau de connaissances n'est pas très élevé. La preuve apportée par les données empiriques suffit pour élaborer les savoirs dans la classe.

Nous avons observé aussi un manque de liaison entre la situation d'entrée et les phases d'investigation dans le premier degré malgré le principe d'unité présent dans les programmes. La démarche se résume, comme au collège, en une succession de phases d'investigation qui, dans les deux cas observés, ne sont qu'expérimentales. Pour autant, le thème de l'électricité favorise cette forme d'investigation ainsi que la mise en place de défis dans la classe. Le contenu de ces phases est différent entre les deux niveaux : dans le premier degré, la consigne de l'enseignant est double, réaliser une expérience et produire une trace écrite. Ce n'est pas le cas au collège : la consigne des enseignants ne contient que la partie « manipulatoire » (§ 8.5., p. 210).

Au collège, comme à l'école primaire, notre étude montre que la démarche est contrôlée par les enseignants. Ce « contrôle » est parfois une réaction aux difficultés déjà rencontrées par les professeurs. Ils agissent sur le matériel, sur les moments de la démarche pour aller plus vite ou limiter les productions différentes des élèves qui seraient difficiles à gérer ou pour des problèmes de sécurité. Pour cela, les enseignants peuvent donner le protocole à suivre, le schéma du montage ou son principe, un tableau de mesure, etc. Nous disons que la démarche est contrôlée et que l'autonomie des élèves est réduite.

L'analyse de ces résultats à l'aide du modèle ESFI à six dimensions (Grangeat, à paraître) montre que l'activité des enseignants n'est pas centrée sur les élèves et sur la maîtrise de connaissances et de compétences mises en œuvre dans les ESFI. De fait, la responsabilité des élèves diminue, ce qui va à l'encontre des préconisations des

programmes. Nous pensons que la DI n'est pas en place, dans le sens où ce sont les enseignants qui proposent le questionnement que les élèves doivent s'approprier pour mener des investigations. Certaines des difficultés qu'ils rencontrent à mener leurs investigations peuvent provenir d'un questionnement qui ne fait pas sens pour eux. De plus, dans le cas d'une expérimentation, le référent empirique peut être moins riche car les connaissances phénoménographiques seront moins nombreuses. Nous pensons que cela peut engendrer des difficultés pour les élèves, à conceptualiser ou à modéliser des notions ou des concepts comme le circuit électrique ou le poids.

Nous n'avons pas observé de recherche documentaire ou de lecture de document(s) en tant que forme d'investigation au collège. Nous pensons que c'est la conséquence d'un manque de clarté du principe de diversité dans les programmes du collège. Les enseignants mettent en place une « lecture compréhension » c'est-à-dire une étude de texte à partir de questions qu'ils posent. L'approche dans le premier degré est conforme aux préconisations des programmes : les élèves mettent en œuvre une investigation afin de répondre aux questions construites en amont. La part d'autonomie dans ce travail est assez importante à l'école primaire et la démarche pour construire de nouveau savoir a du sens pour les élèves. Au collège, nous avons observé une « passivité » de certains élèves que nous attribuons à un manque de sens dans la démarche visant à acquérir de nouveaux apprentissages et à une absence d'autonomie dans le travail. Pour les quatre professeurs, les documents ont généralement un statut de référence scientifique. Le contenu n'est pas discuté : il valide la connaissance. Au collège, il nous apparaît important de pouvoir mettre en place un dispositif permettant aux élèves de discuter d'un contenu à partir de différentes sources afin d'avoir un regard critique. Selon nous, la recherche et/ou la lecture documentaire sous forme d'une investigation le permettraient.

8.4.2. Les connaissances professionnelles en jeu

Notre étude de la DI du point de vue des connaissances professionnelles montre que certains types de connaissances sont mobilisés par les enseignants spécifiquement à certains moments de la DI. Concernant la construction de la situation-problème, les enseignants du collège mobilisent des connaissances de type SMK pour juger de sa pertinence scientifique et une PCK/é, une PCK/pgrm et une PCK/stratégie pour qu'elle soit adaptée à la classe. A l'école primaire nous n'avons pas observé de situation d'entrée

telle que le préconisent les programmes. Francis met en place une situation diagnostique et André un défi. Dans les deux cas, ils mobilisent le même type de PCK que celles des professeurs du collège. Par contre, nous n'avons pas identifié de SMK.

Les professeurs mobilisent des connaissances de type PCK lorsqu'il s'agit de « contrôler » certains moments de la démarche ainsi que dans le choix d'une démarche inductive ou déductive. Dans le premier cas, ils mobilisent des PCK/é et des PCK/pgrm. Concernant le choix de la nature de la démarche, ce sont des PCK/é qui aident les enseignants à préférer l'une par rapport l'autre afin de réduire les difficultés des élèves, comme dans le cas de l'élaboration de la loi symbolique $P = mg$.

8.4.3. Quelques pistes pour la formation des enseignants

Nos résultats nous permettent de proposer quelques pistes pour la formation des enseignants aux démarches d'investigation. Nous pensons qu'il est nécessaire de mettre en évidence les principes d'unité et de diversité présentés dans les programmes de l'école primaire.

Une idée générale nécessaire à traiter en formation est que les investigations sont menées par les élèves pour répondre à des questions qui ont été construites avec l'enseignant. En effet, cela apporte du sens à la démarche pour trouver des réponses aux questions posées, et les élèves gagnent en autonomie. Cette idée est générale car elle permet une démarche cohérente quelles que soient les formes d'investigation mobilisées par les élèves. Sa cohérence vient du fait qu'à partir d'une situation d'entrée ou d'une situation-problème, les élèves construisent des nouvelles connaissances en participant à tous les moments de la démarche : la construction de questions productives avec l'enseignant, la mise en œuvre de formes d'investigations, la comparaison des résultats avec les autres groupes de la classe, etc.

Il s'agit de construire des situations afin de faire émerger un questionnement productif en relation avec le programme. Nous pouvons élaborer une liste s'appuyant sur des supports variés tels qu'une expérience de bureau, un média numérique type photo, un extrait de bande dessinée, une animation, etc., une question de la forme « que savez-vous sur.. ? », etc. Les enseignants mobilisent des connaissances identifiées dans le modèle de Magnusson, Krajcik, et Borko (1999) pour construire des situations d'entrée ou des situations-problèmes. Au vu de nos résultats de recherche, les PCK ont un rôle important dans cette construction.

Nous avons montré que dans le premier degré, les professeurs des écoles donnent une consigne double lors des expérimentations : une consigne « manipulatoire » et une consigne « trace écrite ». Nous ne l'avons pas observé chez les enseignants du second degré. Cette consigne au sujet des traces écrites à produire montre le rôle que donnent les professeurs des écoles aux écrits dans les apprentissages en sciences. Plus généralement, c'est la question du rôle des écrits individuels et collectifs ainsi que des supports à utiliser qui doit apparaître dans la formation des enseignants, en particulier dans l'articulation entre les questions productives et les investigations. Comme le montrent nos résultats, l'écrit de synthèse est un écrit collectif qui est construit conjointement par le professeur et tous les élèves. Il prend appui sur les productions individuelles et/ou de groupes.

Plus spécifiquement dans le second degré, nous pensons qu'il est important d'élargir les formes d'investigation préconisées aux recherches et lectures documentaires (suivant le principe de diversité). Nous avons montré comment la « lecture compréhension » met certains élèves en situation de décrochage car d'une part, les questions sont posées par l'enseignant sans qu'il s'assure qu'elles sont bien le résultat de préoccupations communes et, d'autre part, les élèves ont très peu d'autonomie pour chercher des réponses et les confronter. Nous devons montrer l'intérêt pour les élèves à rechercher des réponses aux questions productives à partir de différentes sources suivant différentes stratégies et à confronter leurs résultats afin de produire un écrit de synthèse et donc de nouvelles connaissances.

Nous pensons qu'il est possible d'utiliser le modèle ESFI à 6 dimensions (Grangeat, à paraître) dans la formation des enseignants car il apporte des renseignements concernant les effets de « contrôle(s) » opérés par les professeurs pendant le déroulement de la DI. Ils peuvent analyser leur activité à savoir si elle est centrée sur les élèves ou sur l'enseignant et quelles sont les variables d'ajustement et de contrôle qui les font changer de niveau. Ce modèle apporte une analyse fine de l'activité des enseignants pour certaines dimensions critiques.

Enfin, penser la formation des enseignants en termes de connaissances mobilisées et/ou construites nous amène à poser la question de la formation des enseignants novices à la DI car ils n'ont pas construit beaucoup de connaissances de types PCK notamment les PCK/é. Quels sont les dispositifs en formation initiale permettant une construction de connaissances ? Une mise en situation au cours de la formation permet-elle la

construction de connaissances autres que des SMK et des PCK/pgrm ? Quels types de connaissances sont construits lors d'une analyse de pratique à la vidéo ?

Nos résultats montrent certaines différences dans l'organisation de l'activité des professeurs des écoles et celle des enseignants de collège. Cela nous amène à questionner la professionnalité des professeurs. D'un côté, les professeurs de collège sont disciplinaires et, de l'autre côté, les professeurs des écoles enseignent plusieurs domaines : ils se disent « polyvalents ».

8.5. *Des indices sur la spécialité des enseignants*

La question de la professionnalité des professeurs des écoles est posée par la recherche notamment concernant le terme « polyvalence » qui est souvent évoqué pour la caractériser (Bisault, 2011 ; Baillat & Espinoza, 2006 ; Hominal, 1995). Bisault (2011) s'appuie sur les travaux de Martinand (1994) et ceux de Sensevy et al. (2000) pour montrer qu'il faut penser la professionnalité des professeurs des écoles en termes de spécialité. Le premier parle de « spécialiste des écoles » et le second de « spécialiste de la non spécialité ». Pour Bisault, cette notion de « polyvalence » est « une impasse pour penser la professionnalité des enseignants du primaire » (p. 109). Il donne une définition la notion de spécialité :

Nous préférons donc nous appuyer sur la notion de spécialité tout en essayant de définir ce que peut être une spécialité qui ne soit conçue comme celle des enseignants du second degré. La prise en charge des « apprentissages fondamentaux » (lire, écrire et compter) constitue un élément difficilement contestable de cette spécialité tout comme la prise en charge des élèves dans leur globalité et dans leur diversité. Sur le plan des compétences professionnelles, la capacité d'articuler l'ensemble des apprentissages voire l'ensemble des activités scolaires dans un ensemble cohérent est un élément qui nous semble également important non seulement pour définir la spécialité mais aussi pour la rendre possible. (p. 109)

Dans notre étude, nous avons identifié des éléments dans l'activité des professeurs des écoles que nous n'avons pas retrouvées chez les enseignants du second degré. Les professeurs des écoles revendiquent une approche plus globale de leur enseignement qui apparaît être un élément important de leur identité professionnelle et une spécialité importante dans le domaine de l'apprentissage de la langue. Nos analyses montrent que c'est le cas pour l'enseignement des sciences chez les professeurs des écoles suivis.

Nous avons observé que dans le traitement d'un incident critique, les professeurs des écoles peuvent convoquer des connaissances de type PCK/é et PCK/pgm d'un autre domaine d'enseignement. Par exemple, dans le cas de la construction d'une synthèse, les incidents critiques peuvent être de différentes natures notamment concernant la lecture, l'écriture et la compréhension. Cette régulation apporte une forme de cohérence dans l'approche des activités scolaires (Bisault, 2011) qui caractérise la spécialité des enseignants PE. A travers ces régulations, nous observons que la prise en charge du « lire-écrire » se fait dans les différents domaines de l'enseignement.

Nous avons montré, au chapitre 6, que les professeurs mettaient en place en classe ce que nous appelons des invariants qui sont des dispositifs ou des situations comme la situation-diagnostic ou une situation-problème qui ont été développés dans un domaine scolaire et que les enseignants transfèrent dans d'autres domaines, sans en changer l'organisation. Les invariants peuvent être aussi d'ordre pédagogique : par exemple, Francis cite le principe de brassage des groupes en mathématiques qu'il transfère en sciences. Pour nous, un invariant participe à la cohérence que construit l'enseignant en articulant un ensemble de situations scolaires issus d'un sous-ensemble de l'ensemble des domaines. Il apporte une forme d'automatisation et d'autonomie dans la classe.

Mais, cette recherche de cohérence peut engendrer des situations qui ne sont pas forcément adaptées à la notion à enseigner ou aux spécificités du domaine en question. Dans l'exemple de la situation-diagnostic mise en place par Francis, elle n'est pas adaptée à l'enseignement de l'électricité car elle ne prend pas en compte l'aspect expérimental et, par conséquent, les connaissances phénoménographiques déjà construites par les élèves. De plus, la confrontation à la manipulation permet à l'enseignant de s'appuyer sur le référent empirique au circuit électrique de la classe pour construire le modèle. Pour nous, le professeur est confronté à des problèmes d'ordre épistémologique dont il n'a pas forcément connaissance.

Cette prise en charge du « lire, écrire et compter » dans tous les domaines de l'enseignement influence l'organisation de l'activité des enseignants PE. Nous avons observé que, dans le premier degré, la consigne de l'enseignant lors d'une phase d'investigation est double : les élèves doivent réaliser une expérience et produire une trace écrite. Ce n'est pas le cas au collège : la consigne des enseignants ne contient que la partie « manipulatoire ». Les professeurs des écoles s'appuient sur les traces écrites des

élèves pour construire les nouvelles connaissances en sciences mais aussi pour consolider les acquis à propos du langage.

A travers nos résultats, nous nous retrouvons dans la définition de la spécialité des enseignants donnée par Bisault (2011). La prise en charge du « lire, écrire et compter » influence l'organisation de leur activité. Les professeurs des écoles mobilisent des connaissances de types PCK/stratégie, PCK/é et PCK/pgrm que nous ne trouvons pas chez les enseignants du second degré. Elles leur permettent d'articuler un ensemble d'apprentissages et d'activités issus d'un sous-ensemble de l'ensemble des domaines. Cet ensemble cohérent se retrouve aussi dans les régulations que l'enseignant met en place pour adapter son enseignement à la classe en mobilisant des connaissances de type PCK de différents domaines. Nous pensons que ce résultat peut entrer dans la définition de la spécialité : cette capacité à mobiliser des connaissances de type PCK de différents domaines lors d'une boucle de régulation.

Notre cadre théorique nous a conduits à analyser nos données sous l'angle de la didactique professionnelle et celui de la didactique des sciences. Il nous permet d'analyser les effets d'une réorganisation de l'activité sur la tâche des élèves.

8.6. Le point de vue des deux didactiques pour analyser l'activité des enseignants

Dans le chapitre 7, nous avons analysé les effets des régulations rétroactives de l'activité des enseignants sur la nature des tâches des élèves. Pour cela nous avons étudié l'activité de mesure du poids d'un objet en combinant une analyse en didactique des sciences et en didactique professionnelle. La didactique professionnelle nous permet de rendre compte de l'organisation et des changements d'organisation de l'activité, pour les notions effectivement enseignées. La didactique des sciences nous donne des éléments sur les connaissances en jeu et sur leur construction en nous centrant en particulier sur les tâches des élèves. Pour cela, nous faisons référence en particulier aux travaux de Martinand (1996) qui nous permettent de montrer les savoirs en jeu et la manière dont les élèves se les approprient, dans le cas particulier des sciences expérimentales. Poursuivons cette étude et regardons comment les deux didactiques sont complémentaires pour étudier les connaissances professionnelles des enseignants et les points que chacune d'elle ne permet pas d'analyser.

8.6.1. Le but de l'enseignant et la tâche de l'élève

Au paragraphe 7.2.2.3. (p. 183), l'analyse en didactique des sciences nous a permis de montrer que la nature de la tâche des élèves a évolué, au cours de ces deux années. Cette évolution est la réponse de l'enseignant aux dysfonctionnements qu'il a observés, la première année. La seconde année, il a d'abord construit la définition du poids, puis il a mis les élèves dans l'application de cette définition pour réaliser la mesure du poids d'un objet. La première année, ils étaient dans la découverte de l'appareil suivant une démarche empirique. Mais, nous avons observé, à travers une analyse en didactique professionnelle, que l'organisation de l'activité de l'enseignant est restée la même. Le but est de « mesurer le poids d'un objet » et la règle d'action est de « demander aux élèves d'utiliser un dynamomètre pour mesurer le poids d'un objet quelconque ». Le schème mobilisé par Henri est identique, les deux années de notre observation (Annexe 37).

Nous constatons la complémentarité des deux didactiques pour rendre compte de la mise en œuvre d'un changement dans la préparation de l'enseignant. La nature de la tâche de l'élève peut changer quand le but de l'enseignant ne change pas. Henri agit sur la nature de la tâche des élèves pour atteindre son but.

Cette évolution de la nature de la tâche au cours des deux années a eu des conséquences au niveau de l'interaction entre Henri et les élèves lors du travail sur le principe de fonctionnement du dynamomètre. La première année, nous avons montré que les élèves sont restés sur le registre du référent empirique, lors de l'interaction avec Henri. C'est l'enseignant, seul, qui a basculé vers le registre du modèle pour expliquer le principe de fonctionnement du dynamomètre. La seconde année, les élèves ont appliqué les définitions données par l'enseignant pour expliquer des éléments du registre du référent empirique. Ils ont projeté la définition du poids sur le référent. De fait, ils ont élargi le référent empirique au dynamomètre à travers l'acquisition d'une phénoménologie.

Poursuivons cette analyse concernant le cas d'Henri et analysons les connaissances professionnelles en jeu.

8.6.2. Les connaissances professionnelles en jeu

8.6.2.1. Au cours de l'activité

Nous avons montré que les enseignants du collège mobilisent des connaissances de type SMK et des connaissances spécifiques à l'enseignement du poids, des PCK. Notre analyse du point de vue de la didactique des sciences montre qu'Henri mobilise des SMK à propos de l'interaction gravitationnelle entre deux corps et sur le système mécanique solide-ressort. Dans l'interaction avec les élèves, il s'appuie sur les connaissances phénoménographiques et phénoménotechniques développées par l'élève lors de la phase précédente de mesure. Cela nécessite donc qu'il ait choisi un matériel approprié pour l'activité expérimentale. C'est une PCK/pgrm. De plus, il a une approche de « découverte » du dynamomètre, dès la première séance. Le problème de la mesure du poids d'un objet est dévolu aux élèves. C'est une PCK/stratégie. Toutes ces connaissances s'amalgament et permettent, à Henri, d'une part, de construire cette activité avec cohérence et, d'autre part, d'accompagner l'élève à travers des questions précises et compréhensibles. Mais, cette cohérence est pensée sur la séquence entière par l'enseignant. En effet, les programmes indiquent qu'il s'agit de mettre en évidence, expérimentalement, la loi entre le poids et la masse. Pour cela, l'enseignant sait que les élèves doivent savoir mesurer le poids d'un objet à l'aide d'un dynamomètre et il sait qu'ils ont déjà mesuré la masse d'un objet, dans les classes antérieures. C'est une PCK/pgrm.

Du point de vue de la didactique professionnelle, cette organisation de l'activité nous permet de montrer les connaissances professionnelles des enseignants. Elles se trouvent dans les invariants opératoires qui sont composés de théorèmes-en-acte et de concepts-en-acte (Annexe 37). Cette organisation est inchangée durant les deux années (§ 7.2.2.3, p. 183).

La proposition « les mesures doivent permettre aux élèves de décrire le fonctionnement du dynamomètre » est considérée comme vraie puisque Henri n'a pas changé l'organisation de son activité concernant la mesure du poids, durant les deux années. Nous retrouvons dans les invariants opératoires les connaissances que nous avons identifiées dans l'interaction entre Henri et l'élève, avec une analyse en didactique des sciences. Cette similitude dans les résultats vient du fait que ces connaissances sont identifiées à partir des entretiens avec Henri. Or, dans l'analyse vidéo, l'enseignant est

centré sur la tâche des élèves et la compare à l'anticipation qu'il a faite du résultat du schème qui est mis en œuvre. Il commente aussi la façon dont les savoirs se construisent à travers les dispositifs qu'il a montés. Par conséquent, il est normal que les deux didactiques se rejoignent sur le type de connaissances identifiées. Cependant, des connaissances professionnelles peuvent parfois se retrouver dans les inférences du schème convoqué par l'enseignant (Annexe 37). Donc, la régulation de l'activité en situation peut nécessiter, pour l'enseignant, de s'appuyer sur des savoirs scientifiques.

Cette description de l'organisation de l'activité de l'enseignant permet de distinguer les connaissances nécessaires pour réguler l'activité, des connaissances utiles pour prélever et sélectionner l'information pertinente. Tout ceci montre comment le schème gère « de manière entremêlée, la suite des actions, des prises d'informations pour poursuivre, et des contrôles » (Vergnaud & Récopé, 2000).

8.6.2.2. Au cours des réorganisations de l'activité

Les enseignants adaptent leur préparation à la classe en opérant des boucles de régulations rétroactives de l'activité. Nous avons analysé précédemment différents types de boucle de régulations opérées par les enseignants et les conséquences sur leur activité. Nous avons montré que l'origine d'une boucle de régulation est une nouvelle connaissance de type PCK/é. Dans notre cas, Henri a opéré une boucle de régulation « changement de schème » entre les deux années. Il a construit la définition du poids avant de lancer l'activité de mesure (§ 7.2.2.2., p. 181).

La didactique des sciences ne montre pas cet aspect de la réorganisation de l'activité de l'enseignant. Nous ne pouvons analyser qu'une évolution de la tâche de l'élève. Par contre elle peut nous aider à identifier les indices, pris dans l'action, qui conduisent l'enseignant à opérer ces boucles de régulations. Ces indices sont prélevés pendant que les élèves effectuent la tâche qui leur a été demandée. Par exemple, la première année, Henri s'aperçoit qu'ils ont des difficultés à décrire le principe de fonctionnement du dynamomètre. Il juge que leur connaissance du poids n'est pas suffisante pour pouvoir répondre à la question. Il remarque aussi que l'activité expérimentale s'est bien déroulée et que les connaissances empiriques acquises par les élèves sont un support performant pour décrire le principe de fonctionnement du dynamomètre. De fait, il ne changera pas l'organisation de l'activité de mesure et il construira la définition du poids avant celle-ci.

8.7. *Perspectives*

Au terme de ce mémoire, il s'agit pour nous de mettre en perspective notre travail de recherche en envisageant des pistes d'investigations qui constitueront nos futurs travaux. Nous devons confronter certains de nos résultats à des travaux d'autres chercheurs dans le champ des sciences de l'éducation et, en particulier, dans ceux de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. Notre méthodologie demande à être retravaillée notamment du côté du carnet de bord des enseignants. Nous devons aussi poursuivre notre analyse du concept de PCK et de l'identification de ses composantes. Nous espérons que certains de ces résultats profiteront à la formation des enseignants de sciences.

Nous devons poursuivre l'analyse de l'activité des enseignants et de ses évolutions sous le prisme de la didactique professionnelle et celui de la didactique des sciences. Nous avons montré que la didactique professionnelle nous permettait de décrire l'organisation de l'activité des enseignants à travers le schème qu'ils convoquent dans l'action. Nous y plaçons les connaissances professionnelles en jeu et nous regardons comment elles évoluent à travers les boucles de régulation rétroactives opérées par les enseignants. Notre analyse, sous ces deux points de vue, donne à voir l'écart entre le but de l'enseignant et la tâche de l'élève. Nous avons montré que la tâche d'un élève peut évoluer alors que le but de l'enseignant ne change pas. Ce résultat nous paraît important notamment pour la formation des enseignants car une évolution de la tâche a des effets directs sur les apprentissages des élèves. Nous devons le confirmer.

Ces boucles de régulation montrent comment les enseignants tentent de supprimer les difficultés qui pourraient mettre les élèves en échec. Ils sont constamment à la recherche d'une réponse plus performante. C'est une composante forte du métier d'enseignant qui, pour nous, participe à la construction de leur identité professionnelle. Ils recherchent une satisfaction personnelle en même temps qu'une reconnaissance dans le contexte social où ils enseignent (Dubar, 2000). Le traitement de l'écart entre la préparation de l'enseignant et la mise en œuvre n'est-il pas significatif du développement d'une l'identité professionnelle (Vinatier, 2007 ; Vanhulle, 2009) ?

Notre étude montre que l'action dans la classe entre les élèves et le professeur est centrée sur le savoir. Celui-ci est au cœur de la transaction entre les enseignants et les élèves (Sensevy, 2007). La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) (Sensevy

& Mercier, 2007 ; Schubauer-Leoni, Leutenegger, & Forget, 2007) permet de relier l'action didactique (action conjointe entre le professeur et l'élève) et l'activité³⁸. L'action didactique liée à ces transactions est envisagée comme un « jeu » qui peut être décrit de la manière suivante : lorsque un élève gagne en produisant certaines stratégies « proprio motu », le professeur gagne. L'action didactique produit donc un seul et même résultat³⁹ (Sensevy, 2007, p. 20). Nous avons montré que les enseignants mobilisent certains types de connaissances dans la préparation ou dans l'action pour permettre aux élèves d'accomplir la tâche, de « gagner ». Dans la description du jeu didactique, comment la TACD permet-elle d'analyser les connaissances professionnelles des enseignants ? Ne pourrions-nous pas les situer au niveau du contrat didactique ? Pouvons-nous inférer des connaissances professionnelles en analysant la position topogénétique de chacun des protagonistes ?

Nous avons fait le choix, d'un point de vue méthodologique, d'analyser les incidents critiques dans la classe. Nos résultats montrent que c'est une PCK/é qui est à l'origine des boucles de régulations opérées par les enseignants. Ce type de connaissance est-il le seul à l'origine d'une boucle de régulation ? Une boucle courte est-elle forcément suivie d'une boucle longue ou de type « changement de schème » ? Dans les réponses apportées par les enseignants à un incident critique nous n'avons pas identifié de SMK dans les inférences des schèmes convoqués. Est-ce toujours le cas ? Ces incidents critiques deviennent des incidents prévus après que les enseignants aient opéré une boucle longue de régulation. Nous avons observé que ces incidents prévus ne seront convoqués par les professeurs que dans certains cas sinon ils restent à disposition. Quels sont les éléments qui permettent aux enseignants de convoquer une organisation de schèmes de type incident prévu plutôt qu'une autre ? Comment s'opère ce choix ? Peuvent-ils ne convoquer qu'un schème et pas une organisation de schèmes ?

Notre méthodologie est à travailler notamment du côté des outils donnant à voir le travail hors classe des enseignants. La construction du carnet de bord avec les professeurs

³⁸ Sensevy signale que « le terme action est compatible avec celui de pratique, au sens de Bourdieu (1980, 1997), et avec celui d'activité, au sens de la théorie de l'activité (notamment Leontiev, 1984, Clot 1999) » (Sensevy, 2007, p. 14).

³⁹ Cela ne signifiant pas qu'il y a un partage de buts communs mais plutôt une « interdépendance » entre des buts distincts (Schubauer-Leoni M. , Leutenegger, Ligozat, & Fluckinger, 2007).

a montré qu'à chaque spécialité correspond une façon de nommer les items et de les renseigner. Nous avons aussi observé que les professeurs des écoles ont plus l'habitude que les professeurs de collège de renseigner un outil de ce type. Comment rendre le travail hors classe visible sans qu'il soit trop coûteux pour les enseignants ? Faut-il mettre en place un carnet de bord numérique en laissant le professeur faire évoluer sa forme tout au long de la recherche ? Son renseignement est essentiel et nous apporte des sources complémentaires pour notre analyse. D'un point de vue théorique, une question se pose : En quoi une auto-analyse se différencie-t-elle d'une auto-confrontation ? Il nous faudra répondre à cette question lorsque nous aurons mené d'autres recherches car il est possible que des réponses nous fassent évoluer vers la méthodologie de l'entretien.

Nos résultats concernant l'acquisition de l'expérience ne sont que partiels. Nous devons poursuivre notre étude du côté de l'évolution des connaissances des enseignants et de leur impact sur l'organisation de leur activité ainsi qu'au niveau des classes de situations auxquelles appartiennent les schèmes. A l'issue d'une boucle de régulation « changement de schème », un professeur peut mobiliser un schème déjà existant. Dans ce cas, la situation dans laquelle ce schème est convoqué change de classe de situations. De fait, il élargit sa portée. Ce processus est-il ensuite figé ou les classes de situations sont-elles toujours en évolution ? Comment peut-on modéliser une expertise à partir de ces évolutions ? Notre analyse au niveau de l'activité des professeurs des écoles nous a conduit à identifier des invariants. Ces invariants sont-ils des situations issues de domaines différents tout en appartenant à la même classe de situations ? Des réponses à cette question nous permettraient de comprendre l'impact de ces invariants sur l'activité des professeurs des écoles ainsi que les réorganisations qui s'opèrent lorsque le schème n'est pas adapté à l'enseignement des sciences. Ce serait une particularité des professeurs des écoles qui nous permettrait d'apporter un élément supplémentaire à la notion de spécialité.

Notre analyse s'appuie sur le concept de PCK et le modèle de Magnusson, Krajcik, et Borko (1999). Une PCK est une connaissance spécifique à l'enseignement d'une notion. Mais nos résultats ont questionné sa définition par rapport au niveau d'enseignement. En effet, certaines notions peuvent être en cours d'acquisition à un niveau d'étude et acquises au niveau supérieur. Une PCK dépend-elle du niveau dans lequel un professeur enseigne ? Si c'est le cas, comment faire évoluer le modèle ? Nous avons questionné deux catégories des PCK : les PCK/stratégie et des PCK/orientations.

Dans le premier cas, le modèle nous propose deux sous-catégories qu'il est difficile à distinguer. Qu'est-ce qui est stratégique dans l'action du professeur ? Est-ce le dispositif utilisé indépendamment du contenu ou est-ce le tout ? Une autre question se pose : si des stratégies sont communes à plusieurs sujets d'étude, en quoi sont-elles des PCK ? Concernant les PCK/orientation la question qui est posée par la recherche et que nos résultats confirment est : l'étude des orientations des enseignants peut-elle être réduite à celle d'une connaissance ? Nos observations montrent que des orientations sont une interaction entre des connaissances et les croyances.

Au vu de nos résultats, une question se pose concernant la formation des enseignants : comment permettre aux professeurs de penser la DI suivant les principes d'unité et de diversité en prenant en compte les contraintes de la classe ? Nous avons montré qu'il était nécessaire de travailler l'articulation entre la situation d'entrée (ou situation-problème) et les questions productives pour s'assurer que les élèves s'approprient le questionnement qui donnera lieu à des investigations. Il s'agit aussi d'analyser l'articulation entre les différentes formes d'investigations pour construire de nouvelles connaissances. La question de la production écrite des élèves se pose aussi. Quel est le rôle des traces écrites individuelles et collectives dans la production de nouvelles connaissances en sciences ? Nous avons analysé comment les professeurs des écoles s'appuyaient sur les traces écrites des élèves pour construire l'écrit de synthèse à partir d'une consigne double. Comment les enseignants de collège peuvent-ils développer les écrits individuels et collectifs malgré les contraintes de temps et de lieu intrinsèquement liées au second degré ? Notre analyse a montré que les enseignants contrôlent la démarche en agissant sur des paramètres pour s'assurer d'atteindre leurs buts. Les professeurs de collège oscillent entre une démarche inductive et déductive suivant les difficultés des élèves et en fonction du thème étudié. Des questions qui touchent l'épistémologie des disciplines scientifiques se posent ici. Dans les entretiens, nous n'avons pas observé de connaissances épistémologiques transmises aux élèves suite à ces différentes approches. Ils réagissent aux contraintes de la classe. Donc, nous pensons que la formation des professeurs doit comporter un volet en épistémologie des disciplines scientifiques en relation avec la DI (Venturini & Amade-Escot, 2010). Cette formation doit être conduite en prenant en compte les contraintes qui pèsent sur l'enseignement (Pélissier & Venturini, 2012). Elle peut consister en une analyse épistémologique d'une DI sur une séquence d'enseignement. Les auteurs proposent de

faire vivre une DI aux professeurs dans un autre domaine disciplinaire pour provoquer une première sensibilisation aux questions épistémologiques.

Nous souhaitons poursuivre notre travail avec le modèle ESFI à 6 dimensions (Grangeat, à paraître). Ce modèle apporte des informations pouvant aider les professeurs à se situer, lors de la construction d'une activité par rapport aux élèves. Outil d'analyse de la pratique, il permet de montrer les relations entre l'activité mise en œuvre par le professeur et la tâche effectuée par les élèves. Notre modèle « dynamique » permet d'analyser les réorganisations de l'activité à certains moments clefs de la DI ou lors des phases d'investigations. Il nous renseigne aussi sur une mise en œuvre du point de vue du but de l'enseignant et de la tâche des élèves. De fait, nous pensons pouvoir apporter des précisions à propos du modèle comme dans le paragraphe 6.2.4. (p 149) et le faire évoluer.

Enfin, il est nécessaire de compléter la présente étude par une recherche auprès d'enseignants débutants. Toutes les questions concernant l'acquisition d'expérience à partir de la capitalisation de connaissances, de l'évolution des classes de situation pourraient trouver des réponses complémentaires à cette première recherche.

Références

- Abell, K. (2007). Research on science teacher knowledge. Dans K. Abell, & N. Lederman (Éds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1105-1150). Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Altet, M. (1996). Les compétences de l'enseignant professionnel. Entre savoirs, schèmes d'action et adaptation : le savoir-analyser. Dans L. Paquay, M. Altet, E. Charlier, & P. Perrenoud (Éds.), *Former des enseignants professionnels. Quelles stratégies ? Quelles compétences ?* (pp. 27-40). Bruxelles : De Boeck.
- Altet, M. (2002). L'analyse plurielle du processus enseignement-apprentissage. Dans J.-F. Marcel (Éd.), *Les sciences de l'éducation : des recherches, une discipline* (pp. 43-52). Paris : L'Harmattan.
- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risque*. Paris : PUF.
- Anderson, C., & Smith, E. (1987). Teaching science. Dans V. Richardson-Koehler (Éd.), *Educators' handbook: A research perspective* (pp. 84-111). New York : Longman.
- Anderson, L., Smith, D., & Peasley, K. (2000). Integreting learner and learning concerns : Prospective elementary science teachers' paths and progress. *Teaching and Teacher Education*(16), 547-574.

- Baillat, G., & Espinoza, O. (2006). L'attachement des maîtres de l'école primaire à la polyvalence : le cœur a ses raisons... *Revue des Sciences de l'Éducation*, 32(2), 283-305.
- Ball, D. (1990). The mathematical understandings that prospective teachers bring to teacher education. *Elementary School Journal*, 90(4), 449-466.
- Balpe, C. (2001). *Enseigner la physique. Approche historique au collège et au lycée*. Rennes : PUR.
- Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*, 45, 165-188.
- Bedny, G., & Meister, D. (1997). *The Russian theory of activity: current applications to design and learning*. Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum Ass.
- Bisault, J. (2009). Constituer une communauté scientifique scolaire pour favoriser l'argumentation entre élèves. Dans C. Buty, & C. Plantin (Éds.), *L'argumentation dans l'apprentissage des sciences* (pp. 153-192). Paris : INRP.
- Bisault, J. (2011, Décembre). *Contribution à l'élaboration curriculaire d'une éducation scientifique à l'école primaire : Modélisation des moments scolaires à visée scientifique*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Ecole normale supérieure de Cachan. Consulté le 26 août, 2012, sur http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/69/39/00/PDF/HDR_Bisault_Education_scientifique_Ecole_primaire.pdf
- Boilevin, J.-M., & Brandt-Pomares, P. (2009). Démarche d'investigation en sciences et en technologie au collège : Les conditions d'évolution des pratiques. *Journées d'étude S-TEAM*.
- Bruce, L. (1971). A study of the relationship between the SCIS teachers' attitude toward the teacher-student relationship and question types. *Journal of Research in Science Teaching*, 8, 157-164.
- Bryan, L., & Abell, S. (1999). Development of professional knowledge in learning to teach elementary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 121-139.
- Cariou, J.-Y. (2004, juillet-août). La formation de l'esprit scientifique. *Science... & pseudo-sciences*, 263.

- Cariou, J.-Y. (2010). Tentative de détermination de l'authenticité des démarches d'investigation. *Journées Scientifiques DIES*. Lyon.
- Cellier, J.-M., De Keyser, V., & Valot, C. (1996). *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. Paris : PUF.
- Clandinin, J., & Connelly, E. (1996). Teachers' professional knowledge landscapes : Teachers stories-stories of teachers-school stories-stories of schools. *Educational Researcher*, 25(3), 24-30.
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris : PUF.
- Clot, Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*. Paris : PUF.
- Clot, Y., & Faïta, D. (2000). Genres et styles en analyse du travail. Concepts et Méthodes. *Travailler*(4), 7-42.
- Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G., & Scheller, L. (2001). Entretiens en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Education permanente*, 146(1), 17-25.
- Cochran-Smith, M., & Lytle, S. (1993). *Inside/outside: Teacher research and knowledge*. New York : Teachers College Press.
- Cochran-Smith, M., & Lytle, S. (1999). The teacher research movement: A decade later. *Educational Researcher*, 28(7), 15-25.
- Coquart, J., & Redon-Clauzard, S. (2002). Quelle différence y a-t-il entre... le poids et la masse. *Science & vie Junior*(157), 62-68.
- Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, pp. 109-132.
- Coquidé, M. (2008). Repérer les conceptions des élèves du primaire au lycée. Dans M. Coquidé, & S. Tirard (Éds.), *Evolution du vivant : Un enseignement semé d'embûches ?* Paris : Editions Adapt.
- Coquidé, M., & Le Maréchal, J.-F. (2006). *Introduction. Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts*. Paris: INRP.
- Coquidé, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, 49, 51-78.

- Coulet, J.-C. (2009). Un modèle de la compétence pour la conception, la mise en oeuvre et l'évaluation de dispositifs pédagogiques et didactiques. *Actes EIAH, 09*, 295-302.
- Coulet, J.-C. (2010). Mobilisation et construction de l'expérience dans un modèle de la compétence. *Travail et apprentissages, 6*, 181-198.
- Coulet, J.-C. (2011). Une approche psychologique de la gestion des compétences, Au delà de l'opposition expert/novice. Clermont-Ferrand : Colloque GESCO.
- Darley, B., & Bomchil, S. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster, 26*, 85-108.
- Dubar, C. (2000). *La socialisation, construction des identités sociales et professionnelles*. Paris : A. Colin (3e éd).
- Fenstermacher, G. (1994). The knower and the known: The nature of knowledge in research on teaching. (L. Darling-Hammond, Éd.) *Review of research in education, 20*, 3-56.
- Fischer, M., & Boreham, N. (2004). Work process Knowledge: origins of the concept and current development. Dans M. Fischer, N. Boreham, & B. Niham (Éds.), *European perspectives on learning at work – The acquisition of work process knowledge* (pp. 12-53). Luxembourg : CEDEFOP.
- Flanagan, J. (1954). The critical incident technique. *Psychological bulletin, 51*(4), 327-358.
- Geddis, A., Onslow, B., Beynon, C., & Oesch, J. (1993). Transforming content knowledge: Learning to teach about isotopes. *Science Education, 77*, 575-591.
- Gess-Newsome, J. (1999). Secondary teachers' knowledge and beliefs about subject matter and their impact on instruction. Dans J. Gess-Newsome, & N. Lederman (Éds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 51-94). Boston : Kluwer.
- Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G. (1999). *Examining Pedagogical Content Knowledge*.
- Gill, R. (1996). Discourse analysis: Methodological aspects. *Handbook of Qualitative Research Methods for Psychology and the Social Sciences*.

- Glaser, B., & Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory. Strategies for qualitative research*. Chicago : Aldine.
- Grangeat, M. (1997, 2^o éd. 1999). La métacognition, un enjeu pour l'autonomisation. Dans M. Grangeat (Éd.), *La métacognition, une aide au travail des élèves* (pp. 95-129). Paris : ESF éditeur.
- Grangeat, M. (2010). Effets de la confrontation entre enseignants de sciences débutants sur leurs conceptualisations et leurs pratiques en ce qui concerne les démarches d'investigation. *Symposium Le travail collectif enseignant : pratiques, modélisations, effets - Dans le cadre du projet européen S-TEAM les démarches d'investigation*. Genève : AREF.
- Grangeat, M. (2011). Le travail collectif enseignant : éléments de modélisation du développement professionnel. Dans M. Grangeat (Éd.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (pp. 79-106). Lyon: Ecole Normale Supérieure.
- Grangeat, M. (à paraître). Modéliser les ESFI : identifier le développement des compétences professionnelles pour les individus et les collectifs. Dans M. Grangeat (Éd.), *Le travail collectif dans les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : formations, pratiques, effets*. nd.
- Grangeat, M., & Munoz, G. (2011). La complexité des savoirs enseignants : une articulation entre expérience des acteurs, dispositifs de formation et théories d'enseignement. Dans P. Maubant, & S. Martineau (Éds.), *Fondements des pratiques professionnelles des enseignants* (pp. 143-164). Ottawa : Presses Universitaires d'Ottawa.
- Grossman, P. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York : Teachers College Press.
- Grossman, P., Wilson, S., & Shulman, L. S. (1989). Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching. Dans M. Reynolds (Éd.), *Knowledge base for the beginning teacher* (pp. 23-36). New York : Pergamon.

- Gueudet, G., & Trouche, L. (2009). Conception et usages de ressources pour et par les professeurs : développement associatif et développement professionnel. *Dossiers de l'ingénierie éducative*, 65, 78-82.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2010). Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires. Dans G. Gueudet, & L. Trouche (Éds.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques* (pp. 57-74). Presses Universitaires de Rennes et INRP.
- Hashweh, M. (2005). Teacher Pedagogical Constructions: a reconfiguration of Pedagogical Content Knowledge. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 11, 273-292.
- Hergé. (1950). On a marché sur la Lune. Dans *Les Aventures de Tintin* (p. 30). Editions Casterman.
- Hoc, J.-M. (1996). *Supervision et contrôle de processus*. Grenoble : PUG.
- Hominal, M. (1995). La polyvalence ou l'alliance de l'un et du multiple. *Former des maîtres*(47), 5-6.
- Kolb, D. (1984). *Experiential learning : experience as a source of learning and development*. Englewood Cliffs : Prentice Hall.
- Lantz, O., & Katz, H. (1987). Chemistry teachers' functional paradigms. *Science Education*, 71, 117-134.
- Lemberger, J., Hewson, P., & Park, H. (1999). Relationships between prospective secondary teachers' classroom practice and their conceptions of biology and of teaching science. *Science Education*, 83(3), 347-371.
- Leontiev, A. (1972). *Le développement du psychisme*. Paris : Editions sociales.
- Leontiev, A. (1975). *Activité, conscience, personnalité*. Moscou : Editions du progrès.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Paris : PUF.
- Leplat, J. (2006). Les contextes de formation. *Education Permanente*, 166, 29-48.
- Lhoste, Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3ème : Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster*, 42, 79-108.

- Magnusson, S., & Palincsar, A. (1995). Learning environments as a site of science education reform: An illustration using interdisciplinary guided inquiry. *Theory into Practice*, 34(1), 43-50.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. Dans J. Gess-Newsome, & N. Lederman (Éds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Boston: Kluwer.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière ; des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Bern : Peter Lang.
- Martinand, J.-L. (1994). Les sciences à l'école primaire : questions et repères. Dans B. Andries, & I. Beigbeder, *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*. CNDP, Hachette.
- Martinand, J.-L. (1995c). La référence et l'obstacle. *Perspectives documentaires en éducation*, 34, 7-22.
- Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques*, 1-12. Cachan (1994-1995): Association Tour 123.
- Marx, R., Blumenfeld, P., Krajcik, J., Blunk, M., Crawford, B., Kelley, B., & Meyer, K. (1994). Enacting project-based science: Experiences of four middle grade teachers. *Elementary School Journal*, 517-538.
- Mathé, S., Méheut, M., & de Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-76.
- Michaud, G. (1993). *Elaboration et vérification d'un modèle d'apprentissage dans l'action en entreprise dans le cadre de l'alternance travail-études et de la formation des employés*. Sherbrooke : Noir sur blanc.
- Ministère de l'Education Nationale. (2000, 15 juin). Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie. *BOEN*, n°23.
- Ministère de l'Education Nationale. (2002). Enseigner les sciences à l'école. *Document d'accompagnement des programmes*. Sceren.

- Ministère de l'Education Nationale. (2002, 14 février). Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire. *BOEN, HS n°1*.
- Ministère de l'Education Nationale. (2002). Sciences et technologie (cycle 3). *Document d'application des programmes*. Sceren.
- Ministère de l'Education Nationale. (2005, 25 août). Programme des collèges. *BOEN, HS n°5*.
- Ministère de l'Education Nationale. (2008, 28 août). Les programmes du collège. *BOEN, Spécial n°6*.
- Ministère de l'Education Nationale. (2008, 19 juin). Programmes d'enseignement de l'école primaire. *BOEN, n°3*.
- Montmollin, M. (1986). *L'intelligence de la tâche. Eléments d'ergonomie cognitive*. Bern: Peter Lang.
- Morge, L. (2003). Connaissances professionnelles locales : cas d'une séance sur le modèle particulière. *Didaskalia*, 23, 101-131.
- Naslin, P. (1958). *Technologie et calcul pratique des systèmes asservis*. Paris : Dunod.
- National Science Teachers Association. (1998). Standards for science teacher preparation. Arlington, VA.
- Northfield, J., & Fraser, B. (1977). Teacher characteristics and pupil outcomes in secondary science classrooms. *Research in Science Education*, 7, 113-121.
- Nosulenko, V., & Rabardel, P. (2007). *La question de l'activité dans la psychologie russe*. Toulouse : Octarès.
- Ochanine, D. (1981, juin 1-5). L'image opérative. *Actes d'un séminaire organisé par l'université de Paris 1 (Panthéon-Sorbonne)*. Paris: Centre d'éducation permanente, département d'ergonomie et d'écologie humaine.
- Ombredane, A., & Faverge, J.-M. (1955). *L'analyse du travail : facteur d'économie humaine et de productivité*. Paris : PUF.
- Park, S., & Oliver, J. (2007, juin 16). *Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals*. Consulté le août 22, 2012, sur Springer Science: <http://www.springerlink.com/content/u3362q18558h7282/>

- Pastré, P. (1997). Didactique professionnelle et développement. *Psychologie française*, 42(1), 89-100.
- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Education Permanente*, 139, 13-35.
- Pastré, P. (2005). La conception de situations didactiques à la lumière de la théorie de la conceptualisation dans l'action. Dans P. Rabardel, & P. Pastré (Éds.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement* (pp. 73-108). Toulouse : Octarès.
- Pastré, P. (2006). Apprendre par l'action, apprendre par la simulation. *Education Permanente*, 168, 205-216.
- Pastré, P. (2008). Apprentissage et activité. Dans Y. Lenoir, & P. Pastré (Éds.), *Didactique professionnelle et didactiques des disciplines en débat* (pp. 53-79). Toulouse : Octarès.
- Pastré, P. (2011). *La didactique professionnelle*. Paris : PUF.
- Pastré, P., Vergnaud, G., & Mayen, P. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 154, 145-198.
- Pélissier, L., & Venturini, P. (2012). Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission savoirs épistémologiques ? Dans *Didactique des sciences et Démarches d'investigation. Références, représentations, pratiques et formation* (pp. 151-181). Paris : L'Harmattan.
- Peterson, R., & Treagust, D. (1995). Developing preservice teachers' pedagogical reasoning ability. *Science Education*, 25, 291-305.
- Piaget, J. (1973). *Biologie et connaissance*. Paris : Gallimard.
- Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : PUF.
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration, problème central du développement*. Paris : PUF.
- Power, M. (2008). *Le concepteur pédagogique réflexif : un journal de bord*. Athabasca, AB: Athabasca University Press.
- Rabardel, P. (2005). Instrument subjectif et développement du pouvoir agir. Dans P. Rabardel, & P. Pastré (Éds.), *Modèles du sujet pour la conception* (pp. 11-30). Toulouse : Octares.

- Rabardel, P. (2007). Principes pour la construction d'une didactique professionnelle . Dans Merri (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud* (pp. 87-90). Toulouse: Presses universitaires du Mirail.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A., & Goodstein, L. (1994). *Cognitive systems Engineering*. New York: Wiley.
- Reynolds, M. (1989). *Knowledge base for the beginning teacher*. Oxford, England: Pergamon.
- Rogalski, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe ? Une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 23(3), 343-388.
- Roth, K., Anderson, C., & Smith, E. (1987). Curriculum materials, teacher talk and student learning : case studies in fifth-grade science teaching. *Journal of Curriculum Studies*(19), 527-548.
- Rothman, A., Welch, W., & Walberg, H. (1969). Physics teacher characteristics and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*(6), 59-63.
- Ruopp, R., Gal, S., Drayton, B., & Pfister, M. (1993). *LabNet: Toward a community of practice*. Hillsdale, New Jersey : Erlbaum.
- Samurçay, R., & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. Dans R. Samurçay, & P. Pastré (Éds.), *Recherches en didactique professionnelle* (pp. 163-180). Toulouse: Octarès.
- Sanchez, E. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la Terre ? *Education & Didactique*, 2(2), 97-122.
- Schön, D. (1983). *The reflective practitioner*. New York : Basic Books.
- Schön, D. (1987). *Educating the reflective practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions*. San Francisco : Jossey-Bass.
- Schubauer-Leoni, M. (2000). Comprendre l'éducation depuis la psychologie en passant par une approche de didactique comparée. *Carrefours de l'éducation*, 9, 65-94.
- Schubauer-Leoni, M., Leutenegger, F., Ligozat, F., & Fluckinger, A. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. Dans G. Sensevy, & A.

- Mercier (Éds.), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 51-91). Rennes : PUR.
- Schubauer-Leoni, M.-L., Leutenegger, F., & Forget, A. (2007). L'accès aux pratiques de fabrication de traces scripturales convenues au commencement de la forme scolaire : interrogations théoriques et épistémologiques. *Éducation et didactique*, 1(2), 9-36.
- Schwab, J. (1964). The structure of disciplines: Meanings and significance. Dans G. Ford, & L. Pugno (Éds.), *The structure of knowledge and the curriculum*. Chicago : Rand McNally.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. Dans G. Sensevy, & A. Mercier (Éds.), *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes : PUR.
- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes : PUR.
- Sensevy, G., Forest, D., Rubin, E., Salam, L., Salou, Turco, G., & Vigouroux, J.-M. (2000). Polyvalence et action du professeur. Dans *Travaux des équipes et résumés des résultats. Journées d'étude "Polyvalence des maîtres et formation des professeurs des écoles - Bilan de recherches 1997-2000"*. Paris : INRP.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Smith, D., & Cooper, B. (1967). A study of various techniques in teaching science in the elementary school. *School Science and Mathematics*, 67, 559-566.
- Sweeney, A., Bula, O., & Cornett, J. (2001). The role of personal practice theories in the professional development of a beginning high school chemistry teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(4), 408-441.
- Tamir, P. (1983). Inquiry and the Science Teacher. *Science Education*, 67, 657-672.
- Tardif, F. (1992). Pour un enseignement stratégique: l'apport de la psychologie cognitive. Montréal : Éditions Logiques.

- Theureau, J. (1992). *Le cours d'action : Analyse sémiologique. Essai d'une anthropologie cognitive située*. Bern : Peter Lang.
- Thiberghien, A., & Vince, J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. Dans V. Pugibet, & N. Gettliffe-Grant (Éds.), *Cahier du Français Contemporain* (Vol. 10, pp. 153-176). ENS Editions.
- Triquet, E., & Guillaud, J.-C. (2011). Démarche scientifique et démarche d'investigation : points de vue d'enseignants stagiaires à l'IUFM. Dans M. Grangeat (Éd.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique : Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (pp. 62-74). Lyon: INRP.
- Van Driel, J., Verloop, N., & de Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 673-695.
- Vanhulle, S. (2009). Dire les savoirs professionnels : savoirs de référence et logique d'action. Dans *Savoirs en (trans)formation. Au coeur de l'enseignement et de la formation* (pp. 245-264). Bruxelles : De Boeck.
- Veal, W. R., & MaKinster, J. (1999). *Pedagogical Content Knowledge Taxonomies*. (E. J. Education, Éd.) Consulté le août 14, 2012, sur Wolfweb - Faculty/Staff Websites: <http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/vealmak.html>
- Venturini, P., & Amade-Escot, C. (2010). Analyse didactique au niveau micro d'un corpus vidéo portant sur la démarche d'investigation en physique, dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique. Dans P. Venturini (Éd.), *Analyse croisée d'un même corpus vidéo et des documents associés appartenant à une base de vidéos de situations d'enseignement apprentissage (ViSA) : conditions de possibilité, limites, objets-frontière*. Genève : Congrès AREF 2010.
- Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie française*, 30(3, 4), 245-252.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des Champs Conceptuels. *Recherches en didactiques des mathématiques*, 10(2, 3), 133-170.
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. Dans J. BARBIER (Éd.), *Savoirs didactiques et savoirs d'action*. Paris : PUF.
- Vergnaud, G. (2001). Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, 33, 107-123.

- Vergnaud, G. (2002). Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance. *GDM* (pp. 6-27). J. Portugais.
- Vergnaud, G. (2008). De la didactique des disciplines à la didactique professionnelle, il n'y a qu'un pas. *Revue Travail et Apprentissages*, 1, 51-57.
- Vergnaud, G., & Récopé, M. (2000). De Renault d'Allonnes à une théorie du schème aujourd'hui. *Psychologie Française*, 45(1), 35-50.
- Vermersch, P. (1994, 2003). *L'entretien d'explicitation*. Paris: ESF.
- Vinatier, I. (2007). L'inscription identitaire d'un professionnel de la relation d'aide (maitre G) dans une interaction avec une élève en difficultés : une entrée dans l'analyse des dialogues. Dans A. Specogna (Éd.), *Enseigner dans l'interaction* (pp. 137-171). Nancy: PUN.
- Vinatier, I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. Rennes : PUR.
- Vinatier, I. (2010). L'entretien en co-explicitation entre chercheur et enseignant : une voie pour une redéfinition à posteriori des raisons de l'action. Dans S. Khan, M. Hersant, & D. Orange-Ravachol (Éds.), *Savoirs et collaborations entre enseignants et chercheurs en éducation* (éd. <http://www.recherches-en-education.net/>, Vol. Hors série n°1, pp. 111-129). Recherches en éducation.
- Wagemann, L., & Percier, M. (2004). De la difficulté méthodologique à reconnaître une compétence complexe. Étude de l'acquisition d'une compétence de base dans l'entraînement initial à la conduite d'un processus continu. Dans R. Samurçay, & P. Pastré (Éds.), *Recherches en didactique professionnelle*. Toulouse : Octarès.
- Walliser, B. (1977). *Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes*. Paris : Seuil.
- Willson, S., Shulman, L. S., & Richert, A. (1987). "150 different ways" of knowing: Representations of knowledge in teaching. Dans J. Calderhead (Éd.), *Exploring teachers' thinking* (pp. 104-124). London : Cassell.

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Schéma d'un système de régulation (Leplat, 2006)	32
Figure 2 : Schéma sur la modélisation en sciences (Martinand, 1996)	38
Figure 3 : <i>A model of the relationships among the domains of teacher knowledge</i> (Grossman, 1990).....	42
Figure 4 : <i>Examining Pedagogical Content Knowledge</i> (J. Gess-Newsome et N.G. Lederman, 1999)	45
Figure 5 : Suivi de Florence et Henri pendant la séquence de mécanique, année 1	61
Figure 6 : Suivi de Francis et André pendant la séquence d'électricité.....	62
Figure 7 : Les trois grains d'analyse dans un synopsis de séance.....	68
Figure 8 : Modélisation de la situation d'entrée. Cas de Florence	92
Figure 9 : Modélisation de l'activité « Points de contact entre la pile et la lampe ». Cas d'André	102
Figure 10 : Organisation de l'activité sur la mesure du poids d'un objet. Cas d'Henri	116
Figure 11 : Boucle longue : Evolution de l'incident critique en incident prévu. Cas de Florence	178
Figure 12 : Boucle à changement de schème. Cas d'Henri	183

Tableaux

Tableau 1 : Extrait du synopsis de la séance 1 mise en œuvre par André.....	70
Tableau 2 : Extrait du synopsis montrant les tensions entre le professeur et les élèves	71
Tableau 3 : Extrait du synopsis de la séance 1 de Florence sur poids et masse	74
Tableau 4 : Extrait du transcript de l'entretien en auto-analyse simple avec Florence	75
Tableau 5 : Extrait du transcript de la séance 1 de Florence. Amalgame entre masse et volume	75
Tableau 6 : Extrait du transcript de l'auto-analyse croisée à propos de la situation d'entrée proposée par Florence	77
Tableau 7 : Année 1. Schème A « Classification des propositions des élèves ». Cas de Florence.	91
Tableau 8 : Année 1. Schème B « Connaissance des C.I. des élèves ». Cas de Florence	91
Tableau 9 : Schème A « Identification des points de contact entre la pile et la lampe ». Cas d'André	99
Tableau 10 : Année 1. Invariants opératoires. Schème A « Classification des propositions des élèves » . Cas de Florence	109
Tableau 11 : Année 1. Invariants opératoires. Schème B « Connaissance des C.I. des élèves... ». Cas de Florence	109
Tableau 12 : Invariants opératoires. Schème A « Identification des points de contact... ». Cas d'André	111
Tableau 13 : Invariants opératoires. Schème A « Réalisation d'un circuit élémentaire ». Cas d'André	112
Tableau 14 : Types de connaissances identifiés dans les invariants opératoires. Cas de Florence et d'André	114
Tableau 15 : Année 1. Inférences. Schème B « Connaissance des C.I... ». Cas de Florence	115
Tableau 16 : Année 1. Inférences. Schème A « Classification des propositions... ». Cas de Florence	116
Tableau 17 : Inférences. Schème C « Principe de fonctionnement du dynamomètre ». Cas d'Henri	117
Tableau 18 : Inférences. Schème D « Application à un autre type de dynamomètre ». Cas d'Henri	117
Tableau 19 : Inférences du schème A. Cas d'André.....	118
Tableau 20 : Items référencés dans l'évaluation. Cas de Florence	121
Tableau 21 : Items référencés dans l'évaluation. Cas d'Henri	121
Tableau 22 : Année 1. Sous-schème 1 - Incident critique « Amalgame... ». Cas de Florence.....	175
Tableau 23 : Année 1. Sous-schème 2.1 - Incident critique « Amalgame... ». Cas de Florence ...	175

Tableau 24 : Année 1. Sous-schème 3 - Incident critique « Amalgame... ». Cas de Florence	176
Tableau 25 : Année 2 : Evolution d'un invariant opératoire. Schème B « Connaissance des C.I... ». Cas de Florence	177
Tableau 26 : Année 2. Evolution d'une inférence. Schème B « Connaissance des C.I... ». Cas de Florence	177
Tableau 27 : Année 2. Evolution du sous-schème 2.2- Incident prévu « Amalgame... ». Cas de Florence	178
Tableau 28 : Année 1. Schème B.1 « Introduction de l'activité expérimentale ». Cas d'Henri....	180
Tableau 29 : Année 2. Changement de schème B.2 « Introduction de l'activité expérimentale ». Cas d'Henri	182

Transcripts de séances de classe

Transcript de séance - 1 : Emergence des conceptions initiales. Cas de Florence.....	82
Transcript de séance - 2 : Mise en doute, séance 1. Cas de Florence	86
Transcript de séance - 3 : Confusion entre poids et masse. Cas de Florence	87
Transcript de séance - 4 : Amalgame entre masse et volume. Cas de Florence	93
Transcript de séance - 5 : Identification des bornes de la pile. Cas d'André	95
Transcript de séance - 6 : Définition des lames de la pile. Cas d'André.....	95
Transcript de séance - 7 : Nécessité d'un vocabulaire commun. Cas d'André.....	95
Transcript de séance - 8 : Définition du culot de la lampe. Cas d'André	95
Transcript de séance - 9 : Reformulation de la question de départ. Cas d'André	96
Transcript de séance - 10 : Schéma du montage pile/lampe. Cas d'André.....	97
Transcript de séance - 11 : Incident critique n°1. Cas d'André	100
Transcript de séance - 12 : Incident critique n°2. Cas d'André	101
Transcript de séance - 13 : Relation entre le poids et la masse. Année 1. Cas de Florence	146
Transcript de séance - 14 : Relation mathématique. Année 1. Cas de Florence.....	146
Transcript de séance - 15 : Relation entre le poids et la masse. Année 2. Cas de Florence	147
Transcript de séance - 16 : Introduction du texte extrait du magazine Science&Vie Junior. Cas de Florence	155
Transcript de séance - 17 : Définition du poids. Cas de Florence.	156
Transcript de séance - 18 : Effectuer un circuit simple. Cas d'André	163
Transcript de séance - 19 : Effectuer un montage série. Cas de Francis.....	164
Transcript de séance - 20 : Description de la guirlande de Noël. Cas d'André	167

Transcript de séance - 21 : Année 1 : Mesure du poids d'un objet. Cas de Henri.....	185
Transcript de séance - 22 : Cas de Henri.....	186
Transcript de séance - 23 : Cas d'Henri.....	186

Transcripts d'entretiens en auto-analyse

Transcript d'entretien - 1 : Deux buts. Avec Florence	83
Transcript d'entretien - 2 : PCK/é. Avec Florence	84
Transcript d'entretien - 3 : Confusion entre poids et masse. Avec Florence.....	87
Transcript d'entretien - 4 : A propos de l'incident critique n°1. Avec André.....	101
Transcript d'entretien - 5 : Evaluations sommatives. Avec André et Francis	123
Transcript d'entretien - 6 : Influence des évaluations sur la pratique de classe. Avec Florence.	124
Transcript d'entretien - 7 : Erreur d'unité de mesure de masse. Avec Florence	125
Transcript d'entretien - 8 : Notion d'apesanteur. Avec Florence et Henri	127
Transcript d'entretien - 9 : Notion de force centrifuge. Avec Florence et Henri.....	127
Transcript d'entretien - 10 : Mise en tableau du poids et de la masse. Avec Florence.....	130
Transcript d'entretien - 11 : Différences selon les classes. Avec Florence et Henri	130
Transcript d'entretien - 12 : Mise en tableau du poids et de la masse. Avec Florence et Henri.	131
Transcript d'entretien - 13 : Phases orales trop longues. Avec Francis.....	160
Transcript d'entretien - 14 : Exemple de la digestion. Avec André	161
Transcript d'entretien - 15 : Organisation de la consigne de travail. Avec André	164
Transcript d'entretien - 16 : Construction d'un écrit de synthèse. Avec André	165

Table des matières

CHAPITRE 1 :	INTRODUCTION	9
CHAPITRE 2 :	CADRE THEORIQUE	13
2.1.	INTRODUCTION	13
2.2.	LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE ET SON ENVIRONNEMENT THEORIQUE	14
2.2.1.	<i>La théorie de la conceptualisation dans l'action</i>	<i>15</i>
2.2.2.	<i>Psychologie ergonomique et didactique professionnelle</i>	<i>17</i>
2.2.3.	<i>Didactiques des disciplines et didactique professionnelle</i>	<i>21</i>
2.3.	LE SCHEME COMME UNITE ELEMENTAIRE D'ACTIVITE	24
2.3.1.	<i>Définition du schème</i>	<i>24</i>
2.3.2.	<i>Les composantes du schème</i>	<i>26</i>
2.3.2.1.	Le but, les sous-buts, les anticipations	26
2.3.2.2.	Les règles d'actions, de prise d'informations et de contrôle	28
2.3.2.3.	Les inférences	28
2.3.2.4.	Les invariants opératoires : concepts-en-acte et théorèmes-en-acte	29
2.3.3.	<i>Les propriétés de l'activité humaine</i>	<i>30</i>
2.4.	LE CONCEPT DE REGULATION	31
2.4.1.	<i>Une définition et un modèle</i>	<i>32</i>
2.4.2.	<i>Le modèle de régulation dans une analyse de l'activité</i>	<i>33</i>
2.5.	SYNTHESE DES OUTILS ISSUS DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE	35
2.6.	LA MODELISATION DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES	36
2.6.1.	<i>Le référent empirique</i>	<i>37</i>

2.6.2.	<i>Un schéma de modélisation</i>	38
2.7.	LES CONNAISSANCES DES ENSEIGNANTS	39
2.7.1.	<i>Point historique</i>	39
2.7.2.	<i>Le modèle de Shulman</i>	40
2.7.3.	<i>Évolutions du modèle de Shulman</i>	41
2.7.4.	<i>Les connaissances du contenu pédagogique (PCK)</i>	43
2.7.5.	<i>Choix d'un modèle de PCK</i>	44
2.7.6.	<i>Étude des cinq composantes des PCK</i>	45
2.7.6.1.	Orientation pour l'enseignement des sciences.....	45
2.7.6.2.	Connaissances sur les élèves	46
2.7.6.3.	Connaissance des programmes de sciences	47
2.7.6.4.	Connaissance des stratégies d'enseignement des sciences.....	47
2.7.6.5.	Connaissance de l'évaluation scientifique	47
2.7.7.	<i>Connaissances des enseignants et action</i>	48
2.8.	SYNTHESE DU CADRE THEORIQUE.....	50
2.9.	QUESTIONS ET HYPOTHESES DE RECHERCHE	51
CHAPITRE 3 :	METHODOLOGIE	55
3.1.	INTRODUCTION	55
3.2.	PRINCIPES METHODOLOGIQUES.....	55
3.2.1.	<i>Le suivi hors classe des enseignants</i>	56
3.2.2.	<i>Une étude de l'écart entre le prévu et le réalisé</i>	56
3.2.3.	<i>La confrontation du professeur à son action</i>	57
3.3.	OUTILS DE RECUEIL DE DONNEES	57
3.3.1.	<i>Un questionnaire de présentation</i>	57
3.3.2.	<i>Un journal de bord individuel</i>	58
3.3.3.	<i>Le recueil des données vidéo</i>	59
3.3.4.	<i>Les entretiens</i>	59
3.3.5.	<i>Vue d'ensemble</i>	60
3.3.5.1.	Dans le second degré.....	61
a.	Année 1	61
b.	Année 2	61
3.3.5.2.	Dans le premier degré	62
3.4.	CONTEXTE DE L'ETUDE.....	63
3.4.1.	<i>Le choix des enseignants</i>	63
3.4.1.1.	Cas du second degré.....	64
3.4.1.2.	Cas du premier degré	64
3.4.2.	<i>Le choix des thèmes d'étude</i>	65
3.4.3.	<i>Les classes observées</i>	65

3.5.	OUTILS DE TRAITEMENT DES DONNEES.....	66
3.5.1.	<i>Premier niveau d'analyse : les synopsis.....</i>	67
3.5.1.1.	Début de la séance d'André.....	68
3.5.1.2.	Notation des tensions entre élèves et professeur	71
3.5.2.	<i>Deuxième niveau d'analyse</i>	72
3.5.2.1.	Transcription des vidéos	72
3.5.2.2.	Incident critique : amalgame entre masse et volume	73
3.6.	CONCLUSION.....	77
CHAPITRE 4 :	UNE ORGANISATION DE L'ACTIVITE	79
4.1.	INTRODUCTION.....	79
4.2.	UNE NOUVELLE DESCRIPTION DU SCHEME	80
4.3.	CAS DE FLORENCE	81
4.3.1.	<i>Transcript de la séance n° 1.....</i>	81
4.3.2.	<i>Transcript de l'entretien en auto-analyse simple</i>	83
4.3.3.	<i>Caractérisation des schèmes A et B.....</i>	85
4.3.3.1.	Le schème A.....	85
a.	But	85
b.	Anticipation	85
c.	Inférences	85
d.	Indices	86
e.	Règles d'action	87
f.	Invariants opératoires	87
4.3.3.2.	Le Schème B.....	88
4.3.4.	<i>Développement des schèmes</i>	89
4.3.4.1.	Le schème A.....	90
4.3.4.2.	Le schème B	91
4.3.5.	<i>Organisation de l'activité de Florence</i>	92
4.3.5.1.	Une organisation en schèmes et sous-schèmes	92
4.3.5.2.	Un incident critique	93
4.4.	CAS D'ANDRE.....	94
4.4.1.	<i>Séance 1 : pile/lampe</i>	94
4.4.2.	<i>Une organisation en but et sous-buts.....</i>	98
4.4.3.	<i>Modélisation de l'activité d'André.....</i>	100
4.4.3.1.	Deux incidents critiques.....	100
4.4.3.2.	L'activité d'André.....	102
4.5.	CONCLUSION.....	103
CHAPITRE 5 :	LES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES DANS L'ORGANISATION DE L'ACTIVITE	107
5.1.	INTRODUCTION.....	107

5.2.	LIENS ENTRE LES CONNAISSANCES ET LES SCHEMES	108
5.2.1.	<i>Dans les invariants opératoires</i>	108
5.2.1.1.	Dans le second degré. Cas de Florence	108
a.	Invariants opératoires du schème A	109
b.	Invariants opératoires du schème B	109
5.2.1.2.	Dans le premier degré. Cas d'André	110
a.	Mise en commun suivant une activité expérimentale	110
b.	Lancement d'une activité expérimentale	112
5.2.1.3.	Bilan des connaissances identifiées	114
5.2.2.	<i>Dans les inférences</i>	115
5.2.2.1.	Etude en fonction du but dans une organisation prévue	115
5.2.2.2.	Cas d'un incident critique	118
5.3.	LES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES	119
5.3.1.	<i>Les PCK</i>	119
5.3.1.1.	Connaissances sur les stratégies	120
5.3.1.2.	Connaissances de l'évaluation	120
a.	Dans le second degré	121
b.	Dans le premier degré	122
c.	L'évaluation permet l'acquisition de nouvelles PCK	123
5.3.1.3.	Orientations pour l'enseignement des sciences	125
5.3.2.	<i>Les SMK</i>	126
5.3.3.	<i>Les connaissances sur le contexte : KofC</i>	129
5.4.	CONCLUSION	132
CHAPITRE 6 :	DEMARCHES D'INVESTIGATION ET CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES	137
6.1.	INTRODUCTION	137
6.2.	LA DI AU COLLEGE	138
6.2.1.	<i>La DI dans les programmes</i>	138
6.2.2.	<i>Choix des situations-problème</i>	140
6.2.2.1.	Connaissances professionnelles en jeu	141
6.2.2.2.	Quel support pour une situation-problème ?	143
6.2.2.3.	Manque de liaison entre la situation-problème et les investigations	144
6.2.3.	<i>La démarche de nature inductive ou déductive</i>	146
6.2.4.	<i>Une démarche contrôlée</i>	149
6.2.5.	<i>Bilan de notre analyse avec le modèle ESFI</i>	151
6.3.	LA DI A L'ECOLE : POINTS COMMUNS ET DIFFERENCES AVEC LE COLLEGE	152
6.3.1.	<i>La DI dans les programmes de l'école primaire</i>	152
6.3.2.	<i>Le principe de diversité absent au collège</i>	154
6.3.3.	<i>Choix de mises en œuvre observés au cycle 3</i>	158
6.3.3.1.	La situation d'entrée	158

6.3.3.2.	Des phases expérimentales	162
6.3.3.3.	Une démarche contrôlée	167
6.3.3.4.	Une démarche inductive.....	168
6.3.4.	<i>Analyse avec le modèle ESFI</i>	169
6.4.	CONCLUSION.....	169
CHAPITRE 7 :	EVOLUTION(S) DE L'ACTIVITE DES ENSEIGNANTS	173
7.1.	INTRODUCTION.....	173
7.2.	CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES ET REGULATION RETROACTIVE DE L'ACTIVITE.....	174
7.2.1.1.	Une boucle courte de régulation	175
7.2.1.2.	Une boucle longue de régulation.....	176
7.2.1.3.	Capitalisation des connaissances.....	179
7.2.2.	<i>Une boucle courte puis une boucle « changement de schème »</i>	180
7.2.2.1.	Une boucle courte de régulation	180
7.2.2.2.	Une boucle « changement de schème ».....	181
7.2.2.3.	Effets des régulations sur la nature de la tâche des élèves	183
a.	Le référent empirique au dynamomètre	184
b.	Première année d'étude : le principe de fonctionnement d'un dynamomètre	184
c.	Deuxième année d'étude : évolution de la tâche des élèves.....	186
7.2.3.	<i>Conséquences de notre étude sur les boucles de régulation</i>	187
7.3.	EVOLUTION DE CONNAISSANCES POUR L'ACQUISITION DE L'EXPERIENCE PROFESSIONNELLE	188
7.3.1.	<i>Repérer des mécanismes d'acquisition d'expérience</i>	189
7.3.2.	<i>Le modèle opératif des enseignants</i>	189
7.3.3.	<i>Coexistence de schèmes : cas de l'incident « prévu »</i>	192
7.4.	CONCLUSION.....	192
CHAPITRE 8 :	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	197
8.1.	RETOUR SUR LES QUESTIONS ET LES HYPOTHESES DE RECHERCHE.....	197
8.2.	INTERETS DE DECRIRE LES SCHEMES DES ENSEIGNANTS	199
8.2.1.	<i>Identification des connaissances professionnelles en jeu</i>	199
8.2.2.	<i>Caractériser des évolutions de l'activité</i>	201
8.2.3.	<i>Comprendre une forme d'acquisition d'expérience</i>	203
8.3.	DISCUSSION CONCERNANT LE MODELE DES PCK	204
8.4.	ELEMENTS DE CONTINUITE(S) ET DE RUPTURE(S) DES DI ENTRE LE COLLEGE ET L'ECOLE PRIMAIRE.....	205
8.4.1.	<i>Au niveau des programmes et dans les pratiques</i>	205
8.4.2.	<i>Les connaissances professionnelles en jeu</i>	207
8.4.3.	<i>Quelques pistes pour la formation des enseignants</i>	208
8.5.	DES INDICES SUR LA SPECIALITE DES ENSEIGNANTS	210
8.6.	LE POINT DE VUE DES DEUX DIDACTIQUES POUR ANALYSER L'ACTIVITE DES ENSEIGNANTS	212
8.6.1.	<i>Le but de l'enseignant et la tâche de l'élève</i>	213

8.6.2. Les connaissances professionnelles en jeu.....	214
8.6.2.1. Au cours de l'activité	214
8.6.2.2. Au cours des réorganisations de l'activité	215
8.7. PERSPECTIVES.....	216
RÉFÉRENCES.....	221
TABLE DES ILLUSTRATIONS	235
TABLE DES MATIERES.....	239
ANNEXES	245

Annexes

I.	PROGRAMMES ET DOCUMENTS DU MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE	247
ANNEXE 1	DEMARCHE D'INVESTIGATION. ECOLE PRIMAIRE, CYCLE 3 (2002).....	248
ANNEXE 2	COLLEGE (2008) - DEMARCHE D'INVESTIGATION	251
ANNEXE 3	COLLEGE - DE LA GRAVITATION ...A L'ENERGIE MECANIQUE.....	252
II.	FICHES DE PREPARATION DES ENSEIGNANTS (PREMIER DEGRE)	253
ANNEXE 4	FICHE DE PREPARATION, SEANCE 1 : ELECTRICITE, ANDRE.....	254
ANNEXE 5	FICHE DE PREPARATION, SEANCE 2 : ELECTRICITE, ANDRE.....	255
ANNEXE 6	FICHE DE PREPARATION, SEANCE 1 : ELECTRICITE, FRANCIS.....	256
ANNEXE 7	FICHE DE PREPARATION, SEANCE 2 : ELECTRICITE, FRANCIS.....	257
III.	DOCUMENTS POUR LA CLASSE	259
ANNEXE 8	FICHE ELEVE, SEANCE 1. CLASSE D'ANDRE	260
ANNEXE 9	FICHE ELEVE, SEANCE 2. CLASSE D'ANDRE	261
ANNEXE 10	DOCUMENTS ELEVES PREVUS, SEANCES 1 ET 2. CLASSE D'ANDRE	262
ANNEXE 11	EVALUATION : LES MONTAGES ELECTRIQUES. CLASSE D'ANDRE	263
ANNEXE 12	EVALUATION DIAGNOSTIQUE, SEANCE 1. CLASSE DE FRANCIS	264
ANNEXE 13	FICHE D'EXERCICES, SEANCE 2. CLASSE DE FRANCIS	265
ANNEXE 14	EVALUATION SOMMATIVE, ELECTRICITE. CLASSE DE FRANCIS.....	266
ANNEXE 15	EXERCICE. CLASSE DE FRANCIS	267
ANNEXE 16	EXTRAIT DE <i>SCIENCES & VIE JUNIOR</i> . CLASSE DE FLORENCE.....	268
ANNEXE 17	EXTRAIT DE <i>LES AVENTURES DE TINTIN</i> (HERGE, 1950). CLASSE D'HENRI	269

ANNEXE 18	TEXTE <i>NEWTON ET LA GRAVITATION</i> . CLASSE D'HENRI	270
ANNEXE 19	EVALUATION : LA GRAVITATION – LE POIDS – LA MASSE. CLASSE DE FLORENCE	271
ANNEXE 20	EVALUATION : DEVOIR DE MECANIQUE. CLASSE D'HENRI	275
IV. EXTRAITS DE REFERENCES THEORIQUES		277
ANNEXE 21	KNOWLEDGE COMPONENTS IN DIFFERENT CONCEPTUALIZATIONS OF PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE (VAN DRIEL, VERLOOP, & DE VOS, 1998).....	278
ANNEXE 22	BUTS DES DIFFERENTES ORIENTATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES (MAGNUSSON & AL., 1999).....	279
ANNEXE 23	CARACTERISTIQUES DE L'ENSEIGNEMENT EN FONCTION DE L'ORIENTATION DE L'ENSEIGNANT (MAGNUSSON & AL., 1999)	280
ANNEXE 24	MODELE EFSI A 6 DIMENSIONS (GRANGEAT, A PARAÎTRE).....	281
V. METHODOLOGIE : RECUEIL DE DONNEES SOLLICITEES POUR LA RECHERCHE		283
ANNEXE 25	QUESTIONNAIRE DE PRESENTATION PERSONNELLE.....	284
ANNEXE 26	JOURNAL DE BORD D'ANDRE (1 ^{ER} DEGRE)	287
ANNEXE 27	JOURNAL DE BORD DE FLORENCE (2 ND DEGRE)	288
VI. METHODOLOGIE : EXTRAITS DE TRANSCRIPTS DES ENTRETIENS		289
ANNEXE 28	CARACTERISTIQUES POIDS/MASSE EN TABLEAU. AVEC HENRI ET FLORENCE	290
ANNEXE 29	CLASSER POIDS ET MASSE DANS UN TABLEAU. AVEC FLORENCE	298
VII. METHODOLOGIE : EXTRAITS DE TRANSCRIPTS ET DE SYNOPSIS DES SEANCES DE CLASSE		301
ANNEXE 30	SYNOPSIS : ELECTRICITE - SEANCE 1 – CAS D'ANDRE	302
ANNEXE 31	TRANSCRIPT : NOMMER LES COMPOSANTS. CLASSE D'ANDRE. SEANCE 1	307
ANNEXE 32	TRANSCRIPT : CARACTERISTIQUES POIDS/MASSE EN TABLEAU – ANNEE1 - CLASSE DE FLORENCE.....	312
ANNEXE 33	SYNOPSIS : POIDS ET MASSE – ANNEE 1, SEANCE 1 - CLASSE D'HENRI	327
ANNEXE 34	TRANSCRIPT : LE DYNAMOMETRE – ANNEE 1, SEANCE 1 - CLASSE D'HENRI.....	330
ANNEXE 35	SYNOPSIS : POIDS ET MASSE – ANNEE 2, SEANCE 1 - CLASSE D'HENRI	333
VIII. DESCRIPTION DES SCHEMES CONVOQUES PAR LES ENSEIGNANTS.....		338
ANNEXE 36	SCHEME A CONVOQUE PAR ANDRE : « REALISATION D'UN CIRCUIT ELEMENTAIRE »	339
ANNEXE 37	SCHEME C ET SCHEME D CONVOQUES PAR HENRI : « PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DYNAMOMETRE » ET « APPLICATION A AUTRE TYPE DE DYNAMOMETRE »	341

I. Programmes et documents du Ministère de l'Éducation Nationale

Annexe 1 Démarche d'investigation. Ecole primaire, cycle 3 (2002)

Permettre aux élèves de construire leur propre savoir

L'enseignement des sciences et de la technologie à l'école doit permettre aux élèves de participer à la construction de leur propre savoir, il doit mettre à profit la curiosité des élèves et satisfaire celle-ci. Sa pédagogie engage les élèves dans des activités d'investigation et de réalisation à partir d'un questionnaire, de propositions de mises en œuvre expérimentales, suscité et encadré par le maître dont une formation scientifique approfondie ne doit pas être considérée comme indispensable.

La méthode proposée s'intègre dans les apprentissages fondamentaux (parler, lire, écrire, compter) et peut être mise en œuvre avec un matériel très simple. Les instructions de cette partie du programme sont à mettre en rapport avec les recommandations de la rubrique relative à la recherche de problèmes en mathématiques.

Les démarches expérimentales d'investigation

La démarche à mettre en œuvre obéit aux principes d'unité et de diversité.

Unité

Cette démarche s'articule autour du questionnement des élèves sur le monde réel : phénomène ou objet, vivant ou non vivant, naturel ou construit par l'homme. Ce questionnement conduit à l'acquisition de connaissances et de savoir-faire, à la suite d'une investigation menée par les élèves accompagnés par le maître.

Diversité

Les compétences et les connaissances attendues des élèves à l'issue du cycle sont construites dans le cadre d'une méthode qui leur permet d'articuler questionnement sur le monde et démarche d'investigation. Grâce aux suggestions du maître, cette démarche peut recourir à diverses formes de travail, y compris au cours d'une même séance :

- expérimentation directe, à privilégier à chaque fois qu'elle est possible ;
- recherche d'une solution technique et réalisation matérielle ;
- observation, directe ou assistée par un instrument, avec ou sans mesure ;
- recherche sur documents ;
- enquête et visite.

La répartition entre ces méthodes d'accès à la connaissance est à équilibrer en fonction de l'objet d'étude.

Du questionnement à la connaissance en passant par une investigation expérimentale

Le maître met en place à partir du monde réel sensible une situation de départ qui suscite la curiosité des élèves et déclenche leurs questions. Il prend en compte leurs idées préalables.

L'exploitation du questionnement nécessite un travail de formulation, tant du point de vue de l'expression française que de celui du contenu précis de la question. Le maître joue à ce niveau un rôle de filtre. En justifiant ses choix, il guide la classe vers l'exploitation des questions, que l'on peut qualifier de « productives », qui satisfont à deux critères :

- elles débouchent sur des expériences, des réalisations ou des observations sans danger matériel, ne soulevant pas d'objections éthiques, réalisables avec les moyens locaux et complétées le cas échéant par une recherche documentaire, pour laquelle la classe dispose de ressources accessibles au niveau des élèves (encyclopédies, cédéroms, sites Internet sélectionnés par le maître) ;

- elles conduisent, à la suite de l'étude précédente, à une connaissance nouvelle, comprise dans les objectifs du programme, assimilable par les élèves, et dont l'accord avec le savoir constitué est assuré.

Les questions des élèves ne peuvent cependant pas être le seul point de départ possible pour une activité scientifique. D'une part, les élèves ne vont pas imaginer tous les problèmes pertinents prévus par les instructions officielles. D'autre part, les programmations de l'enseignant ne peuvent pas être en permanence bouleversées par tel problème évoqué par tel élève. En revanche, il est important d'être attentif aux deux aspects suivants :

- une question étant retenue, qu'elle vienne d'un élève ou de l'enseignant, le maître doit mettre en œuvre la stratégie et le matériel nécessaires pour que toute la classe se l'approprie. Poser un problème, donner aux élèves le temps d'y réfléchir, individuellement puis par petits groupes, confronter les hypothèses, mettre en relief les désaccords, créent une dynamique de classe. Le problème devient celui des élèves. Les désaccords sont alors source de motivation ;

- une fois la classe engagée dans une problématique, toutes les questions qui surgissent en lien avec le sujet traité sont importantes à relever et méritent d'être traitées dans la mesure précisée plus haut.

Outre son intérêt pour l'étude d'une question et la gestion matérielle, le travail en groupe donne aux élèves l'occasion de développer des attitudes comportementales : écoute, respect, coopération.

L'activité d'investigation est entreprise dans un but bien défini

Elle est finalisée par les questions à examiner et par les hypothèses à tester. Elle accorde toute sa place à l'erreur et lui donne un rôle moteur en autorisant les essais qui ne débouchent pas immédiatement sur la solution mais qui remettent en cause les idées initiales et concourent ainsi à la construction d'un nouveau savoir.

La séquence didactique comporte le plus souvent des observations ou des expériences menées par les élèves en petits groupes. Cette organisation du travail leur donne l'occasion de développer des attitudes d'écoute, de respect, de coopération. L'activité des élèves est la règle et les expériences magistrales sont rares. Elles sont justifiées par des impératifs de sécurité. Mais même lorsqu'elles s'imposent, elles n'ont pas à faire l'économie des autres phases de la démarche (questionnement, émission d'hypothèses, confrontations...). L'activité intellectuelle de l'élève reste la priorité, même lorsque l'enseignant manipule. Des moments de synthèse opérés par le maître n'en sont pas moins indispensables pour donner tout leur sens aux pratiques expérimentales et en dégager les enseignements.

Certaines parties du programme ne se prêtant pas aisément à des activités expérimentales, l'observation et la recherche documentaire ont leur place dans une démarche d'investigation. Cependant, tout particulièrement en cycle 3, il doit bien s'agir d'une recherche, et non de la lecture d'un document distribué aux élèves qui donne immédiatement la réponse à la question examinée.

Les réponses aux questions

Issue du questionnement, l'activité d'investigation et de réalisation n'est pas mise en œuvre pour elle-même. Elle doit conduire à une nouvelle connaissance sans laquelle il ne saurait y avoir de démarche réussie.

Pour autant, le maître ne peut pas répondre, de façon compréhensible et légitime, à toutes les questions des élèves. De très nombreuses questions relatives au monde proche et familier font encore l'objet de débats ardues entre spécialistes. La réponse à d'autres peut être trouvée dans des documents ; cela ne signifie pas nécessairement qu'elle puisse être donnée aux élèves. À cette occasion, on développera deux compétences mentionnées par le brevet informatique et Internet (B2i) : mettre en œuvre une consultation raisonnée du support d'information, comparer pour choisir à bon escient une consultation sur support numérique ou autre.

La réponse n'est pas toujours facilement compréhensible par le maître, *a fortiori* transmissible telle quelle aux élèves. Parfois, c'est parce que l'on n'a pas

choisi la référence de niveau adapté. Un ouvrage plus accessible peut « vulgariser » le sujet et proposer une réponse transférable. Tel n'est pas toujours le cas et il faut accepter que certaines questions restent sans réponse à ce stade de la scolarité.

Des réponses aux questions... aux prémices de la connaissance

Le plus souvent, la connaissance ne s'établit pas immédiatement et définitivement à l'issue de l'activité de recherche. Des activités complémentaires sont en général souhaitables pour permettre à l'élève de percevoir la pertinence et l'étendue de ce qu'il vient d'apprendre. Une connaissance nouvellement acquise sera plus solide si elle est mise en relation avec une autre, de façon à faire percevoir une cohérence qui n'apparaît pas spontanément. Il est de la responsabilité des enseignants d'envisager cet aspect comme partie intégrante de la démarche. Le savoir n'a pas vocation à encombrer la mémoire, mais à constituer une économie de pensée.

La confrontation à des ouvrages de référence (manuels scolaires, documentaires scientifiques) complète l'apport de ces activités. Elle consolide les connaissances acquises et contribue à l'apprentissage de stratégies de lecture adaptées à la spécificité de ces textes.

Un exposé du maître est parfois nécessaire, mais il ne doit toutefois jamais constituer l'essentiel d'une séance dans le cadre d'une démarche qui privilégie la construction du savoir par l'élève.

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) permettent une mise en commun avec d'autres classes des résultats envoyés par messagerie et de recueillir l'avis de spécialistes ou de consulter des experts, par exemple sur le site www.inrp.fr/lamap.

Science et maîtrise de la langue

Le renforcement de la maîtrise de la langue est un aspect essentiel de la méthode mise en œuvre. Le questionnement et les échanges auxquels elle donne lieu, la comparaison des résultats obtenus, leur confrontation aux savoirs établis sont autant d'occasions de découvrir les modalités d'un débat réglé visant à produire des connaissances. La description de ce que l'on voit, l'élaboration du projet d'investigation, l'argumentation soutenant les divers raisonnements qui, entre autres, y sont à l'œuvre sont autant de formes essentielles du langage oral. L'élaboration d'écrits permet de soutenir la réflexion et d'introduire rigueur et précision dans les démarches, comme dans les argumentations. L'élève écrit « pour lui-même » (prise de notes, brouillon...), pour mettre en forme les résultats acquis (texte de statut scientifique),

pour communiquer ses travaux (texte de statut documentaire).

La science est d'abord un discours sur le monde : elle nomme les objets et les phénomènes, elle nous parle de lui, dans son état et dans son devenir.

La matière, vivante ou non, est décrite par des lois précises ; le discours est faux s'il n'est pas lui-même précis, s'il n'emprunte pas à ces lois leur logique et leur rigueur. Parler, en science, impose donc à la fois un lexique exact (terminologie scientifique) et une syntaxe construite et claire.

De nombreux maîtres remarquent les progrès que font, dans la maîtrise du langage, les élèves qui pratiquent les sciences expérimentales et qui doivent, tout au long du cycle, dire et écrire (sur leur « carnet d'expériences ») l'aventure scientifique qu'ils vivent. La nécessité pour eux de mettre en cohérence leur dire et leur écrire avec une suite logique d'actes précis (le protocole expérimental) et de pensées contraintes (le raisonnement encadré par les faits) les oblige à un langage de sobriété et d'exactitude. C'est en fait tout au long de la démarche que l'élaboration d'écrits structure la pensée. Leur rôle évolue entre deux pôles (pas nécessairement exclusifs l'un de l'autre) :

- les écrits « pour soi-même » dont le rôle est de piloter sa propre démarche et ses propres raisonnements ;

- les écrits « pour les autres », souvent reconstruits, dont le rôle est communicationnel. Une communication par messagerie électronique permet une mise en commun avec d'autres classes. Ces différents écrits ont des statuts différents par rapport au savoir. Les écrits personnels représentent la connaissance du moment de l'élève. Les écrits produits à l'issue d'une confrontation sont socialement partagés. Après avoir été confrontés à la critique de la classe et à celle, décisive, du maître, les écrits scientifiques ou documentaires validés prennent le statut de savoirs, à condition, bien entendu, qu'ils soient conformes aux connaissances scientifiques établies.

L'élève utilise divers modes de communication et de représentation (textes, tableaux, dessins, schémas, graphiques...). La mise en forme grâce à des logiciels (traitement de textes ou tableur) peut contribuer à valoriser les productions des élèves (B2i). En complément (et non en substitution) au réel, elle met en œuvre de façon rationnelle des techniques de l'information et de la communication. Dans tous les cas possibles, le réel doit être préféré au substitut du réel (documents papier, photographies...), ce qui n'exclut pas une initiation aux divers modes de recherche documentaire.

Annexe 2 Collège (2008) - Démarche d'investigation

III. LA DEMARCHE D'INVESTIGATION

Dans la continuité de l'école primaire, les programmes du collège privilégient pour les disciplines scientifiques et la technologie une démarche d'investigation. Comme l'indiquent les modalités décrites ci-dessous, cette démarche n'est pas unique. Elle n'est pas non plus exclusive et tous les objets d'étude ne se prêtent pas également à sa mise en œuvre. Une présentation par l'enseignant est parfois nécessaire, mais elle ne doit pas, en général, constituer l'essentiel d'une séance dans le cadre d'une démarche qui privilégie la construction du savoir par l'élève. Il appartient au professeur de déterminer les sujets qui feront l'objet d'un exposé et ceux pour lesquels la mise en œuvre d'une démarche d'investigation est pertinente.

La démarche d'investigation présente des analogies entre son application au domaine des sciences expérimentales et à celui des mathématiques. La spécificité de chacun de ces domaines, liée à leurs objets d'étude respectifs et à leurs méthodes de preuve, conduit cependant à quelques différences dans la réalisation. Une éducation scientifique complète se doit de faire prendre conscience aux élèves à la fois de la proximité de ces démarches (résolution de problèmes, formulation respectivement d'hypothèses explicatives et de conjectures) et des particularités de chacune d'entre elles, notamment en ce qui concerne la validation, par l'expérimentation d'un côté, par la démonstration de l'autre.

Repères pour la mise en œuvre

1. Divers aspects d'une démarche d'investigation

Cette démarche s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel (en sciences expérimentales et en technologie) et sur la résolution de problèmes (en mathématiques). 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.

2. Canevas d'une séquence d'investigation

Ce canevas n'a pas la prétention de définir « la » méthode d'enseignement, ni celle de figer de façon exhaustive un déroulement imposé. Une séquence est constituée en général de plusieurs séances relatives à un même sujet d'étude.

Par commodité de présentation, sept moments essentiels ont été identifiés. L'ordre dans lequel ils se succèdent ne constitue pas une trame à adopter de manière linéaire. En fonction des sujets, un aller et retour entre ces moments est tout à fait souhaitable, et le temps consacré à chacun doit être adapté au projet pédagogique de l'enseignant.

Les modes de gestion des regroupements d'élèves, du binôme au groupe-classe selon les activités et les objectifs visés, favorisent l'expression sous toutes ses formes et permettent un accès progressif à l'autonomie.

La spécificité de chaque discipline conduit à penser différemment, dans une démarche d'investigation, le rôle de l'expérience et le choix du problème à résoudre. Le canevas proposé doit donc être aménagé pour chaque discipline.

Le choix d'une situation - problème :

- analyser les savoirs visés et déterminer les objectifs à atteindre ;
- repérer les acquis initiaux des élèves ;
- identifier les conceptions ou les représentations des élèves, ainsi que les difficultés persistantes (analyse d'obstacles cognitifs et d'erreurs) ;
- élaborer un scénario d'enseignement en fonction de l'analyse de ces différents éléments.

L'appropriation du problème par les élèves :

Les élèves proposent des éléments de solution qui permettent de travailler sur leurs conceptions initiales, notamment par confrontation de leurs éventuelles divergences pour favoriser l'appropriation par la classe du problème à résoudre.

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.

La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles :

- formulation orale ou écrite de conjectures ou d'hypothèses par les élèves (ou les groupes) ;
- élaboration éventuelle d'expériences, destinées à tester ces hypothèses ou conjectures ;
- communication à la classe des conjectures ou des hypothèses et des éventuels protocoles expérimentaux proposés.

L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves :

- moments de débat interne au groupe d'élèves ;
- contrôle de l'isolement des paramètres et de leur variation, description et réalisation de l'expérience (schémas, description écrite) dans le cas des sciences expérimentales, réalisation en technologie ;
- description et exploitation des méthodes et des résultats ; recherche d'éléments de justification et de preuve, confrontation avec les conjectures et les hypothèses formulées précédemment.

L'échange argumenté autour des propositions élaborées :

- communication au sein de la classe des solutions élaborées, des réponses apportées, des résultats obtenus, des interrogations qui demeurent ;
- confrontation des propositions, débat autour de leur validité, recherche d'arguments ; en mathématiques, cet échange peut se terminer par le constat qu'il existe plusieurs voies pour parvenir au résultat attendu et par l'élaboration collective de preuves.

L'acquisition et la structuration des connaissances :

- mise en évidence, avec l'aide de l'enseignant, de nouveaux éléments de savoir (notion, technique, méthode) utilisés au cours de la résolution,
- confrontation avec le savoir établi (comme autre forme de recours à la recherche documentaire, recours au manuel), en respectant des niveaux de formulation accessibles aux élèves, donc inspirés des productions auxquelles les groupes sont parvenus ;
- recherche des causes d'un éventuel désaccord, analyse critique des expériences faites et proposition d'expériences complémentaires,
- reformulation écrite par les élèves, avec l'aide du professeur, des connaissances nouvelles acquises en fin de séquence.

La mobilisation des connaissances :

- exercices permettant d'automatiser certaines procédures, de maîtriser les formes d'expression liées aux connaissances travaillées : formes langagières ou symboliques, représentations graphiques... (entraînement), liens ;
- nouveaux problèmes permettant la mise en œuvre des connaissances acquises dans de nouveaux contextes (réinvestissement) ;
- évaluation des connaissances et des compétences méthodologiques.

Annexe 3 Collège - De la gravitation ...à l'énergie mécanique

C - De la gravitation ... à l'énergie mécanique

Cette partie est destinée à donner aux élèves des notions sur la gravitation et sa manifestation au voisinage de la Terre (poids d'un corps). Elle introduit l'énergie de position et l'énergie cinétique. Elle contribue à la formation du citoyen dans le domaine de la sécurité routière.

C1 - Interaction gravitationnelle

Après une présentation du système solaire, l'enseignant introduit progressivement la gravitation comme une action attractive à distance entre deux objets ayant une masse puis comme une

interaction qui dépend de la distance entre les deux objets. La notion d'énergie de position est abordée ainsi que sa conversion en énergie de mouvement.

Connaissances	Capacités	Commentaires
NOTION DE GRAVITATION : pourquoi les planètes gravitent-elles autour du Soleil et les satellites autour de la Terre ?		
Présentation succincte du système solaire. Action attractive à distance exercée par : - le Soleil sur chaque planète ; - une planète sur un objet proche d'elle ; - un objet sur un autre objet du fait de leur masse. La gravitation est une interaction attractive entre deux objets qui ont une masse ; elle dépend de leur distance. <i>La gravitation gouverne tout l'Univers (système solaire, étoiles et galaxies).</i>	Suivre un raisonnement scientifique afin de comparer, en analysant les analogies et les différences, le mouvement d'une fronde à celui d'une planète autour du Soleil.	L'élève n'a pas à connaître les noms et la place de chacune des planètes au sein du système solaire. L'expression de la force d'interaction gravitationnelle entre deux masses est hors programme.
POIDS ET MASSE D'UN CORPS : pourquoi un corps a-t-il un poids ? Quelle est la relation entre le poids et la masse d'un objet ?		
Action à distance exercée par la Terre sur un objet situé dans son voisinage : poids d'un corps.		
Le poids P et la masse m d'un objet sont deux grandeurs de nature différente ; elles sont proportionnelles. <i>L'unité de poids est le newton (N). La relation de proportionnalité se traduit par $P = m \cdot g$.</i>	Pratiquer une démarche expérimentale pour établir la relation entre le poids et la masse. Construire et exploiter un graphique représentant les variations du poids en fonction de la masse. Calculer, utiliser une formule.	Toute étude vectorielle (expression, représentation) est hors programme au collège.
ENERGIE MECANIQUE : comment évolue l'énergie d'un objet qui tombe sur Terre ?		
Un objet possède : - une énergie de position au voisinage de la Terre ; - une énergie de mouvement appelée énergie cinétique. <i>La somme de ses énergies de position et cinétique constitue son énergie mécanique. Conversion d'énergie au cours d'une chute.</i>	<i>Raisonnement, argumenter pour interpréter l'énergie de mouvement acquise par l'eau dans sa chute par une diminution de son énergie de position.</i>	Les énergies de position, cinétique et mécanique sont abordées uniquement pour expliquer qualitativement les conversions d'énergie dans une chute d'eau (barrage hydraulique). Thèmes de convergence : sécurité, énergie

C2 - Énergie cinétique et sécurité routière

Dans les moyens de transport, l'homme cherche toujours à aller plus vite pour gagner du temps ; le train à grande vitesse (TGV) en est une remarquable illustration. Mais les trop nombreux accidents routiers qui touchent notamment les jeunes justifient à eux seuls

l'approche quantitative de l'énergie cinétique. Plus positivement, ce paragraphe peut être exploité avec profit dans le cadre de l'attestation scolaire de sécurité routière afin d'attirer l'attention des élèves sur les dangers de la vitesse.

Connaissances	Capacités	Commentaires
APPROCHE DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE : de quels paramètres l'énergie cinétique dépend-elle ?		
<i>La relation donnant l'énergie cinétique d'un solide en translation est $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$. L'énergie cinétique se mesure en joules (J).</i>	<i>Décrire le comportement de l'énergie cinétique en fonction de la masse et de la vitesse.</i>	L'étude est réduite à celle d'un solide en translation. La notion de vitesse ayant déjà été abordée en mathématiques en classe de quatrième et utilisée en physique lors de l'étude de la lumière, le professeur se limite à un rappel.
Pourquoi la vitesse est-elle dangereuse ?		
La distance de freinage croît plus rapidement que la vitesse.	Exploiter les documents relatifs à la sécurité routière.	Thèmes de convergence : sécurité, énergie

Annexe 3 : Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008, Programmes du collège, Programmes de l'enseignement de physique-chimie, MEN, p. 4 (programme de troisième)

II. Fiches de préparation des enseignants (premier degré)

Annexe 4 Fiche de préparation, séance 1 : Electricité, André

Electricité : circuit parallèle / en série.	
OBJECTIF : Etre capable de réaliser par manipulation des circuits électriques simples ; de s'approprier un vocabulaire collectif.	
TACHE DE L'ELEVE : Réaliser par groupe un circuit électrique simple, avec du matériel et en le schématisant ; s'approprier le vocabulaire spécifique.	
TYPE DE SEANCE : S 1. Appropriation du matériel, de l'assemblage. Travail diagnostique des savoirs.	DUREE: environ 1 heure
ORGANISATION : Travail par groupes de 4 (7 groupes).	MATERIEL : ⇒ Piles, ampoules, fils pour chaque groupe. ⇒ 1 feuille observation par élève. ⇒ feuilles blanches A4 de trace écrite collective ⇒ feuille sur les symboles conventionnels
Phase 1 : Explication : 5 minutes recherche 15 minutes	Phase 1 : Appropriation du travail Les élèves sont en place : <ul style="list-style-type: none"> ● Explication du travail qui va être fait : <ul style="list-style-type: none"> ➢ « L'année dernière, vous avez appris à réaliser des circuits électriques simples, mais dans 2 classes différentes. Pour pouvoir travailler ensemble cette année sur les prochaines séances, je vais vous demander de me réaliser à nouveau un circuit électrique simple : allumer une ampoule avec une pile. Puis un élève du groupe reportera la trace écrite sur une feuille pour expliquer aux autres votre démarche ». ● distribution du matériel pour chaque groupe (pile et ampoule), et début du travail collectif. ● Un élève de chaque groupe reporte sur la feuille A4 collective ce qui a été trouvé. ● Distribution de la feuille d'observation : expliquer comment la remplir. Tout le groupe doit reporter la TE collective sur sa feuille d'observation.
Phase 2 : passage au tableau 10 minutes mise en commun 10 minutes	Phase 2 : mise en commun <ul style="list-style-type: none"> ● Chaque groupe va afficher son travail au tableau : un rapporteur explique comment le groupe a fait. ● Explication des symboles : sont-ils tous identiques ? choix d'une symbolique unique pour un travail commun (exemple : les traits autour de l'ampoule pour expliquer qu'elle brille). ● Dessin d'une trace collective commune, faite sur une feuille par le M et recopiée par les élèves sur leur fiche individuelle.
Phase 3 : Autres circuits affichage 10 minutes	Phase 3 : nouvelle manipulation <ul style="list-style-type: none"> ● Un autre montage : <ul style="list-style-type: none"> ➢ « Je vais maintenant vous distribuer 2 fils électriques que vous allez utiliser pour réaliser de nouveaux montages (2 maximum) afin que votre ampoule s'allume à nouveau. Vous reporterez sur votre fiche individuelle les résultats de vos recherches, ainsi que sur la fiche collective ». ● Distribution des fils, travail par groupe et schématisation sur les documents.
phase 4 mise en commun 10 minutes	Phase 4 : mise en commun <ul style="list-style-type: none"> ● Chaque groupe va afficher son travail au tableau : explication des différents montages. Si un doute persiste sur la validité d'un montage, on le réalise et on vérifie la véracité du travail. ● Choix de 2 montages pour une TE collective, et recopie sur la fiche individuelle.
10 minutes	Phase 5 : symboles conventionnels <ul style="list-style-type: none"> ● Distribution de la fiche sur les symboles conventionnels : rappel que c'est pour une connaissance commune, éviter les confusions. ● Modification éventuellement sur la fiche individuelle avec les nouveaux symboles. ● Observations par rapport à la séance : commentaires des enfants. ● Que ferons nous à la prochaine séance : la guirlande de Noël.
	Critères de réussite de la séance : <ul style="list-style-type: none"> ● Les montages se sont bien faits, les schématisations aussi. ● Appropriation d'une connaissance commune à la classe, idem avec les symboles. ● Respect du timing et de tout ce qui avait été prévu.

Annexe 5 Fiche de préparation, séance 2 : Electricité, André

<u>Electricité : circuit parallèle / en série.</u>	
OBJECTIF : Etre capable de réaliser par manipulation des circuits électriques simples ; de s'approprier un vocabulaire collectif.	
TACHE DE L'ELEVE : Réaliser par groupe un circuit électrique en série (guirlande de Noël) et en comprendre les limites.	
TYPE DE SEANCE : S 2. Faire une guirlande de Noël..	DUREE: environ 1 heure
ORGANISATION : Travail par groupes de 2 (14 groupes, binômes de classe).	MATERIEL : ⇒ Piles, ampoules, supports d'ampoule, fils pour chaque groupe. ⇒ 1 feuille observation par élève. ⇒ feuilles blanches A4 de trace écrite collective
Phase 1 : Explication : 5 minutes	Phase 1 : Appropriation du travail Les élèves sont en place ; rappel de la 1 ^{ère} séance : <ul style="list-style-type: none"> • allumer une ampoule avec une pile. • Réaliser un circuit simple. • Connaissance des parties du matériel et des symboles conventionnels.
recherche 10 minutes	<ul style="list-style-type: none"> • Explication du travail qui va être fait : ➤ « Aujourd'hui, je vais vous demander de me construire une guirlande de Noël. Rappel du principe de la guirlande : plusieurs lumières s'allument ensemble. Pour cela, vous allez prendre le matériel mis à votre disposition (pile ; fils ; ampoules et supports) ». • distribution du matériel pour chaque groupe, et début du travail collectif. • Un élève reporte sur la feuille A4 collective ce qui a été trouvé. • Distribution de la feuille d'observation : expliquer comment la remplir. Tout le groupe doit reporter la TE collective sur sa feuille d'observation et utiliser OBLIGATOIREMENT les symboles vus en séance 1.
Phase 2 : passage au tableau 10 minutes	Phase 2 : mise en commun <ul style="list-style-type: none"> • Chaque groupe va afficher son travail au tableau : un rapporteur explique comment le groupe a fait. • « Est-ce que tous les groupes ont trouvé le même montage, le même circuit ? » • vérification des schémas ; si doute par rapport à un circuit, on essaie de le faire. • La classe décide d'un montage collectif, dessiné au tableau et recopié sur la feuille de TE, partie collective. On le nomme : <u>montage en série</u>, parce que les ampoules sont mises les unes à côté des autres.
Phase 3 : 10 minutes	Phase 3 : arrive un problème... <ul style="list-style-type: none"> • Je choisis un montage que je montre aux élèves : ➤ « Il arrive malheureusement qu'à force de faire fonctionner la guirlande, une ampoule ne fonctionne plus (expliquer que l'ampoule brille grâce au filament qui, à force de chauffer, s'use et finit par casser : l'ampoule est grillée). Nous allons simuler une panne en dévissant une ampoule de son support, comme si elle était grillée. Que se passe-t-il ? ». • Chaque groupe essaie, puis commentaire collectif : le circuit ne fonctionne plus ! • Dder aux élèves une explication, des hypothèses, qui sont notées au tableau. • Chaque groupe essaie de vérifier si les hypothèses sont fondées.
phase 4 mise en commun 10 minutes	Phase 4 : mise en commun <ul style="list-style-type: none"> • La réponse qui devrait arriver est que le circuit est ouvert, que le courant ne passe plus. La réponse notée au tableau est recopiée sur la feuille d'observations dans les commentaires. • Question : « mais pourtant, il m'arrive de devoir changer des ampoules sans que la guirlande ne cesse de fonctionner. Cela vous est-il déjà arrivé ? Comment est-ce possible ? » • C'est ce que nous résoudrons lors de la prochaine séance.
Critères de réussite de la séance : <ul style="list-style-type: none"> • Les montages se sont bien faits, les schématisations aussi. • Questionnement des élèves par rapport aux différentes étapes et problèmes. • Respect du timing et de tout ce qui avait été prévu. 	

Annexe 6 Fiche de préparation, séance 1 : Electricité, Francis

Classe : CMI-CM2		Discipline : Sciences	Date : le 15 novembre 2010
Type de la séance : eva diag		Séquence : Electricité	Séance n° : 1/6
Matériel : Mallettes : 13 piles, 13 ampoules, fiches 1 et 2		Objectifs de la séquence : <ul style="list-style-type: none">• Construire un circuit électrique en dérivation : série et parallèle• Représenter un circuit de manière simplifiée et efficace	
Pré-requis : Connaître les objets pile et ampoule Avoir effectué des circuits électriques simples		Objectifs de la séance : Evaluer les acquis des élèves	
		Tâche générale : Répondre à un questionnaire de connaissances préalables Penser des expériences et les effectuer	
Rôle du maître	Déroulement - consignes		Activité des élèves
Présenter la séquence	1/ Présentation de la séquence « électricité » : 6 séances, film, visites d'Alain 5 min		Ecouter
Distribuer, lire, expliciter	2/ Distribution du questionnaire : « ce que je pense savoir » ; lecture individuelle puis collective des questions 3 min		Lire les consignes, reformuler
Aider les élèves en difficulté de compréhension de consignes	3/ Travail individuel : répondre aux questions en écrivant en bleu 7 min		Répondre aux questions (crayon bleu)
Distribuer, lire et observer les élèves	4/ Distribution de la feuille n°2 : exercice 1 20 min <ul style="list-style-type: none">• Lecture collective de la consigne• Travail individuel : colorier les ampoules qui brillent ou expliquer pourquoi elles ne brillent pas• Travail de mise en commun par groupes de deux• Vérification des hypothèses par expériences		Effectuer l'exercice Comparer à deux en argumentant
Animer les débats	5/ Correction collective avec le rétro 5 min		Expérimenter
Aider les groupes en difficulté	6/ Travail à deux : 5 min dessiner une façon d'allumer et d'éteindre l'ampoule sans démonter le circuit puis expérimenter		Proposer des réponses
Poser des questions	6/ Bilan de la séance : qu'avons-nous appris aujourd'hui ? 5 min Prolongement : apprendre à allumer et à éteindre une ampoule sans démonter le circuit électrique ; notion de conducteur		Formuler une hypothèse et la vérifier par l'expérimentation
Evaluation de la séance : 1. Réponses au questionnaire d'évaluation diagnostique 2. Réussite à l'exercice			
Evaluation de la séquence :			
Evaluation différée : construire des circuits en série et en parallèle			
Prolongement : Notion d'interrupteur, de conducteur et d'isolant			

Annexe 7 Fiche de préparation, séance 2 : Electricité, Francis

Classe : CM1-CM2		Discipline : Sciences	Date : le 15 novembre 2010
Type de la séance : apprentissage		Séquence : Electricité	Séance n° : 1/6
Matériel : Mallettes : 13 piles, 13 ampoules, 13 trombones, 39 fils, fiches 1 et 2		Objectifs de la séquence : <ul style="list-style-type: none">• Construire un circuit électrique en dérivation : série et parallèle• Représenter un circuit de manière simplifiée et efficace	
Pré-requis : Connaître les objets pile et ampoule Avoir effectué des circuits électriques simples		Objectifs de la séance : Tâche générale : Ecrire la synthèse de la séance 1 Anticiper deux expériences et les réaliser	
Rôle du maître	Déroulement - consignes		Activité des élèves
Rappeler le déroulement de la séance 1 Présenter la séance 2	1/ Rappel de la séquence « électricité 1 » : allumer une ampoule avec une pile, directement puis à distance 5 min « Comment s'appellent les parties de l'ampoule ? »		Ecouter, rappeler ce qui a été fait
Distribuer, lire, expliciter	2/ Distribution de la fiche ampoule et d'une ampoule : lecture individuelle puis collective des légendes et des symboles 5 min		Lire le document, répondre aux questions
Formuler la consigne	3/ Travail individuel : schématiser et expliquer comment allumer une ampoule avec une pile 10min		Répondre aux questions (crayon bleu)
observer les élèves	<i>Trace attendue : pour allumer une ampoule, il faut mettre le culot sur une « lame » de la pile et le plot sur l'autre « lame » de la pile (soit directement, soit avec des fils.</i>		Effectuer les expériences et écrire une trace Mettre en commun, copier
Aider les groupes en difficulté	4/ Distribution de la feuille n°2 : exercice 1 20 min <ul style="list-style-type: none">• Lecture collective de la consigne• Travail à deux : dessiner deux expériences avec une pile, une ampoule, 3 fils et un trombone• Expériences		Expérimenter Proposer des réponses
Poser des questions	5/ Mise en commun collective avec le rétro 5 min 6/ Bilan de la séance : 5 min Notion d'interrupteur, circuit ouvert, circuit fermé		Formuler une hypothèse et la vérifier par l'expérimentation Répondre aux questions
Evaluation de la séance : 1. Schémas des expériences 2. Réussites aux expériences			
Evaluation de la séquence : Evaluation différée : construire des circuits en série et en parallèle			
Prolongement : Notion de conducteur et d'isolant			

III. Documents pour la classe

Annexe 8 Fiche élève, séance 1. Classe d'André

Prénom :		date :	
Feuille d'observations TECHNOLOGIE : l'électricité.			
Séquence : • Ce qu'on a fait :			
Mes dessins : pile + ampoule. 		Trace écrite collective : 	
Mes dessins : pile + fils + ampoule. 		Trace écrite collective : 	
Commentaires :			
Ce qu'on fera à la prochaine séance :			

Annexe 9 Fiche élève, séance 2. Classe d'André

Prénom :	date :
Feuille d'observations TECHNOLOGIE : l'électricité. La guirlande électrique.	
<u>Séquence :</u> • Ce qu'on a fait :	
<u>Mes dessins.</u> 	<u>Trace écrite collective :</u>
<u>Commentaires :</u>	
<u>Ce qu'on fera à la prochaine séance :</u>	

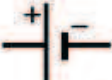
Annexe 10 Documents élèves prévus, séances 1 et 2. Classe d'André


Séance 1


Symboles électriques et schémas de circuits


1- Des symboles électriques

Les électriciens, les ingénieurs et les industriels ne font pas des dessins de lampe, de pile, d'interrupteurs... Ils utilisent des symboles :

Voici le symbole pour représenter **une pile** 

Voici le symbole pour représenter **une lampe** 

Voici le symbole pour représenter un  interrupteur ouvert

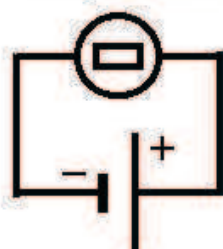
Voici le symbole pour représenter un interrupteur  fermé

Annexe 10-1 : Synthèse des symboles, séance 1, classe d'André

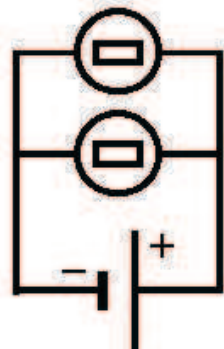
Séance 2

2- Avec ces symboles on peut décrire des montages

Essayons de faire ces montages...

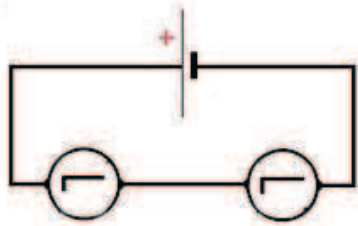


Montage 1
←



Montage 2
→

Montage 3 ↓



Annexe 10-2 : Exercices pour la séance 2, classe d'André

Annexe 11 Evaluation : Les montages électriques. Classe d'André

Prénom :

date :

SCIENCES ET TECHNOLOGIE Les montages électriques : évaluation.

Objectifs : être capable de

- connaître différents composants électriques (ampoule ; fil ; pile) ;
- réaliser des schémas électriques en utilisant des signes conventionnels ;
- connaître les caractéristiques du montage en série et du montage en parallèle.

1) Dessine une ampoule en indiquant ses différentes parties :

2) Dessine comment il faut faire pour qu'une ampoule s'allume sans fils :

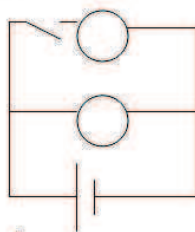
3) Dessine un circuit en série et un circuit en parallèle : indique sous le schéma les avantages et inconvénients de ce type de circuit :

série

parallèle

3) Voici des circuits électriques : pour chaque ampoule, entoure la bonne réponse :

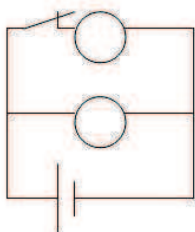
1



allumé : oui non

allumé : oui non

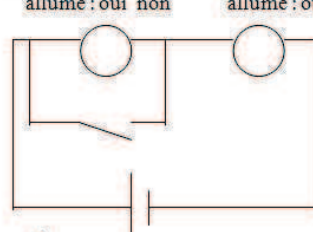
2



allumé : oui non

allumé : oui non

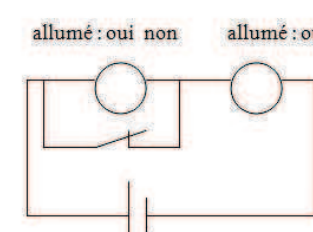
3



allumé : oui non

allumé : oui non

4



allumé : oui non

allumé : oui non

Annexe 12 Evaluation diagnostique, séance 1. Classe de Francis

Ce que je pense savoir avant d'apprendre en électricité

1/ Dessine une pile et une ampoule et légende ton dessin

2/ Comment allumer l'ampoule avec la pile ? Dessine deux expériences possibles.

--	--

3/ Nomme trois choses qui peuvent conduire l'électricité et trois choses qui ne le peuvent pas.

Conduit le courant	Ne conduit pas le courant

4/ Dessine un circuit qui permet d'allumer deux ampoules en même temps avec une seule pile.

EXERCICE : Pour chaque schéma, colorie l'ampoule en jaune si tu penses qu'elle est allumée ; sinon, explique pourquoi elle ne s'allume pas.

A la fin de ton exercice, compare ton travail avec ton voisin puis vérifiez ensemble vos hypothèses par l'expérimentation.

Annexe 13 Fiche d'exercices, séance 2. Classe de Francis

EXERCICE : Construis deux expériences possibles avec une pile, une ampoule, 3 fils et un trombone.

Un circuit permet d'allumer l'ampoule, l'autre non.

Expérience 1 : l'ampoule s'allume	Expérience 1 : l'ampoule ne s'allume pas

Vérifie tes expériences avec le matériel.

Ce que je retiens après la mise en commun :

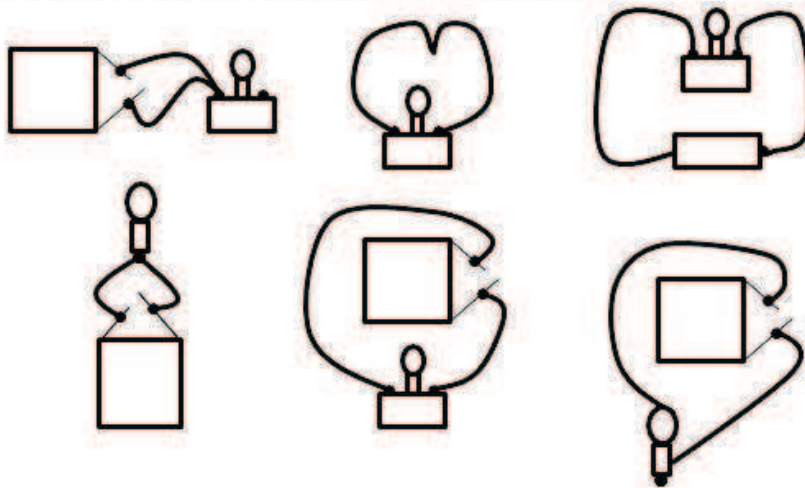
Expérience 1 : l'ampoule s'allume	Expérience 1 : l'ampoule ne s'allume pas

Annexe 14 Evaluation sommative, électricité. Classe de Francis

Nom :	PRENOM :	DATE :
électricité		
Compétences visées :		
1/ Dessine une pile et une ampoule et légende ton dessin		
2/ Comment allumer l'ampoule avec la pile ? Dessine deux expériences (la même mais une avec des dessins et l'autre avec des symboles).		
3/ Dessine deux circuits différents qui permettent d'allumer deux ampoules en même temps avec une seule pile. (nomme les noms des circuits).		
Que peut-on observer ?	Que peut-on observer ?	

Annexe 15 Exercice. Classe de Francis

Exercice 1 : Pour chaque schéma, colorie l'ampoule en jaune si tu penses qu'elle est allumée ; sinon, explique pourquoi elle ne s'allume pas. A la fin de ton exercice, compare ton travail avec ton voisin puis vérifiez ensemble vos hypothèses par l'expérimentation.



Annexe 16 Extrait de *Sciences & Vie Junior*. Classe de Florence

Le poids et la masse

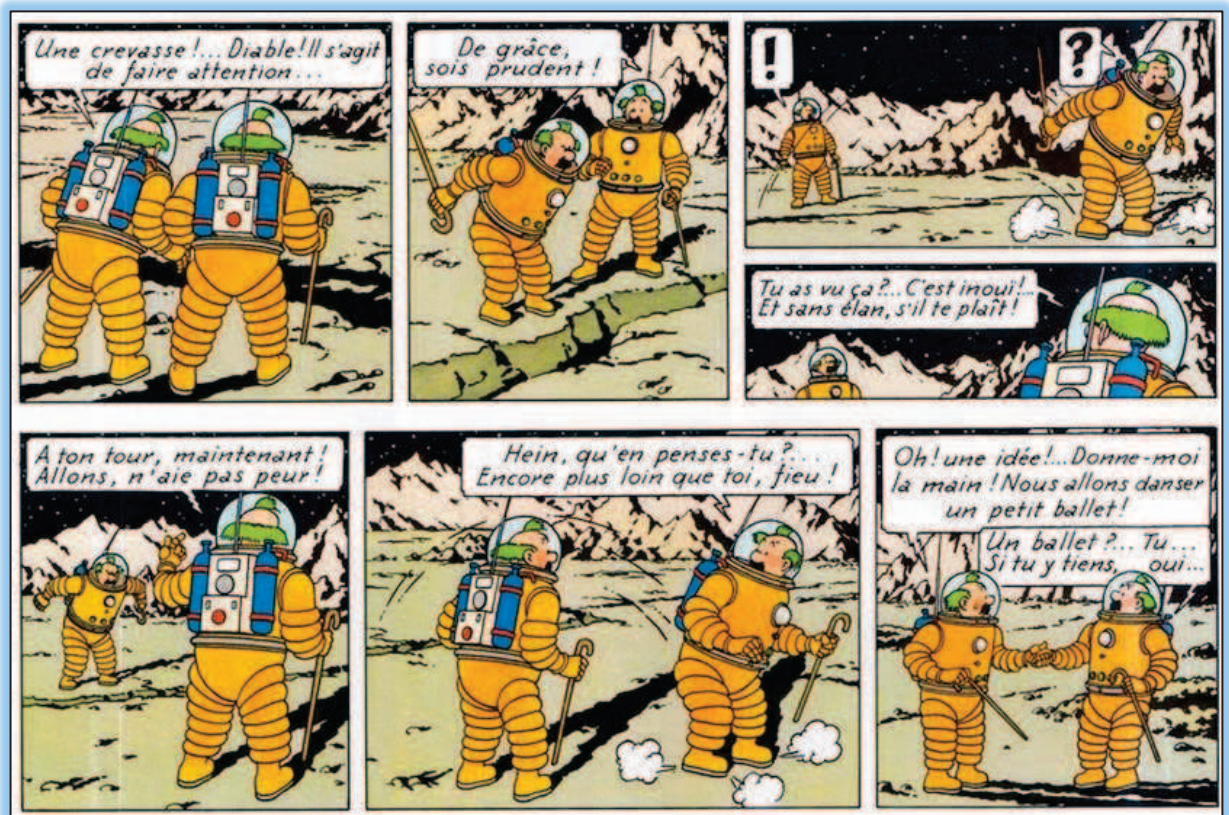
Quel est le poids d'un camion dit « 38-tonnes » ? Euh... 38000 kilos ? Et vlan... la confusion classique entre masse et poids a encore frappé. Vous aussi vous les confondez ? On ne peut pas vous en blâmer. Dans le langage courant, tout est fait pour entretenir cette confusion. L'affaire doit être tirée au clair une bonne fois pour toutes ! La masse est la quantité de matière qui constitue un objet ou un être vivant. Elle se mesure en kilogrammes. Elle est caractéristique du corps, ne dépend pas du lieu où il se trouve, et elle se mesure avec une balance. Le poids est, quant à lui, une force. C'est la force que subit un objet lorsqu'il est soumis à la gravité de la Terre ou d'un autre astre. Et comme toute bonne force, le poids a une direction, une intensité, et s'exprime en newton. Ainsi, il est dirigé vers le centre de l'astre qui crée le champ gravitationnel et son intensité dépend de la gravité locale (g) et de la masse (m).

En l'absence de gravité, votre poids est quasi nul...



Sciences & Vie Junior octobre 2002

Annexe 16 : Le poids et la masse, Science&Vie Junior. N° 157 Octobre 2002

Annexe 17 Extrait de *Les Aventures de Tintin* (Hergé, 1950). Classe d'Henri

Annexe 17 : Hergé (1950), On a marché sur la Lune, *Les Aventures de Tintin* (p. 30), Editions Casterman

Annexe 18 Texte *Newton et la gravitation*. Classe d'Henri

NEWTON ET LA GRAVITATION

En 1661, à l'âge de 18 ans, Isaac Newton entre à l'université de Cambridge. Durant l'été 1665, la peste s'abat sur la ville. L'université ferme ses portes et Newton est renvoyé pendant plus d'un an, en vacances forcées, dans la propriété familiale de Woolsthorpe à mi-chemin entre Londres et l'Ecosse. C'est pendant cette période qu'il fera ses plus grandes découvertes...



Mais Newton d'un tempérament timide et solitaire, redoute les discussions et n'est pas pressé de rendre ses découvertes publiques. Il faudra donc attendre 20 ans pour que son œuvre majeure, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, soit enfin publiée ! La physique s'appelle encore "philosophie naturelle". Dans cet ouvrage, il y développe - notamment - sa théorie de la gravitation universelle : deux corps s'attirent réciproquement avec une force proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.



De nombreuses légendes circulent en sciences comme dans d'autres domaines, mais l'une d'entre elles est devenue particulièrement célèbre. C'est *l'histoire de la pomme* qui aurait inspiré à Newton la loi de la gravitation.

Dans la douceur d'une soirée d'automne, Newton rêve sous un pommier de Woolsthorpe, en regardant la Lune... Soudain une pomme tombe. Car tout ce qui est privé de support tombe sur Terre. Et la Lune ? Elle n'a pas de support ! Alors, pourquoi ne tombe-t-elle pas ?

L'attraction exercée sur un corps par la Terre peut être mesurée. Elle s'exprime en newton se symbole N, en hommage à ce grand physicien.

Newton héros de Gotlib...

Questions :

- Quelle durée s'est écoulée entre la découverte de la théorie de la gravitation et sa publication ? Pourquoi ?
- La Lune, comme la pomme, est attirée par notre planète. Mais alors pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?
- Newton ne s'est pas contenté de travailler sur des théories. Il a aussi inventé un instrument. Lequel ?
- Quelle autre découverte de Newton as-tu déjà apprise en cours de physique au collège ?
- De quoi dépend l'attraction gravitationnelle ?

Annexe 19 Evaluation : La gravitation – le poids – la masse. Classe de Florence

Nom						date	
Prénom		la gravitation – le poids – la masse					
Classe						devoir	
connaître	appliquer	raisonner	communiquer	expérimenter	total	c	a
/ 7,5	/ 4,5	/ 5,5	/ 2,5	/ 3	/ 23		
Répondre aux questions par des phrases, soigner l'orthographe et la présentation. Poser les calculs nécessaires.							
Exercice 1 : Le système solaire et la gravitation.							
a) Répondre par vrai ou faux :							
1) La Lune tourne autour de la Terre car elle est attirée par la Terre :						-	
2) La Lune attire la Terre :						-	
b) Choisir la ou les bonnes réponses :							
1) L'attraction gravitationnelle dépend de							
- la distance entre les objets - la masse des objets - la lumière émise par les objets.						-	
2) La gravitation est une interaction :							
- attractive - répulsive - à distance - répulsive ou attractive selon les cas.						-	
3) Combien y a-t-il d'étoiles dans notre système solaire ?							
- une - deux - huit - des milliards						-	
4) Parmi les planètes de notre système solaire, on trouve :							
- Mars - Europe - Halley - Jupiter						-	
Exercice 2 : Schématisation.							
a) Schématise une étoile, une planète et son satellite							
b) Trace, sur le schéma, la trajectoire de la planète et celle du satellite.							- -
c) Ajoute la légende « étoile », « planète », « satellite » et donne un titre au schéma qui précisera le mouvement de la planète et celui du satellite.						-	- -

Exercice 3 : Le poids – la masse

1) Connaissances

Différence	Poids	Masse
Définition		
Appareil de mesure		
Nom et symbole de l'unité		

2) Application

En partant pour la Lune, Tintin n'a pas oublié la balle de Milou. La masse de celle-ci est de 50 g.

Données

Astre	Terre	Lune
Intensité de pesanteur, g , en N/kg	10	1,6

a) Sur Terre, Tintin place cette balle sur le plateau d'une balance de Roberval. Quelle masse doit-il ajouter pour rétablir la balance ?

b) Il accroche la balle à un dynamomètre. Quelle sera la valeur indiquée ? Poser les calculs et rédiger suivant la méthode vue en classe.

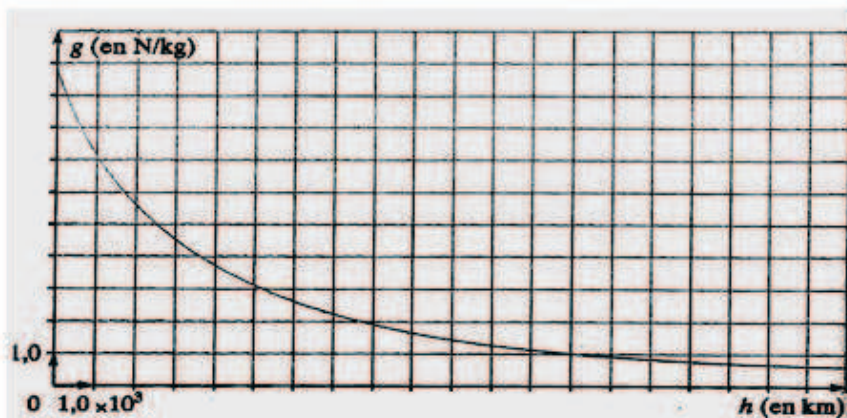
c) Arrivé sur la Lune, il refait les mêmes expériences avec les mêmes appareils de mesures.

1) Quelle sera la masse de la balle sur la Lune ? Justifier.

2) Quel sera le poids de la balle sur la Lune ? Justifier.

Exercice 4 : Etude d'un graphique

Le document ci-dessous donne la variation de la constante de gravité, g , en fonction de l'altitude, h .



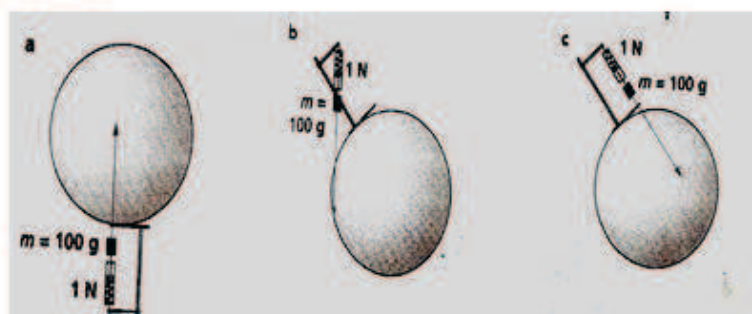
- a) A l'aide du graphique, compléter le tableau. Justifier les réponses par un tracé, de couleurs différentes, sur le graphique.

Altitude (en km)	1000 ($1,0 \times 10^3$)			$1,3 \times 10^4$
Constante de gravité (N/kg)		3	10	

- b) Quelle conclusion tirez-vous de l'étude de ce graphique.

Exercice 5 : Représentation du poids

Parmi ces dessins représentant le poids d'un objet sur la Terre, un seul est correct. Retrouve-le et justifie ton choix.



Exercice 6 : Détermination expérimentale du poids ou de la masse de l'objet :

Sujet tiré	
Choix du matériel adéquat	**
Mesure (précision, utilisation du matériel)	**
Valeur lue : P = Ou M =	**
total	/3

Annexe 19-4 : Evaluation : La gravitation - le poids - la masse. Classe de Florence, page 4 sur 4

Annexe 20 Evaluation : Devoir de mécanique. Classe d'Henri

NOM :		DEVOIR de MECANIQUE		février 2011			
Prénom :							
Classe : 3 ^e							
Je connais mon cours	J'applique mon cours	Je raisonne	Je communique	/30			
/6 *	/17 *	/4 *	/3 *				
Communication : Propreté, présentation, rédaction, unités...				C	A	R	C°
1 Pour chaque proposition, coche les bonnes réponses.							
a) Le poids d'un objet sur Terre est une action... <input type="checkbox"/> attractive <input type="checkbox"/> répulsive <input type="checkbox"/> de contact <input type="checkbox"/> à distance				*			
b) Le poids d'un objet sur Terre est une action exercée... <input type="checkbox"/> par le Soleil <input type="checkbox"/> par la Terre <input type="checkbox"/> horizontalement <input type="checkbox"/> verticalement				*			
2 Relie chaque grandeur physique à ses caractéristiques.							
masse • • s'exprime en newton valeur du poids • • se mesure avec une balance • se mesure avec un dynamomètre • s'exprime en kilogramme				*			
3 Relie d'un trait, chaque case de gauche à la case de droite correspondante.							
P = 10 N g = 10 N/kg		g = 3,6 N/kg			*		
P = 100 N m = 27,8 kg		P = 1,5 N			*		
m = 500 g g = 3 N/kg		m = 1 kg			*		
		P = 1500 N					
4 - <u>Les réponses aux questions suivantes doivent être rédigées sur copie</u> - Sur les images rapportées de la Lune, les astronautes américains des missions Apollo semblaient s'envoler à chaque pas. Pourtant leur scaphandre avait une masse de 100 kg...							
a) Calcule la valeur du poids, sur la Lune, d'un astronaute de 80 kg équipé de son scaphandre.					**		
b) Calcule la valeur du poids, sur la Terre, du même astronaute équipé de son scaphandre.					**		*
c) Quelle est la masse de cet astronaute (sans son scaphandre) sur Terre ? Explique.					**		
d) Explique le phénomène décrit dans l'énoncé.						*	
On prendra : $g_T = 10 \text{ N/kg}$ sur la Terre et $g_L = 1,6 \text{ N/kg}$ sur la Lune							
5 La Lune décrit autour de la Terre une orbite, représentée ci-contre.							
a) Pourquoi la Lune tourne-t-elle autour de la Terre ? 				*			
b) Quel phénomène permet d'affirmer que la Lune exerce également une action sur la Terre ?					*		
c) Représente en vert, la trajectoire qu'aurait la Lune (à partir de sa position indiquée sur le schéma) si la gravitation disparaissait subitement.						*	

⑥ Gaston, astronaute un peu perdu dans l'espace, arrive sur une planète inconnue... Pour tenter de l'identifier il rassemble plusieurs objets et mesure leur masse et leur poids. Voici ses résultats :

Masse (kg)	0,3	0,5	0,8	1,2
Poids (N)	2,7	4,5	7,1	10,7

a) Trace le graphique représentant l'évolution du poids en fonction de la masse.

On prendra :

- en abscisse : 1 cm pour 0,2 kg
- en ordonnée : 1 cm pour 1 N

b) Que peux-tu dire du graphique obtenu ?

c) Que peux-tu en déduire pour le poids et la masse ?

d) Que vaut l'intensité de la pesanteur sur cette planète ? Justifie ta réponse.

e) Dans ses fichiers de données, Gaston retrouve le tableau suivant. Celui-ci lui permettra-t-il d'identifier l'astre où il se trouve ? Explique.

	mercure	venus	mars	terre	jupiter	saturne
g	3,7	8,9	3,7	9,8	24,8	10,4



⑦ Jupiter se trouve à une distance $R = 8 \times 10^8$ km du Soleil. On admet que sa trajectoire autour du Soleil est circulaire et que Jupiter met 12 années pour en faire le tour.

Calcule en **km/s**, la vitesse orbitale de Jupiter autour du Soleil.

On rappelle que le périmètre P d'un cercle de rayon R est obtenu par la formule $P = 2 \times \pi \times R$ ($\pi = 3,14$) et... que dans 1 année il y a 365 jours !

IV. Extraits de références théoriques

Annexe 21 Knowledge components in different conceptualizations of pedagogical content knowledge (Van Driel, Verloop, & de Vos, 1998)

Knowledge of:						
Scholars	Subject matter	Representations and Strategies	Student Learning and Conceptions	General Pedagogy	Curriculum and Media	Context Purposes
Shulman (1987)	^a	PCK	PCK	^a	^a	^a
Grossman (1990)	^a	PCK	PCK	^a	PCK	PCK
Marks (1990)	PCK	PCK	PCK	^b	PCK	^b
Cochran, et al. (1993)	PCK ^g	^b	PCK ^g	PCK ^g	^b	^b
Fernández-Balboa & Stiehl (1995)	PCK	PCK	PCK	^b	^b	PCK

^aDistinct category in the knowledge base for teaching.
^bNot discussed explicitly.

Annexe 22 Buts des différentes orientations pour l'enseignement des sciences (Magnusson & al., 1999)

Orientation	Buts de l'enseignement
Méthodes « Process »	Aider les élèves à développer des « compétences sur les méthodes scientifiques ».
Rigueur académique (Lantz & Katz, 1987)	Représenter une discipline à travers un ensemble particulier de connaissances (par exemple la chimie).
Didactique	Transmettre les faits scientifiques.
Changement conceptuel (Roth, Anderson, & Smith, 1987)	Faciliter le développement de connaissances scientifiques en confrontant les élèves avec des situations qui remettent en question leurs conceptions.
Conduite de l'activité (Anderson & Smith, 1987)	Permettre aux élèves d'être actifs avec du matériel pour qu'ils puissent proposer des expériences, enseignement de type « hands-on » (démarche d'investigations).
Découverte	Fournir aux élèves des opportunités de découvrir par eux-mêmes des concepts scientifiques ciblés.
Démarche de projets collaboratifs en sciences (Ruopp, Gal, Drayton, & Pfister, 1993 ; Marx, et al., 1994)	Impliquer les élèves à trouver des solutions à des questions authentiques par l'enquête.
Enquête (Tamir, 1983)	Représenter la science comme une investigation.
Investigation guidée (Magnusson & Palincsar, 1995)	Constituer une communauté d'apprenants dont les membres partagent la responsabilité de la compréhension du monde physique, en utilisant particulièrement les outils de la science.

Annexe 23 Caractéristiques de l'enseignement en fonction de l'orientation de l'enseignant (Magnusson & al., 1999)

Orientation	Caractéristiques de l'enseignement
Méthodes « process »	L'enseignant introduit les élèves aux raisonnements employés par les scientifiques pour acquérir de nouvelles connaissances. Les élèves s'engagent dans des activités afin de développer le raisonnement scientifique et des compétences.
Rigueur académique	Les élèves sont confrontés à des problèmes et des activités difficiles. Les séances de TP et les démonstrations expérimentales sont utilisées afin de vérifier les concepts scientifiques en démontrant les relations entre des concepts particuliers et des phénomènes.
Didactique	L'enseignant présente des informations, en général à partir de conférences ou de discussions, et les questions posées aux élèves ont pour but de vérifier qu'ils connaissent les faits produits par la science.
Changement conceptuel	Les étudiants sont interrogés sur leurs visions du monde et à propos de la pertinence d'explications alternatives. L'enseignant facilite la discussion et le débat pour établir des affirmations (connaissances) valables (correctes).
Conduite de l'activité	Les étudiants participent à des activités d'investigation (« hands-on ») à des fins de vérification ou de découverte. Les activités choisies doivent être adaptées ce qui nécessite chez les enseignants de comprendre les buts particuliers.
Découverte	Centration sur l'élève. Les élèves explorent le monde « réel » en fonction de leur propre intérêt et découvrent des modèles permettant de décrire comment il fonctionne.
Démarche de projets collaboratifs en sciences	Centration sur le projet. L'activité de l'enseignant et des élèves est orientée par une question « productive », qui organise les concepts, les principes et les activités au sein d'un sujet d'étude. A travers l'investigation, les élèves développent un certain nombre d'instruments (des productions) qui reflètent leur compréhension.
Investigation	Centration sur l'investigation. L'enseignant aide les élèves à définir et investiguer les problèmes posés, à tirer des conclusions et évaluer la validité des connaissances issues de leurs conclusions.
Investigation guidée	L'apprentissage centré sur la communauté. L'enseignant et les élèves participent à la définition et à l'investigation d'un problème, à la construction des modèles, à l'invention et aux tests des explications, et l'évaluation de l'utilité et de la validité de leurs données et la cohérence de leurs conclusions. L'enseignant étaye les efforts des élèves pour utiliser le matériel et les outils intellectuels de la science jusqu'à ce qu'ils acquièrent une autonomie.

Annexe 24 Modèle EFSI à 6 dimensions (Grangeat, à paraître)

Dimensions critiques Des situations ESFI	Eléments des savoirs-processus Les règles d'action qui guident l'activité enseignante dans les ESFI
Qui est à l'origine du questionnement ?	L'enseignant apporte le questionnement initial
	L'enseignant propose un questionnement initial en lien avec l'expérience des élèves
	Les élèves construisent un questionnement à partir d'une situation proposée par l'enseignant
	Les élèves construisent un questionnement à partir d'un thème qui dépasse la seule séance en cours
Quelle est la nature du problème ?	L'enseignant propose un protocole à suivre étape par étape
	L'enseignant propose une situation connue permettant aux élèves de concevoir un protocole
	Les élèves disposent d'un matériel limité pour répondre à une consigne ouverte
	Les élèves disposent d'un matériel libre pour répondre à une consigne ouverte
Quelles responsabilités ont les élèves ?	L'enseignant met en place les étapes de la démarche d'investigation
	L'enseignant amène les élèves à concevoir plusieurs procédures
	Les élèves sont responsables du processus d'investigation
	Les élèves disposent d'outils d'auto-évaluation conçus par ou avec l'enseignant
Que faire de la diversité des élèves	L'enseignant gère le comportement de certains élèves pour les rendre actifs
	L'enseignant modifie la tâche pour maintenir l'engagement de certains élèves
	Chaque groupe d'élèves bénéficie du guidage de l'enseignant
	Certains élèves, ayant des besoins spécifiques, bénéficient d'une adaptation de la situation
Quelle est la place de l'argumentation ?	L'enseignant facilite la communication entre les élèves dans les petits groupes
	L'enseignant fait communiquer à la classe les propositions des élèves
	Les élèves sont encouragés à prendre en compte les arguments d'autrui
	Les élèves sont encouragés à justifier leurs réponses par des savoirs ou des résultats
Quel niveau d'explicitation des savoirs visés par l'enseignant ?	L'enseignant énonce ses attentes pour la séance en cours
	L'enseignant fait le bilan de la séance à propos des savoirs
	Les élèves expliquent ce qu'ils ont appris durant la séance
	Les élèves disposent explicitement des connaissances nécessaires à un réinvestissement des acquis

V. Méthodologie : Recueil de données sollicitées pour la recherche

Annexe 25 Questionnaire de présentation personnelle

Questionnaire de présentation personnelle

Nom : _____ prénom : _____
Établissement : _____

I- Histoire professionnelle

1. Quelles études avez-vous suivies ?

Baccalauréat série			
CPGE	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	filière : _____
Licence	Intitulé : _____		
Maîtrise	Intitulé : _____		
École d'ingénieur	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non	précisez laquelle : _____
Autre cursus	_____		
CAPES			Année : _____
Agrégation			Année : _____

2. Avez-vous effectué une reprise d'étude depuis votre titularisation ? Dans quelle discipline ?

3. Formation initiale comme enseignant

	Académie	Année
IUFM		
Autre (précisez)		

4. Précisez votre parcours d'enseignant :

Établissements d'exercice (collège/ lycée)	Académie	Année(s)	Remarque(s)
Ancienneté dans le poste			

5. Intervenez-vous dans la formation d'enseignants (F.C) ? ☐ oui ☐ non

Précisez.

6. Intervenez-vous dans la formation des professeurs stagiaires (F.I.) ? ☐ oui ☐ non

Précisez.

7. Intervenez-vous dans d'autres type(s) de formation ? Si oui, lesquelles ?

II- L'environnement de travail actuel : élèves, collègues, matériel

8. Quelles classes avez-vous cette année ?

9. Êtes-vous professeur principal d'une de ces classes, si oui laquelle ?

10. Pour le niveau observé dans le suivi : quelle expérience avez-vous de ce niveau de classe ?

11. Pour la classe observée dans le suivi : comment qualifieriez-vous cette classe (choisir 3 qualificatifs) ?

Homogène	hétérogène	calme	agitée	intéressée	désintéressée	autre
----------	------------	-------	--------	------------	---------------	-------

Quelles sont les informations qui vous permettent de choisir les qualificatifs ci-dessus ?

12. Pour la classe observée dans le suivi : connaissiez vous déjà certains élèves de la classe ? Si oui, quel pourcentage ?
13. Décrivez vos conditions matérielles dans l'établissement :
- avez-vous une salle de cours attitrée ? Si oui, disposez-vous de paillasses dans cette salle ? Disposez-vous de matériels dedans à l'année ? De quel type ?
 - Si non, disposez-vous d'une salle de T.P. différente de celle de cours ? est-elle à côté de la salle de cours ?
 - Le laboratoire est-il proche des deux salles (si différentes) ?
 - Votre salle de cours et/ou de T.P. sont-elles équipées de matériel informatique ? Si oui, précisez l'équipement. Quelle est votre fréquence d'utilisation avec les élèves ?
 - Si non, avez-vous accès à une salle informatique ? Avec quel équipement ? Quelle est votre fréquence d'utilisation ?
 - Les élèves disposent-ils d'équipements particuliers (ordinateurs portables...) ?
 - Votre établissement dispose-t-il d'un environnement numérique de travail ? Si oui, vous connectez-vous régulièrement ? Pour quels type d'actions ?
 - Effectuez-vous vos préparations de classe : dans la salle des profs ? dans une salle de classe ? au laboratoire ? Ailleurs au collège ? Pourquoi ce(s) choix ?
 - A quel autre matériel pouvez-vous avoir accès dans votre établissement : ordinateur portable, vidéo-projecteur... ?
14. Combien y a-t-il de professeurs de physique-chimie dans votre établissement ?

III- L'enseignement de la physique-chimie au collège

En considérant l'ensemble des trois niveaux du collège :

15. Quel est votre sujet d'enseignement favori au collège ? Pourquoi ?
16. Dans quel(s) thème(s) les élèves ont-ils le moins de difficultés ? Pourquoi ?
17. Dans quel(s) thème(s) les élèves ont-ils le plus de difficultés ? Pourquoi ? Comment facilitez-vous les apprentissages dans ce thème ?
18. De manière générale en classe mélangez-vous des séances de cours avec des séances de T.P. dans une même tranche horaire ? Pouvez-vous expliquer les raisons de votre choix ?
19. Parmi les thèmes au programme de la **classe de troisième** quel est celui ou ceux qui vous semble(nt) le plus délicat à enseigner ? Pouvez-vous préciser les difficultés ? Comment y remédiez-vous ?
20. Qu'est-ce qui selon vous motive le plus les élèves en classe ?
21. Pourquoi est-il important pour vos élèves d'apprendre de la physique et de la chimie au collège ?

IV-Travail collectif dans et hors établissement scolaire

22. Avez-vous l'habitude de travailler avec les collègues de votre établissement ?
23. Si oui, quelle est la nature de ce travail collectif ? Quand a-t-il commencé, y a-t-il eu des évolutions importantes ?
24. A t-il eu des répercussions sur votre enseignement ? De quelle manière ?
25. Participez-vous ou avez-vous participé à d'autres groupes de travail d'enseignants de physique-chimie : association, groupe de secteur, jury, recherche...?
26. Quels ont été les motifs professionnels pour vous engager dans de telles équipes ?
- Se former
 - Échange d'expériences
 - Échange de ressources
 - Autres, précisez
27. Ces échanges ont-ils influencé votre enseignement ? A quel niveau ?
28. A propos de la formation continue : suivez-vous régulièrement des stages, ou d'autres formes de formation continue ? Précisez quels types de formation , quelles thématiques.

Objet du stage (décrire succinctement)	Réinvestissement(s) ?

29. Quel est l'effet du temps passé dans le travail professionnel collectif (ou collaboratif) sur votre propre travail d'enseignement ?
- Le temps consommé dans le travail collectif fait évoluer ma propre pratique.
 - Le travail collectif me prend beaucoup de temps.
 - Le temps passé dans le travail collectif est une composante de mon propre temps d'enseignement.
 - Autres, précisez.

Annexe 26 Journal de bord d'André (1^{er} degré)

Date	Evaluation, investigation, apports du maître, autres Tâche ?	Lieu précis	Horaire	Notions scientifiques/concepts	Ressources utilisées <i>Didactisées, humaines, matérielles, académiques, autres</i>	Archivage : quel support ?	Commentaires
					Type	Lieu/Origine	
06/11/20	Recherches préalables (avant les vacances de la Toussaint) sur les notions étudiées : personnes connaissant l'électricité ; internet ; souvenirs et pratiques personnels ; cours de l'an passé. Quelle progression pour arriver à la notion visée ? Que devront retenir les enfants ?	maison	15h00 à 17h00	Circuit simple : ampoule + pile. Ampoule + pile + 2 fils. Symbolique de l'électricité	Connaissance propre Recherche internet cartable.fr Réinvestissement de prep d'autres séances (forme)	Ordinateur, papier.	Grande attention à la présentation, aux « paroles » qui seront dites, à la chronologie de la séance. Beaucoup de temps pour une séance d'une heure !
14/11/20	Relecture de la prep. : je décide de ne faire que des binômes, par aspect pratique pour l'organisation de la classe, et pour la manipulation comme j'ai assez de matériel.	maison	16h30				
15/11/20	Préparation du matériel ; photocopie des documents. Relecture de la séance.	école	8h40				
15/11/20	Retour sur la séance 1 : bilan positif, mais 1 heure effective est nécessaire. Les élèves ont réagi à ce que j'avais prévu. Préparation dans la foulée de la séance 2 : relecture de la progression et « visionnage mental » par rapport à aujourd'hui, les réactions, le matériel, de la séance 2.	maison	20h30	Montage en série	Mémorisation du matériel vu en classe pour visualiser en premier lieu la S2.	Ordinateur puis impression papier	Plus rapide à préparer car j'ai le recul de la journée : une bonne heure tout de même.
Date	Retour sur la pratique de classe Constat argumenté : retour sur le « prévu »	Analyse de la 2 ^{ème} séance : objectif réussi, les élèves ont su réaliser ce qui était demandé. Par rapport à la préparation, en cours de séances, les E n'ont pas utilisé les signes conventionnels. J'ai dirigé quelques élèves en cours de séance, puis décidé de corriger en phase collective en validant ou non leurs dessins à l'aide d'une croix verte ou rouge. C'est plus marquant et surtout cela leur fait voir qu'une consigne doit être suivie jusqu'au bout.					

Annexe 27 Journal de bord de Florence (2nd degré)

Date	N° activité	Type d'activité : cours/TP/Exp./ TP.cours/ exercice/devoir..	Lieu précis	Horaire	Idées scientifiques importantes/concept (choix pour la classe)	Ressources externes utilisées de type : <i>didactisée, humaine, matérielle, académique, autres</i>	Archivage : quel support?	Commentaires
16/01	1	TP/cours	Bureau (Maison)	15h-17h	Distinction entre le poids P et la masse m. Caractéristiques du poids Partie théorique	Revue « sciences et vie junior » Manuels scolaires Cours année 2009/2010. Choix d'exercices	Clé USB	
17/01	2	Devoir	Bureau (Maison)	17h-19h	Contrôle P et m et gravitation	Devoir année scolaire précédente	Clé USB	
23/01	3	Devoir	Bureau (Maison)	17h-18h	Réalisation d'un second sujet (quelques modifications)		Clé USB	2 classes par établissement
01/02	4	Expérience	Labo.	12h30-13h15	Vérification du matériel	Balance dynamomètre		
Date 1/02	Retour sur la pratique de classe				Les activités prévues ont été effectuées. Bonne interaction avec la classe. Pb : de nombreux absents. Il faut prévoir des révisions au début de la séance suivante.			

VI. Méthodologie : Extraits de transcripts des entretiens

Annexe 28 Caractéristiques poids/masse en tableau. Avec Henri et Florence

Locuteurs	Productions verbales
H	on voit que c'est des troisièmes
C	pourquoi tu dis ça?
H	parce qu'elle dit la colonne a pas besoin d'être large / c'est pas le genre de truc auquel je pense
F	ah oui si tu dis pas ça ils te disent combien de carreaux
H	t'es en troisième florence
F	ah ben je sais
H	t'as introduit déjà que c'était une attraction
F	oui avec un petit texte
H	pourtant tu leur avais fait émerger la notion
F	oui
H	tu vois ils auraient dû dire attraction c'est pas bien !
F	oui en effet mais ils l'ont bien retenu je te garantis
C	qu'est-ce qui est pas bien?
H	ben ça vient pas tout de suite /// avec moi c'est pareil
F	le pire ça a été après
H	tu sais quand c'est encré là-dedans ((il montre le cerveau)) tu rames / je me vois encore regarder alain ça continue à se mélanger là-haut
C	alors pourquoi c'est intéressant de le montrer à henri?
F	parce que justement comme il y a la confusion entre poids et masse du coup en faisant un tableau à chaque fois on distingue les deux
H	ouais ouais très bien / ah effectivement c'est très bien
C	pourquoi c'est très bien?
H	c'est bien parce que visuellement / là elle bosse pour les visuels là
C	tu avais pensé surtout aux visuels quand tu l'as pensé?
F	j'ai surtout pensé à vraiment séparer les deux / pour pouvoir comparer parce qu'il y a tellement de confusions qu'en tableau comme ça c'est beaucoup plus clair
H	ah ça me plaît bien / c'est bien structuré
F	et c'est la seule classe où je l'ai fait / parce que dans les autres j'avais gardé le plan classique / donc j'avais fait l'étude de document 1 le poids la masse définition et tout ça
H	et pourquoi t'as pas fait ça dans les autres classes?
F	parce que quand j'ai vu déjà comment ça tournait sur la gravitation la fois précédente je me suis dit holà ici il va falloir faire un truc
H	d'accord

C	t'as vu ça dans quelle classe?
F	j'ai fait comme ça avec les deux classes de plounéour et avec les deux classes de st martin j'ai fait autrement
C	quel est le moment qui a été déclencheur (...?) pour que tu inventes ce tableau?
F	ça vient après la séance de st martin mais je ne sais plus pourquoi/ je me demande si au départ c'était pas une question côté pratique éviter de réécrire à chaque fois les définitions / je crois que c'est parti de là / plutôt que d'écrire 2 fois définition du poids définition de la masse / je crois que c'était côté pratique et pis après finalement il m'a semblé que c'était plus efficace
C	et au final pour l'avoir testé sur les 2 classes de plounéour est-ce qu'au final t'es convaincue?
F	ah oui c'est sûr! mais il faudra enlever des choses
C	c'est-à-dire?
F	en réduisant un peu tout ce qui est latitude euh / enfin voilà
C	comment sais-tu en le créant que c'est pertinent
F	t'as l'impression que c'est quand même plus clair dans leur esprit
C	ça c'est une impression
F	oui mais sur les contrôles quand même je trouve que ça a mieux marché la question sur poids et masse tu demandes le poids d'un objet de 800g sur la lune j'ai eu plus de bonnes réponses à plounéour qu'à st martin
C	alors que st martin est une classe meilleure qu'à plounéour
F	ouais ouais
H	en tant qu'observateur je trouve que c'est vachement bien ce qu'elle fait là //quand deux notions posent problème car justement elles sont trop imbriquées l'une dans l'autre c'est bien visuellement de bien distinguer les deux notions // j'ai jamais pensé le faire et ça ça me plaît beaucoup ça
F	on travaille à partir d'un texte de science&vie junior
C	tu utilises henri des fois des petits articles ou comme ça de science&vie junior
H	rarement // je suis convaincu que c'est bien / mais depuis 2 ans je n'ai pas le temps / par contre j'ai du mal à utiliser les textes tels quels tu vois je me les approprie je préfère/ si tu veux les reprendre les reformuler à ma sauce par rapport à ma logique
F	tandis que là je l'ai pris tel quel en ayant coupé la fin sur le pèse personne
H	j'ai du mal à prendre un document tel quel
C	tu l'as pris tel quel parce que /
F	je trouvais que les informations qui étaient dedans allaient bien avec le cours
C	c'est-à-dire ça allait bien avec le cours /
F	le maximum d'informations nécessaires au cours et puis c'était donner enfin se servir d'un texte

C	et toi henri quand tu réécris ces textes-là /pourquoi tu les réécris?
H	parce que je m'approprie toujours un document / y'a toujours des détails qui me dérangent / euh / comme par exemple / tu sais un document sur newton ben la fin me déplaisait j'ai pas pu m'empêcher de la reprendre / et si tu veux y'a toujours quelque chose qui me déplait dans un texte // deux possibilités soit tu fais avec en l'état ou ça ça me dérange vraiment tant pis je le refais. c'est comme ton contrôle tu vois je suis incapable de le redonner tel quel
F	ah oui c'est évident c'est évident
H	je prendrai 90% du contrôle et puis le reste / et puis il y a la formulation
F	bien sûr on ne présente pas tous de la même façon / les questions ne sont pas posées de la même façon
H	de toute façon je suis partisan moi qu'on ne peut jamais ça c'est la formation qui me l'a appris ça on ne peut jamais reprendre un travail fait par quelqu'un / euh pour moi c'est rigoureusement impossible il faut toujours se l'approprier
C	la formation euh c'est laquelle
H	la fc
F	moi je trouve que quand c'est tiré d'un magazine comme ça après tout c'est un texte qu'ils rencontrent
H	ça se défend hein
F	ouais c'est ça en général je reprends les textes
H	ça se défend /// euh / quand tu regardes ton cours qu'est-ce qui te frappe
F	je parle tout le temps
H	moi c'est pareil euh / je trouve qu'on parle trop beaucoup trop et ça c'est la pression qui nous est mise avec les programmes (...?) et on parle beaucoup trop
F	et moi beaucoup trop fort
H	on les saoule et moi je suis pas mieux hein
F	quand j'ai regardé chez moi je me suis dit mais j'arrête jamais jamais jamais
H	on les saoule / on comprend mieux pourquoi y'en a qui pètent un câble à la fin de la journée
C	quand tu dis c'est la pression par rapport aux programmes c'est quoi // en terme de quantité hum /
F/H	c'est ça
H	et j'ai assisté à un cours de lère s euh / le mec génial c'est un jeune agrégé euh / ça percute à une vitesse tu sens euh / c'est super ce qu'il a fait / mais vache quel cadence ! et je lui ai dit t'as vu t'avances à marche forcée quand même et puis il me dit t'as vu le programme de lère s / un chapitre tous les 15 jours devoir inclu il me dit j'ai pas le choix (...?) je suis d'accord
C	là l'image te renseigne pourquoi par moment tu as des élèves qui décrochent / uniquement par le débit de paroles
F	bon on continue là on est à l'heure et on repart

H	a tout endroit de la terre ((il réagit au propos de Florence sur le fait que la masse d'un objet sera identique à tout endroit de la terre)) pourquoi t'as pas transposé sur une autre planète?
F	parce que je pense que je n'y ai pas pensé sur le coup
H	parce que c'est ce que j'ai dit on en a parlé avec le temps au début tu sais j'étais en train de dire au 3ème que pourquoi elle ((la masse)) variait en fonction de l'altitude en fonction des planètes de la longitude de la latitude et / par contre maintenant je ne fais plus ça // le poids est grosso modo le même partout sur la terre
F	ah pas moi
H	ça suffit (...?) ça joue sur des centièmes et par contre c'est vachement important qu'ils retiennent que ça change quand on change de planète et du coup pour la masse je sous-entends qu'elle est la même partout sur terre et ce qui est vraiment important c'est de leur dire qu'elle est la même aussi sur une autre planète
F	et le poids moi je leur dis qu'il change même entre plouneour et morlaix
H	ce sont deux approches qui sont différentes
C	pourquoi ce choix de dire que c'est différent entre /
F	c'est pour montrer un peu la notion d'altitude / que l'altitude ça joue un petit peu
H	c'est tellement minime
F	je sais
H	à la limite c'est un peu abusif car ça ne change pas /// mais là très clairement on a l'avantage et les inconvénients / nul n'est parfait / là je ressens les avantages et les inconvénients d'être vachement rigoureux et euh / et ça peut être à la fois vachement bien et un handicap pour des gamins du collège euh / d'être à la limite trop stricte / on les polarise sur des notions un peu mineures alors qu'il faudrait les concentrer sur des notions /
C	est-ce que tu as un exemple concret dans lequel tu t'es aperçu que la rigueur amenait plus de confusion que de clarté?
H	voilà par exemple au début j'étais comme Florence au début je donnais g à l'équateur g au pôle n g au sommet du mont blanc euh / et puis finalement je me suis rendu compte que j'encombrais un peu trop leur tête avec trop de notions / c'était pas forcément inutile mais est-ce que c'est utile d'encombrer leur tête avec autant de subtilités
F	ah là y'a un endroit où c'est sûr que / sur les propriétés
H	là j'ai évolué par rapport à quand j'étais jeune prof. et là maintenant tu verras je dis en première approximation on peut admettre que au niveau du collège
F	je pense que mon tableau au niveau des propriétés sera encore à simplifier c'est clair
H	et ça c'est récent je suis convaincu moi que euh / il faut le faire comme ça // en précisant que c'est pas la réalité mais au collège en première approximation on admet que // y'a d'autres exemples comme ça (...?) tiens pour le pH ou pour la résistance au niveau du collège à l'unité la résistance on ne s'embête pas

	avec les dixièmes / au lycée on touche les dixièmes et même les centièmes et moi j'ai vu le fameux garçon en lère s je lui ai dit franchement il était en train d'écrire un résultat au centième d'ohm je lui ai dit quel est le sens physique que tu donnes à ça et là il me regarde et puis il me dit exact ! eh ouais je lui ai dit le dixième c'était largement suffisant et donc au collège voilà c'est à l'unité on ne rigole pas là-dessus j'en suis rendu au point où quand on m'exprime un résultat au dixième le jour du contrôle je sanctionne
G	ah oui je fais pas
H	j'enlève ½ point parce que j'ai dit je veux à l'unité pas au dixième
F	par contre des points si par exemple ils me disent ils font par exemple un calcul de vitesse et il tombe sur 45,67 enfin plein plein de chiffres là je dis non sinon la calculatrice donne 10 chiffres / en général ils arrondissent à deux chiffres
H	on troncature moi je dis que 2 chiffres après la virgule arbitraire max
C	toi tu gères ça plutôt par rapport à un sens physique?
F	ça dépend ce que c'est pour le dynamomètre /
H	sauf pour la résistance ou le ph
F	moi je fais les codes de couleurs pour les résistances j'aime bien
H	(...?) et là c'est inhérent au tempérament c'est vrai que j'ai un côté / euh tu vois des fois j'en oublie l'incontournable j'en suis rendu à même plus l'écrire / les défauts de mes qualités
C	en début de carrière je pense que tu écrivais
H	ouais
C	c'est venu au fur et à mesure que tu te décentrais par rapport à ton cours
H	ah ouais
F	ah ouais
H	tu t'éloignes du tableau des fois trop
G	ah moi je suis capable de faire cours la plupart du temps avec le classeur fermé mais par contre le tableau j'en ai besoin après /// parce que les définitions les trucs comme ça on les fait avec les élèves mais euh / il me faut mon tableau
H	moi je pourrais très bien le bazarder le tableau mais je m'oblige pour les élèves visuels
C	donc toi c'est par rapport aux formes d'apprentissages
H	ah oui
F	je pense qu'ils ont besoin de euh /
C	à différencier ceux qui sont plutôt visuels et les auditifs
H	c'est vachement important (...?) j'en suis convaincu c'est nécessaire
C	toi aussi tu es convaincu de ça?
F	oui certains ont besoin de l'écrit pour apprendre et d'autres de voir

C	c'est quelque chose que vous avez eu dans votre formation initiale ou c'est quelque chose qui vous est venu par observation sur le terrain euh /
H/F	le terrain
F	par contre maintenant je parle plus je dis plus par oral les définitions enfin que je disais avant / c'est-à-dire que là je parle et j'écris en même temps chose que je ne faisais pas avant / avant j'écrivais et puis voilà / y'a le côté parlé que enfin pour ceux qui préfèrent écouter / je répète au moins dix fois la même chose de façons différentes mais ça rentre ça rentre
	((florencia avance dans la vidéo)) alors là y'a 20 min à jeter
H	((florencia jette une craie par terre et demande à un élève de dessiner la trajectoire au tableau)) et là le gamin aurait dû dire que c'est aller trop vite /// c'est bien
F	ouais mais c'est là que j'aurais dû arrêter
H	pourquoi
F	j'aurais pas dû revenir sur la verticale
H	aïe ((henri réagit à l'exemple de la feuille)) il ne fallait pas t'embêter avec ça // et voilà et le risque c'est qu'ils retiennent que les objets ne tombent pas à la verticale
F	j'aurais dû arrêter là on appelle verticale parce que c'était fini
H	c'est perpendiculaire au bureau c'est vertical c'est bien
F	parce que après pour embrouiller c'est bon
C	tu penses qu'ils ont embrouillés là
F	non pas là encore mais voilà je suis allée trop loin et j'ai perdu du temps bêtement et pour la suite mais c'était après quand j'ai mis une verticale horizontale
C	l'expérience de la craie c'était pour trouver la verticale
F	et vers le bas
H	oui mais là on mélange complètement (...?) ça me convient pas / là du coup tu ne fais rien émerger du tout / c'est dans le texte on te dit quand tu dis euh le truc est orienté vers le centre de la terre y'a peut-être moyen de faire émerger ça au niveau des gamins t'es pas obligé de leur balancer ça tel quel
F	ah dans le texte
H	et là on touche du doigt les limites du texte qui donnent trop d'informations du coup au début c'est un cours c'est une entame de cours qui est très intéressante et à mon avis là / on s'oriente vers un cours un peu magistral du coup avec des informations qui sont données de manière trop frontales /// le texte au début c'était vachement bien mais cette partie-là ne me plaît pas moi je crois que j'aurais coupé ah j'aurais certainement pas mis ça j'aurais coupé net // moi ça ne me va pas qu'on dise à des gamins le poids est orienté vers le centre de la terre
C	on continue à remplir le tableau
F	on continue hein
H	ça ça me plaît bien

F	je ne suis pas très contente de ma phrase
H	moi ça m'arrive aussi et puis y'a des fois je mets des phrases foireuses et pis mince c'est trop tard
F	c'est ça c'est écrit et puis si tu effaces oh
H	je peux me permettre de faire une petite critique
F	vas-y
H	moi ce que j'aurais fait j'aurais mis ça ((il montre le paragraphe à l'écran)) j'aurais décalé en vis à vis avec la masse est invariable j'aurais mis le poids est variable
F	ah oui c'est vrai
H	toujours pour garder ce repère visuel
F	voilà
H	et pis après le poids est orienté vers le bas et là j'aurais rien mis en face
F	oui surtout qu'un moment je vais dire que le poids varie entre plusieurs choses (...?) c'est vrai et c'est là que j'aurais pas dû le faire /// ça s'appelle un rétroprojecteur ((florence avance le rétroprojecteur)) // ça existe toujours et je m'en sers beaucoup
H	moi je ne m'en sers pas / autre différence
F	tu utilises le vidéo
H	mais c'est bien hein / y'a plein de choses à faire avec ça
F	surtout quand c'est un tableau à craie pour écrire dessus de toute façon
H	((vidéo : « est-ce que quelqu'un peut venir dessiner la trajectoire de la pomme »)) ah! je devine tout droit
F	eh ben non
H	ah bien ! il y est
F	c'était bon ((vidéo : florence dit : « en math ce serait pas une verticale »))
H	ah oui c'était bon là ((vidéo : florence dit : « il y a le problème de la verticale »)) il y est là
F	pour eux la verticale c'est ça ((elle montre avec son bras)) tout ça c'était inutile ((florence dessine sur le schéma des droites qui passent par le centre de la terre))
H	oui // ah oui parce qu'il avait compris le truc et tu remets une couche alors que c'était bon
F	même le dire vertical comme ça c'était bon c'est vertical
H	ça suffisait /// et tu vois il ne sait plus si c'est bon ou si c'est faux ah!ah! tu vois le mieux est ennemi du bien
F	c'est pour ça je suis allée trop loin c'est ce que j'ai dit
C	c'est-à-dire que tu aurais juste posé le problème / l'élève passe au tableau il dessine la verticale
F	et c'est fini c'est bon
H	ah ouais c'était bien
F	ouais c'était bien fait

H	en plus il a gagné et il retourne à sa place
C	est-ce que tu aurais quand même fait le dessin que tu as fait là ((vidéo, florence : « la terre avec des pommiers vus de l'espace »))
F	juste un et c'est bon on arrête là /// là je continue encore beaucoup trop
H	((florence dessine l'action du poids au niveau d'un objet sur l'équateur)) oohhh! l'action du poids suivant l'horizontale
F	ben ça donne ça la droite va être horizontale
H	mais oui mais eh oh il fallait dire que le poids s'exerce suivant la verticale
F	et oui justement c'est pour leur montrer
H	que l'action est horizontale aaaghh
F	je voulais leur montrer mais ça ne sert à rien
H	pire alors là ils vont sortir de chez toi ils vont avoir les yeux dans les coins hein
F	c'est bien ce que je dis je me suis plantée
C	pourquoi tu dis ça
F	parce que je leur fais tracer une droite modélisant la trajectoire qui est horizontale

Annexe 29 Classer poids et masse dans un tableau. Avec Florence

Objectif : distinguer le Poids de la masse et trouver les caractéristiques du poids.
Classer dans un tableau.

Florence débute la séance en posant une question « alors (...?) si je vous lance je vous dis comme ça dis le poids la masse à quoi ça vous fait penser » après avoir noté le titre de la leçon au tableau.

Locuteurs	Productions verbales
F	c'est marrant c'est ce que j'ai fait aujourd'hui sur l'énergie
C	pourquoi tu dis que c'est marrant?
F	parce que c'est toujours la même chose / je reprends toujours ce schéma-là qui apparaît semble-t-il
C	quelque chose d'un peu répétitif / un cadre euh /
F	ben je ne sais pas si c'est un cadre ou je ne sais pas si c'est conscient ben si parce que je pose des questions mais euh c'est marrant car quand je pense à la séance de ce matin c'est / ça part pareil
C	quel est ton objectif là
F	mon objectif c'est justement de pouvoir classer tout ce qui va avec le poids d'un côté et tout ce qui va avec la masse de l'autre mais déjà dans leurs connaissances d'essayer de faire un peu le ménage avant de commencer quoi
C	de voir un peu où ils en sont
F	ouais faire un diagnostic / où ils en sont ouais / sur les prérequis quoi / c'est vrai que sur le poids et la masse y'a des choses à casser entre guillemet quoi (...?) je laisse dire les mots
C	est-ce que tu savais tu avais déjà une idée de ce qui serait dit et pas dit
F	kilogramme je pensais ça c'était à peu près sûr / je savais que kilogramme serait dans poids / c'est classique / volume je ne m'y attendais pas du tout / et lourd léger je l'avais eu sur une classe à st martin mais pas sur l'autre / sur certains mots je savais qu'ils allaient sortir mais pas au bon endroit / pas dans le bon classement après quoi
C	quand tu reçois volume à ce moment-là tu
F	je parle de contenance
C	tu parles de contenance
F	j'évacue
F	ça s'est quelque chose que j'utilise souvent hein « vous êtes sûr » même sur un exercice quand j'interroge quelqu'un « tu es sûr? » il est ou il est pas sûr mais euh
C	pourquoi tu fais ça?
F	pour l'obliger à réfléchir / pas pour le mettre en difficultés hein / pour l'obliger à réfléchir et pour amener à la classe / euh / c'est peut être la bonne réponse pas la bonne réponse mais euh /
C	donc tu t'arrêtes sur la réponse de l'élève

F	pour l'obliger à réfléchir
C	et les autres à faire quoi
G	à réfléchir en même temps à la réponse de l'élève aussi
C	et est-ce que tu as constaté que du coup ça crée des interactions
G	oui ils arrivent à justifier à donner des arguments parfois
C	du coup ce choix que tu fais d'insister sur un mot plutôt qu'un autre / là en l'occurrence là? comment tu sais que sur balance par exemple tu dois dire « vous êtes sûr »
G	parce qu'il y a tellement de confusions entre le poids et enfin poids net indiqué sur les boîtes de conserve et cette notion de masse avec la balance que je sais que c'est source d'erreur donc je préfère insister les faire douter pendant un petit moment jusqu'à qu'on arrive à la solution où on va indiquer que c'est vraiment la balance (...?) je sais que les soucis viendront de là /
F	((florence réagit à la vidéo)) et là j'ai volontairement laissé tomber le pèse personne avec la notion de poids / volontairement parce que je me suis dit ça va être déjà assez compliqué donc si en plus on intervient euh /
C	donc là tu évacues
F	oui / le principe du pèse personne le fonctionnement etc (...?) parce qu'en fait le texte que j'ai donné là le science et vie ça fini par le pèse personne et j'ai coupé volontairement ça ils n'ont eu qu'une partie du texte parce que euh ça portait à confusion
C	est-ce que tu as fait le fonctionnement du pèse personne avec d'autres classe déjà?
F	pas cette année mais l'an dernier ouais
C	et pourquoi à ce moment à tu l'avais fait
F	parce que j'avais pris le texte en entier euh c'était la première année et donc ça finissait par le pèse personne et euh / c'est vrai que du coup ça posait vraiment des problèmes donc j'ai préféré arrêter (...?) et si les élèves m'avaient demandé j'aurais précisé que c'est un dynamomètre etc / mais là puisqu'ils n'ont pas fait / voilà j'ai préféré ne pas insisté
F	explication du document science et vie junior (2002), vulgarisation / c'était pas extra le vocabulaire utilisé
C	ce document te permet de définir heu /
F	le poids et la masse / plutôt que de donner les définitions / plutôt que de retrouver toutes les définitions
G	((construction du tableau)) on croirait que je parle à des petits (...?) parce qu'en plus après ils vont poser des questions quelle longueur quelle largeur euh
	ah ouais donc comme tu sais qu'ils le posent tu leur donne en avance
	ouais c'est ça
C	donc là c'est la construction du tableau définition poids définition masse unité sous multiple euh appareil de mesure tout ça c'est sous forme de tableau euh /
G	comme ça c'est synthétique euh quand ils vont relire c'est clair euh plus clair que faire tout à la suite

C	t'as testé les deux déjà
G	ouais ouais je trouve que c'est plus facile même pour eux (...?) tu vois bien la différence entre les deux / pour synthétiser mettre en évidence la clarté / en fait quand j'ai fait cours à st martin j'ai pas fait le tableau et c'est ici quand euh et je me souviens quand j'ai fait le cours à st martin je me suis dit ce serait pas mal en partant du document pour construire le tableau / donc j'ai modifié mon cours après le cours de st martin
C	et à st martin tu as fait comment à st martin
G	en fait on a fait les appareils de mesure définition etc à la suite / classique
C	qu'est-ce qui fait qu'à st martin tu t'es dit mais ce serait bien que je fasse un tableau
G	parce qu'à chaque fois je reprenais la définition du poids la définition de la masse et on écrivait l'un sous l'autre et je trouvais que / c'était moins clair quoi les idées étaient moins claires moins précises / il faut que je trouve un autre truc et en fin de compte ben en faisant en tableau c'est pas mal
C	c'est toi qui a trouvé en analysant que c'était moins clair ou c'est une information que tu as eu des élèves
G	non moi j'ai trouvé que en le faisant même en regardant le tableau même de loin que ça faisait moins heu / ben déjà la distinction poids masse n'est pas spécialement claire (... ?) ce qui fait qu'en faisant l'un sous l'autre ben / on regardait toujours quoi on faisait le va et viens pour savoir si c'était le poids ou la masse donc je me suis dit il faut que je trouve un truc pour euh pour bien séparer les deux bien distinguer surtout que le titre c'était distinction donc euh l'idée du tableau ce n'était pas si mal que ça
C	est-ce que c'est quelque chose que tu referas dans les autres classes
G	je reprendrai le tableau oui
53	pas de réaction à la dynamo alors que dans les autres troisièmes ils connaissaient

VII. Méthodologie : Extraits de transcripts et de synopsis des séances de classe

Annexe 30 Synopsis : Electricité - Séance 1 – Cas d'André

Temps	Phases	Scène	Description	Évènements remarquables
0	Introduction de la séquence 1 min	1 min	Présentation du thème. Rappel de ce qui a été fait l'an dernier : Le circuit électrique simple. Mise en commun des apprentissages passés (les élèves sont issus de 2 classes différentes) pour cette séquence	
1	Mise en place de la phase expérimentale n° 1 4,5 min	Consigne de travail 3,5 min	PE donne la consigne de travail. Il propose le matériel (pile et lampe) et il donne le support pour la trace écrite (feuille blanche). PE explique le déroulement PE demande qui n'a pas compris la consigne PE demande qui à la classe d'expliquer le travail à faire Consigne de travail : groupe par 2 sans changer de place	(...) E explique ce qu'il faut faire. PE valide et s'assure que tous les élèves ont compris. PE explicite par un exemple et le nombre total de groupe dans la classe (13 groupes)
		Distribution de matériel 1 min	PE redonne à l'oral la liste de matériel à distribuer (1pile, 1 lampe et 1 feuille blanche). PE donne des consignes : appeler le PE en cas de panne, taille du dessin (au feutre noir) dans la feuille	Un élève aide à la distribution du matériel
	Phase expérimentale 12 min	Allumer une lampe avec une pile 3 min	PE donne le temps imparti à la tâche (10 min.)	Questions d'élèves : peut-on colorier, mettre de la couleur? Réponse affirmative
		Trace écrite 9 min	PE interrompt la phase expérimentale. Il présente le support de la trace écrite individuelle. Il spécifie qu'elle sera à mettre dans le classeur.	PE met du sens à son utilisation, dans un cadre « habituel » : « vous avez l'habitude maintenant ».

16,5			<p>PE Distribue le matériel pour accrocher le dessin au tableau</p> <p>Rappel du temps qu'il reste (5 min)</p> <p>Rappel du temps qu'il reste (3 min)</p> <p>Rappel du temps qu'il reste (1 min)</p>	<p>PE accroche le support de la trace individuelle au tableau et le commente</p> <p>PE avertit que c'est fini mais laisse 1 min de plus</p>
16,5	Mise en commun 16 min	Symbolisation de la pile et de la lampe 6,5 min	<p>PE demande aux élèves de venir accrocher leur dessin au tableau puis de poser les crayons</p> <p>PE : « toutes les ampoules sont allumées au tableau » Les élèves répondent négativement. « ah et pourquoi d'abord comment voit-on qu'une ampoule est allumée au tableau ». Une élève répond qu'elle est colorisée en jaune. PE vérifie que toutes les ampoules sont colorisées en jaune.</p> <p>PE continue sur les codes donnés par les élèves. Il remarque que d'autres signes apparaissent</p> <p>PE : « non non on est toujours sur l'ampoule qui s'allume qu'est-ce que vous avez rajouté autour de l'ampoule pour faire voir qu'elle s'allume » Réponse d'un élève « des traits »</p> <p>PE dessine au tableau une lampe avec des traits et un sans traits. Les élèves disent la signification de ces symboles. PE donne la raison de l'importance de symboliser.</p>	<p>PE demande s'il y a des groupes qui n'ont pas réussi à allumer la lampe. Pas de réponses.</p> <p>PE : « qu'est-ce que vous avez rajouté en plus » Un élève ne donne pas la réponse attendue</p> <p>PE fait référence aux dessins animés puis montre l'intérêt dans le cas d'une photocopie noir et blanc pour un élève absent. Les traits se verront mais pas la couleur.</p>
		Points de contact entre la pile et la lampe. Vocabulaire scientifique 9,5 min	<p>Question du PE : « que faut-il pour que mon ampoule s'allume »</p> <p>PE : « sur les bornes c'est quoi les bornes parce que tu sais moi j'y connais rien en électricité » L'élève répond par rapport au plus et au moins. PE décide de la faire passer au tableau pour montrer aux autres. L'élève parle de bornes plus et moins. PE demande ce que sont les bornes. L'élève ne sait pas. PE interroge une autre élève. Elle pense que c'est par là que toute l'électricité sort. PE enchaîne sur les risques électriques.</p>	<p>Un élève répond de manière incomplète</p>

	<p>PE revient aux bornes plus et moins.</p> <p>Description de la pile à l'aide d'un vocabulaire scientifique : lame de longueurs différentes. Rôle des lames : communiquer l'électricité à la lampe</p>	<p>Il donne le mot « lame » car aucun élève ne le connaît.</p> <p>PE : « à quoi servent-elles ». Une élève ne donne pas la bonne réponse.</p>
	<p>PE : « mais si je prends par exemple mon ampoule qui est là et que je mets mon ampoule sur une borne (PE fait l'expérience) ». Les élèves disent que ça ne marche pas. Le contact doit se faire sur les 2 bornes. PE manipule en fonction des indications des élèves. PE met en évidence de la nécessité d'un vocabulaire commun pour décrire l'action d'allumer la lampe. Il fait référence à l'année passée pour la connaissance.</p>	
	<p>Mise en mots des points de contact nécessaires entre la lampe et la pile pour que la lampe fonctionne.</p> <p>Description de la lampe : filament, verre, plot culot. Schéma au tableau.</p> <p>Le filament s'échauffe et le verre permet de mieux diffuser la lumière.</p> <p>Points de contacts entre les lames le plot et le culot pour que la lampe éclaire.</p>	<p>Une élève doute sur le verre de la lampe. PE répond que c'est du verre.</p> <p>PE : « maintenant je repose ma question que faut-il pour que mon ampoule s'allume que faut-il que je fasse avec ma pile ». Réponse pas attendue.</p>
	<p>PE : « non alors faut mettre le plot ici alors c'est où ici ». PE explique que ce n'est pas assez précis en prenant l'exemple de l'élève absent qui doit comprendre à distance ce qu'il faut faire pour allumer la lampe. Une autre élève tente de répondre mais le PE l'arrête et dit « attends mireille ce que vous allez faire je vais vous laisser 30 secondes vous allez recommencer et vous allez décrire précisément ce que vous devez faire// où se trouve chaque partie »</p>	
	<p>PE schématise la pile avec une légende au tableau. « que faut-il que je fasse maintenant ».</p> <p>Un élève donne les indications au PE en employant le vocabulaire adéquat.</p>	

32,5			PE questionne le sens de branchement (la pile est-elle polarisée?) PE rappelle qu'il faut symboliser la lampe en fonctionnement	Désaccord chez les élèves. PE leur dit d'essayer. Les élèves font les 2 expériences et concluent correctement
32,5	Trace écrite collective <i>4 min</i>		PE demande aux élèves de recopier le schéma au tableau sur la feuille dans le cadre « Trace écrite collective »	PE distribue du matériel il constate que certains schémas ne sont pas assez précis sur les points de contacts. Il interrompt le déroulement et donne des indications au tableau.
36,5				
36,5	Mise en place de la phase expérimentale n° 2 <i>1,5 min</i>	Le circuit électrique élémentaire	PE présente le matériel. Puis il donne la consigne de travail	Un élève demande comment on fait avec les pinces. PE fait le choix de reporter sa réponse et finit de dire la consigne
			PE répond en montrant avec le matériel la connexion au niveau de « la partie métallique » du support de la lampe	
	Phase expérimentale <i>7,5 min</i>		PE donne la durée allouée à cette phase expérimentale PE donne les consignes pour la trace écrite Rappel du temps qu'il reste (2 min)	PE montre au tableau PE demande aux élèves de réaliser 2 circuits différents si possible car il constate que les groupes proposent des montages différents
	Mise en commun <i>9 min</i>	Le circuit fermé	PE demande aux élèves d'afficher les dessins au tableau PE demande de débrancher les circuits pour éviter que les piles s'usent PE commente un dessin et pose la question « qu'est-ce que c'est qu'un circuit »	Il reste 7 min avant de finir la séance Peu d'élèves lèvent la main. PE : « dans quel autre domaine je retrouve le circuit ». Un élève répond « le circuit de course »

54,5			PE demande à l'élève de préciser. Il a du mal. PE : « est-ce que toi par exemple tu as un circuit avec des petites voitures ». L'élève acquiesce. PE : « et ça se présente comment ». PE demande à l'élève de le dessiner au tableau. PE met en évidence le circuit fermé. Il fait l'analogie avec le montage électrique et la nécessité qu'il soit fermé pour que la lampe éclaire.	
			PE donne la notion de circuit; il est fermé	
			PE compare les dessins et demande aux élèves s'ils sont tous identiques.	Une élève montre qu'il y a 2 solutions de dessinées. PE n'est pas d'accord. L'élève argumente
			PE : « mais ça revient à la même chose ça revient à la même chose pour que le courant passe tu te souviens du terme que l'on avait utilisé l'année dernière il fallait qu'il y ait des choses qui soient ». PE donne l'exemple de la baguette de bois, qui dans le circuit ? Les élèves disent que ça ne marchera pas car elle n'est pas en métal. PE rappelle que les éléments du circuit doivent être conducteurs.	
54,5	Leçon 4,5 min	trace écrite collective	Le support de lampe comporte des éléments conducteurs.	Une élève rappelle ce qui avait été fait l'année dernière notamment le rôle de l'interrupteur
			PE met en évidence le circuit ouvert et le circuit fermé par manipulations	
59			PE remarque que cette trace n'est qu'un exemple de circuit sachant qu'il y a plusieurs possibilités	PE distribue le document comportant la symbolisation du système international
		Symbole du système international	PE explique la nécessité d'avoir des symboles valables partout	Manipulation de l'interrupteur de la classe pour appuyer le symbole
59	Devoirs		Commentaire sur la séance à rendre pour demain Travail de la prochaine séance : fabriquer une guirlande	À renseigner sur la feuille distribuée

Annexe 31 Transcript : Nommer les composants. Classe d'André. Séance 1

Locuteur	Productions verbales
A	bien quand vous êtes prêts y'a un élève de chaque groupe qui vient au tableau / tout le monde a mis son prénom les prénoms sur les feuilles /// ((à une élève sur le côté de la classe)) romane est-ce que tu vois là (...?) ((andré accroche les feuilles au tableau))///// bien vous allez poser vos crayons / vous posez vos crayons vous regardez un petit peu le tableau / d'abord par rapport à ce que l'on voit au tableau est-ce qu'il y a des groupes qui n'ont pas réussi à allumer l'ampoule // toutes les ampoules sont allumées au tableau
Es	non
A	non ah et pourquoi / d'abord comment voit-on qu'une ampoule est allumée au tableau
E1	parce que elle a du jaune
A	elle a du jaune ouais c'est vrai / donc si je regarde bien /ici c'est jaune jaune jaune jaune jaune jaune jaune jaune jaune ((andré pointe les dessins au tableau)) vous avez représenté la lumière de l'ampoule par une couleur / d'accord / pour certains dessins notamment celui de thibault et de ambre, de marie et julie, également margaux-enzo justine-océane mireille et charlotte qu'est-ce que vous avez rajouté en plus thibault
T	on a rajouté une (...?) pour expliquer
A	non non non on est toujours sur l'ampoule qu'est-ce que vous avez rajouté autour de l'ampoule pour faire voir qu'elle s'allume enzo
E	plus et moins
A	non
E4	des traits
A	des petits traits ((andré dessine une lampe avec des petits traits)) on voit souvent ça dans les dessins animés et souvent c'est marqué eureka ça veut dire tiens j'ai trouvé la solution ou l'ampoule de mon cerveau s'allume j'ai trouvé la solution et on le représente souvent par ces petits traits quel est l'intérêt de ces petits traits par rapport à la couleur que vous avez utilisé la couleur c'est très bien hein mais imaginons que moi par exemple tiens maxence est absent aujourd'hui je veux lui faire une photocopie à maxence est-ce que la photocopie m'indiquera la couleur jaune
Es	non
	on ne verra même pas la couleur car ça ne passera pas à la photocopieuse par contre si je fais ça ((andré montre les petits traits)) ou si je fais ça ((andré dessine une lampe sans petits traits)) // qu'est-ce que je peux dire entre les deux dessins que je viens de faire les dessins que vous avez faits
E5	le premier est allumé et le deuxième non
A	et le deuxième non /d'accord donc déjà c'est très important ça d'accord la première chose qui était importante dans cette leçon c'est justement que les connaissances que vous aviez des deux classes puissent se mettre ensemble dans une connaissance commune et là la connaissance commune que nous allons

	travailler aujourd'hui beaucoup ça va être les symboles d'accord et on va pouvoir tout dessiner parce que certains vont faire des grands dessins avec des indications avec les lames qui sont plus ou moins grandes et puis d'autres vont faire de tout petits dessins et si on ne dessine pas la même chose si on ne parle pas la même chose on ne pourra pas comprendre la même chose d'accord déborah / donc ça le symbole de l'ampoule allumée ensuite que faut-il pour que mon ampoule s'allume
E6	faut qu'elle soit appuyée sur les
A	sur les quoi
E6	sur les bornes
A	sur les bornes c'est quoi les bornes parce que moi tu sais je ne connais pas grand-chose en électricité
E6	c'est sur la pile les plus et les moins ((e6 montre à andré))
A	les plus et les moins alors tu peux venir nous faire voir carolane ((carolane se lève)) va au tableau là // tu as-tu as ta pile montre à tout le monde monte sur l'estrade fais voir à tout le monde explique à tout le monde
C	la pile on l'abaisse et on la met on l'abaisse
A	est-ce que tu peux nous décrire d'abord cette pile comment est-elle faite qu'est-ce qu'elle a
C	elle a des bornes
A	elle a des bornes c'est quoi les bornes
C	c'est les les
A	ambre
Am	c'est là où toute l'électricité qui est dedans sort
A	oui
Am	pour allumer
A	ça veut dire que ça peut être dangereux pour nous si j'y touche alors
Am	non
A	si je touche je peux m'électrocuter peut-être
Es	non
Am	si on veut que ça s'allume il faut du métal
A	d'accord mais si je touche avec du métal on m'a toujours dit qu'il ne fallait pas que je mette les doigts dans l'électricité par exemple dans une prise de courant mais là si je touche est-ce que je risque de mourir
Es	non
A	vous êtes sûrs ((andré met ses doigts sur les bornes)) tchic tchic
Es	rires
A	donc il y a des bornes des bornes plus et des bornes moins et c'est représenté par quoi c'est quoi ça comment est-ce que l'on appelle ça oui tony
T	du métal
A	oui c'est du métal bien sûr
T	des bornes
A	oui des bornes oui on appelle ça aussi des lames d'accord bien / est-ce qu'elles sont de la même longueur
T	non

A	non et à quoi servent-elles
T	à (...?)
A	mais si je prends par exemple mon ampoule et que je mets mon ampoule sur les bornes ((andré joint le geste à la parole))
Y	ça marche pas
A	ah yoann
Y	faut mettre sur les deux bornes
A	il faut
Y	mettre sur les deux bornes
A	bon ben je mets sur les deux bornes ((manipulation)) voilà là je mets sur les deux bornes
Y	penché
A	penché alors je vais la pencher comme ça/ thomas
Th	faut que le noir touche la pile
A	le noir c'est quoi le noir le noir ici là
Th	oui et le gris
A	le noir le gris ben déjà déjà on ne parle pas de la même chose ça serait peut-être bien qu'on parle de la même chose des choses que vous avez vues l'année dernière ça ((andré montre la pile)) ici on a été capable de donner le nom des différentes parties là avec les bornes plus et moins mais ici au niveau de l'ampoule
Es	euh
A	de quoi est-elle faite cette ampoule ((andré tourne le dos à la classe et montre l'ampoule)) c'est quoi ça
E14	le verre
A	le verre d'accord ((andré écrit au tableau la légende fléchée)) / qu'est-ce qu'il y a à l'intérieur du verre
E15	ça peut pas être le verre parce que sinon il va fondre
A	regarde margaux, touche c'est du verre ça margaux / clément
Cl	il y a un filament
A	il y a un filament ((andré écrit au tableau la légende fléchée)) / et finalement quand l'ampoule s'allume est-ce que c'est le verre qui s'allume et qui chauffe et qui risque de fondre
Cl	non
A	chloé
Ch	c'est le filament qui s'allume et avec le verre ça fait tout
A	oui en fait c'est le filament qui s'échauffe qui chauffe et en chauffant il devient rouge et grâce au verre eh bien la lumière devient beaucoup plus intense là c'est une petite ampoule mais si on regarde ici au niveau des néons qui se trouvent là-haut ça permet d'éclairer la salle d'accord alors après on a parlé du noir d'ailleurs souvent ça finit comme cela d'accord ((andré dessine de plot au tableau et met 2 flèches : une pour le plot et une pour le culot)) //
E18	c'est le culot
A	qu'est-ce qui est le culot
E18	euh le truc noir
A	le truc noir ou le machin noir / ou le bidule noir tu sais bien que je n'aime pas les trucs

E18	ce qui est noir
A	ce qui est noir qui se trouve où /
E19	au bout
A	au bout / ça c'est le culot ça
E18	oui
A	ici c'est le culot ((andré pointe le plot))
E19	mais c'est gris
A	gris noir y'a une petite partie noire c'est vrai bon c'est quoi cette partie-là l'extrémité vous l'avez vu l'an passé ça ça s'appelle comment
E20	le culot
A	le culot vous êtes sûrs
Es	non
Es	oui
A	rires bon alors ça je n'sais plus ((en montrant le plot)) mais ça ça s'appelle comment alors ((en montrant le culot))
Es	c'est ça le culot
Es	non
Es	oui
E21	si c'est ça le culot
A (28.42)	((andré complète la légende avec plot et culot)) // d'accord / donc là encore on parlera de la même chose / d'accord maintenant je repose ma question que faut-il pour que cette ampoule s'allume que faut-il que je fasse avec / ma pile
E22	faut mettre le plot dessus ici comme ça
A	non non faut mettre le plot ici alors c'est où ici imagine imagine imagine maxence n'est pas là on va lui donner ce soir une feuille et on va lui dire maxence il faut que tu poses la pile ici et le culot là est-ce que tu crois que maxence va comprendre quelque chose
Es	non
A	non alors moi je veux des explications qui soient claires / mireille
M	ben le plot
A	attends mireille ce que vous allez faire je vais vous laisser 30 secondes vous allez recommencer et vous allez décrire précisément ce que vous devez faire// où se trouve chaque partie///// c'est bon pour tout le monde vous me posez votre matériel clément je t'écoute
Cl	le plot faut le poser
A	alors si tu veux bien je vais dessiner / ma pile d'accord avec une borne ((andré dessine en même temps)) et une autre borne que faut-il que je fasse maintenant
Cl	on pose le plot sur la borne de gauche
A	d'accord donc il faut que fasse quelque chose comme ça ((andré dessine)) et ensuite / la borne de droite
Cl	et le culot sur la borne de droite
A	et le culot sur la borne de droite
Es	non
Es	ça marche dans les deux sens
A	ça marche pas là

Es	si (...?)
A	non non non je lève la main vous avez essayé
Es	si ça marche
Es	non (...?)
A	ça fonctionne alors mais est-ce que je ne peux pas faire le contraire
Es	oui
A	c'est-à-dire inverser est-ce que cela fonctionne aussi
Es	oui
A	essayez essayez des deux côtés
Es	(...?)
E25	((en binôme)) ah ça marche nous on a réussi des deux côtés / des deux côtés ça marche
Es	(...?)
A	c'est bon est-ce que vous avez vérifié / les deux fonctionnent / très bien alors maintenant il me reste à symboliser / l'ampoule il me reste à symboliser mon ampoule / qu'est-ce que je vais faire pour faire voir qu'elle brille
E26	des petits traits
A	je vais faire des petits traits je suis d'accord ((andré dessine)) est-ce que c'est compris est-ce que la première partie est comprise
Es	oui
	très bien alors maintenant il est midi huit je vais vous laisser quatre minutes pas plus pour pouvoir me dessiner ceci ((andré montre la lampe légendée)) et ceci ((andré montre la pile + lampe qui brille)) au deuxième emplacement trace écrite collective / dépêchez-vous quatre minutes pas plus /
E27	((thibault lève le doigt))
A	ah ben c'est bien ça c'est bien ça thibault une fois de plus tu as écouté ce que je t'avais dit // ((andré va chercher une autre fiche)) tu recommences / il ne vous reste plus que trois minutes ensuite je passe à la suite ((andré distribue deux câbles croco par binôme)) //// deux minutes
E28	et andré si on fait dans l'autre sens c'est pas grave
A	aucune importance puisque les deux fonctionnent
E28	oui mais les
A	les dessins
E28	non les lames
A	c'est pas grave il suffit d'inverser l'ampoule euh la pile /// ((andré observe les dessins des élèves)) il faut faire bien attention à ce que vos lames touchent bien le plot et le culot sur le dessin sinon maxence ce soir quand il regardera le dessin il dira ben moi je ne comprends pas il m'a dit que mon ampoule est allumée alors que ma lame ne touche pas mon ampoule d'accord / une minute ((andré distribue des lampes)) bien regardez ici je vous ai distribué sur chaque table plusieurs choses premièrement deux fils au bout de ces fils vous avez ce qu'on appelle une pince crocodile pince crocodile car quand j'appuie dessus j'ai comme des petites dents et cela me permet d'accrocher certaines choses

Annexe 32 Transcript : Caractéristiques poids/masse en tableau – Année1 - Classe de Florence

Locuteurs	Productions verbales
F	chapitre 9 ce chapitre va s'intituler le poids la masse ///alors si je vous lance vous dis comme ça le poids la masse à quoi ça vous fait penser comme ça à première vue après on mettra les idées en place et on essaiera de bien distinguer les deux / le poids la masse
e	kilogramme
F	kilogramme d'accord alors on prend les mots tout simplement alors kilogramme après on casera tout ça /// quoi encore
e	gramme
F	gramme ouais ce sont les unités
E	volume
F	volume ///
M	lourd léger
F	lourd léger / alors volume y'a une petite distinction entre masse et volume // d'accord hum // donc volume alors après c'est plutôt la contenance// donc lourd léger /// non y'a pas d'autres choses qui viennent
E	balance
F	balance ben ouais /// alors vous m'avez parlé de balance vous m'avez parlé de kilogramme etc de lourd léger où est-ce que vous classeriez ces mots-là si on prenait une colonne poids une colonne masse // alors si je prends les mots les uns après les autres / si je prends le mot balance /
E	masse
F	masse tout le monde est d'accord /// vous êtes sûrs
E	non
F	//bon on verra tout à l'heure / si je prends kilogramme // c'est là qu'on a un souci si on le met dans poids si on le met dans masse
E	ben oui mais quand on va sur une balance
F	quand on va sur une balance
E	c'est en kilo
F	c'est en kilogramme et quel verbe on utilise
E	se peser
F	se peser alors c'est vrai qu'on a envie de dire hein que la balance donne le poids parce qu'on se pèse / alors justement / on a parlé donc on va voir hein si c'est vraiment masse ou poids pour le kilogramme / alors qu'est-ce que vous m'avez dit comme mot balance kilogramme / qu'est-ce que vous m'avez dit d'autre heu lourd et léger
E	ben là du coup la masse
F	ben là on verra que ça pourra être dans les deux

E	la masse corporelle madame
F	la masse corporelle c'est / ça ira dans masse / donc si je prends des mots comme ça et des mots qui sont associés il semblerait que ce soit pas très net distinction poids masse c'est ce qu'on va essayer d'établir d'accord / normalement à la fin du chapitre vous devriez être capables de dire ça c'est le poids ça c'est la masse d'accord / alors première partie distinction ((florence écrit 1. distinction poids masse au tableau)) et après on va essayer de comprendre pourquoi est-ce qu'il y a des confusions /// donc on voit bien que quand on lance les mots comme ça poids masse c'est difficile de dire quel mots correspondent au poids et quels mots correspondent à la masse ((florence distribue un texte))
F	alors c'est un petit texte hein un petit document tiré d'un science&vie junior de 2002 / d'accord / alors l'intérêt du science&vie junior la plupart du temps ça permet de vulgariser un petit peu la science donc de remplacer des mots un petit peu compliqués par des mots que vous pouvez comprendre d'accord / pour ramener à une échelle heu ben quelque chose de plus compréhensible / ça va? alors premier commentaire avant de lire le texte /// si vous regardez la photo hum
E	la personne est en apesanteur
F	la personne est en apesanteur / alors pour toi ça veut dire quoi être en apesanteur
E	y'a pas de gravité
F	y'a pas de gravité elle ne semble soumise à aucune gravité / d'accord donc à un poids donc qu'est-ce qu'elle fait
E	elle vole
F	donc elle vole elle flotte / enfin elle vole pas spécialement elle flotte d'accord donc c'est vrai qu'on utilisera le mot de apesanteur / alors parfois on trouve aussi le mot de impesanteur / alors la différence enfin / l'intérêt / alors la plupart du temps maintenant on utilise plutôt le mot apesanteur que impesanteur pour distinguer / donc ça vous n'écoutez pas ((florence écrit au tableau)) c'est pour distinguer la pesanteur écrit comme ça ((elle montre le tableau)) de l'apesanteur écrit comme ça / c'est vrai que quand on dit à l'oral hein quand on lit les deux on peut pas avoir de différence / c'est vrai que la pesanteur ça correspond à un objet ou une personne qui a un poids alors que l'apesanteur c'est une absence de poids ou un poids quasiment nul / alors maintenant on a plutôt tendance à utiliser le mot impesanteur ((florence écrit le mot au tableau)) d'accord donc c'est vrai que la photo-là représente une personne qui flotte on peut supposer que c'est dans une navette spatiale / elle flotte parce que son poids est quasiment nul d'accord? alors le document q. tu le lis
Q	((q. lit tout le document))
F	alors la gravité locale f ça ne veut pas dire gramme d'accord est constante c'est quelque chose qu'on verra plus tard dans le chapitre / par contre m c'est l'abréviation de masse d'accord / alors dans le texte on vous parle de force alors vous allez un petit peu oublier le mot force vous allez le remplacer par le mot action d'accord on a vu interaction entre deux objets donc on aurait pu dire enfin/ on aurait dit y'a quelques années force entre deux objets donc là on va remplacer le mot force par le mot

	action / alors à l'aide du texte qui pourrait me donner la définition de la masse
E1	c'est la quantité de matière d'un objet
F	c'est la quantité de matière d'un objet / c'est la quantité de matière qui constitue un objet / alors comment est-ce que tu traduirais ça avec tes propres mots?
E1	le poids d'un objet
F	alors dans ce cas c'est la masse c'est plus le poids / moi je te demande la masse je ne te demande pas le poids / alors comment est-ce que tu traduirais quantité de matière avec tes propres mots
E	c'est ce qui fait un objet ou euh
F	oui c'est ce qui fait un objet // c'est la matière alors qu'est-ce qui y'a dans la matière on va faire un peu de chimie ça fait un petit moment qu'on n'en a pas fait / de quoi est constituée la matière
E	de plusieurs choses
F	de plusieurs choses mais le plus petit élément qu'on a vu
E	/
F	alors les électrons font partie de quel élément
Es	les atomes
F	les atomes // si on met atome dans la définition de la masse ça serait quoi
E	ensemble d'atomes
F	oui ensemble d'atomes qui constituent /
Es	la matière
F	la matière qui constitue un objet d'accord donc ça c'est la masse / cela veut dire concrètement que peu importe vous allez à condition de ne pas engloutir 3 tonnes de bonbons / votre masse sera la même d'accord / car jusqu'à preuve du contraire on ne va pas vous enlever des atomes donc votre masse sera la même / quand vous allez chez le coiffeur votre masse diminue un petit peu / vous perdez une partie des cheveux donc euh du coup la masse diminue / pas de beaucoup mais elle diminue // donc la masse c'est ça / la quantité de matière le nombre d'atomes qui constituent un objet /// alors qui pourrait me donner à l'aide du texte la définition du poids
E	/
F	qu'est-ce qui est donné dans le texte
E	c'est une force
F	c'est une force alors va plus loin
E	ben la force ben la force c'est ce qu'on projette par exemple ben quand on projette un crayon ba c'est le poids du crayon qui s'écrase sur terre / enfin c'est /
F	alors là y'a plusieurs mots dans ta phrase / y'a la notion de force y'a la notion de poids / alors c'est vrai que dans le texte on vous dit que c'est une force d'accord alors la force que tu reçois c'est pas spécialement lié / enfin c'est entre autre lié au poids mais pas que ça / y'a aussi la vitesse avec laquelle tu

	lances le
E	le crayon
Es	ouais / moi je veux juste le poids la définition du poids
F	((il lit la phrase du texte))
F	« c'est la force que subit un objet lorsqu'il est soumis à la gravité de la terre ou d'un autre astre » alors cette force ou cette action c'est une action comment
E	courte
F	courte // là // pourquoi est-ce que ma craie tombe ((florence fait tomber sa craie au sol))
E	elle est attirée
F	elle est attirée / donc c'est une force ou action attractive d'accord / elle est attractive à distance parce que y'a pas besoin / y'a pas de lien direct entre le sol et la craie / ou le centre de la terre parce que en fait c'est le centre de la terre hein et la craie // donc c'est une action attractive à distance hein exercée par la terre sur un objet / d'accord / vous avez vu la différence entre les deux la craie a perdu de la masse puisqu'en chutant elle s'est cassée mais je peux me balader partout dans la classe partout sur terre si j'abime pas ma craie elle aura la même masse // par contre elle n'aura peut-être pas le même poids / parce qu'on vous dit hein que la masse change et que le poids il dépend de la gravité locale // on reviendra là-dessus après // d'accord donc on va essayer de faire un tableau comparatif du poids et de la masse / vous collez cette feuille sous « découverte » // avec toutes les caractéristiques du poids toutes les caractéristiques de la masse
E	madame
F	oui
E	y'a pas un endroit sur terre où y'a pas de gravité
F	pas directement / on peut / faire en sorte de contrecarrer la gravité / ça se passe par exemple au centre d'étude spatiale à toulouse // donc ils emmènent des gens dans les avions et ils font chuter les avions / d'accord / donc là ils ne subissent quasiment plus la enfin on voit les gens qui flottent dans l'avion ((florence écrit le titre du paragraphe)) /// alors c'est un tableau qui va faire 3 colonnes et plusieurs lignes // donc vous pouvez le commencer à l'endroit où vous êtes et vous le continuez après / on le prolongera au fur et à mesure ((florence donne des renseignements sur la construction du tableau)) on va se servir du texte pour comparer ou distinguer le poids et la masse /// alors qu'est-ce qu'on va noter dans la définition du poids en fait on va écrire ce qui a été dit par oral // alors qu'est-ce que tu proposes kevin?
k	/
F	comme définition du poids
k	/ ((il lit le texte))
F	ouais alors ça c'est ce qu'il y a dans le texte mais par rapport à ce qu'on a dit / qu'est-ce qu'on a dit dans le chapitre précédent // en utilisant des mots des adjectifs vus dans le chapitre précédent //sandra

S	l'attraction d'un objet à un astre
F	l'attraction d'un objet à un astre en général on prend plutôt dans l'autre sens c'est vrai ça marche hein vu que les deux objets ont une masse hein l'objet et l'astre ont une masse c'est une interaction mutuelle mais on parlera plutôt de l'attraction de l'objet par l'astre d'accord donc ((florence écrit au tableau)) le poids c'est l'action attractive à distance exercée par un astre sur un objet alors je mets objet entre guillemet ça peut être une personne ça peut être autre chose hein ///situé en son voisinage
E	on met rien dans l'autre
F	justement la troisième c'est la définition de la masse//la première c'est le titre de la colonne deuxième poids troisième masse ((florence souligne le poids, à distance et par un astre)) /// alors maël est-ce que tu peux rappeler ce qu'est la masse // après ce qu'on a dit tout à l'heure ou à l'aide du texte
M	en kilogramme
F	là c'est l'unité c'est pas la définition / je veux une définition
E	il y aura autre chose que des définitions
F	après il y aura plein de choses oui / alors qu'est-ce qui a été lu dans le texte tout à l'heure pour la définition (...?) pour la définition de la masse / parce que là je ne fais que reprendre ce qui a été dit //juste une définition
E	c'est la matière //c'est ce qui heu /
F	c'est ce qui/va plus loin/quel verbe tu vas utiliser
E	ça interagit
F	non/ la masse en général / c'est pas le poids c'est la masse hein
E	de quoi est fait un objet
F	voilà c'est de quoi est-ce que un objet est fait / c'est ce qui constitue un objet d'accord / on vous dit dans le texte c'est la quantité de matière qui constitue un objet / alors je vais reprendre ta phrase hein camille tu me la donnes c'est de quoi ça fait bizarre à écrire /
E	c'est ce qui constitue un objet
F	ça c'est ma phrase alors dans le texte on vous parle de quantité de matière tout à l'heure on a parlé d'atomes / allez plus vite enora / à part la définition quelle caractéristique qu'est-ce qu'on pourrait donner encore ou qu'est-ce qu'on pourrait donner comme mot pour distinguer le poids et la masse si vous pensez à ce que vous m'avez dit en début de séance // vous m'avez parlé de kilogramme donc c'est quoi les kilogrammes pour la masse // on dit que c'est quoi ça
E	un volume
F	c'est pas une mesure ah ben non / quand on parle de litre d'ampère de euh / ce sont des quoi tout ça
E	la matière
F	non quel mot on utilise / vous avez tendance à les oublier en contrôle et en plus vous perdez des points
E	les unités

F	les unités très bien ((florence note unité dans la colonne de droite)) alors / le poids s'exprime en quelle unité suivant le texte
E	newton
F	newton et ce sera la bonne unité hein / et la masse?
Es	en kilogramme
F	en kilogramme / ça ce sont les deux unités légales c'est celles qu'on devrait utiliser tout le temps / le newton et le kilogramme // je précise que le kilo tout court n'existe pas hein / le kilo tout court c'est le kilomètre le ce que vous voulez mais c'est kilogramme en entier // juste un petit rappel parfois quand les masse sont très très grandes c'est pas le kilogramme qu'on utilise c'est
E	la tonne
F	la tonne ((florence écrit au tableau)) / qui peut me rappeler combien de kilogrammes fait une tonne
E	1000
F	ça peut toujours servir // alors quand on veut déterminer la valeur d'une masse la valeur d'un poids la valeur d'une tension etc qu'est-ce qu'on utilise
E	un objet de mesure
F	un appareil de mesure // je peux effacer la première ligne ((florence écrit appareil de mesure dans la colonne de droite)) / juste une remarque sur l'unité hein on retrouve le newton on a parlé de newton quand on a mis en évidence la notion de gravitation / alors le plus simple quel est l'appareil de mesure de la masse
Es	la balance
F	la balance ça ça va ((florence écrit au tableau)) est-ce que quelqu'un connaîtrait l'appareil de mesure du poids
E	newton-mètre
F	c'est vrai que si c'était logique ce serait le newton-mètre parce que quand on fait de l'électricité et qu'on mesure la tension en volt on appelle ça un voltmètre l'intensité en ampère tu vas être en retard t'es sûre que tu as écrit appareil de mesure et balance quand on utilise comment quand on mesure la résistance en ohm on a un ohmètre c'est vrai que là on aurait le poids en newton on aurait un newton-mètre eh ben non la physique c'est parfois un peu compliqué hein ça s'appelle un dynamomètre
E	eh je savais
F	et ça c'est pas le même appareil enfin quand vous utilisez le mot dynamo pour un vélo c'est pas le même hein le dynamomètre et la dynamo du vélo c'est pas pareil / le dynamomètre mesure le poids et que fait une dynamo
E	elle éclaire
F	elle éclaire voilà elle produit de l'électricité on reviendra plus tard dessus / donc l'appareil de mesure du poids c'est un dynamomètre l'appareil de mesure de la masse c'est une balance alors ((florence place deux dynamomètres sur le tableau))
E	le dynamomètre on n'en utilise jamais

F	dans la vie courante je ne pense pas non pourtant on parle de force en newton dans les / euh / quand on teste la résistance de certains appareils / je pense qu'il existe sûrement des dynamomètres utilisés par quelques spécialistes / bien moi je vais vous présenter deux dynamomètres à disque je vous en prête un autre c'est pas fait pour tirer dessus comme un / alors je vous dis rien/ je vous demande / de me déterminer /sans vous dire comment ça fonctionne hein débrouillez-vous / déterminez-moi le poids de votre trousse
E	eh je sais moi
E	on fait comme ça
E	1,5
E	kilo de bonbons
E	2
E	kilo de bonbons
E	newton
E	2,5 newton
F	donc c'est vrai que le principe d'utilisation du dynamomètre est assez simple hein / il suffit de suspendre l'objet au dynamomètre et on obtient le poids d'accord c'est bon ça va c'est pas trop compliqué / donc déterminer le poids d'un objet à l'aide d'un dynamomètre il suffit de suspendre l'objet / donc je précise que si jamais en exercice ou en contrôle vous oubliez de me mettre des kilogrammes ou des newton vous verrez apparaître des kilo de bonbons d'accord c'est quand vous oubliez les unités / donc pour déterminer le poids par mesure c'est tout simplement suspendre l'objet / donc vous vous avez des dynamomètres plutôt longilignes au tableau moi j'en ai deux circulaires / alors le principe est le même / sauf qu'il n'y a / je vais commencer par celui-là ((florence met des stylos dans sa trousse)) donc si vous regardez tout à l'heure vous aurez l'occasion de déterminer le poids de plusieurs objets / si vous regardez le dynamomètre que j'ai au tableau / il est un peu particulier / il va jusqu'à 10 ou jusqu'à 5 / c'est-à-dire que j'ai deux échelles possibles / si j'enroule mon fil autour du bleu je lis sur l'échelle 5n / donc 5n c'est un peu comme les calibres en mesure électrique / c'est la valeur max que peut supporter le dynamomètre / donc si j'entoure le fil sur la poulie bleue vous avez l'échelle sur la poulie bleue ((florence fait l'expérience)) / et donc là quel est le poids de ma trousse
Es	3,5
F	3 et demi hein 2,5 newton on n'oublie pas les newton derrière d'accord / donc normalement
E	sur le rouge
F	voilà logiquement c'est la même trousse donc/ si je mets sur le rouge / cette fois-ci on va lire sur l'échelle rouge / ça devrait donner
E	pas beaucoup
Es	3,5
F	c'est la même trousse donc elle devrait avoir ((florence pend la trousse))

E	3,5
E	ah ouais d'accord
F	on est sur le rouge donc on est encore 3 et demi 3,5 3,6 / donc là c'est un appareil un peu particulier on peut lire deux types / enfin on peut avoir deux types d'échelle / donc là les valeurs en rouge ou en bleu ce sont les valeurs maximales que peut supporter le dynamomètre / si jamais je mettais quelque chose plus grand de 10 newton mon ressort serait dérégulé / exactement quand vous faites une mesure d'intensité et que vous vous mettez sur un calibre trop petit vous risquez de griller votre fusible / là c'est le ressort qui est abîmé / alors est-ce que vous pouvez me donner la valeur maximale du poids que vous pouvez lire avec votre dynamomètre?
E	5
F	5 newton d'accord / alors vous ça équivaut au bleu / alors le troisième est un peu plus compliqué / là il ne fonctionne pas très bien mais c'est simplement pour vous montrer / cette fois-ci en face de la valeur en bas / plutôt que marquer la valeur maximale / c'est marqué x0,1 // ça voudra dire que si mon dynamomètre est placé comme ça / le poids de l'objet qui serait suspendu en imaginant un objet suspendu serait de combien?
E	8
F	pas 8 mais /
E	0,8
F	0,8 c'est-à-dire 8 fois 0,1 / d'accord c'est bon?
E	celui-là c'est pour des objets petits?
F	c'est vrai qu'il va au maximum que jusqu'à 2 n / c'est des objets semble-t-il petit enfin/ petit ça dépend ce que tu appelles petit / parce que petit dans quel sens tu mets petit? / parce que si je prends une boule de plomb une boule de pétanque qui n'est pas très grande elle n'ira pas sur le dynamomètre-là
E	léger pardon
F	d'accord alors pour voir si c'est compris la lecture du dynamomètre je vous donne un petit exercice à faire / vous ne le collez pas tout de suite (...?) je vous demande de faire le petit exercice et les plus rapides auront une petite pause / déterminer le poids des différents objets c'est simplement une lecture de dynamomètre ((correction en grand groupe à l'oral))
	pause
F	pour le moment vous ne le collez pas la petite feuille que je vous ai donnée
E	le newton ça a un rapport avec le poids en fait
F	c'est l'unité de poids et ça a un rapport avec la /
E	la masse
F	ouais on verra qu'il y a un rapport entre les 2 / alors on va continuer / on a donné la définition / on a parlé de l'unité / on a parlé de l'appareil de mesure / et on va parler de quelques propriétés ((florence écrit au tableau)) du poids et de la masse ça va être la dernière case du tableau
E	j'ai plus la place

F	eh ben tu prends une feuille à côté c'est pas grave // en plus j'ai dit qu'on ne collait pas la feuille qu'on attendait hein
E	ah ouais
F	elle n'a pas écouté ben non // alors qu'est-ce qu'on vous dit dans le texte / qui n'a pas encore été exploité (...?) alors qu'est-ce qui est dit qui est cité dans le texte et qu'on n'a pas encore exploité /// on n'a pas exploité tout le texte hein
E	les caractéristiques
F	les caractéristiques c'est-à-dire
E	euh... la masse
F	la masse vas-y plus fort
E	la masse dépend du corps /
F	dépend du corps ouais /
E	dépend du lieu
F	c'est marqué dépend du lieu où elle se trouve
E	ah non elle ne dépend pas du lieu où elle se trouve
F	la masse dépend du corps et ne dépend pas du lieu où elle se trouve / alors la notion de la masse dépend du corps on ne va pas la reprendre parce que on a dit en fait que la masse c'est la quantité de matière qui constitue un objet donc si un objet est différent probablement la masse est différente d'accord / par contre ne dépend pas du lieu où on se trouve c'est l'exemple que je prenais tout à l'heure hein sauf si vous mangez des kilo de bonbons votre masse sera la même à tout endroit de la terre d'accord / alors quel est on va faire un petit peu de français là quand vous avez un mot qui ne change pas qu'on soit au singulier ou au pluriel on dit qu'il est comment
E	invariable
F	invariable et ben pour la masse on pourra utiliser ce qualificatif-là aussi / elle est invariable c'est-à-dire que si vous avez un sac de 50 kg de je ne sais pas quoi de ciment ici / ce sac fera aussi 50 kg de ciment sur la lune d'accord / parce que sauf si vous consommez le ciment pour faire un mur le sac est fermé le ciment peut pas sortir donc la masse sera la même d'accord / donc voilà la propriété de la masse qui va nous intéresser ((florence écrit au tableau)) // donc ça c'était pour les propriétés les caractéristiques de la masse / le poids toujours dans le texte qu'est-ce qu'on a pas utilisé alors le poids
E	il est pas invariable
F	il est pas invariable alors où est-ce écrit dans le texte comment est-ce que c'est marqué qu'il n'est pas invariable
E	il dépend de la gravité /
F	il dépend de la gravité locale alors ça dépend comment la terre agit sur l'objet à différents endroits alors le poids n'est pas invariable / qu'est-ce qu'il y a encore... sur le poids qui est indiqué-là
E	il est dirigé vers le centre de l'astre
F	il est dirigé vers le centre de l'astre / d'accord // alors voilà

	les deux caractéristiques / on vous parle aussi de direction du poids c'est-à-dire ça vous donne la droite... enfin la droite / quand vous dessinez la trajectoire du poids d'un objet alors // je vais faire une expérience toute simple hein / vous pouvez la faire aussi et après je vais désigner quelqu'un // je lâche ma craie // vous avez vu
E	oui
F	bon / tu vas me dessiner la trajectoire de ma craie au tableau /// ((l'élève se déplace)) dessine-moi la trajectoire de ma craie
E1	comme ça
F	oui
E2	et après elle saute
F	une fois qu'elle est arrivée sur la table / mais enfin la trajectoire de la craie pendant sa chute c'est ça / alors comment vous qualifieriez cette droite?
Es	elle est droite
E	elle est perpendiculaire à la table
F	((...?)) elle est perpendiculaire à la table c'est vrai
E	elle est verticale
F	oui elle est verticale // oui c'est vrai qu'elle est perpendiculaire à la table elle est droite hein
E	mais si la table est penchée
F	alors oui si la table est penchée elle est pas perpendiculaire à la table c'est sûr par contre elle sera toujours verticale vous pouvez laisser tomber quasiment tous les objets la trajectoire va être verticale / alors j'ai dit quasiment tous les objets / y'a peut-être des choses où la trajectoire n'est pas verticale quand ça tombe
E	une feuille
F	une feuille ben ouais // une feuille d'arbre qui tombe vous la voyez hein
E	avec le vent
F	voilà avec le vent puis elle a tendance à flotter un petit peu en l'air / en fait là c'est parce que vous avez le frottement de l'air l'air qui agit sur la feuille donc la feuille va tomber elle a bien son poids qui agit sur elle et y'a le frottement de l'air c'est pour ça qu'elle ne tombe pas de manière verticale d'accord c'est bon oui ((un élève fait l'expérience)) voilà y'a le frottement de l'air / on va noter tout ça ((florence note au tableau elle n'est pas contente de sa phrase)) et c'est là que je vais vous embêter un peu mr le menant ((professeur de mathématiques)) ne va pas être tout à fait d'accord avec moi... enfin tout à fait content de ce qu'on va faire mais c'est pas grave
E	on va faire des maths
F	non non pour le moment on ne va pas faire des maths // on va revenir sur la notion de verticale ((florence projette un transparent au tableau)) on va attendre qu'enora va finir décrire
E	c'est quoi un astre

F	tout corps céleste qu'on trouve dans le ciel / c'était un définition à apprendre pour aujourd'hui / //alors vous vous rappelez newton pour mettre en évidence la gravitation il a utilisé la chute de la pomme / voilà j'ai un pommier on va dire en normandie hein et donc sur ce pommier vous avez une pomme qui tombe ((florence dessine la pomme)) est-ce que quelqu'un peut venir me dessiner la trajectoire de la pomme ((un élève se déplace)) d'accord la trajectoire de la pomme c'est bien celle-là / problème c'est qu'on vient de dire que le poids agissait suivant la verticale / euh je ne suis pas sûr que si mr le menant vous demande de tracer en math une verticale vous lui tracez ça / il sera pas tout à fait d'accord
E	ben si moi je trouve que c'est bon
F	oui oui ta trajectoire est bonne hein / ce que t'as fait c'est bon / donc c'est bien c'est logique hein la pomme va être attirée vers le centre de la terre // là on a le problème de la verticale / et ben la définition d'une verticale si on cherche la définition physique dans un dictionnaire de la verticale c'est la droite imaginaire bien évidemment passant par le centre de la terre et perpendiculaire à la surface de la terre d'accord / donc droite passant par le centre de la terre // ça veut dire que toutes les verticales se croisent au centre de la terre (...?) mon centre de la terre est la droite passant par le centre de la terre et perpendiculaire à la surface / ça c'est une verticale / ça aussi c'est une verticale ((florence dessine au fur et à mesure))
E	alors c'était bon ce qu'il avait fait
F	oui c'était bon oui mais c'était sur la notion de verticale c'est vrai que quand vous êtes hors de la terre / on suppose que là la situation est vue de quelqu'un qui est sur la lune / donc sur la lune il verra ça / mais vous quand vous êtes sur terre si vous lâchez un objet votre verticale ce sera vraiment celle-là hein ((florence refait la manipulation)) d'accord
E	vus de la lune les arbres sont grands
F	alors c'est vrai que l'échelle n'est pas respectée (...?) la plupart du temps on a tendance à dire hein que quand un objet subit l'action de son poids il est dirigé vers le bas d'accord / ben si je prends mon palmier qui se trouve je sais pas trop où au niveau de l'équateur hein / l'action du poids va être dirigée de façon horizontale / si je prends mon pingouin en antarctique
E	il tombe
F	voilà justement il ne tombe pas / l'action de son poids va être dirigé vers le centre de la terre / d'accord c'est bon / donc c'est simplement hein pour généraliser l'action du poids est verticale et dirigée vers le centre de l'astre / quel que soit l'astre / donc quand vous êtes hors de la terre ça fait des schémas un peu compliqués / par contre nous ça sera pas compliqué hein / ça va être suivant la verticale la verticale que vous utilisez en math hein voilà et dirigé vers le bas
E	dans n'importe quel astre
F	et ça marche dans n'importe quel astre / le poids est lié à la gravitation dès qu'un objet des objets ont une masse il y a gravitation toutes les planètes ont une masse donc
E	est-ce qu'il y a des endroits où y'a plus de mal à sauter?

F	oui y a des endroits où y'a plus de mal à sauter c'est ce qu'on va voir dans la propriété suivante / à votre avis si on est sur terre / où est-ce qu'il faut aller sur terre pour avoir le plus petit poids possible on est sur terre hein
E	sur des montagnes
F	en haut de l'everest pourquoi
E	parce qu'on est plus loin du centre de la terre
F	donc ça veut dire qu'ici à plounéour normalement votre poids est légèrement plus petit que quelqu'un qui est à morlaix parce que plounéour étant en altitude par rapport à morlaix vous êtes un petit peu plus loin du centre de la terre qu'à morlaix donc votre poids va être plus petit
E	y'a plus de vent on a du mal à avancer
F	ça c'est le frottement de l'air (...?) donc vous avez la notion d'altitude y'a autre chose qui joue sur le poids
E	profondeur
F	profondeur /
E	température
F	profondeur / température / c'est vrai que profondeur et altitude ça va dans le sens inverse / y'a autre chose
E	la hauteur de la personne
F	non pas spécialement / alors je vais vous donner un petit élément un petit exercice une petite réflexion ((elle cherche le document)) pour trouver un autre élément qui fait varier le poids /
E	la masse fait varier le poids
F	ah! c'est vrai qu'il y a sûrement un lien entre la masse est le poids ouais /// on va faire un peu de géographie ça fait un petit moment qu'on n'en a pas fait / d'habitude on fait de l'histoire aujourd'hui de la géographie
E	on la colle
F	non vous attendez pour la coller aussi ((distribution des feuilles en parlant)) donc vous ne collez pas tout de suite / chut t'as lu ton document
E	oui oui
F	ça parle de quoi?
E	50 kilo de /
F	de quoi?
E	de ciment
F	et en plus c'est pas 50 kilo on a dit que ça n'existe pas les kilos /
E2	gramme
F	kilogramme (...?) allez vous lisez le petit document on essaie de répondre à la question (...?) alors essayez de réfléchir un petit peu au petit document / plutôt que jouer avec la règle est-ce que tu as lu le document et essayé de répondre à la question
E	ben /

F	a votre avis ça représente quoi la lettre p
Es	poids /
F	c'est l'abréviation du poids
E	et après /
F	y'en a plusieurs on aurait pu les appeler p1 p2 et p3 on les a appelés p p' p'' (...?) qu'est-ce que vous constatez?
E	ils ont pas tous le même poids
F	ils n'ont pas tous le même poids c'est qui ils n'ont pas tous
E	les sacs de ciment
F	les sacs de ciment // par contre qu'est-ce qui est identique pour les sacs de ciment?
E	leur masse
F	leur masse / ce sont tous des masses de 50kg mais ils n'ont pas le même poids d'accord à partir de là peut-être un petit peu de géographie
E	c'est plus prêt de l'équateur
F	(...?) qu'est-ce qui est plus prêt de l'équateur?
E	le centre de la terre
F	le centre de la terre est plus prêt de l'équateur
E1	ben j'en sais rien
E2	kourou
F	kourou est plus prêt de l'équateur alors kourou c'est où
E	en guyane
F	et pourquoi on entend parler de kourou dans l'actualité au moins tous les 2 ou 3 mois
E	pour les séisme
F	non pas pour les séismes (...?) et c'est lié aussi à l'espace hein
E	les navettes spatiales
F	alors ce n'est pas les navettes spatiales c'est voilà c'est l'endroit du décollage de la fusée ariane
Es	ah ouais ouais
E1	ils décollent de là-bas
F	voilà c'est la base de décollage des fusées françaises et des fusées européennes en général
E2	en guyane
F	en guyane // alors ça a certainement un intérêt de faire décoller la fusée de kourou plutôt que de paris ou de toulouse / en général les fusées sont plutôt fabriquées en europe alors vous imaginez il faut les emmener en guyane là-bas (...?) kourou est proche de l'équateur
	le newton est moins important
F	le poids est moins important c'est vrai
	la fusée a plus de facilités à décoller

F	oui car si vous regardez sur un sac de 50 kg le poids la différence entre paris et kourou c'est à peu près 1,5n alors imaginez une fusée qui fait je ne sais pas combien de tonnes c'est vrai que c'est plus facile de décoller de kourou que de paris / d'accord // c'est vrai que c'est lié à l'équateur et c'est lié un petit peu à la forme de la terre // si j'exagère énormément la terre est légèrement plate en haut ((florence dessine au tableau)) dessinez pas comme ça le jour des brevets des collèges hein (...?) ma terre est vraiment aplatie au pôle n et au pôle s / donc au niveau d'équateur le rayon la distance centre équateur est plus grand que la distance centre de la terre pôle n// donc comme on est plus loin du centre de la terre / le poids est plus petit
	s2, 23' : latitude/longitude, quadrillage, mexico jo
F	((...?)) on continue sur le document en regardant le dessin ci-contre aide-le à trouver une explication sur sa enfin sur la notion de plus léger plus lourd
E	cela dépend de la gravité du /
F	pas de la gravité
Es	/
F	cela dépend / donc le poids dépend de la distance /
Es	entre le centre de la terre et l'objet
F	donc le poids dépend de la distance entre le centre de la terre et l'objet ((les élèves notent)) donc plus on est loin du centre de la terre plus l'objet semble léger /// alors on revient à notre tableau si on résume ce qu'on a vu le poids dépend ((florence note au tableau)) on a parlé d'altitude
E	est-ce que y'a des endroits où ça se sent pas
F	j'suis pas sûre ou alors faudrait aller dans des endroits où c'est ce que je disais à kilian à la pause à toulouse au centre spatial on fait des expériences où on essaie de limiter le poids au maximum quasiment de l'annuler
Es	c'est trop bien ça
F	chut des personnes qui vont dans les avions hein on fait monter l'avion et on fait chuter l'avion et au moment où ils chutent ils ont tendance à flotter ((retour à l'écriture du tableau)) donc le poids dépend de l'altitude de la latitude et ça dépend d'autre chose encore / je pense que vous avez tous vu les astronautes enfin armstrong marcher sur la lune
E	non
F	t'as jamais vu de vidéo là-dessus en physique on l'a vu donc euh / en 5ème / si vous deviez décrire (...?) armstrong / oui vas-y montre alors ((un élève mime)) voilà à part qu'il décolle un peu plus / alors qu'est-ce qui se passe?
E1	il est lent
E2	il saute
E3	il fait des bonds
F	il fait des bonds / ça veut dire quoi pour son poids à l'astronaute?
E	il est plus léger

F	il est plus léger / donc en plus de dépendre de l'altitude de la latitude le poids dépend de l'astre (...?) sa masse sera la même entre la terre et la lune mais le poids sera différent ((florence écrit au tableau)) il est plus léger son poids est différent
E1	l'altitude?
F	l'altitude c'est par rapport à l'équateur // y'a l'altitude et la latitude
E1	ouais
F	l'altitude c'est la hauteur / quand tu vas au sommet de l'everest tu vas à 8000 et quelques mètres / donc c'est l'altitude /
E1	ouais mais la latitude?
F	la latitude c'est la position par rapport à l'équateur / kourou a une latitude différente de paris d'accord / ça c'est en sixième que vous avez vu ça
E	on peut fermer le tableau
F	et vous pouvez fermer le tableau // alors dans mon tableau il manque juste quelque chose / vous savez qu'en physique on a l'habitude d'utiliser des abréviations quelle est à votre avis la lettre utilisée pour l'abréviation du poids
Es	p
F	vous pouvez marquer à côté un p majuscule et
E	m
F	m

Annexe 33 Synopsis : Poids et masse – Année 1, séance 1 - Classe d'Henri

Temps	Phases	Scène	Description	Événements remarquables
0	Introduction de la séance 8 min	Situation-problème 7 min	P. Projette une planche de BD extraite de l'album de tintin : <i>On a marché sur la Lune</i> . Il pose la question : « qu'est-ce qu'elle évoque pour vous »	Réponse d'un élève : « il partirait en l'air ». P. lui demande s'il y a de l'air sur la Lune.
			P. définit le poids comme une force d'attraction d'un corps P. demande : « pourquoi peut-on dire que les dupont ont un poids »	Un élève fait référence à la masse. P. décide d'évacuer la réponse (?)
			P. pose la question : « le Poids des dupont est-il identique sur terre et sur la lune »	Pas de réponse
			P. demande à un élève de répéter ce qu'il a dit. Il commente ses propos en remplaçant attraction par poids puis il repose la question.	
			P. demande si le poids se mesure	Blocage
			Le professeur répète la question. Alors oui ou non ? Sondage dans la classe.	
		lecture d'un document 1 min	P. demande à la classe de reprendre le <i>document Newton et la gravitation</i> au dernier paragraphe. Il repose la question : « est-ce que l'on peut mesurer le poids »	Lecture d'un élève. Réponse correcte de la classe
8				
8	activité expérimentale n°1 2 min	Consigne de travail 1 min.	P. : « je mets à disposition un petit appareil, je vous laisse le prendre, je vous laisse le regarder, je vous laisse en disposer. Essayer d'imaginer comment vous pourriez l'utiliser »	
		Distribution du matériel 1 min.	Les élèves se déplacent chercher le matériel	P. regarde son document de cours Question d'un élève sur la lecture sur l'appareil. Réponse individuelle de P.

14	Mise en commun 4 min	Description du fonctionnement du dynamomètre 2,5 min	P. demande à la classe de décrire le fonctionnement de l'appareil. P. donne le nom de l'appareil de mesure : le dynamomètre	Questions du professeur pour s'assurer que tous les élèves savent se servir du dynamomètre correctement
		Présentation et utilisation d'un autre type de dynamomètre 1,5 min	P. place un dynamomètre circulaire au tableau. Il décrit son fonctionnement et demande à un élève d'effectuer une mesure	P reprend la proposition de l'élève. Il demande d'utiliser le mot <i>poids</i> (langage)
14	Activité expérimentale n°2 6 min	Expérience de bureau 4 min	P. montre un plomb de pêche. Il demande si le plomb a un poids. P. lâche le poids et il demande l'orientation de cette interaction	Blocage
P. dit qu'on ne peut pas voir. Il ajoute une potence. Il demande quelle est l'information que peut donner le fil. P. donne la réponse.				
20		Apports notionnels 2 min	P. Définit la verticale. P. fait référence au fil à plomb du maçon et à sa fonction. P. fait référence au deux sens possibles d'une direction	P cite les programmes du lycée
20	5 Synthèse 3 min		P. demande : « comment est-ce qu'on appelle l'attraction exercée par une planète sur un corps qui se trouve à son voisinage »	Blocage d'une élève. P. répète la question en nommant un élève à chaque fois
P. s'appuie sur une bonne réponse d'un élève pour aider celle qui était en difficulté. Travail de reformulation (langage)				
23			P. fait le bilan sur l'unité du poids, sa mesure, sa direction et sens.	Interaction entre le P. et les élèves.
23	6 Étude d'un document 4,5 min	Situation-problème 1 min	P. présente une étiquette d'une boîte de haricot beurre. Il demande de noter ce qui pose problème sur le cahier de brouillon	

27,5		recherche individuelle 3,5 min	P. donne le temps imparti pour l'activité P. passe dans les rangs et dit quand un élève a trouvé
			P décide de relancer le travail
			P. reformule la consigne : « trouvez-moi ce qui pose problème par rapport à tout ce qu'on a vu depuis le début de l'heure »
27,5	Mise en commun 5,5 min	Aide à la résolution du problème 2,5 min	Les élèves sont en difficultés
			P. fait un cercle au tableau sur la zone dans laquelle le problème se trouve
			P. demande qui est dérangé par l'inscription sur la boîte. P. appelle un élève au tableau et lui demande de lire ce qu'il y a dans le cercle
			P. fait un sondage L'élève est en difficulté.
33		Distinction entre le poids et la masse 3 min	P. va chercher un dynamomètre. L'élève effectue une mesure et compare avec le document. Il trouve la bonne réponse
			P. distingue le poids de la masse en termes de définition, d'unité et d'appareil de mesure P demande comment on définit la masse
			Blocage
33	Écriture de la leçon 12 min		P. fait référence à la bouteille d'eau remplie ou moitié remplie en fonction de sa masse. Il fait référence au quotidien.
			P. écrit le cours au tableau I. Le poids; définition; mesure; unité; direction; sens. II. La masse; définition; mesure; unité P. travaille sur la langue pour aider à la reformulation P. fait Souligner les mots importants
45			P. Interagit avec les élèves pour écrire la leçon. Il utilise des phrases d'élèves.
45	Exercice dans le livre de la classe		Correction d'un exercice 2 p35 Exercice 7 p36 à préparer
			Poids, masse, unité. Définitions poids et masse

Annexe 34 Transcript : Le dynamomètre – Année 1, séance 1 - Classe d'Henri

Locuteurs	Productions verbales
H	alors comment peut-on mesurer un poids ((henri va chercher une boîte)) je mets à votre disposition un pour deux un petit appareil je vous laisse le prendre je vous laisse le regarder je vous laisse euh // ben je vous laisse en disposer essayer d'imaginer comment vous pourriez l'utiliser allez-y ((les élèves vont chercher le matériel))
E1	pour lire c'est sur le truc du bas en jaune ou c'est sur le truc du haut
H	la partie la plus basse du bidule jaune // ça s'appelle un repère ce bidule
H	((henri s'adresse à un groupe)) dans quel sens le prendre regardez bien regarde bien // pourquoi
E2	ben parce que là ça ne bouge pas / ouais y'a des chiffres là
H	ouais regarde regarde les chiffres comment où ils sont gravés
H	bon /// c'est bon / vous avez euh vous avez compris comment ça marche
E	ouais
H	alors comment marche cet appareil je vous écoute alexis
A	ben on accroche un objet
H	ouais on le tient par où déjà
A	ben par le petit bout rouge
H	ouais donc le euh le crochet rouge ou jaune d'accord et ensuite alexis
A	et pis ben on accroche l'objet au crochet
H	oui d'accord
A	et pis ben on suspend et on regarde la graduation et /
H	oui on regarde la graduation très bien elle est exprimée en quelle unité cette graduation d'ailleurs
E	en newton
H	en newton // ça se voit c'est écrit que c'est exprimé en newton
C	oui
H	pourquoi
C	parce qu'il y a un n
H	on voit un "n" un "n" majuscule très bien euh il est constitué par quoi cet appareil essentiellement
C	un ressort
H	par un ressort qu'est-ce qui fait ce ressort
	((brouhaha))
H	charlotte il monte il descend oui au moment où on suspend quelque chose
C	il descend
H	il descend donc le ressort on dit qu'il est /
E	il se tend
H	il se tend on dit qu'il est / étiré
E	extensible

H	et il est toujours étiré de la même manière ou pas
C	non
H	non ça dépend de quoi ça son étirement
C	du poids
H	du poids de l'objet donc euh plus l'objet /
E	est lourd /
H	plus il a un poids important plus il est étiré voilà vous avez le principe de cet appareil qu'on appelle un dynamomètre ((henri écrit au tableau)) donc ça s'appelle un dynamomètre ça s'écrit comme ça on en reparlera tout à l'heure dy-na-mo-mètre ((henri épèle le mot)) // euh tous les dynamomètres ne sont pas identiques en voilà un autre ((henri place un dynamomètre aimanté au tableau))// euh plus compliqué car on ne voit pas le fonctionnement là le ressort il se trouve à l'intérieur de cette pièce c'est un ressort circulaire vous voyez donc plus on tire sur la ficelle plus on augmente l'attraction on augmente le poids plus l'aiguille dévie c'est pareil je fais comme vous avez fait ((henri prend une masse marquée et la suspend au dynamomètre du tableau)) voilà hop! conclusion tiens sébastien je t'écoute / tire-nous la conclusion de cette expérience
S	ben le ciseau pèse
H	écoutez bien reprend ça le ciseau plus fort
S	le ciseau pèse
H	pèse
E	/
H	((fait taire les autres élèves)) bon approche-toi si tu vois mal
E	non non j'y vois
H	bon /// le ciseau pèse
E	zéro virgule quatre
H	zéro virgule quatre
E	newton
H	newton / euh plutôt que pèse zéro virgule quatre newton qu'est-ce qu'on aurait pu dire d'autre
E	a une masse de
H	a une masse de vous êtes d'accord
C	oui
H	de quoi on parle là on parle de la masse
C	non du poids
H	pour l'instant on ne mélange pas tout on parle du poids depuis le début du cours charlotte on parle de quoi
CH	du poids
H	du poids allez reprends-moi ça qu'est-ce qu'on peut euh sébastien a dit le ciseau pèse 0,4 newton comment on peut dire ça autrement en utilisant le mot poids
CH	le ciseau enfin les ciseaux ont un poids de 0,4 newton
H	là ça me va c'est très bien compris bon euh / c'est très bien vous me ramenez les dynamomètres

Annexe 35 Synopsis : Poids et masse – Année 2, séance 1 - Classe d'Henri

Temps	Phases	Scène	Description	Événements remarquables
0 2,5	Introduction de la séance 2,5 min	Situation-problème 2,5 min	Situation d'entrée : projection d'une planche extraite de l'album de tintin <i>On a marché sur la Lune</i> . P. pose la question : « qu'est-ce qu'elle évoque pour vous »	P demande le nom de la BD un élève parle de la gravitation Un autre élève dit que la lune attire moins que la Terre
2,5	Écriture de la leçon 5,5 min		Titre du chapitre : le poids et la masse P demande à la classe « quelle grandeur est souvent confondue avec le poids » définition du poids Quand on dit qu'un corps a un poids ça sous-entend quoi ?	. Réponse : « la masse » Un élève finit la phrase du professeur Blocage
			P : « d'après la définition cela sous entend quoi d'après la définition cela sous-entend / » Un élève répond. P souligne poids et attraction au tableau.	
			P revient sur la force de gravitation et sa définition P demande aux élèves : « pourquoi l'attraction est moindre sur la lune que sur la terre »	Bonnes réponses des élèves
	Activité expérimentale n°1 2,5 min	Consigne de travail 1,5 min	P donne le nom de l'appareil qui mesure le poids et donne la consigne de travail. Il demande de mesurer le poids d'un objet comme la trousse ou un objet à l'intérieur	
		Distribution du matériel 1 min	Les élèves se déplacent chercher le matériel	P. donne des consignes individuelles ou des aides

29,5	Mise en commun 5 min	Travail sur l'unité de mesure du poids 1,5 min	P demande au binôme « ça fait 3 quoi »	P s'appuie sur un résultat faux entendu pendant l'activité. Blocage
			P : « trois quoi » Un élève répond « 3N ». P demande « pourquoi newton / comment sais-tu que l'unité c'est le newton » P demande à la classe « comment saviez-vous » P revient sur le document étudié précédemment.	
		Lecture d'un document 1 min	Retour sur le document. Un élève lit. P donne le symbole du newton.	P insiste sur la symbolisation
		Description du fonctionnement du dynamomètre 2,5 min	P demande le principe de fonctionnement du dynamomètre	P demande à la classe de commenter la réponse d'un élève. Pas de commentaires !
			P : dit qu'il y a quelque chose qui dérange dans la réponse. Un élève répond masse au lieu de poids. P repart sur le principe et la constitution du dynamomètre.	
	Écriture de la leçon 2,5 min		P insiste sur le rôle et l'allongement du ressort à travers des questions P fait le bilan du principe de fonctionnement.	Un élève relie l'allongement au poids
			Mesure du poids avec un dynamomètre. Unité.	Retour des dynamomètres
	Activité expérimentale n°2 9 min	Expérience de bureau 6,5 min	P accroche un objet à une potence et le lâche. Il demande ce qu'il se passe.	Une élève parle encore de masse. P montre la définition du poids au tableau
			P dit d'associer toujours le terme attraction au terme poids	
			P demande ce que montre la ficelle	Les élèves n'ont pas la réponse attendue
			P montre que la ficelle empêche l'objet de tomber. Un élève répond « vers où il est attiré ». P ajoute « comment il est attiré ». P demande vers où il est attiré. Les élèves parlent de verticale.	

		Apports notionnels 2,5 min	Définition de la verticale. Relation avec la définition du poids. référence au fil à plomb du maçon	
	Écriture de la leçon 2,5 min		P donne l'orientation du poids	Dans la phrase P ne défini pas la direction et le sens du poids
29,5	Étude d'un document 7,5 min	Situation-problème 3 min	P demande la définition de la masse	Un élève définit la masse comme le poids d'un objet
			P : rappelle qu'au début de la séance il a dit de ne pas confondre ces 2 grandeurs. Il projette une étiquette d'une boîte de « haricots beurre »	
			P demande à la classe ce qui est choquant sur cette étiquette	Une élève relève une différence entre le poids net total et poids net égoutté
			P. demande pourquoi. L'élève répond correctement. P repose la question. Une autre élève relève poids net en gramme. Elle n'arrive pas à expliquer. P débute la phrase « parce que le poids / » Un autre élève répond correctement.	
		Définition de la masse 3 min	Référence au quotidien. P demande à nouveau de définir la masse.	Les élèves parlent de l'unité et l'appareil de mesure
	Exercice d'application 1,5 min	Masse d'une bouteille d'eau	P demande à quoi est reliée la masse	P insiste sur le terme <i>quantité</i>

47,5	Écriture de la leçon 5,5 min		Définition de la masse P demande les mots importants dans la définition mesure de la masse et unité	Une élève répond gramme. P provoque un vote entre gramme et kilogramme. P donne la réponse. Une élève ne comprend pas pourquoi c'est pas le gramme
			P : demande ce que signifie « kilo ». P donne raison à l'élève et explique la raison du choix.	
	Exercices d'application 5 min	Poids et masse d'un stylo sur Terre et sur la Lune	P demande si le poids du stylo feutre est le même sur la Terre et sur la Lune P demande à ceux qui ont répondu « non » d'expliquer pourquoi P repose la même question mais pour la masse P demande à ceux qui ont répondu « oui » d'expliquer pourquoi	P demande une réponse oui/non sur le cahier de brouillon Les élèves font référence à la quantité de matière qui ne peut pas changer
			P : demande de définir la quantité de matière. Les élèves parlent des atomes	
47,5	Étude d'un document vidéo 2,5 min		P demande à un élève de finir la phrase de synthèse concernant l'invariabilité de la masse	
			P montre une expérience (une plume et un marteau sont lâchés ensembles) faite par des astronautes sur la lune. Elle est commentée en langue anglaise P demande si le résultat serait le même sur Terre	P commente l'expérience Une élève répond négativement car le poids est lié à la masse sur Terre
50			P : demande à quoi est lié le poids sur la lune. Un élève répond correctement. Une autre élève répond que la masse ne change pas et le poids change. P dit que c'est la suite du cours. P repose la question différemment. Il essaie de faire émerger les forces de frottement lié à l'air. Il dit que c'est du programme du lycée en classe de première.	

VIII. Description des schèmes convoqués par les enseignants

Annexe 36 Schème A convoqué par André : « Réalisation d'un circuit élémentaire »

Schème A : Réalisation d'un circuit élémentaire	
But	Réaliser un circuit élémentaire
Anticipation	La présentation et la description du nouveau matériel permet aux élèves de construire un circuit élémentaire.
Inférences	Si un élève pose une question pendant la description du matériel alors je lui dis d'attendre Si un élève n'est pas attentif je le nomme et je lui demande d'écouter et je remobilise toute la classe
Sous-but1	Distribuer le matériel
Indice	Les élèves finissent le travail précédent
Règle d'action	Poser le matériel sur les tables
Sous-but2	Présenter le matériel pédagogique
Indice	Les élèves sont attentifs
Règle d'action	Présenter le matériel distribué sur chaque table
Sous-but3	Comprendre le fonctionnement des pinces crocodiles au bout des fils de liaison
Indice	Le PE montre le matériel à toute la classe
Règle d'action	Décrire la pince et son fonctionnement
Sous-but4	Comprendre comment utiliser les supports de lampe
Indice	Le PE montre le matériel à toute la classe
Règle d'action	Montrer comment la lampe se visse dans le support
Sous-but5	Débuter les manipulations
Indice	Les élèves sont attentifs
Règle d'action	Reformuler la consigne précédente en montrant le matériel pédagogique
Sous-but6	Mise en place de la trace écrite
Indice	Les élèves sont attentifs
Règles d'action	Dire aux élèves de dessiner les circuits sur la feuille blanche et sur la feuille de synthèse Montrer l'endroit où dessiner le montage sur la feuille de synthèse
Invariants opératoires	Je sais qu'il faut fermer le circuit avec les fils pour que la lampe s'allume Je sais que la présentation du matériel avant de donner la consigne permet aux élèves de suivre sa description et de se projeter dans le travail à faire Je sais que les élèves peuvent ne pas savoir le fonctionnement d'une pince crocodile et comment utiliser le support de lampe Je sais que donner les deux consignes (manipulatoire et trace écrite) en même temps évite de couper les élèves pendant leur expérience et permet de réguler les plus rapides La feuille blanche permet de mettre les travaux des élèves en valeur et d'observer le travail accompli par chacun des groupes en lien avec la consigne de travail.

	<p>Je sais que l’affichage des feuilles blanches au tableau permet un travail pluridisciplinaire de lecture et de compréhension</p> <p>Le dessin sur la feuille de synthèse préformée permet aux élèves de garder une trace de ce qu’ils ont réalisé avec leurs erreurs. Il me permet d’analyser les productions et de revenir sur certaines.</p> <p>Je donne la durée de l’activité en montrant l’horloge</p>
--	--

Annexe 37 Schème C et schème D convoqués par Henri : « Principe de fonctionnement du dynamomètre » et « Application à autre type de dynamomètre »

Schème C : Principe de fonctionnement du dynamomètre	
But	Connaître le principe de fonctionnement du dynamomètre
Anticipation	J'attends que les élèves disent que l'allongement du ressort est lié au poids de l'objet
Inférences	Si un élève parle de graduation je lui demande en quelle unité elle est exprimée et comment on le sait Si un élève ne parle pas d'étirement du ressort alors je pose la question à la classe
Indice	Les réponses des élèves
Règle d'action	Demander aux élèves comment fonctionne le dynamomètre
Invariants opératoires	Le dynamomètre est composé notamment d'un ressort, d'une aiguille et d'une graduation Je sais que l'allongement du ressort est lié à l'intensité du poids de l'objet Je sais que la déviation de l'aiguille est fonction de l'allongement du ressort Les observations des élèves doivent leur permettre de décrire le fonctionnement du dynamomètre

Schème D : Application à un autre type de dynamomètre	
But	Effectuer une mesure du poids à l'aide d'un nouveau dynamomètre
Anticipation	J'attends que les élèves réinvestissent leurs connaissances précédemment construites pour l'utilisation d'un autre dynamomètre
Inférences	Si un élève dit une valeur sans donner l'unité de mesure alors je lui demande quelle est l'unité associée Si un élève n'emploie pas le mot poids alors je le corrige
Indice	La réponse de l'élève
Règle d'action	Demander à un élève de conclure sur l'expérience
Invariants opératoires	Les dynamomètres ne sont pas tous identiques Le dynamomètre est composé notamment d'un ressort circulaire qui ne se voit pas Je sais que la déviation de l'aiguille est fonction de l'allongement du ressort Je décris le principe de fonctionnement du dynamomètre Je sais que l'allongement du ressort est lié à l'intensité du poids de l'objet J'interroge un élève habituellement en difficultés Montrer un nouveau dynamomètre permet d'élargir les connaissances des élèves sur les appareils de mesure du poids