



HAL
open science

Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique

Alain Jameau

► **To cite this version:**

Alain Jameau. Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique : Mise en relation d'éléments théoriques et méthodologiques en didactique de la physique et en didactique professionnelle. Education. Université de Bretagne Occidentale, 2021. tel-03331240

HAL Id: tel-03331240

<https://theses.hal.science/tel-03331240>

Submitted on 1 Sep 2021

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.



INSPE Institut national
supérieur du professorat
et de l'éducation
Bretagne

Université de Bretagne Occidentale

CREAD
EA 3875

CENTRE DE RECHERCHE
SUR L'ÉDUCATION, LES APPRENTISSAGES ET LA DIDACTIQUE

Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique

Mise en relation d'éléments théoriques et méthodologiques en
didactique de la physique et en didactique professionnelle

Alain Jameau

Note de synthèse en vue de
l'obtention de l'habilitation à
diriger des recherches

Dossier soutenu le 8 janvier 2021
devant le jury composé de :

Manuel BACHTOLD
Mcf HDR, Université de Montpellier

Jean-Marie BOILEVIN
PU émérite, INSPE de Bretagne/ Réfèrent

Ghislaine GUEUDET
PU, INSPE de Bretagne

Cécile de HOSSON
PU, Université de Paris/ Rapporteuse

Konstantinos RAVANIS
PU, Université de Patras/ Rapporteur

Gérard SENSEVY
PU émérite, INSPE de Bretagne/ Rapporteur

Table des matières

Notice individuelle – Curriculum Vitae.....	3
Note de Synthèse.....	19
<i>1. Introduction.....</i>	<i>19</i>
<i>2. Donner à voir comment les enseignants comprennent leur activité d'enseignement de la physique.....</i>	<i>20</i>
2.1. Genèse de mes travaux de recherche.....	20
2.2. Résultats saillants de mes travaux de thèse.....	23
2.3. Intérêts d'articuler la didactique de la physique et la didactique professionnelle.....	26
2.4. Les connaissances professionnelles des enseignants en physique.....	42
2.5. Question de méthodologie : les entretiens en autoconfrontation.....	49
2.6. Des enjeux épistémologiques dans l'enseignement de la physique.....	53
<i>3. Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique.....</i>	<i>57</i>
3.1. Quelle unité d'analyse du travail des enseignants en didactique de la physique ?.....	58
3.1.1. Le terme activité comme concept flou à définir.....	58
3.1.2. Activité, Action, Agir et Travail.....	60
3.1.3. L'activité comme unité identifiable d'une analyse du travail du professeur.....	61
3.1.4. Le schème comme une description de l'organisation de l'activité du professeur.....	62
3.2. Une évolution du modèle des PCK.....	68
<i>4. La formation par la recherche en didactique de la physique.....</i>	<i>72</i>
<i>5. Perspectives.....</i>	<i>75</i>
5.1. Poursuite de mes travaux de recherche.....	75
5.2. L'enseignement de la physique en anglais – Le LéA PhAnCh.....	79
<i>6. Conclusion.....</i>	<i>84</i>
Bibliographie.....	88
Annexes : sélection d'articles publiés.....	98

Notice individuelle - Curriculum Vitae

Alain Jameau

Né le 18 octobre 1964 à Bordeaux

Nationalité Française

alain.jameau@inspe-bretagne.fr

Adresse professionnelle

INSPE de Bretagne – site de Rennes - 153 rue St Malo 35043 Rennes cedex

Téléphone professionnel : 02 99 54 82 29

Situation professionnelle actuelle

Maitre de conférences en didactique de la physique, 28^{ème} section, à l'Université de Bretagne Occidentale - Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation de Bretagne (INSPÉ), Site de Rennes

Membre permanent au Centre de Recherche sur l'Éducation, les Apprentissages et la Didactique – EA 3875 (<https://www.cread-bretagne.fr/author/alain-jameau/>)

Cursus universitaire

2012 : **Doctorat** de l'Université de Bretagne Occidentale (2012), école doctorale Sciences Humaines et Sociales – ED SHS 507 – CREAD. Mention très honorable avec les félicitations à l'unanimité du jury

Thèse de doctorat sous la direction du Pr Ghislaine Gueudet et du Pr Maryline Coquidé

Titre : *Les connaissances mobilisées par les enseignants dans l'enseignement des sciences. Analyse de l'organisation de l'activité et de ses évolutions.*

Jury de thèse : Jean-Marie Boilevin (président), Maryline Coquidé, Michel Grangeat (rapporteur), Ghislaine Gueudet, Gérard Sensevy, Patrice Venturini (rapporteur)

2009 : **Master 2** « communication scientifique et technique : contenus, outils, pratiques. » de l'ENS Cachan. Mention Bien

1995 : **CAPES** de sciences physiques option physique et électricité appliquée

1994 : **Maîtrise** E.E.A. à l'université de Bordeaux (1994). Admissible au CAPES

1988 : **reprise d'étude**. Obtention du baccalauréat en « cours du soir »

1982 – 1987 : **activité salariale**, électricien en bâtiment

Parcours professionnel

Depuis 2014 : Maître de conférences en didactique de la physique, 28^{ème} section, à l'Université de Bretagne Occidentale – INSPE de Bretagne

2005 : PRAG sciences-physiques à temps plein IUFM de Bretagne

2001 – 2005 : Enseignant de sciences physiques à mi-temps IUFM de Bretagne/Lycée

1999 – 2001 : Enseignant de sciences physiques à 1/3 temps IUFM de Bretagne/Lycée

1996 – 1999 : Enseignant de sciences physiques en lycée

Activités d'enseignement

Depuis 2014 : Enseignant-chercheur

- Enseignements dans la formation initiale en master MEEF¹ mention 2nd degré, parcours physique-chimie, et en master MEEF mention 1^{er} degré, en 1^{ère} et 2^{nde} année. Actualisation des savoirs notionnels et didactiques (Enseignements dans l'UE recherche). Préparation au CRPE et au CAPES de physique-chimie – épreuves orales. Encadrement de mémoires et de TER
- Enseignements dans le Master MEEF mention Pratiques et ingénierie de formation, parcours Recherches en Didactique en 1^{ère} et 2^{nde} année dans les champs de la didactique professionnelle, didactique des sciences et méthodologie de la recherche. Encadrement de mémoires de recherche et de TER
- Formation de formateurs au module mémoire CAFIPEMF

2005 – 2014 : formateur IUFM à temps plein

- Enseignements en formation initiale des professeurs des écoles et des professeurs de physique-chimie en 1^{ère} et 2^{nde} année (master dès 2009). Actualisation des savoirs notionnels et didactiques (Enseignements dans l'UE recherche). Préparation au CRPE et au CAPES de physique-chimie – épreuves orales. Encadrement de mémoires et de TER

¹ Métiers de l'Enseignement, de l'Education et de la formation

- Enseignements dans le Master Recherche en SHS : Intervenant dans le parcours Education, Apprentissage, Didactique (EAD) du master Education et Formation de l'université Rennes 2 en 1^{ère} année dans les champs de la didactique professionnelle, didactique des sciences et méthodologie de la recherche. Encadrement de mémoires et de TER

2001 à 2005, enseignant à temps partagé entre le lycée et l'IUFM de Bretagne

- **Lycée** : enseignements en classes de 2^{nde} et de terminale sti² génie électrotechnique
- **IUFM** :
 - × Enseignements dans la formation initiale des professeurs des écoles et des professeurs de physique-chimie en 1^{ère} et 2^{nde} année. Actualisation des savoirs notionnels et didactiques. Préparation au CRPE et au CAPES de physique-chimie – épreuves orales. Encadrement de mémoires.
 - × Enseignements en formation continue
 - × Formation des enseignants du 1^{er} degré à travers des stages et des animations de circonscription. Actualisation des savoirs notionnels et didactiques sur l'enseignement de l'astronomie, de la matière et de l'énergie.
 - × Formation des enseignants du 2nd degré :
 - Histoire de l'électricité et de la chimie
 - Acquisition de données dans les essais et mesures sur machines tournantes

1999 – 2001 : Enseignant de sciences physiques à 1/3 temps IUFM de Bretagne/Lycée

- **IUFM** :
 - × Enseignements dans la formation initiale des professeurs des écoles, des professeurs de physique appliquée et des professeurs de physique-chimie en 1^{ère} et 2^{nde} année. Actualisation des savoirs notionnels et didactiques sur l'enseignement de l'astronomie, de la matière et de l'énergie. Préparation au CAPES de physique-chimie et au CAPES de physique et électricité appliqué
 - × Enseignements en formation continue
 - Histoire de l'électricité et de la chimie en formation continue
 - Acquisition de données dans les essais et mesures sur machines tournantes en formation continue

² Sciences Techniques Industrielles

- × **Lycée** : enseignements en classes de 2^{nde} et terminale sti³ génie électrotechnique

1996 à 2001 : enseignant à temps plein : 18H par semaine

- Enseignements en classes de 1^{ère} et terminale sti génie électrotechnique et génie mécanique

Publications professionnelles

Boilevin, J.-M., Decamps, N., Delserieys, A., De Hosson, C., **Jameau, A.**, Lebrun, N. et Munier, V. (2015). La recherche en didactique de la physique, *Le snesup*, 631, 12-15.

Responsabilités pédagogiques

Co-responsable « Bretagne » du master MEEF mention 2nd degré, parcours physique-chimie, Université de Bretagne Occidentale – Université de Rennes 1. Master MEEF 1 et MEEF 2.

Responsable « Bretagne » du master MEEF mention Pratiques et ingénierie de formation, parcours Recherches en Didactique (RED) de l'université de Bretagne Occidentale – ESPE/INSPE de Bretagne.

Coordinateur « sciences » des UE recherche à l'INSPE de Bretagne pour les MEEF 1 PE et MEEF 2 PE.

Responsabilités collectives

Membre élu au Conseil National des Universités (CNU), section 28 depuis novembre 2019

Membre élu du conseil d'école ESPE/INSPE de Bretagne depuis novembre 2017

Membre du bureau recherche de l'ESPE/INSPE de Bretagne depuis sa création

Membre du conseil d'unité du CREAD par désignation des présidents depuis septembre 2014

Membre élu du conseil d'administration de l'Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies (ARDIST) depuis 2019

³ Sciences Techniques Industrielles

Activités scientifiques

Principaux thèmes de recherche

Mes principaux thèmes de recherche sont présentés ci-dessous. Ils seront tous repris dans la note de synthèse.

T1 : Développement professionnel : étude de l'enseignement de la physique-chimie sous l'angle de l'évolution des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants lors. Mise au travail d'un modèle heuristique d'une acquisition d'expérience.

T2 : L'enseignement d'une Discipline Non Linguistique (DNL/CLIL) de la physique-chimie en anglais

T3 : L'enseignement des sciences à l'aide d'un modèle précurseur à l'école maternelle et primaire

Je développe ci-dessous quelques éléments de compréhension et de résultats pour chacun des trois thèmes.

T1 : Développement professionnel des enseignants du point de vue des connaissances professionnelles mobilisées

Dans la continuité de ma thèse, je poursuis le travail sur le thème des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants pendant la préparation et dans la mise en œuvre de leur enseignement dans le contexte de l'enseignement de la physique-chimie. Ces études ont donné lieu à des publications [RICL 4, 5, 7 et 8], [RNCL 3 et 4], [OS 2], [ACTI 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 15]. Je montre que les enseignants mobilisent d'autres types de connaissances que les connaissances disciplinaires académiques : des connaissances professionnelles didactiques⁴ (Kermen & Izquierdo-Aymerich, 2017) qui dépendent du contenu à enseigner. Ces connaissances constituent une partie des déterminants de l'action des enseignants [RICL 8], [RNCL 4], [ACTI 10]. Mon analyse à l'aide de la didactique professionnelle permet de distinguer les connaissances nécessaires pour réguler l'activité des connaissances utiles pour prélever et sélectionner l'information pertinente, dans l'organisation de l'activité du professeur. Je montre également que la préparation de la classe n'est pas définitive et n'assure pas les enseignants d'atteindre leurs objectifs ; elle évolue à travers des réajustements au cours desquels les professeurs acquièrent de

⁴ En référence aux travaux anglo-saxons, les Pedagogical Content Knowledge (PCK) (Shulman, 1986), connaissances pédagogiques du contenu, ou connaissances spécifiques d'une discipline pour l'enseigner.

nouvelles connaissances. Ces réajustements se font à des échelles de temps différentes et ont pour origine une connaissance professionnelle didactique. Je montre également des mécanismes qui pourraient modéliser, en partie, l'acquisition d'expérience professionnelle. Pour cela, je mets au travail un modèle d'acquisition d'expérience [OS 4] dans lequel j'observe notamment le rôle des connaissances professionnelles didactiques.

Au sein de l'ANR ReVEA⁵ et du LéA PhAnCh⁶ (cf. ci-dessous), il s'agit de comprendre en quoi les connaissances professionnelles didactiques influencent le travail enseignant et comment elles se développent à travers, d'une part, la conception, la sélection et les utilisations de ressources [RICL 4] et, d'autre part, au cours d'un enseignement de la physique-chimie en anglais au lycée. J'observe une nouvelle catégorie de connaissances professionnelles didactiques mobilisées par les enseignants lors du travail documentaire (Gueudet & Trouche, 2008) : des connaissances *technopédagogiques* qui sont en lien avec l'utilisation du numérique.

T2 : L'enseignement d'une Discipline Non Linguistique (DNL/CLIL)

Mon travail de recherche porte ici sur l'enseignement d'une discipline non linguistique (DNL), appelé de plus en plus CLIL (Content and Language Integrated Learning). J'étudie plus spécifiquement l'enseignement de la physique-chimie en anglais dans le cadre d'un Lieu d'Éducation Associé (LéA)⁷ dont je suis responsable. Ce travail part du constat que l'enseignement d'un savoir scientifique, associé à l'enseignement d'un savoir linguistique, manquerait d'efficacité, car il porte simultanément sur deux types de savoirs (Roussel, Joulia, Tricot & Sweller, 2017). Par ailleurs, il existe très peu de travaux en didactique sur cette question. Avec ma collègue Carole Le Hénaff⁸, nous montrons que les connaissances des élèves peuvent progresser dans les deux domaines, en langues et en sciences, mais pas nécessairement en même temps [RICL 3], [ACTI 1, 2]. Les résultats montrent aussi la nécessité de mettre en place des dispositifs de co-intervention et / ou de co-conception (entre les enseignants de langues et de sciences) de séquences, de ressources, afin de permettre aux élèves de progresser à la fois en sciences, et en anglais. Dans le LéA PhAnCh, il s'agit de mettre en place une ingénierie coopérative (Sensevy, 2013; Joffredo-Lebrun, 2017) sur l'enseignement de la physique-chimie en anglais au lycée. L'équipe est composée de professeurs de lycée, d'enseignants-chercheurs du CREAD et du LIRDEF⁹, de formateurs et de doctorants du CREAD. Au cours de cette ingénierie, il

⁵ Ressources Vivantes pour l'Enseignement et l'Apprentissage.

⁶ Physique Anglais Chimie

⁷ <https://reseaulea.hypotheses.org/> et <http://ife.ens-lyon.fr/lea>

⁸ Maitresse de Conférence en didactique des langues et des cultures, membre permanent du CREAD.

⁹ Le LIRDEF (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Éducation et Formation) est une équipe d'accueil (EA 3749)

s'agit de construire et d'analyser collectivement des séquences d'enseignement, menées en co-intervention par les professeurs d'anglais et de physique-chimie.

T3 : Enseigner les sciences à l'école maternelle et primaire à l'aide d'un modèle précurseur

Ce travail de recherche en cours est mené avec une équipe du laboratoire ADEF de Aix-Marseille Université et une équipe grecque du Dpt of Educational Sciences & Early Childhood Education de l'Université de Patras. L'idée défendue est qu'un enseignement de sciences expérimentales peut débuter dès l'école maternelle (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985 ; Ledrapier, 2010 ; Chanoine, 2018) en approchant le monde empirique, les objets et les substances, en formulant certaines représentations de la réalité, en résolvant des problèmes afin d'acquérir graduellement une compréhension des phénomènes. Lemeignan et Weil-Barais (1993) ont proposé le concept de modèle précurseur pour travailler en classe le progrès cognitif des jeunes élèves qui prend en compte leurs représentations spontanées. Le modèle précurseur est vu comme un intermédiaire entre le modèle scientifique et les représentations spontanées des élèves. Nos travaux portent sur le cas de la lumière et des ombres et sur les changements d'état de l'eau chez les enfants de 5 et 6 ans, [RICL 1 et 2] et [ACTI 7]. Nous montrons que le concept de modèle précurseur se réfère aux entités cognitives dont les éléments sont compatibles avec ceux des modèles scientifiques utilisés dans les processus d'apprentissage et d'enseignement des sciences. De plus, cette approche, de prédictions successives et des tests, en combinaison avec le fait de n'avoir qu'une seule variable, permet aux jeunes enfants à développer un modèle précurseur. C'est une construction mentale dont les éléments de base sont compatibles avec des connaissances scientifiquement reconnues. Les élèves peuvent ainsi dépasser les obstacles et transformer leurs représentations non compatibles avec les modèles scientifiques ce qui les prépare, selon nous, à comprendre la science à un stade ultérieur.

[Participation à la formation par la recherche](#)

Thèses en cours

M'barik, Lobna (Octobre 2016-Décembre 2020). Co-direction avec Pr JM Boilevin et co-tutelle avec Pr B. Jamoussi, université virtuelle de Tunis. Co-direction à 50%

Titre de la thèse : L'impact d'un acte réflexif de l'enseignant sur l'évolution de ses pratiques enseignantes ordinaires et sur l'apprentissage : cas de l'enseignement-apprentissage des sciences physiques en classe de huitième année de base dans le système éducatif tunisien.

Blat Muriel (septembre 2019-Décembre 2022). Co-direction avec Pr JM Boilevin à 50%.

Titre de la thèse : Identification et analyse des intentions portant une suite d'actions lors de phases de régulations de l'activité enseignante dans et hors de la classe. Cas de l'enseignement des sciences au premier degré.

Thèse soutenue

Saddouki, Saïda (Octobre 2013-juin 2019). Co-direction avec Pr JM Boilevin et co-tutelle avec Pr B. Jamoussi, université virtuelle de Tunis. Co-direction à 50%

Titre de la thèse : Enjeux dans l'appropriation de la démarche d'investigation par des enseignants : Cas de l'enseignement de la résonance électrique en terminale scientifique.

Participation à des jurys de thèse

Examineur de la thèse présenté par Tracy Bloor. Thèse soutenue le jeudi 29/10/20. Titre de la thèse : Travail coopératif entre une enseignante-chercheuse de physique et une professeure d'anglais dans le secteur LANSAD (LANGues pour les Spécialistes d'Autres Disciplines) : une étude clinique en TACD menée dans le cadre d'un projet CLIL (Content and Language Integrated Learning). Université de soutenance : Université de Bretagne Occidentale.

Examineur de la thèse présentée par Ahmed Ben Jemaa. Thèse soutenue le 12/12/2017. Titre de la thèse : Une ingénierie didactique fondée sur une démarche d'investigation avec simulation pour enseigner les ondes mécaniques au lycée. Université de soutenance : Université de Bretagne Occidentale.

Encadrement de mémoires Master 1 et Master 2

- Mémoires Master 2 Recherches en Didactique (MEEF parcours PIF)
 - × Roussel, Sabrina (2018-2020). Modalités d'accompagnement permettant le développement de compétences professionnelles chez les enseignants. Cas de l'enseignement de la numération au cycle 2.
 - × Blat, Muriel (2017-2018). L'analyse des intentions pour caractériser les régulations dans l'enseignement des sciences par investigation au cycle 2.
 - × Coirre, Katy (2016-2017). Evolutions des compétences professionnelles du conseiller pédagogique lors d'un dispositif de formation.
- Mémoires Master 1 Recherches en Didactique (MEEF parcours PIF)

- × Muriel Blat (2016-2017). Des connaissances pour réguler dans une situation d'enseignement de sciences en cycle 2.
 - × Bertrand Renault-Blot (2016-2017). Les connaissances professionnelles d'un enseignant en cycle 2-3 et leur évolution. Etude de cas en technologie.
 - × Katy Coirre. Les compétences professionnelles du conseiller pédagogique au sein d'un dispositif de formation
- Mémoires Master 1 et 2 MEEF « Initiation à la recherche »
- × Parcours physique-chimie : j'encadre en moyenne 5 mémoires par an.
 - × Parcours professorat des écoles : j'encadre en moyenne 4 mémoires par an.

Organisation de colloques

Président du comité d'organisation d'un colloque international. 10ème Rencontres scientifiques de l'ARDIST – St Malo 2018. 150 participants.

Membre fondateur et co-organisateur du premier Week-End « jeunes chercheurs » (WEJCH) au sein de l'ARDIST- Fontainebleau 2014. 32 Participants.

Productions scientifiques

Articles dans des revues internationales à comité de lecture reconnues par l'HCERES (RICL)

[RICL 1] Boilevin, J-M., Delsérieys, A., **Jameau, A.**, Jégou, C., & Ravanis, K. (2020). Enseigner les sciences dès l'école maternelle à l'aide d'un modèle précurseur. Les cas de la lumière et des ombres. *Grand N*, 15, 65-74.

[RICL 2] Kambouri-Danos, M., Ravanis, K., **Jameau, A.**, & Boilevin, J-M. (2019). Precursor Models and Early Years Science Learning: A Case Study Related to the Water State Changes. *Early Childhood Education Journal*. 47(4), 475–488.

[RICL 3] **Jameau, A.**, & Le Hénaff, C. (2018). « Content and Language Integrated Learning” Teaching in Science: A Didactic Analysis of A Case Study. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*. 12(2), 21-40.

[RICL 4] Jameau, A. (2017). Connaissances professionnelles et travail documentaire des professeurs : une étude de cas en chimie au lycée. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologie*, 15, 33-58.

[RICL 5] Jameau, A. (2016). Un modèle d'acquisition de connaissances professionnelles chez des enseignants dans le cas d'un enseignement de l'électricité à l'école primaire par démarche d'investigation. *Review of science, mathematics and ICT Education*, 10(2), 29-53.

[RICL 6] Boilevin, J.-M., Delserieys, A., **Jameau, A.**, Jégou, C., & Ravanis, K. (2016). Un cadre précurseur pour enseigner les sciences en maternelle. *Cahiers pédagogiques*, 533.

[RICL 7] Jameau, A. (2015). Une étude des connaissances professionnelles des enseignants du point de vue de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. *Éducation & Didactique*, 9(1), 9-31.

[RICL 8] **Jameau, A.** & Boilevin, JM. (2015). Les déterminants de la construction et de la mise en œuvre de démarches d'investigation chez deux enseignants de physique-chimie au collège. *Recherche En Education*, 21, 109-122., 9(1), 9-32.

Publications dans des revues nationales et internationales avec comité de lecture (RNCL)

[RNCL 1] Bloor, T., Gruson, B., **Jameau, A.**, Le Hénaff, C. (2019), Enseigner et apprendre les sciences dans une langue étrangère : quelles stratégies pour travailler quels savoirs ? *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 6(1), 281-287.

[RNCL 2] Le Bouil, A., El Hage, S., **Jameau, A.**, Boilevin, J.-M. (2019). L'autonomie des élèves dans l'apprentissage de la physique-chimie selon les enseignants. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 6(1), 274-280.

[RNCL 3] Saddouki, S., Boilevin, J.-M., **Jameau, A.** (2016). Impact de la situation-problème sur la pratique de l'enseignant en classe : Cas de la résonance d'intensité. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 3(2), 297-305.

[RNCL 4] Jameau, A. (2015). Les déterminants de l'action de deux professeurs des écoles dans le cas d'un enseignement par démarche d'investigation. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 2(1), 18–28.

Direction d'ouvrage (DO)

Boilevin, J.-M. & Jameau, A. (à paraître). *Actualité des recherches en didactique des sciences et des technologies. Rencontres scientifiques Saint Malo 2018*. Paris : ARDiST.

Chapitres d'ouvrage (OS)

[OS 1] **Jameau, A.** & Boilevin, J.-M. (à paraître). Introduction, in J.-M. Boilevin et A., Jameau (Ed.), *Actualité des recherches en didactique des sciences et des technologies. Rencontres scientifiques Saint Malo 2018*. Paris : ARDiST.

[OS 2] Jameau, A. (2017). Schème et PCK pour une analyse didactique de l'activité d'enseignement. In Bächtold, M., Boilevin, J.-M. & Calmettes, B. (Ed.), *L'activité de l'enseignant en sciences : comment l'analyser et la modéliser ?* Louvain : PUL.

[OS 3] Boilevin, J.-M. Calmettes, B., Crépin-Obert, P., Cross, D., **Jameau, A.**, Kermen, I., & Bächtold, M. (2017). Les différents modèles en débat. M. Bächtold, J.-M. Boilevin & B. Calmettes (Ed.), *La pratique de l'enseignant en sciences : comment l'analyser et la modéliser?* (pp. 181-246). Louvain : PUL.

[OS 4] **Jameau, A.** et Boilevin, J.-M. (2015). The double loop of science teachers' professional knowledge. In M. Grangeat (Ed), *Understanding science teacher professional knowledge growth*, 25-42. Sense Publishers

Communications avec actes dans des colloques internationaux (ACTI)

[ACTI 1] Le Hénaff, C., & Jameau, A. (2020). *Enseigner la physique-chimie en anglais. Une ingénierie coopérative au lycée*. Communication acceptée aux 11èmes rencontres scientifiques de l'ARDIST. Bruxelles, Belgique, 31 mars - 3 avril.

[ACTI 2] Jameau, A., & Le Hénaff, C. (2019). *Learning Physics and Chemistry in a Foreign Language: the Example of the Rutherford Model at High School*. Actes du colloque international ESERA. Bologne, Italie, 26-29 août.

[ACTI 3] Bloor, T., Gruson, B., **Jameau, A.**, & Le Hénaff, C. (2019). *Enseigner et apprendre les sciences dans une langue étrangère : quelles stratégies pour travailler quels savoirs ?* Communication présentée au colloque Séminaire International sur l'Éducation Scientifique et Technologique (SIEST). Patras, Grèce, 5-7 avril.

[ACTI 4] **Jameau, A.**, & Le Hénaff, C. (2018). *Enseigner les sciences en anglais. Quelles articulations entre les savoirs scientifiques et langagiers ?* Communication acceptée au Colloque International de l'Association pour des Recherches Comparatistes en Didactique (ARCD). Bordeaux, France, 10-13 octobre.

[ACTI 5] **Jameau, A.**, & Le Hénaff, C. (2018). Enseigner les sciences en anglais. Quelles articulations entre les savoirs scientifiques et langagiers ? In actes 10èmes rencontres scientifiques de l'ARDIST. Saint Malo, France, 27-30 mars.

[ACTI 6] M'Barik, C., **Jameau, A.**, & Boilevin, J.-M. (2018). Connaissances professionnelles mobilisées lors d'une activité réflexive. In Actes des 10èmes rencontres scientifiques de l'ARDiST, Université de Bretagne Occidentale, France

[ACTI 7] Boilevin, J.-M., Ravanis, K., **Jameau, A.**, Kambouri-Danos, M (2018). Un modèle précurseur pour enseigner les changements d'état de l'eau. In Actes des 10èmes rencontres scientifiques de l'ARDiST, Université de Bretagne Occidentale, France

[ACTI 8] Saddouki, S., Boilevin, J.-M., Jameau, A. (2016). Impact de la situation-problème sur la pratique de l'enseignant en classe : Cas de la résonance d'intensité. Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair.

[ACTI 9] **Jameau, A.**, & Boilevin, J.-M. (2016). Les connaissances professionnelles d'une enseignante de physique-chimie dans le choix et l'utilisation de ressources. Dans Actes des Journées scientifiques de l'ARDIST, Lens, France.

[ACTI 10] Jameau, A. (2014). Les déterminants de l'action de deux professeurs des écoles dans le cas d'un enseignement par démarche d'investigation. Actes du colloque SIEST, Rabat, Maroc.

[ACTI 11] **Jameau, A.** & Boilevin, J.-M. (2014). Les déterminants de l'action du professeur dans le cas d'un enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Une étude de cas en physique au collège. Actes des septièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST. Skholê. Cahier de la recherche et du développement, 18(2), 211-220.

[ACTI 12] Jameau, A. (2013). Les connaissances professionnelles des enseignants : une étude de cas en mécanique au collège. *Actes du congrès International AREF (Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation)*, Montpellier, France.

[ACTI 13] Jameau, A. (2012). Les connaissances des enseignants dans l'enseignement de la physique-chimie : une étude de cas en mécanique au collège. *Actes des septièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST* (p. 211-220), Bordeaux.

[ACTI 14] Jameau, A. (2011). La démarche d'investigation en sciences au collège et connaissances professionnelles des enseignants : une étude de cas en physique-chimie. *Actes des deuxièmes journées d'étude S-TEAM*. Grenoble.

[ACTI 15] Jameau, A. (2010). Les connaissances des enseignants en sciences. Une étude de cas dans l'enseignement de la mécanique au collège. *Actes du congrès International AREF (Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation)*, Genève, Suisse.

Communications avec actes dans des colloques nationaux (ACTN)

[ACTN 1] Le Hénaff, C. & **Jameau, A.**, (2018). *Resources for Science Teaching in a Foreign Language*. International conference 28th – 30th May 2018, Lyon. France.

[ACTN 2] Jameau, A. (2012). La formation de l'expérience chez les enseignants : une étude de cas en mécanique au collège. *Actes du colloque international RPDP (Recherches et Pratiques en Didactique Professionnelle)*, Nantes.

[ACTN 3] Jameau, A. (2012). Démarches d'investigation en sciences au collège et connaissances professionnelles des enseignants : une étude de cas en physique-chimie. *Actes du colloque international Formes d'éducation et processus d'émancipation (Symposium Pratiques enseignantes et démarches d'investigation en sciences)*, université Rennes 2 et Institut Français de l'éducation (ENS, Lyon), Rennes.

Communications orales sans actes dans un congrès international ou national (COM)

[COM 1] Le Hénaff, C., & **Jameau, A.** (2020). A cooperative engineering in a CLIL program. Communication acceptée au colloque international *European Conference on Educational Research (ECER)*. Glasgow, Ecosse, 25-28 août.

[COM 2] **Jameau, A.**, & Le Hénaff, C. (2018). Ressources pour l'enseignement des sciences en anglais. Communication présentée au Colloque final REVEA à l'Institut Français de l'Éducation. Lyon, France, 14 mars.

[COM 3] Le Hénaff, C., **Jameau, A.**, Gruson, B., Boilevin, J.-M., & Thépenier, L. (2017). *Teaching chemistry in English as a foreign language, a case study*. Communication présentée au colloque international *European Conference on Educational Research (ECER)*. Copenhague, Danemark, 23-25 août.

[COM 4] Jameau, A., & Boilevin, J.-M. (2015). *A model for professional knowledge acquisition by science teachers*. Communication présentée au colloque ECER (European Conference on Educational Research), Budapest, Hongrie.

[COM 5] Jameau, A., & Boilevin, J.-M. (2014). *Teachers' professional knowledge in science education: two case studies at middle school and at elementary school*. Communication présentée au colloque ECER (European Conference on Educational Research). Porto, Portugal.

[COM 6] Jameau, A. (2010). Following and analyzing teacher's knowledge: a case study about mechanics at middle school. Communication présentée au colloque ECER (European Conference on Educational Research), Helsinki, Finlande.

[COM 7] Jameau, A. (2010). *Les connaissances des enseignants en sciences. Une étude de cas dans l'enseignement de la mécanique au collège*. Communication présentée au troisième séminaire des doctorants de l'ARDIST. Paris.

Communications par affiche

Boilevin, J.-M., Corbin-Ménard, J., Gérard, V., Gruson, B., Gueudet, G., Guillemot V., **Jameau, A.**, Le Hénaff, C., Lebaud, M.-P. & Thépenier, L. (2016, mai). Les ressources des professeurs et leurs évolutions. Une étude au lycée Joliot Curie (Léa, Rennes). Poster présenté à La 6ème Rencontre Nationale des LéA. Lyon, France. Repéré à http://ife.ens-lyon.fr/lea/le_reseau/manifestations/rencontre-nationale-des-lea-2016-1/posters/23_joliot-curie

Blanchard, L., Boilevin, J.-M., Clochet, C., Corbin-Ménard, J., Gérard, V., Gueudet, G., Guillemot, V., Gruson, B., Guiraud, N., **Jameau, A.**, Kerneis, J., Lebaud, M.-P., Le Hénaff, C., et Quéré, N. (2015, mai). Ressources vivantes et travail des professeurs en anglais, mathématiques et sciences physiques en seconde : quels points communs, quelles spécificités ? Poster présenté à La 5ème Rencontre Nationale des LéA. Lyon, France.

Ouvrages ou sites pédagogiques

Jameau, A. & Léger, V. (2001). *Conversion d'énergie – Electrotechnique - Electronique de puissance - B.T.S. électrotechnique, I.U.T. génie électrique, licence E.E.A.* Ellipses

Jameau, A. & Thouroude, D. (2000). *Sujets corrigés posés en physique appliquée - Génie électrotechnique.* Ellipses

Participation à la construction de ressources pour le site ampère: <http://www.ampere.cnrs.fr/>

- <http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/video/piledevolta/video/>
- <http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/oersted/pdf/jameau.pdf>

Séminaires dans des laboratoires

Séminaire TPK (Teacher Professional Knowledge). *Mars 2015*. Sous la responsabilité de Michel Grangeat. LSE Grenoble.

Rapporteur ou membre de comités de rédaction de revues

Membre du comité de lecture de revues de didactique et d'éducation suivantes : Education & Didactique (E&D), Recherches En Education (REE), Recherches en

Didactique des Sciences et des Technologies (RDST), Mesure et évaluation en éducation (MEE).

Reviewer pour un colloque international :

- European Educational Research Association (EERA) – ECER conference. Reviewer pour le network 27 “Didactics – Learning and teaching”.
- 10èmes rencontres scientifiques de l'ARDiST. Saint Malo, France, 27-30 mars 2018.

Expérience internationale

Membre du comité scientifique d'un colloque international. 10ème journées de l'ARDIST – St Malo, mars 2018. 150 participants.

Membre du comité scientifique d'un colloque international. Séminaire Inter laboratoire sur l'Éducation Scientifique et Technologique (SIEST), réseau méditerranée. Rabat, octobre 2014 ; Marseille, novembre 2016 ; Patras, avril 2019

Cours invités, Université de Patras, Department of Educational Sciences & Early Childhood Education : 3 semaines en Juin 2018 et Juin 2016. Interventions sur l'enseignement des sciences à l'école maternelle.

Chercheur invité à l'université de Sherbrooke, Québec, en septembre-octobre 2019, au CREAS : interventions sur les méthodologies de recherche en didactique, sur la place du langage dans l'enseignement des sciences, et sur les recherches coopératives.

Accueil, en 2020, d'une chercheuse invitée, Anke Wegner, PU en didactique des langues et des cultures, à l'université de Trèves (Allemagne), dans le cadre d'un projet ERASMUS+ sur CLIL / DNL. Deux séjours de 15 jours organisés. Budget d'accueil de 3000€.

Membre du comité scientifique de l'European Educational Research Association (EERA), section 27, « Didactics – Learning and Teaching ».

Responsabilités scientifiques

Responsable de l'équipe physique-chimie dans le projet eFRAN IDEE (Interactions Digitales pour l'Education et l'Enseignement), volet CERAD (Collectifs Enseignants et Ressources pour l'Autonomie des élèves) qui porte sur les usages du numérique susceptibles de contribuer au développement de l'autonomie des élèves, 2020.

Responsable du Lieu d'Éducation Associé (LéA PhAnCh) **Lycées d'Ille-et-Vilaine en Réseau** (Livre), en partenariat avec l'IFé, sur l'enseignement CLIL / DNL des sciences

en anglais, en partenariat avec les lycées Bertrand d'Argentré à Vitré, Joliot-Curie et Chateaubriand à Rennes, 2019 à 2022.

Membre du comité de direction de la Structure Fédérative de Recherche ViSA : Base de données d'enregistrements Vidéo de Situations d'enseignement-Apprentissage 2017-2019.

Co-Responsable du dossier formation continue des enseignants chercheurs au CREAD¹⁰.

Contrats publics

LéA PhAnCh. Financement de 20H par enseignant avec la DGESCO (MENESR) pour 5 enseignants du LéA

Participation au projet ERASMUS + « Teaching Experimentation in Science and Technology » (TEST). Consortium de 4 pays : Italie, Grèce, Malte et France. 2014-2017. Budget : 32

Membre de comités scientifiques

- 10ème Rencontres scientifiques de l'ARDIST – St Malo, mars 2018.
- Séminaire Inter laboratoires sur l'Éducation Scientifique et Technologique (SIEST méditerranée) – Réseau méditerranéen de recherches en éducation scientifique et technologique qui regroupe des chercheurs français, grecs, tunisiens, algériens et marocains. Rabat, 2014 ; Marseille, 2016 ; Patras, 2019
- Membre du comité scientifique de l'European Educational Research Association (EERA), section 27, « Didactics – Learning and Teaching ».

¹⁰ Centre de Recherche sur l'Éducation, les Apprentissages et la Didactique

Note de Synthèse

Note : les mentions [RICL..], [RNCL..], [OS..] font références aux productions scientifiques présentées dans le CV précédemment.

Introduction

Cette note de synthèse constitue un point de situation après quelques années de recherche qui visent à essayer de comprendre comment les connaissances professionnelles des enseignants s'expriment dans l'action de la classe pour permettre des apprentissages en physique. De ce questionnement, en découlent d'autres. Quelles sont ces connaissances professionnelles ? Comment évoluent-elles ? Quelle est l'unité d'analyse du travail des enseignants dans l'enseignement de la physique ? Faut-il parler d'action ou d'activité ou de pratique ? Et, quel(s) lien(s) existe-t-il entre l'action, l'activité ou la pratique de l'enseignant et les connaissances professionnelles ? Toutes ces questions me permettent de définir une orientation de recherche : donner à voir comment les enseignants comprennent leur activité d'enseignement de la physique. J'ai organisé cette note de synthèse en trois parties.

La première partie a pour objectif de revenir sur mes travaux post-thèse pour répondre à la question de la modélisation de l'activité d'enseignement de la physique. Pour cela, je discute des intérêts à articuler la didactique de la physique et la didactique professionnelle. Afin d'étayer mes propos, j'analyse à nouveau quelques données empiriques. J'aborde aussi les résultats sur les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants dans leur activité d'enseignement de la physique. Je relève des enjeux épistémologiques et des questions de méthodologie propres à cette recherche.

La seconde partie propose une discussion autour de trois thèmes. Il s'agit d'abord de montrer en quoi le concept de schème permet une description fine de l'organisation de l'activité de l'enseignant. Pour cela, je discute l'intérêt qu'il y a à se situer à l'échelle de l'activité dans mes travaux. Puis, je discute le modèle des PCK (Pedagogical Content Knowledge) au vu des derniers travaux publiés par Julie Gess-Newsome (2015) que je confronte à mes résultats. Enfin, je montre en quoi mes recherches me permettent de former les futurs enseignants du premier et du second degré par la recherche et à la recherche.

La troisième partie présente une mise en perspective de mes travaux. J'expose en premier comment j'envisage de poursuivre mes travaux par la création d'un séminaire de didactique de la physique dont le noyau dur sera constitué par les doctorants que je co-encadre. Puis j'expose comment je pense faire évoluer le travail dans le LéA PhAnCh sur l'enseignement de la physique-chimie en anglais dont je suis responsable.

Donner à voir comment les enseignants comprennent leur activité d'enseignement de la physique

Genèse de mes travaux de recherche

De 2009 à 2012, j'ai bénéficié d'un mi-temps accordé par l'Université de Bretagne Occidentale pour effectuer mon doctorat. Le choix de mon sujet de recherche s'est fait tout naturellement, comme une évidence : étudier les connaissances professionnelles des enseignants dans le contexte de l'enseignement des sciences expérimentales, et plus particulièrement de l'enseignement de la physique, et regarder comment elles évoluent. C'est un thème qui m'a toujours intéressé depuis que j'ai commencé à enseigner et surtout lorsque je suis devenu formateur d'enseignants du premier degré et du second degré. Mes observations en classe effectuées au cours de visites de professeurs stagiaires ou lors de travaux avec des collègues titulaires m'ont interpellé sur un aspect : dans le premier degré, les « spécialistes de la non spécialité » (Sensevy et *al.*, 2000) mobilisent des connaissances de nature différente de celles des enseignants du second degré, spécialistes de la physique-chimie. Par exemple, j'observais des professeurs des écoles faire des rappels sur les phonèmes pour aider un/une élève à lire un mot afin de comprendre la consigne écrite en science ou co-construire avec eux une trace écrite, une trace des investigations menées, ou encore, travailler sur les nombres et les opérations lors d'expérience quantitatives. Pour moi, cette prise en charge du « lire, écrire et compter » influence l'organisation de l'activité des enseignants PE et nécessite des connaissances professionnelles spécifiques en comparaison des enseignants de physique-chimie de collège ou de lycée. Par ailleurs, lors des séances d'analyse de pratique avec les professeurs stagiaires du premier ou du second degré, je me suis interrogé sur les éléments de professionnalisation qui aident à l'acquisition d'expérience, et plus particulièrement les aspects didactiques afin d'améliorer les apprentissages des élèves.

J'ai, par conséquent, décidé de travailler autour des connaissances professionnelles mobilisées par des enseignants lors d'un enseignement de physique avec une double visée : comprendre le type de connaissances en jeu et étudier comment elles s'organisent dans l'action ; comprendre comment elles se développent pour donner à voir une formation de l'expérience dans une visée de formation des

professeurs afin d'améliorer notamment les apprentissages des élèves en physique. Selon Dewey (2011), les acquis de l'expérience sont les produits de l'expérience. Ils peuvent être « de qualité », c'est-à-dire permettre de « vivre des expériences ultérieures de qualité », constituer des ressources ou bien inhiber, limiter, empêcher, gêner l'activité future. L'expérience peut être vue comme un processus « qui correspond à la dynamique de formation et de transformation des manières de se situer, de penser, de raisonner, de ressentir, d'agir, entraînée par la succession des expériences vécues avec les différentes situations et à leur action les unes sur les autres » (Mayen, 2013).

Je me suis placé d'emblée dans l'activité réelle de travail d'un enseignement de physique. Un point de vue didactique conduit à s'intéresser principalement aux connaissances en lien avec le contenu. J'ai donc choisi, comme beaucoup de chercheurs en didactique (Chesnais & *al.*, 2017), le concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK), développé par Shulman (1986, 1987), qui est une connaissance spécifique pour enseigner et qui est nourrie partiellement par la connaissance du contenu (Sensevy & Amade-Escot, 2007). La plupart des études internationales, comme le montre Abell (2007), ont cherché à identifier les connaissances des enseignants à partir de ce qu'ils disent sur leurs connaissances et de leur pratique. Pour ma part, j'ai fait le choix, comme d'autres chercheurs en France (par exemple, Bécu-Robinault, 2007 ; Kermen & Méheut, 2008 ; Morge, 2009 ; Cross, 2010, Chesnais & *al.*, 2017) de développer une méthodologie qui permette de repérer une PCK à partir de l'action du professeur. J'ai élaboré un suivi sur deux années d'enseignants expérimentés du premier et du second degré. J'ai étudié le processus qui permet aux enseignants d'adapter leur préparation à un public et comment celle-ci évolue en relation avec l'activité dans la classe. Je me suis intéressé spécifiquement à l'écart entre ce qui était prévu par le professeur et ce qui était réalisé en classe. J'ai donc considéré ce qui se passait hors de la classe et dans la classe car, selon Bécu-Robinault (2007), une part non négligeable des décisions sur l'enseignement est prise pendant le travail hors classe et notamment lors de la préparation¹¹. J'y ai accédé à partir des traces écrites produites par le professeur et des entretiens notamment de types autoconfrontation simples et croisés (Clot & Faïta, 2000 ; Clot, Faïta, Fernandez, & Scheller, 2001).

Mon intérêt pour l'étude de la mobilisation de connaissances professionnelles dans l'action m'a amené à me tourner vers la didactique professionnelle, en complément de la didactique disciplinaire pour donner à voir comment les

¹¹ Je désigne ici par *préparation* l'activité du professeur en amont de la mise en œuvre d'une séance ou d'une séquence. Elle peut donner lieu à la conception et à l'organisation de supports matériels (fiches de préparation...).

connaissances professionnelles des enseignants sont mobilisées dans l'action. La didactique professionnelle est un champ de recherche qui questionne le développement des compétences chez les apprenants. L'analyse de leur développement nécessite d'observer des sujets dans un contexte de travail, telle que l'activité réelle de travail se déroule en situation (Vinatier, 2013). Pour cela, la théorie de la conceptualisation dans l'action apporte un cadre pertinent (Pastré, Mayen et Vergnaud, 2006). Beaucoup de travaux (voir par exemple le numéro de la revue *éducation permanente*, n° 139, 1999) mobilisent le couple notionnel de schème-situation développé par Vergnaud à partir des travaux de Piaget pour analyser l'organisation de l'activité des individus, « en termes de formes d'organisation associées à des classes de situation, c'est en dire en termes de schèmes » (Vinatier, 2013, p. 9). Ainsi j'ai placé les connaissances des enseignants dans les invariants opératoires du schème car, selon Vergnaud (1996), le sujet sait mobiliser des connaissances-en-acte pour atteindre son but, qui sont à la fois des concepts mais aussi des énoncés tenus pour vrais. Par ailleurs, j'ai analysé l'organisation de l'activité des professeurs ainsi que les tâches prescrites aux élèves pour accéder à leurs apprentissages en physique. Pour cela, je me suis placé suivant une perspective épistémologique de l'apprentissage d'un modèle, sur les notions du poids et de la masse enseignés en classe de troisième et sur le concept de circuit électrique enseigné au cycle 3 (CM1 et CM2). Il s'agit d'étudier comment les élèves construisent un modèle et le mettent au travail. Par conséquent, j'ai analysé, d'un côté, l'activité des enseignants en contexte de travail et, de l'autre côté, le savoir et sa transmission. Le premier objet d'étude est généralement analysé par la didactique professionnelle alors que le second est examiné par la didactique disciplinaire en considérant, en particulier, que activité et apprentissage sont indissociables (Pastré, 2008).

De la didactique professionnelle, je me suis inspiré en partie d'une méthodologie que j'ai construite pour cette recherche suivant trois principes : un suivi long 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. Le corpus comporte des enregistrements audio et vidéo de séquences de classe et des entretiens avec chacun des enseignants¹², 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. Le thème étudié lors de la séquence a été décidé au préalable conjointement avec eux. Il sert de base à deux entretiens dans lesquels les enseignants font une auto-analyse de leur action, à partir

¹² Nous avons suivi deux enseignants de physique-chimie pendant deux années sur l'enseignement du poids et de la masse et deux professeurs des écoles pendant une année sur l'enseignement du circuit électrique.

des enregistrements vidéos des séances, selon des modalités proches de l'autoconfrontation simple et croisée (Clot & Faïta, 2000 ; Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001).

Résultats saillants de mes travaux de thèse

J'ai étudié dans mon travail de thèse un modèle d'organisation de l'activité des enseignants lors d'un enseignement de physique au cours d'une démarche d'investigation¹³ (DI) dans lequel se placent les connaissances professionnelles mobilisés par les professeurs au cours de la mise en œuvre [RICL 7, 8, 5], [RNCL 4]. Ce travail sur les types de connaissances et leur évolution m'a permis de construire un modèle heuristique d'une acquisition d'expérience à partir de régulations rétroactives de l'activité opérées par les enseignants.

Par ailleurs, l'analyse de mes données a mis en évidence la nécessité de représenter différemment le schème de Vergnaud (1996). Dans le cas des enseignants de mon étude, je l'ai décrit en tableau en renseignant six éléments : les buts et sous-buts, les anticipations, les indices, les règles d'action, les invariants opératoires et les inférences. Cette description permet de comprendre la structure de l'activité en accédant, d'un côté, aux intentions de l'enseignant, ses désirs, sa motivation et, de l'autre côté à ce qui engendre l'activité aussi bien les prises d'information et les contrôles que les actions matérielles qui conduisent au résultat recherché. La partie épistémique du schème représentée par les invariants opératoires est composée de concepts-en-acte et de théorèmes-en-acte¹⁴. Ils permettent de prélever et de sélectionner l'information pertinente pour en inférer des conséquences utiles pour l'action. J'y place les connaissances professionnelles.

J'ai exprimé le ou les indices (des réponses erronées d'élèves, du bruit dans la classe, des désaccords entre les élèves, etc.) que l'enseignant prélève dans l'action car ils apparaissent dans les entretiens. Ils n'étaient pas exprimés suivant des règles de prise d'informations comme dans le modèle de Vergnaud. 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. J'ai constaté que l'identification des inférences et des invariants opératoires est nécessairement une reconstruction du chercheur à partir des analyses des différentes sources à disposition car les enseignants ont souvent des difficultés à énoncer leurs connaissances, notamment celles qui sont liées à la classe, car elles sont intégrées dans

¹³ Telle qu'elle est définie dans les programmes de l'école et du collège

¹⁴ La formule « en-acte » permet de souligner le fait que, pour certains niveaux d'organisation de l'activité, les invariants opératoires échappent à la conscience du sujet. Ils sont en effet très difficiles à expliciter car ils sont intégrés dans l'exécution de l'activité (Coulet, 2009).

l'exécution de l'action. L'interprétation peut paraître alors subjective. Dans l'idée de décrire une organisation de l'activité des professeurs à une échelle plus « macro », c'est à dire de savoir dans quel cas un schème se décompose en sous-schème et un but en sous-but, j'ai comparé les anticipations pour chacun des buts. Si elles restent les mêmes entre des buts différents, alors il n'y a pas de nouveau schème : le schème « initial » s'écrira 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, j'ai considéré 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-schémes.

J'ai montré également que 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. Les enseignants s'appuient sur ces connaissances pour prélever et sélectionner l'information afin d'atteindre leur but. Elles sont parfois présentes aussi dans les inférences. La mise au travail du modèle de Magnusson et *al.* (1999) m'a amené à poser les questions suivantes : les PCK sont spécifiques d'un contenu mais ne dépendraient-elles pas aussi d'un niveau scolaire ? Ne faudrait-il pas créer une catégorie des PCK/élèves sur ce qu'ils ont appris les années passées ? Comment définir ce qui est une PCK stratégie car la question de qu'est-ce qui est stratégique chez un enseignant se pose ? 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 ? Les PCK/orientations sont-elles des connaissances spécifiques d'un sujet ? Par ailleurs, j'ai observé que les enseignants du premier degré mobilisaient des PCK sur les élèves et sur les programmes d'une autre discipline concernant notamment la lecture, l'écriture et la compréhension pour aider aux apprentissages des élèves en sciences expérimentales. C'est une manière pour moi de caractériser l'approche pluridisciplinaire de l'enseignement dans le premier degré.

Mon étude de l'enseignement de la physique par démarche d'investigation (DI)¹⁵ a montré des discontinuités entre le premier degré et le collège tant dans les programmes que dans la mise en œuvre. Les principes d'unicité 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

¹⁵ MEN, Programme des collèges. BO HS N°5 du 25 Août 2005

expérimentales dont la cohérence, sur la séquence, n'est visible que par les enseignants. Par ailleurs, 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, d'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. Par ailleurs, j'ai observé au collège que la nature de la démarche peut changer c'est-à-dire qu'elle peut être inductive ou déductive suivant les difficultés des élèves. Les enseignants mobilisent une PCK/é afin d'adapter au mieux la démarche pour apprendre 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 assez élevé. Suite aux entretiens avec les professeurs des écoles, j'en ai déduit que la preuve apportée par les données empiriques suffit pour élaborer les savoirs dans la classe.

Les enseignants opèrent des régulations à des échelles de temps différentes afin d'adapter au mieux leur préparation pour permettre des apprentissages dans les meilleures conditions. Certaines régulations sont faites dans l'action, d'autres hors de la classe où la réponse à une difficulté d'élèves ou à un problème de cohérence dans le plan sera apportée à la séance suivante ou l'année suivante avec une autre classe. En conséquence, la préparation peut être réécrite ou non. Suivant les travaux de Leplat (2006) et Pastré (1999), une boucle courte de régulation (opérée dans l'action, en classe) est fondée sur un écart entre l'anticipation du schème convoqué et l'indice pris dans l'action. Les professeurs construisent une nouvelle connaissance de type PCK sur les élèves que nous retrouvons dans les invariants opératoires du schème et dans les inférences. Ils apprennent sur le seul fait d'agir en situation. Pour autant, la réponse apportée n'est pas toujours définitive. Dans ce cas, une nouvelle réponse est construite, hors classe, ce qui a pour effet de faire évoluer à la fois l'organisation de l'activité de l'enseignant et parfois la préparation de la classe. Cela montre comment une nouvelle connaissance, construite lors d'un évènement inattendu, influence l'organisation de l'activité des enseignants, lors d'une boucle longue (hors de la classe). Un des principes de mon travail de recherche c'est l'étude de l'écart entre le prévu et le réalisé. Cela consiste à identifier les évènements inattendus dans la classe. Basés sur les travaux de Huber et Chautard (2001), ainsi que ceux de Perrenoud (1999), je définis un évènement inattendu comme un évènement perturbateur qui se produit dans la classe et n'est pas planifié par l'enseignant. Je considère le cas particulier où l'évènement inattendu est perçu par l'enseignant et génère un règlement. Ces évènements inattendus peuvent conduire à la construction de nouvelles connaissances pour l'enseignant.

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'évènement se reproduit. Ces nouvelles connaissances, construites par les professeurs dans l'action, sont à l'origine de l'acquisition d'expérience. Elles sont de type PCK sur les élèves 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. J'ai représenté ces régulations par des groupements organisés de schèmes que les professeurs ont à leur disposition et qu'ils ne convoqueront que s'ils le jugent opportun.

Intérêts d'articuler la didactique de la physique et la didactique professionnelle

Dans mes travaux de recherche post-thèse, j'ai poursuivi l'analyse du travail enseignant du point de vue de la didactique professionnelle et de la didactique des sciences même si, comme le souligne Pastré (2011), les relations entre les didactiques des disciplines et la didactique professionnelle sont sous le signe d'une opposition, avec des ruptures, alors que les deux didactiques cherchent à comprendre comment les connaissances sont construites par un sujet. Pour Vergnaud (2008), les caractéristiques d'un métier sont différentes de celles d'une discipline, ce qui produit des problématiques tout aussi différentes. D'ailleurs, Pastré (2011) souligne un autre point de divergence dans « l'opposition » entre le singulier de la didactique professionnelle et le pluriel des didactiques disciplinaires : « les champs professionnels, à la différence des champs disciplinaires, sont trop empiriques pour pouvoir être découpés en entités totalement séparées. La centration sur l'activité, sous l'influence de la psychologie ergonomique, est la raison de l'utilisation du singulier. 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 » (Ibid., p. 52).

Mon travail de recherche tente de montrer la complémentarité des deux didactiques, celle des sciences et de la didactique professionnelle pour donner à voir comment les enseignants comprennent leur activité d'enseignement [RICL 7, 6, 4 et 3], [OS 4 et 2], [RCLN 5 et 4] bien que, d'un point de vue épistémologique, la didactique professionnelle se situe dans une autre perspective suivant deux dimensions principales : le pouvoir de faire du sujet, son pouvoir d'agir et sa capacité à construire des ressources, et à se les approprier pour assurer ce pouvoir de faire (Rabardel, 2007).

Revenons sur le cas des deux enseignants de physique-chimie de collègue, expérimentés, que j'ai observés dans leur enseignement du poids et de la masse en classe de troisième (je les ai nommés Henri et Florence). J'ai suivi ces deux enseignants pendant deux ans ce qui m'a permis d'analyser une organisation de leur activité d'enseignement et des évolutions. L'approche « classique », dans le sens répandu, consiste à emmener très vite les élèves à mesurer le poids d'un objet à l'aide d'un dynamomètre et la masse avec une balance numérique afin de déduire la relation $P = mg$ où g est défini comme l'intensité de la pesanteur. Cette démarche est partagée par les deux professeurs. Par contre, la situation-problème, au sens des préconisations des programmes pour la mise en œuvre d'un enseignement de physique-chimie par démarche d'investigation, est différente la première année entre Henri et Florence. Henri débute la séquence par l'analyse d'une planche de bande dessinée des aventures de Tintin tirée de l'album « on a marché sur la Lune¹⁶ » alors que Florence fait émerger les représentations initiales des élèves en posant des questions du type « que savez-vous sur..? ». Sur cette planche, nous voyons un des héros *Dupont*, sur la Lune, sauter une crevasse et retomber beaucoup plus loin que prévu. Dans les entretiens, l'enseignant justifie ce choix pour d'une part, intéresser les élèves et d'autre part, afin de lui permettre de mettre en évidence le poids d'un corps.

2.2.1. Enseignement du poids et de la masse : année 1

L'analyse avec le prisme de la didactique des sciences de l'activité expérimentale nous amène à observer que les échanges entre le professeur et les élèves portent sur des éléments qui appartiennent au registre du référent empirique (Martinand, 1986) 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*). Les deux enseignants conduisent cette activité expérimentale de la même manière. De fait, ils s'appuient 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 leur permet de conclure sur le principe de fonctionnement de l'appareil de mesure et d'en justifier l'utilisation. Par contre, dans les deux cas, j'ai observé que les élèves interrogés par le professeur faisaient référence à « lourd » c'est-à-dire à la masse et non pas à l'action du poids. La tentative de passage dans le registre des modèles échoue et la confusion entre le poids et la masse se poursuit tout au long de la séquence malgré d'autres activités expérimentales.

¹⁶ On a marché sur la Lune, Hergé, Édition Casterman.

Dans mes travaux, j'ai essayé de montrer que les élèves ne distinguent pas ce qui est une propriété d'un morceau de matière, la masse¹⁷, de son interaction avec la Terre, le poids. Il me semble que cette difficulté provient du fait qu'il n'y a pas de mise en relation entre les événements et les propriétés des interactions dans leurs réponses aux questions du professeur. Lemeignan et Weil-Barais (1993) soulignent que les concepts « agir » et « objet » doivent être admis pour permettre cette mise en relation. Ils font partie des descripteurs qui, selon Genzling et Pierrard (1996), sont nécessaires dans les activités de modélisation. Cela signifie que la Terre, la main, le ressort et le corps suspendu doivent être définis comme des objets et décrits selon les interactions que chacun entretient avec les autres [RICL 6 et 7]. Lemeignan et Weil-Barais suggèrent de distinguer cette démarche qui vise à définir le concept d'interaction de la modélisation connexe qui est déterminée par les caractéristiques de l'interaction en termes de direction, sens, importance, réciprocité. Pour autant, cette distinction de sens et de direction n'était pas aux programmes lors de l'étude. Dans la séance observée, Henri n'a pas mis les élèves dans la situation de construire le modèle du poids comme un modèle interaction. Cela expliquerait les difficultés des élèves à différencier le poids de la masse d'un objet et à montrer le principe de fonctionnement du dynamomètre. Florence a mis en place la même situation avec le même matériel pédagogique. J'ai observé les élèves avoir les mêmes difficultés que dans la séance d'Henri pour les mêmes raisons.

Mon analyse du point de vue de la didactique professionnelle consiste à étudier une organisation de l'activité de l'enseignant à travers l'identification des schèmes en jeu (Piaget 1973 ; Vergnaud, 1996, 2001). Prenons l'exemple de l'introduction de l'activité expérimentale mise en œuvre par Henri. Les élèves doivent mesurer le poids d'un objet, par la question : « Est-ce que l'on peut mesurer le poids ? ». Je présente les éléments du schème modélisant l'organisation de son activité dans le tableau 1, ci-dessous. Je le note schème B.1. pour indiquer qu'il s'agit du schème B la première année. La colonne de gauche indique les éléments constitutifs du schème, la colonne de droite propose ce que l'enseignant fait ou pense en situation. Ces éléments proviennent de mes analyses d'une part, des vidéos de classe dans lesquelles nous voyons les enseignants en action, et d'autre part, des vidéos des entretiens du type autoconfrontation simple et croisée (Clot & Faïta, 2000 ; Clot, Faïta, Fernandez, & Scheller, 2001).

Schème B.1 : introduction de l'activité expérimentale	
But	Mettre en évidence que le poids est une grandeur mesurable.
Anticipation	J'attends que les élèves fassent référence au document distribué le

¹⁷ La distinction entre la masse « inerte » et la masse « grave » n'est pas au programme au collège. Pour eux, la masse désigne la quantité de matière constituant un corps.

	cours précédent. J'attends que les élèves citent Newton et le dynamomètre.	
Inférences	Si des élèves ne proposent pas de réponses 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.	
Indices	Le silence des élèves	
Règle d'action	Demander aux élèves si le poids se mesure	
Invariants opératoires	Théorèmes-en-acte	Concepts-en-acte
	Le poids se mesure avec un dynamomètre et son unité de mesure est le newton de symbole N. Je m'appuie sur un document déjà étudié pour trouver la réponse à la question Les élèves peuvent ne pas se souvenir du document précédemment étudié Poser la question de la mesure du poids permet d'introduire le dynamomètre	Prérequis. Travail en grand groupe. Interroger des élèves ou un élève. Le poids, la masse, force, interaction gravitationnelle, mesure

Tableau 1. Année 1. Henri. Schème B.1 « Introduction de l'activité expérimentale »

Cette description de l'organisation de l'activité d'Henri nous permet de montrer quel est son but, sa motivation, ce qui précède et accompagne l'action à travers les anticipations du but. La règle d'action « Demander aux élèves si le poids se mesure » engendre bien l'action et si nous rajoutons les indices et les inférences, nous avons accès aux règles de prise d'information et de contrôle. En effet, une règle de prise d'information pourrait se nommer « observer la réaction des élèves, d'un élève en particulier », et des règles de contrôle, par exemple « vérifier que la question est claire, s'assurer que les élèves restent attentifs ». Nous voyons bien que ces règles n'engendrent pas que l'action mais toute l'activité. Elles organisent, en quelque sorte, l'adaptation du schème à la situation (Vergnaud, 2001). En outre, précisons 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). Comme je l'ai écrit précédemment, les invariants opératoires forment la partie épistémique du schème. Ils sont composés de concepts-en-acte et de théorèmes-en-acte. Le théorème-en-acte « Poser la question de la mesure du poids permet d'introduire le dynamomètre » est une proposition tenue pour vraie dans l'activité

mais qui peut s'avérer fausse. En effet, si les élèves ne savent pas répondre, le professeur peut avoir des difficultés pour poursuivre ce qu'il a prévu. Il doit opérer une régulation rétroactive de l'activité en boucle courte. C'est bien ce que nous avons observé. De même dans le choix qu'il fait de garder les élèves en grand groupe pour les interroger plutôt qu'en petit groupe. Le concept-en-acte pourrait ne pas être pertinent pour cette situation à ce moment de la séquence. Cet élément du schème montre bien, il me semble, que l'organisation de l'activité du professeur repose sur des conceptualisations.

Pour autant, Vinatier (2009) pose la question de ce qui est invariant. Pour moi, il y a une nécessité de choisir un niveau de formulation pour rendre compréhensible le schème afin de faire ressortir le caractère invariant et opératoire de la partie épistémique [RICL 3]. Par exemple, en formulant le théorème-en-acte comme suit « Poser la question de la mesure du poids permet d'introduire le dynamomètre » ne me paraît pas montrer clairement l'aspect invariant car la formulation est trop spécifique au poids. La formulation doit rendre compte que toute mesure se pose dès lors qu'une expérience quantitative est prévue. Ainsi, le théorème-en-acte pourrait se formuler comme : « poser la question de la mesure d'une grandeur permet d'introduire l'appareil associé ». Nous voyons bien que cette dernière formulation, par son caractère plus « généraliste », montre bien l'aspect invariant que je traduis par le fait que pour d'autres chapitres, pour d'autres notions, le professeur fera cette proposition qu'il jugera vraie « en-acte ». L'aspect invariant de l'activité du professeur peut donc apparaître plus clairement. Ce niveau est parfois décalé avec celui du grain d'analyse des données. Pour Tiberghien (2012), la classe est un système complexe et l'utilisation de plusieurs échelles d'analyse et les liens entre les échelles permettent de développer une compréhension de la situation. Il paraît en être de même concernant la préparation de la classe. Une étude à différentes échelles est nécessaire pour donner à voir comment les professeurs comprennent leur activité et le niveau de formulation permet de percevoir comment ils l'organisent.

Dans les invariants opératoires du schème B.1 d'Henri, j'identifie des connaissances de type SMK (Subject Matter Knowledge)¹⁸ concernant le poids, sa mesure et son unité, la masse, la force dans le cadre Newtonien, l'interaction gravitationnelle, qui se situent au niveau de l'enseignant. J'en infère aussi des PK sur les modalités de travail (*travail en grand groupe*) et la gestion de la classe (*interroger des élèves ou un élève en particulier*). Toutes les autres connaissances sont spécifiques à l'enseignement du poids et de la masse. Ce sont des PCK (Pedagogical Content Knowledge) sur le matériel pédagogique (*le dynamomètre*) et sur les stratégies (*la*

¹⁸ Que je traduis par connaissances scientifique disciplinaires

question de la mesure permet d'introduire le dynamomètre). Mais il y a aussi une connaissance sur le savoir construit par les élèves dans une activité passée (*la réponse à la question est présente dans le document « Newton et la gravitation » déjà étudié*). Dans notre cas, ce savoir a été construit au cours précédent. Il s'agit d'une PCK sur les élèves dans la sous-catégorie « les prérequis nécessaires à l'apprentissage d'une notion ».

Cette description du schème B.1. permet d'observer qu'Henri mobilise d'autres types de connaissances que des connaissances disciplinaires académiques et des connaissances pédagogiques : des connaissances qui dépendent du contenu à enseigner, des PCK. Toutes ces catégories sont incluses dans les connaissances professionnelles de l'enseignant. Elles lui permettent de rendre le sujet d'étude plus compréhensible pour les élèves (Shulman, 1986). Elles sont des déterminants de son action [RICL 7].

Il s'agit maintenant pour moi de décrire une organisation de l'activité d'Henri sur la mesure du poids d'un objet. Pour cela, je dois montrer comment les quatre schèmes ci-dessous s'articulent entre-eux :

- Schème A : mesure du poids d'un objet
- Schème B.1. : introduction de l'activité expérimentale
- Schème C : principe de fonctionnement du dynamomètre
- Schème D : application à autre type de dynamomètre

Les schèmes A et B.1 concernent l'activité expérimentale ; les schèmes C et D rendent compte de l'organisation de l'activité sur le principe de fonctionnement du dynamomètre et une application. 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. Autrement dit, les schèmes se composent et se décomposent hiérarchiquement. J'ai essayé de montrer dans ma thèse qu'en étudiant les anticipations du but du professeur dans l'activité, il est possible de proposer une organisation de l'activité d'un professeur à une échelle de plusieurs schèmes. Lors d'un changement de but, nous comparons les anticipations de chacun d'eux. 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. Nous considérons, alors, que ce nouveau schème est un sous-schème du schème « initial ». Dans l'exemple du travail d'Henri, les anticipations du schème A « mesure du poids d'un objet » ne sont pas identiques à celles du schème B.1 « introduction d'une activité expérimentale ». En effet, d'un

côté, Henri attend que les élèves s'approprient le dynamomètre pour effectuer une mesure et, de l'autre, il attend que les élèves répondent par l'affirmative à la question posée. Donc, le schème B.1 est un sous-schème du schème A. De la même manière, nous disons que le schème D « application à autre type de dynamomètre » est un sous-schème du schème C « principe de fonctionnement du dynamomètre ». De fait, le schème A pilote le schème B.1 et le schème C pilote le schème D.

Un autre aspect du travail enseignant que la didactique professionnelle permet de montrer porte sur les régulations que les professeurs font en classe ou hors classe pour adapter au mieux leur préparation. Lors de régulations rétroactives de l'activité, le professeur acquiert alors une nouvelle PCK lors d'une régulation en boucle courte (cf. paragraphe II.2, p. 23). C'est ce que j'ai observé lorsque les élèves ne savent pas répondre à la question posée par Henri : « Est-ce que l'on peut mesurer le poids ? ». L'enseignant reprend alors l'étude du texte *Newton et la gravitation*, travaillé au cours précédent, texte qui contient la réponse à la question posée. Cette nouvelle étude n'était pas prévue. Il s'agit d'un événement inattendu que j'ai nommé « le poids est une grandeur mesurable ». Henri acquiert alors une nouvelle PCK sur les élèves « *les élèves ne savent pas que le poids est une grandeur mesurable* ». Nous la décrivons suivant trois sous-schèmes du schème B.1 car les anticipations de chacun des buts changent pendant l'adaptation de l'enseignant aux difficultés des élèves à répondre à la question :

- Sous-schème 1 : suspension de la tâche
- Sous-schème 2 : lecture du document *Newton et la gravitation*
- Sous-schème 3 : retour au déroulement prévu –Schème B.1

Le but du sous-schème 1 est de mobiliser la classe sur la question posée. Le but du sous-schème 2 est de trouver la réponse à la question en reprenant la lecture du document. Enfin, le but du sous-schème 3 est de revenir au but initial qui est d'introduire l'activité expérimentale de mesure du poids d'un objet (but du schème B.1).

Au cours de cette régulation, Henri mobilise des connaissances professionnelles. Nous identifions une PK sur la classe lorsqu'Henri mobilise tous les élèves sur la question et dans sa gestion de la lecture du document. Nous déterminons aussi une SMK sur le concept de poids et sa mesure et une PCK sur les élèves « *les élèves ont déjà étudié le document Newton et la gravitation au cours précédent* ». Elle appartient à la sous-catégorie « Les prérequis nécessaires pour l'apprentissage d'une notion » dans notre modèle de référence. Cette régulation permet à Henri d'atteindre

son but en opérant de proche en proche (Pastré, 1997). Elle est le résultat d'un écart entre l'anticipation du schème et les indices pris dans l'action.

2.2.2. Enseignement du poids et de la masse : année 2

L'introduction de l'activité expérimentale est modifiée entre les deux années. Par contre, le début de la séance ne change pas : l'enseignant s'appuie sur l'étude de la même bande dessinée pour définir le poids. Mais, contrairement à la première année, cette définition est construite conjointement avec les élèves et constitue la première trace écrite de la leçon. Ce changement dans l'organisation de ce début de chapitre vient du fait que, pour Henri, le cours (la trace écrite) a été construit au tableau trop tard (au bout de trente-cinq minutes, dans la première séance) la première année et, d'autre part, il a observé que le concept de gravitation (vue au chapitre précédent) n'était pas acquis pour beaucoup d'élèves. Or, il s'appuie sur ce concept pour définir le poids et introduire sa mesure. Par conséquent, la deuxième année, il a insisté un peu plus sur le concept de gravitation et il a mis en place la trace écrite au bout de deux minutes de la première séance.

L'évolution de l'introduction de l'activité expérimentale n'a pas eu d'influence sur l'activité de mesure. Henri n'a rien changé, ni dans son organisation ni dans sa conduite ni dans le matériel utilisé, au cours des deux années. Cependant, même si l'énoncé de la tâche des élèves est inchangé, elle n'est plus tout à fait la même. En effet, ils savent, avant de faire des expériences, que le dynamomètre mesure l'attraction de la Terre sur l'objet.

L'analyse par le prisme de la didactique des sciences nous permet de montrer que l'élève interrogé bascule très facilement dans le registre du modèle du poids pour expliquer le principe de fonctionnement du dynamomètre. Puis, à la question de l'enseignant sur une évolution du poids, l'élève opère une projection du modèle sur le référent empirique pour expliquer ce qui devrait se passer : « *le ressort va s'étirer* ». Par conséquent, il développe une connaissance phénoménologique qui élargit le référent empirique au dynamomètre. Henri nous dit dans l'entretien qu'il n'a pas jugé utile de proposer une application au dynamomètre à ressort circulaire, contrairement à la première année. J'ai observé cette seconde année que les principes énoncés par Lemeignan & Weil-Barais (1993) ont été plus présents dans l'enseignement proposé par Henri. En effet, les questions du professeur ont pour but d'aider les élèves à définir les objets en interaction ainsi que les caractéristiques de cette interaction en termes de sens, de réciprocité et d'importance. De fait, Henri a pu associer les élèves à la construction de la définition du poids qui leur permet d'accéder au modèle de type interaction.

L'analyse avec la didactique professionnelle permet de montrer la réorganisation de l'activité d'Henri par la modification du schème B « Introduction de l'activité expérimentale », contrairement au schème A « Mesure du poids d'un objet » qui reste inchangé. Les éléments du schème B, noté schème B.2. (pour la deuxième année), sont les suivants :

Schème B.2 : introduction de l'activité expérimentale		
But	Introduire un nouvel appareil de mesure : le dynamomètre	
Anticipation	J'attends que les élèves écoutent la présentation	
Inférences	Si aucun élève ne pose de question, je poursuis	
Indices	Les élèves sont attentifs	
Règle d'action	Présenter le dynamomètre et sa fonction	
Invariants opératoires	Théorèmes-en-acte	Concepts-en-acte
	Le poids se mesure avec un dynamomètre et son unité est le newton de symbole N. Je m'appuie sur la définition du poids pour présenter la fonction du dynamomètre. Je présente l'appareil de mesure en grand groupe	Travail en grand groupe. Le poids, la masse, force, interaction gravitationnelle. De mesure.

Tableau 2 : année 2, évolutions du schème B

Le but, la règle d'action et les invariants opératoires ont changé au cours des deux années en gris dans le tableau 2). Pour nous, ceci est caractéristique d'une boucle longue de régulation. L'activité d'Henri est modifiée car il présente le dynamomètre comme « *l'appareil qui permet de mesurer l'attraction exercée par une planète sur un corps* ». De fait, il s'agit d'un changement de théorème-en-acte « *Je m'appuie sur la définition du poids pour présenter la fonction du dynamomètre* ». Le but, les règles d'action, de prise d'information et de contrôle sont corrélées avec le nouveau théorème-en-acte.

Suite à l'évènement imprévu l'année 1 « *le poids est une grandeur mesurable* », Henri a acquis une nouvelle PCK que nous avons notée « *les élèves ne savent pas que le poids est une grandeur mesurable* ». Cette nouvelle connaissance conduit le professeur, la deuxième année, à demander aux élèves de lire le dernier paragraphe du texte *Newton et la gravitation* pour trouver l'unité du poids après une première série de mesures avec le dynamomètre. Cette étude du texte est prévue par Henri. Par conséquent, elle ne se trouve pas au même endroit du cours entre les deux années (Figure 1). C'est une conséquence de la réorganisation de son enseignement que nous avons décrite précédemment. De fait, l'évènement imprévu de la première année s'est transformé en un évènement prévu la deuxième année. Nous avons représenté à la

figure 1 le changement dans l'organisation de ce début de séance entre les deux années, ce que nous modélisons par une boucle longue de régulation.

J'identifie une nouvelle inférence « *si les élèves ne connaissent pas l'unité de mesure du poids je leur demande de lire le document Newton et la gravitation* » qui s'appuie sur un nouvel invariant opératoire « *je sais que les élèves ne savent pas que le poids est une grandeur mesurable* » dans le schème C. La *capitalisation* de ces deux éléments du schème est, selon moi, caractéristique d'une boucle longue de régulation. Nous observons que l'enseignant a appris sur le seul fait d'agir en situation.

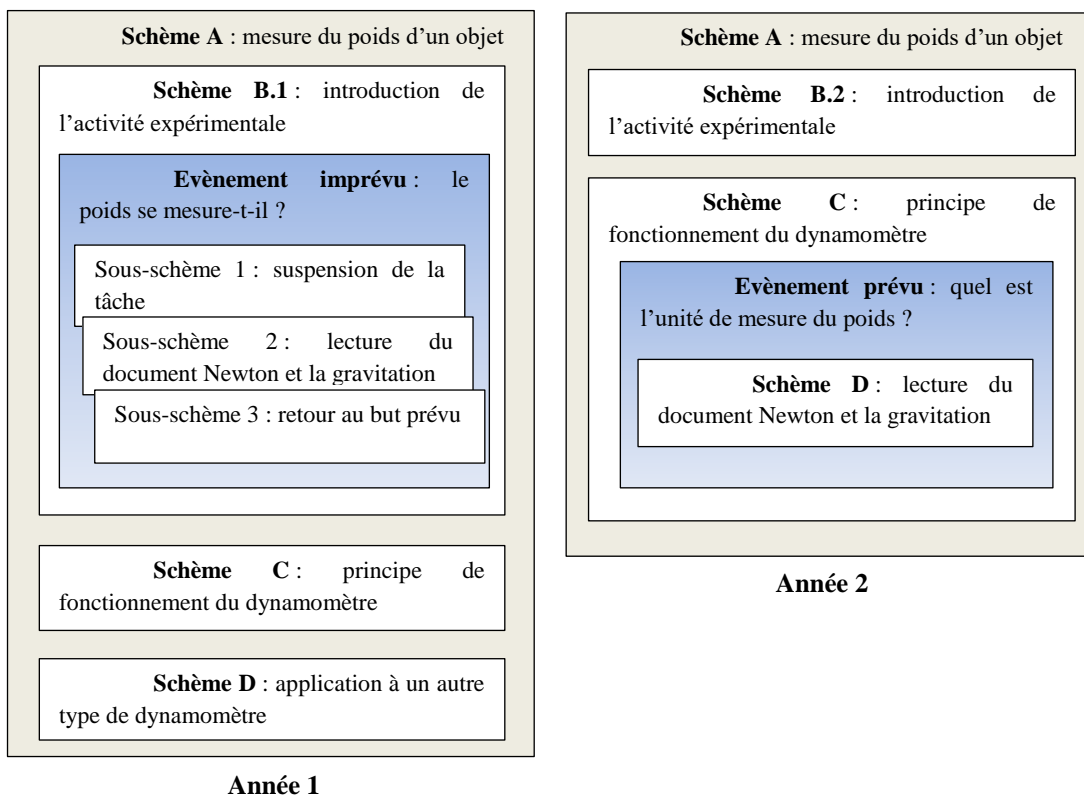


Figure 1 : effets de la régulation en boucle longue sur l'organisation de l'activité d'Henri

À partir d'un évènement inattendu, l'enseignant capitalise des inférences et des invariants opératoires : l'activité du professeur possède un versant constructif et un versant productif (Samurçay & Rabardel, 2004). Nous remarquons que cette construction est très locale puisqu'elle est en relation avec une notion précise à enseigner. Suivant ce constat, j'ai proposé un modèle théorique d'acquisition d'expérience à partir de nouvelles connaissances issues de l'activité en classe et, en même temps, montrant l'impact de ces nouvelles connaissances sur l'organisation de l'activité de l'enseignant [OS 4].

2.2.3. Un modèle d'une acquisition d'expérience par les enseignants

Mon travail sur l'acquisition d'expérience des enseignants s'inscrit dans le courant de recherche sur le développement professionnel et dans le paradigme de recherche du « sujet capable » (Rabardel, 2005), par une analyse de l'agir professionnel en situation. Je me situe dans un agir situé en situation de classe où le professeur est en mesure de se dire, d'agir, de rendre compte de ses actes (Ricoeur, 2004). Je regarde en particulier ce que peuvent apprendre les enseignants des situations de classe. Je les observe dans le passage d'une conceptualisation-en-acte (Vergnaud, 1996) à une conceptualisation verbalisée de leurs situations (Samurçay & Pastré, 1995) en les faisant participer à l'analyse d'éléments de leur activité en classe et hors classe.

Comme je l'ai montré précédemment dans le cas d'Henri, c'est l'acquisition de PCK qui lui a permis d'adapter au plus près sa préparation de classe. Ce sont des PCK sur les élèves et/ou sur les stratégies. Cette acquisition de PCK se fait par des régulations qui ne sont pas toujours dans l'action de la classe. J'ai élaboré un modèle [OS 4] qui permet de différencier l'activité construite par l'enseignant lors de la préparation de la classe des évolutions résultantes de nouvelles connaissances acquises lors de la mise en œuvre. Il représente le versant constructif et le versant productif de l'activité du professeur. Ce modèle couvre deux situations différentes. La première correspond à un événement inattendu qui est perçu et sélectionné par l'enseignant. Il opère une boucle courte de régulation qui lui permet d'atteindre son objectif en opérant de proche en proche (Pastré, 1997). Ensuite, il reprend le cours prévu de la leçon. Pendant cette régulation, de nouvelles connaissances professionnelles sont acquises (Figure 2).

Dans ce modèle, les cercles représentent des actions de traitement de l'information de plusieurs sources. Les rectangles représentent des états. La fonction de régulateur vise à représenter le fait que l'activité du sujet n'est jamais automatique, c'est-à-dire sans contrôle ni prise d'informations (Vergnaud, 1996).

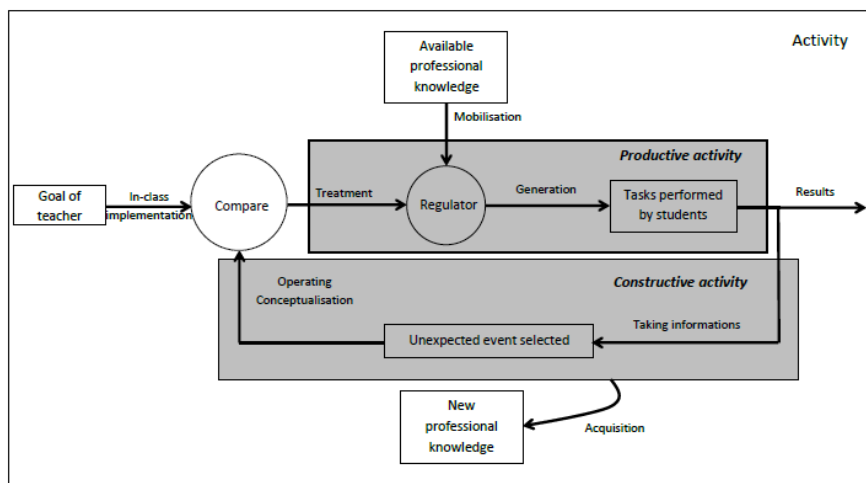


Figure 2 : Modèle théorique d'une boucle courte de régulation. In M. Grangeat (Ed), Understanding science teacher professional knowledge growth, 25-42. Sense Publishers

La deuxième situation décrit les conséquences de l'acquisition de nouvelles connaissances sur le résultat de la boucle de régulation courte, comme montré précédemment. Une boucle courte de régulation ne permet pas toujours à l'enseignant d'atteindre son objectif (son but) de manière satisfaisante. Par conséquent, il effectue une longue boucle de régulation à une échelle de temps qui dépasse celle de la session de classe. Le résultat est généralement plus approprié, c'est-à-dire que les réponses données sont plus précises et semblent plus efficaces du point de vue de l'apprentissage des élèves, selon les enseignants (voir figure 3).

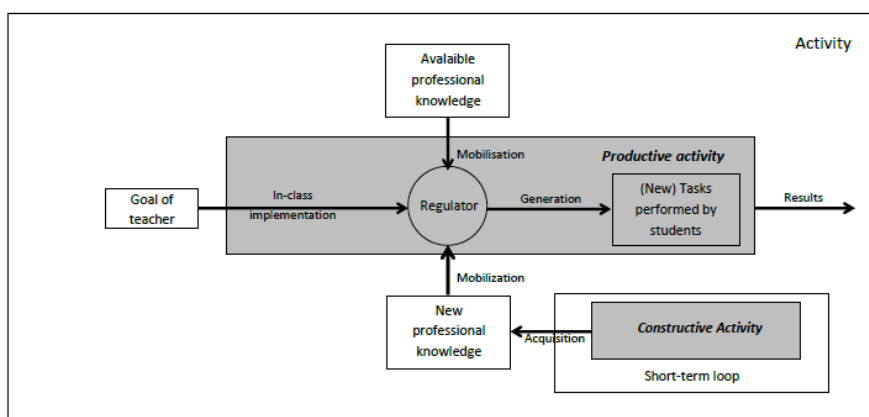


Figure 3 : Modèle théorique de la boucle longue de régulation. In M. Grangeat (Ed), Understanding science teacher professional knowledge growth, 25-42. Sense Publishers

Pour autant, des événements inattendus peuvent être perçus par l'enseignant sans générer une boucle de régulation rétroactive de l'activité. Pour moi, il n'y a pas de régulation soit parce que le professeur n'a pas la réponse dans l'action, soit qu'il

juge ne pas avoir le temps au regard de ce qu'il a prévu à l'échelle de la séance ou de la séquence. Il peut aussi savoir que cette question trouvera sa réponse plus tard dans la séance ou dans la séquence. Lorsque le professeur n'a pas la réponse dans l'action, Vergnaud (1990) fait référence aux classes de situations. Selon Vinatier (2013) : « cette notion a été développée par Vergnaud pour signifier des évènements porteurs d'une même structure conceptuelle¹⁹ et qui vont convoquer chez ceux qui y sont confrontés des schèmes d'action spécifiques nécessaires à leur adaptation » (p. 36). Une classe de situation peut être grande ou petite ce qui signifie que la portée du schème varie. 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. Dans le cas de l'exemple du travail d'Henri, nous voyons que l'évènement imprévu décrit précédemment a généré un traitement « fluide » dans le sens où l'organisation de l'imprévu a permis aux élèves de répondre à la question. Mais ce n'est pas toujours le cas. Par exemple, nous avons observé Florence dans la situation suivante durant les deux années de notre étude : un élève confond la masse et le volume. L'enseignante fait le choix de « *corriger l'erreur* », mais elle ne donne pas la même réponse les deux années. La première année, elle parle de contenance pour montrer la différence entre le volume et la masse ; la deuxième année, elle fait référence au programme de la classe de cinquième où le volume et la masse sont définis. Elle dit dans l'entretien avoir construit cette réponse deux mois plus tard après l'évènement inattendu, lors d'un cours en classe de cinquième. Nous voyons, dans ce cas, que la PCK sur les élèves « *les élèves confondent la masse et le volume* » se construit suivant une durée qui dépasse la séquence. Elle permet au professeur de co-construire, avec les élèves, une réponse plus précise l'année scolaire suivante.

Mais même si nous ne relevons pas de régulation opérée par un professeur, une nouvelle connaissance peut être tout de même acquise. Celle-ci peut faire *système* avec

¹⁹ Celle-ci dépasse selon Vinatier (2013) la logique du savoir et des apprentissages visés. Les situations d'enseignement répondent aussi aux logiques d'une conduite pragmatique de la classe, en termes de régulation des tâches, des comportements, des échanges mais aussi celle liée à l'image de soi, aux rapports de pouvoir, etc.

d'autres nouvelles connaissances construites à différents moments de la séance ou de la séquence d'enseignement, et participer à une régulation que nous décrivons par une boucle longue. Par exemple, dans le cas d'Henri, c'est bien parce qu'il a construit trois PCK sur les élèves « *le concept de gravitation n'est pas acquis pour beaucoup d'élèves* », « *la définition du poids donnée à l'oral n'est pas comprise* » et « *les élèves ne savent pas que le poids est une grandeur mesurable* » et qu'elles sont en relation les unes avec les autres qu'il peut changer sa situation d'entrée dans la séquence la deuxième année. Elles font *système* pour engendrer une boucle de régulation rétroactive de type longue. Ces nouvelles connaissances permettent au professeur d'expliquer la confusion des élèves entre le poids et la masse qui persiste tout au long de la séquence.

Dans mes travaux [RICL 4 et 6] et [OS 2 et 4], j'ai montré que la sauvegarde de chaque nouvelle connaissance peut se faire à une échelle de temps dépassant la séquence. En effet, des événements survenant quelques semaines ou quelques mois plus tard, dans la même classe ou dans d'autres classes à d'autres niveaux, peuvent déclencher une boucle longue de régulation qui aura pour conséquence un ou des changement(s) dans l'organisation de la séquence ou d'une séance l'année suivante.

2.2.4. Discussion

Dans ce paragraphe, je reviens sur cette question d'intérêts à articuler les deux didactiques pour donner à voir comment les enseignants comprennent leur activité d'enseignement. Dans mes travaux, j'ai essayé de montrer comment le croisement de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle permettait d'accéder à une organisation de l'activité des enseignants, à ses changements, afin de caractériser le lien avec les apprentissages des élèves en physique. Toutes mes études analysent l'interaction professeur-élève en classe et les conséquences dans le travail des enseignants en classe et hors classe.

Le premier élément qui me semble intéressant est de montrer que l'action du professeur est organisée et intelligible en analysant le schème représentant une organisation interne. Comme le précise Vergnaud (1985, 1990), un schème est une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée. C'est une unité identifiable de l'activité du professeur dont il s'agit de définir les éléments constitutifs afin de voir comment il génère l'action. Le concept de schème permet de comprendre comment cette organisation interne de l'action est efficace, reproductible et adaptable. Il me semble que l'articulation avec la didactique disciplinaire permet de

discuter de cette efficacité. En effet, nous avons accès aux intentions²⁰ de l'enseignant à travers les buts, les sous-buts et les anticipations, les premiers éléments du schème à identifier, que nous pouvons croiser avec la tâche prescrite aux élèves au sens de Leplat (1997)²¹, permise par une analyse en didactique des sciences. Dans mes travaux, j'ai ainsi montré, par exemple, la relation entre le but du schème mis en œuvre par l'enseignant et les différents registres de la modélisation sur lesquels il s'appuie pour permettre aux élèves de trouver la relation entre le poids et la masse. J'ai montré aussi que la nature de la démarche des enseignants peut être déductive ou inductive selon ce que sait le professeur des difficultés des élèves ou du niveau des élèves²² sans que le but du schème ne change. Dans tous les cas, la tâche de l'élève n'est pas la même, ce qui questionne sur plusieurs points : la question de la preuve en sciences expérimentales ; le processus d'acquisition des savoirs ; des questions qui touchent l'épistémologie des sciences expérimentales et notamment de la physique. Ces résultats me semblent intéressants dans le cadre de la formation des futurs enseignants ou d'enseignants titulaires pour montrer que des démarches d'enseignement différentes ont des conséquences sur les apprentissages des élèves.

Le second élément qui me semble intéressant, c'est d'avoir accès aux connaissances-en-acte à travers les invariants opératoires du schème de l'enseignant. Celles-ci ont pour fonction notamment de prélever et de sélectionner l'information pertinente pour en inférer des conséquences utiles pour l'action (Vergnaud & Récopé, 2000). Cette partie épistémique du schème est corrélée à la partie générative (règles d'action, de prise d'informations et de contrôle). Les schèmes gèrent de manière entremêlée la suite des actions, de prise d'informations (pour poursuivre) et de contrôle. Le lien entre les connaissances des enseignants et l'organisation de l'activité se fait par les invariants opératoires du schème [RICL 3]. Cela permet de savoir ce que l'enseignant sait pour la ou les situation(s) décrite(s) à travers les théorèmes-en-acte et les concepts-en-acte. Nous avons accès ainsi au travail de conceptualisation que fait le

²⁰ Il s'agit ici de poser la question du lien entre les intentions du professeur et son action. Je rejoins les travaux de Schubauer-Leoni, Leutenegger, Ligozat, et Flückiger (2007) pour considérer que l'activité est réalisée par une suite d'actions qui sont portées par des intentions. Ils soulignent que cette origine collective des activités comporte au plan intentionnel, des finalités, alors que l'action se retrouve portée par des intentions et des motifs qui sont propres aux raisons d'agir de la personne. Cette question fait actuellement l'objet d'un travail de thèse que je co-encadre. Il constitue une base du programme de recherche que je souhaite développer dans les années futures.

²¹ 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).

²² J'ai observé que les enseignants du premier degré mettaient en œuvre principalement une démarche inductive car, d'une part, ils disent que le niveau de connaissances n'est pas très élevé et, d'autre part, j'ai observé que la preuve apportée par les données empiriques suffit pour élaborer les savoirs dans la classe [RICL 4].

professeur entre l'action et la prise de conscience. Si les schèmes sont opératoires c'est qu'ils comportent des conceptualisations implicites ou explicites. En utilisant le cadre d'analyse de Magnusson et *al.* (1999), nous pouvons montrer différents types de connaissances professionnelles nécessaires à la réussite du professeur et donc de l'élève car quand l'élève gagne, le professeur gagne (Sensevy, 2011). 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. L'analyse des apprentissages des élèves par la focale de la didactique des sciences nous permet d'accéder en particulier aux connaissances scientifiques (SMK) et aux connaissances professionnelles didactiques (PCK), dépendant du contenu enseigné, qui sont mobilisées par l'enseignant pour atteindre au final ses objectifs. Ces dernières permettent de montrer les spécificités des sciences expérimentales à travers des théorèmes-en-actes et des concepts-en-acte. L'identification des invariants opératoires à partir d'une analyse en didactique des sciences permettrait aussi, selon moi, de montrer plus précisément le travail de conceptualisation du professeur. Nous voyons bien en particulier le rôle des connaissances professionnelles didactiques mobilisées ainsi que celles qui sont construites lors de boucles de régulation rétroactives de l'activité. Le modèle montrant comment une acquisition d'expérience peut se former (§II.3.2.2.3 p.36) permet de voir le rôle de ces nouvelles connaissances qui sont généralement didactiques (PCK) dans la réorganisation d'une séance ou d'une séquence suivant un double mouvement d'assimilation et d'accommodation (Piaget, 1974) et qui a pour effets de modifier la tâche des élèves comme je l'ai discuté dans le paragraphe précédent.

J'ai montré précédemment que devant une situation nouvelle, par exemple une difficulté rencontrée par un élève, des schèmes anciens sont invoqués par l'enseignant pour élaborer une conduite professionnelle adaptée. C'est la fonction assimilatrice accordée aux schèmes. Les enseignants prennent des indices dans cette nouvelle situation, les comparent à ceux présents dans les situations antérieures analogues pour faire face à l'évènement inattendu (Goigoux, 2002) et apporter une réponse qui doit être satisfaisante de leur point de vue. Si c'est le cas, la situation nouvelle est assimilée par l'un des schèmes évoqués. La classe de situation s'agrandit alors. Le professeur gagne en expérience et en efficacité dans le sens où il s'assure de sa réussite et par conséquent que les apprentissages en jeu sont acquis ou en cours d'acquisition. Mais si ce n'est pas le cas, une accommodation plus coûteuse sera nécessaire (Vergnaud, 1996). Elle se fait généralement sur une durée plus longue que celle d'une séance de classe. Elle peut parfois prendre plusieurs mois. Nous l'avons vu pour le cas de Florence lorsqu'un élève a confondu la masse et le volume (2.2.1, p. 27). L'activité du professeur possède un versant constructif et un versant productif (Samurçay &

Rabardel, 2004). Lors du mouvement d'assimilation, j'ai constaté que le travail de l'enseignant se faisait avec beaucoup de fluidité. Par conséquent, je rejoins Goigoux (2007) sur le fait que « le concept de schème est utile pour rendre compte à la fois des routines professionnelles et de l'inventivité des enseignants mis face à des situations certes répétitives mais toujours singulières » (p. 55).

Au vu de ces résultats, il me semble que je ne peux que rejoindre Pastré sur la complémentarité des deux didactiques pour voir d'un côté une organisation de l'activité des enseignants en situation et les effets sur les apprentissages des élèves et, de l'autre, comment le professeur apprend de ces situations pour acquérir de l'expérience qui l'emmènerait à plus de réussite. Il ne s'agit pas pour moi d'étudier le métier enseignant et ses caractéristiques, dans une institution, mais bien d'analyser l'activité du professeur dans l'interaction professeur-élève(s) et les conséquences sur les apprentissages des élèves. Dans toutes activités, il y a des connaissances. Il y a donc de l'activité dans l'apprentissage d'une connaissance et il y a mobilisation de connaissances dans l'apprentissage d'une activité ce qui constitue, pour moi, une raison suffisante d'articuler les deux didactiques. La question de l'apprentissage apparaît alors comme une question générale qui n'est pas de la responsabilité d'une didactique en particulier mais qui serait celle des didactiques ou d'une didactique générale ou de La didactique ou Du didactique. J'aborde ici cette question du spécifique et du générique qui est notamment posée par le courant de la didactique comparée. Celle-ci développe des concepts qui débordent le cadre d'une didactique dédiée à une discipline particulière. C'est bien dans ce sens qu'il s'agit pour moi d'articuler la didactique professionnelle et la didactique de la physique.

Les connaissances professionnelles des enseignants en physique

Comme je l'ai présenté au paragraphe 0 (p. 20), J'ai décidé de travailler sur le thème des connaissances professionnelles mobilisées par des enseignants lors d'un enseignement de physique avec une double visée : comprendre le type de connaissances en jeu et étudier comment elles s'organisent dans l'action ; comprendre comment elles se développent afin de donner à voir une acquisition de l'expérience. Ce thème de recherche est en lien avec mon métier de formateur d'enseignants dans lequel il s'agit notamment de réaliser des études didactiques pour analyser comment les apprentissages d'un savoir se font en fonction des démarches ou des approches de l'enseignant.

Dans mon travail de recherche, je parle de connaissances professionnelles pour évoquer 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.

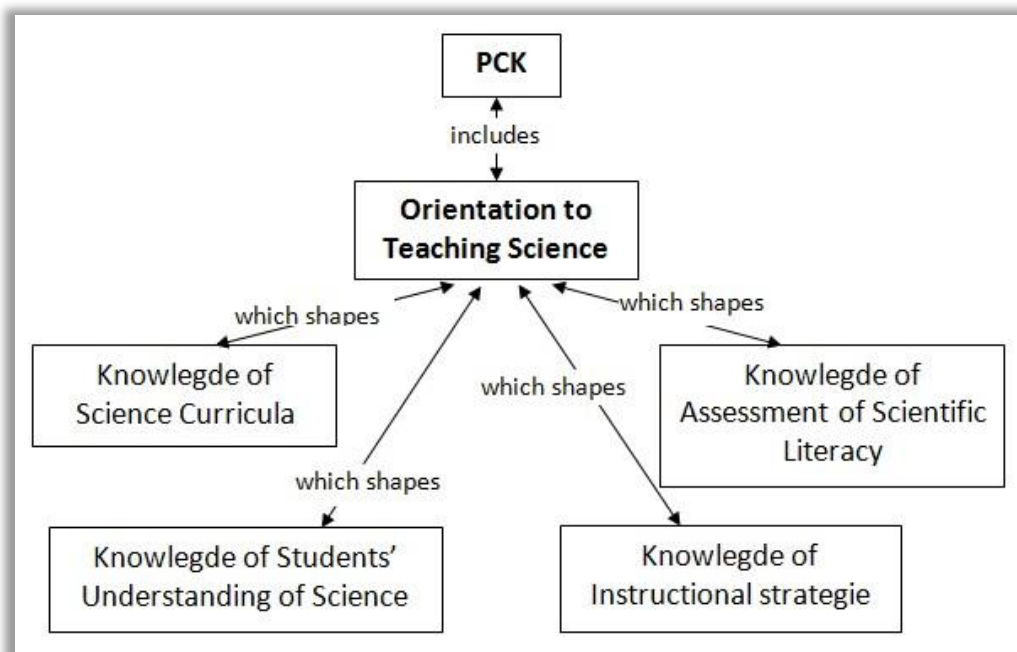


Figure 4 : Components of pedagogical Content Knowledge for science teaching

Je ne distingue pas connaissances de savoirs, distinction qui est propre à la langue française et je ne distingue pas non plus connaissances (knowledge) de croyances (beliefs) que certaines recherches Anglo-Saxonnes font (Kermen & Izquierdo-Aymerich, 2017). Je fais référence au concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK) proposé par Shulman, en 1986, qui vise la compréhension des connaissances spécifiques en jeu, dans l'enseignement d'un contenu, afin de distinguer un enseignant d'un spécialiste. Elles expriment la combinaison (l'amalgame) du contenu et de la pédagogie. Dans la suite de ma note, j'emploierai le terme de connaissances professionnelles didactiques pour désigner les PCK comme le proposent Kermen & Izquierdo-Aymerich, (2017)²³. Je m'appuie également sur deux études : celle de Grossman (1990) et celle de Magnusson et *al.* (1999), représenté en figure 4, p. 43. La première définit quatre grands domaines de connaissance de l'enseignant : les connaissances pédagogiques générales (PK), les connaissances disciplinaires (SMK), les connaissances professionnelles didactiques (PCK), et les connaissances du contexte (KofC).

²³ Ces auteures signalent la proximité entre les connaissances professionnelles didactiques et les PCK, la différence résidant sur le fait que les traditions de recherche aux Etats-Unis et en Europe ne sont pas focalisées sur le même objet. Elles s'appuient sur les travaux d'Amade-Escot (2001) pour qui, d'un côté, Shulman centre son travail sur la cognition alors qu'en Europe, les chercheurs en didactique centrent leurs travaux sur le contenu à enseigner. Des cadres théoriques fondamentalement différents sont utilisés et parfois des méthodologies.

La seconde définit un modèle des PCK suivant cinq composantes elles-mêmes divisées de sous-catégories :

- *Connaissances sur l'orientation pour l'enseignement des sciences* : elles se réfèrent aux connaissances des enseignants à propos des buts et des objectifs pour enseigner les sciences à un niveau d'étude particulier. Cette sous-catégorie chapeaute les autres ;
- *Connaissances des programmes de sciences*: elles concernent la connaissance des buts et objectifs (attentes nationales) et la connaissance spécifique du programme et du matériel pédagogique ;
- *Connaissances sur l'évaluation* : ce qu'il faut évaluer et comment l'évaluer ;
- *Connaissances des stratégies d'enseignement* : elles incluent 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 ;
- *Connaissances sur les élèves* : elles portent 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 et les conceptions alternatives.

Mon choix d'utiliser le concept de PCK pour un type de connaissance vient du fait qu'il ne me semble pas appartenir à un paradigme particulier. En effet, 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 » (Shulman, 1986). L'auteur constate qu'entre 1885 et 1980, les objets évalués ont changé et passent d'un contenu disciplinaire en 1885 à un contenu pédagogique en 1980. 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, les connaissances professionnelles didactiques (PCK) qui répondent bien, selon lui, à la réflexion précédente. Ce concept de PCK m'apparaît donc compatible avec le concept de schème et les travaux de Grossman (1990) et de Magnusson et al. (1999) sont très utiles comme cadre d'analyse des connaissances professionnelles des enseignants.

Mes différents travaux rejoignent d'autres études Françaises (par exemple, Bécu-Robinault, 2007 ; Cross, 2010 ; Hammoud, 2012, Kermen, 2015 ; Morge, 2009) pour montrer la place importante des connaissances professionnelles didactiques dans

l'organisation de l'action du professeur et lors des régulations. Ils montrent qu'enseigner un contenu disciplinaire nécessite des connaissances spécifiques, qu'une formation initiale supérieure dans une discipline académique ne peut pas donner. En cela, je peux rejoindre en partie Barrère et Legrand (2009) qui présentent les savoirs didactiques comme des savoirs universitaires non académiques c'est-à-dire, dans notre cas d'étude, des savoirs scientifiques universitaires qui seraient liés à une pratique professionnelle d'enseignement. Mais il convient d'ajouter que ces savoirs didactiques sont nourris par les recherches en sciences de l'éducation. Ce sont des savoirs pour enseigner (Altet, 2008) qui aident les enseignants à mettre en œuvre, à analyser et à comprendre le processus d'enseigner-apprendre. Mais un autre type de connaissances apparaît clairement dans mes recherches [RICL 3 et 6] : les connaissances sur le contexte d'enseignement (KofC). C'est le cas, par exemple, lorsqu'une séance de classe s'inscrit dans une progression commune à l'échelle d'un établissement scolaire ou quand un professeur travaille dans deux établissements scolaires qui appartiennent à des contextes socio-culturels très différents. Elles sont mobilisées dès qu'il s'agit d'adapter l'enseignement à ce contexte et la préparation du professeur se trouve modifiée. Les changements se situent, par exemple, au niveau de la progression des apprentissages, de la nature des activités proposées, mais aussi dans la gestion de la classe, des modalités, du travail demandé, etc. On voit bien le lien avec les PCK sur les élèves, sur les programmes et sur les stratégies, dans le sens où ces PCK se nourrissent des KofC mais aussi des PK et des SMK.

Dans toutes mes différentes recherches, j'ai identifié toutes les catégories des PCK du modèle de Magnusson et *al.*, lors du travail de préparation et dans la mise en œuvre. Ce modèle rend bien compte de la nécessité de ce type de connaissances pour enseigner mais il montre parfois ses limites. Une première difficulté, rencontrée à plusieurs reprises, a été d'identifier une PCK sur *les stratégies d'enseignement*. Selon le modèle de Magnusson et *al.*, elle est composée de deux sous-catégories : « Connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences » et « Connaissances sur des activités spécifiques à un sujet de science ». Pour moi, la première est plutôt générale et la seconde spécifique à un sujet. La question que je me suis posé est : qu'est-ce qui est stratégique pour un professeur ? Est-ce le choix d'activités spécifiques à un sujet de science, c'est-à-dire une activité avec une dimension matérielle et une démarche associée (par exemple, de type investigation) ou simplement le choix d'un matériel de type expérimental, une photo, une vidéo, etc. ? Pour Kermen (2015), une PCK sur les stratégies représente une stratégie pour surmonter une difficulté d'apprentissage spécifique à un sujet. Ce qui signifierait qu'une PCK sur les stratégies serait automatiquement mobilisée par l'enseignant avec

une PCK sur les élèves dans la sous-catégorie « Connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés ».

Mais les stratégies des professeurs n'ont pas toujours pour objectif premier l'apprentissage de notions spécifiques. Elles peuvent être élaborées pour intéresser les élèves à une discipline, à ce qui va être nouvellement appris ou à donner du sens aux apprentissages en faisant le lien avec la vie quotidienne, par exemple. Dans ce cas, les connaissances mobilisées par l'enseignant peuvent être aussi classées dans les connaissances pédagogiques (PK) sur les stratégies. Ces dernières se retrouvent par exemple lorsque nous observons de manière quasi systématique des expériences de paille au début de chaque cours. C'est une spécificité de l'enseignement des sciences physiques. Pour moi le professeur exprime des règles stratégiques (Sensevy, 2011), dans le sens où ce n'est pas une stratégie isolée liée à un savoir spécifique mais bien un ensemble indépendant du thème traité faisant partie d'un habitus d'enseignant de sciences expérimentales. Cela me permet de distinguer une PCK stratégie d'une PK stratégie et de questionner la sous-catégorie de la PCK stratégie « Connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences ». N'est-ce pas une PK ? Autrement dit, en quoi des connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences, en globalité, seraient spécifiques à un sujet ?

Une autre PCK est questionnée dans mon travail. Il s'agit de la PCK *sur l'orientation pour l'enseignement des sciences*. Selon Abell (2007), il s'agit d'une vue générale de l'enseignement des sciences qui ne peut se résumer à des connaissances. En effet, pour l'auteur, il y a des croyances et des valeurs en jeu qu'il s'agit d'étudier en tant qu'interactions et non pas strictement comme une structure de connaissances. Par conséquent, l'inclusion des orientations dans le modèle des PCK semble problématique. Prenons deux exemples, l'un dans le premier degré sur l'enseignement de l'électricité mis en œuvre par deux enseignants [RICL 2] et l'autre sur l'enseignement de poids et masse mis en œuvre par Henri [RICL 6]. Dans le premier degré, j'ai constaté que lors du lancement des activités expérimentales, la consigne des professeurs des écoles est double. Les élèves doivent réaliser une expérience et produire une trace écrite. Pour les deux enseignants, elle apporte une forme de régulation entre les élèves rapides et les autres, et plus d'autonomie pour les élèves. De plus, les deux professeurs accordent un rôle aux écrits individuels et collectifs dans les apprentissages et plus spécifiquement à la construction d'une trace collective pour apprendre des notions en sciences. Les élèves disposent d'une feuille de recherche généralement vierge qui sera affichée au tableau car, « elle permet de construire la trace écrite collective qui constituera la synthèse ». Pour moi, cette orientation pour l'enseignement des sciences n'est pas spécifique à l'enseignement des sciences car les deux 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 eux, il s'agit d'un dispositif qui comporte un caractère pluridisciplinaire car il s'agit non seulement de produire mais aussi d'analyser le contenu avec le groupe classe. Dans le second degré, j'ai observé Henri 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*²⁴. Il s'assure ainsi de capter l'attention des élèves, de les intéresser dès le début de la séance. 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 ».

A travers ces deux exemples, il semblerait que les vues générales de l'enseignement des sciences et des apprentissages ne soient pas spécifiques à une notion enseignée mais plutôt des interactions entre connaissances, croyances et valeurs. Est-ce que les orientations pourraient être aussi des connaissances de type PK ? En effet, soit elles concernent des éléments généraux sur l'enseignement des sciences soit elles correspondent à des connaissances professionnelles personnelles que les enseignants se sont construites au fil des années. Par ailleurs, nous savons que le modèle insiste sur le fait qu'il y a une influence entre les SMK, PK et KofC sur les PCK. Je reviendrais ci-dessous sur cette discussion (cf. §. 0., p. 68).

D'autres connaissances spécifiques, mobilisées par les enseignants pendant leur enseignement de sciences, viennent questionner le modèle de Magnusson et *al.*. Mon étude de l'enseignement de l'électricité dans le premier degré [RICL 4] m'a permis d'observer que les enseignants mobilisent des connaissances d'une autre discipline au cours de la mise en œuvre de leur enseignement de sciences. J'ai relevé des PCK sur l'apprentissage du français (syntaxe, lecture, orthographe, phonologie) au cours de la construction des écrits collectifs en grand groupe. En effet, les deux professeurs en profitent pour corriger les erreurs d'orthographe et de prononciation des élèves. Par exemple, corriger la prononciation d'un élève en faisant une correspondance entre la phonie et la graphie des sons [il] et [ij] par rapport à un mot connu : *bille*. Cette prise en charge du « lire, écrire et compter » dans tous les domaines de l'enseignement, et en particulier en sciences, demande aux professeurs de mobiliser des connaissances disciplinaires et professionnelles didactiques du Français.

J'ai identifié de plus un autre type de connaissance, en lien avec l'utilisation du numérique [RICL 3]. Lors de la révision d'une fiche TP de chimie, j'ai observé Laura,

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

une enseignante de lycée en classe de seconde, télécharger une image pour l'insérer dans le texte qu'elle a retravaillé au préalable avec un logiciel freeware. Elle « aère » aussi le texte en jouant sur les paragraphes, l'interligne, la taille de la police, etc., tout en faisant en sorte qu'il soit contenu sur une page. J'ai essayé de montrer dans ce travail que la professeure mobilisait des connaissances qui peuvent être décrites par le modèle Technological Pedagogical and Content Knowledge, TPCK, (Mishra & Koehler, 2006). Ce modèle constitue un élargissement de celui de Shulman sur les PCK en intégrant les connaissances que les professeurs mobilisent pour utiliser les outils technologiques lors d'enseignements (Bachy, 2014). Pour moi, l'enseignante mobilise des connaissances techno-pédagogiques (TPK) qui sont une association des connaissances technologiques et des connaissances pédagogiques. En effet, le travail de Laura sur le texte ne dépend pas du contenu enseigné. Il peut être reproduit pour d'autres contenus en physique ou en chimie. Il est stratégique. Donc, l'enseignante mobilise des connaissances pédagogiques sur les stratégies et des connaissances techniques pour atteindre son but. Cette association entre ces deux types de connaissances montre des capacités à pouvoir associer certains outils pour des tâches pédagogiques spécifiques (Bachy, 2014).

A travers ces deux exemples pris dans le premier degré et le second degré, j'essaie de montrer que le modèle de Magnusson et *al.* doit nécessairement être adapté. Il doit tenir compte des spécificités du premier degré en France, c'est-à-dire un professeur des écoles qui enseigne plusieurs matières scolaires ce qui l'amène à mobiliser des connaissances issues de l'enseignement d'une autre discipline (Par exemple, Français ou mathématiques) sur des savoirs en cours d'acquisition pour certains élèves. Elles sont d'ordre disciplinaire et didactique. Par exemple, la situation-diagnostique, qui vise à connaître pour le professeur ce que l'élève sait ou ne sait pas sur un sujet. Les professeurs l'ont développé dans un domaine scolaire, par exemple en mathématiques, puis utilisé dans d'autres domaines, comme les sciences, l'histoire-géographie, l'EPS, sans en changer l'organisation. Il peut s'agir aussi de modalités de travail comme le principe de brassage des groupes en mathématiques qu'il transfère en sciences. D'après mes observations, cette organisation du professeur permet de le rassurer mais aussi d'aider les élèves en apportant des repères connus : cela apporte une forme d'automatisation et d'autonomie dans la classe²⁵. Pour autant, cette organisation 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 alors à des problèmes d'ordre épistémologique dont il n'a pas forcément

²⁵ Nous prenons la définition de l'autonomie proposée par Gueudet et Lebaud (2019) comme un « processus qui permet à l'élève, dans un contexte donné et au sein d'un système d'interactions, d'organiser son travail et de mobiliser des ressources (internes ou externes) pour accomplir une tâche donnée en développant éventuellement des moyens nouveaux ».

connaissance. Ces situations contiennent des connaissances professionnelles personnelles car elles sont souvent liées à une conception personnelle de l'enseignement que les enseignants se sont construite au fil des années. Il me semble que cela touche à l'épistémologie pratique du professeur qui est « produite en grande partie, pour un savoir donné, par les habitudes d'actions que le professeur a construites lors de son enseignement » (Sensevy, 2006, p. 214). Ces habitudes d'actions construites par le professeur lui permettent d'atteindre ses objectifs par la mobilisation de connaissances-en-acte, des connaissances professionnelles personnelles acquises lors du travail de conceptualisation. Cette articulation théorique pourrait être approfondie par la suite.

Question de méthodologie : les entretiens en autoconfrontation

Comme je l'ai dit au paragraphe 2.1 (p. 20), mon travail de recherche me conduit à utiliser une méthodologie construite 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). Je souhaite ici revenir sur le troisième principe qui consiste à confronter le professeur à son action. Il s'agit d'analyser le travail enseignant, en classe et hors classe, afin d'accéder aux connaissances professionnelles mobilisées en situation et à leur évolution. Cela permet d'accéder aux éléments qui organisent l'activité réelle dont on sait qu'elle est analysable car elle comporte une organisation interne qui est faite d'invariance et d'adaptation (Vinatier, 2013). Pour autant, l'activité réelle des enseignants est en partie implicite et opaque, autrement dit elle comporte des aspects invisibles. Cette méthodologie de co-analyse dite d'auto-confrontation va servir justement pour documenter ces aspects invisibles de l'activité à partir d'une « remise en situation dynamique » face à un enregistrement vidéo du travail de l'acteur (Leblanc, 2007). Elle vise à renseigner « l'expérience ou conscience pré-réflexive ou compréhension immédiate de son vécu (de l'acteur) à chaque instant de son activité » (Theureau, 2002, p. 2).

Cette « méthode » issue de la clinique de l'activité²⁶ propose, selon Faïta & Veira (2003, p. 124), « de nouvelle modalité en analyse de travail, où le dialogisme constitue le principe directeur et la source du dispositif méthodologique ». Il s'agit de créer un *espace-temps* (Ibid.), c'est-à-dire un moment de suspension pour révéler les implicites, où les acteurs ont la possibilité d'exprimer leur « pouvoir d'agir » (Clot,

²⁶ Selon Ruelland-Roger (2001), le cadre théorique de la clinique de l'activité s'appuie sur les concepts d'action et d'activité, l'action n'étant qu'une partie de l'activité, que Y. Clot qualifie de réelle, c'est-à-dire ce qui est réalisé, qui ne révèle qu'une partie de cette activité réelle. L'objectif des recherches d'Y. Clot et de son équipe était de favoriser un processus de développement des situations ainsi que du *pouvoir d'agir* des individus et des collectifs (Leblanc, 2007).

2008) en différé par rapport aux situations exposées par la vidéo. Il ne s'agit pas de simuler la situation ordinaire de travail mais de la confronter à une situation de reconception (Béguin & Weil-Fessina, 1997). Nous pouvons espérer alors libérer les potentiels subjectifs, permettre aux enseignants de dépasser les normes sociales par un discours conforme à ce que la tierce personne attend. Il s'agit de partir du principe que ce qui doit se dire ne se voit pas forcément afin d'amener l'acteur à justifier les apparences. La parole ne doit pas médiatiser une pensée préalablement élaborée, « pas plus qu'elle n'offre de contrepartie servile à un réel pré-organisé » (Clot, 2008 p.123).

Selon les auteurs, il existe deux grandes catégories d'entretiens d'autoconfrontation :

- l'entretien d'autoconfrontation simple. Il permet de renseigner l'activité d'un sujet lorsqu'il est en entretien avec un chercheur devant les traces vidéo de son travail. Il lui est demandé de décrire puis d'analyser ses actions, en verbalisant ce qu'il faisait, pensait ou prenait en compte pour agir, et en évitant les interprétations ou généralités. Il s'agit « de la première source de signification concrète » (Faïta & Veira, 2003) ;
- l'entretien d'autoconfrontation croisé. Il met en scène, par exemple, deux sujets et le chercheur dans une analyse commune du même enregistrement vidéo. Les sujets doivent être des experts du même domaine avec un niveau d'expertise proche (Clot, 1999). C'est le moment d'un dialogue professionnel entre deux professionnels confrontés à la même situation. Il y a une percolation de l'expérience professionnelle (Clot, 2008) mise en discussion à propos de situations rigoureusement délimitées.

Pour Faïta & Veira (2003), cette « méthode » est constituée de trois phases :

- La constitution d'un groupe d'analyse et sa mise au travail sur l'objet de la recherche et les options méthodologiques ;
- La réalisation des autoconfrontations simples et croisées et la conjugaison des expériences des participants ;
- L'extension du travail d'analyse par la restitution de son produit au collectif professionnel.

Travailler sur les questions d'enseignement-apprentissages de notions/concepts nécessitent de préciser la première phase ci-dessus. Il s'agit d'abord de choisir le contexte socio-culturel dans lequel l'établissement se trouve. Soit l'étude menée nécessite de fixer cette variable, soit il est prévu de comparer des contextes différents pour identifier, par exemple, des connaissances de type KofC. Il faudra alors choisir

des enseignants travaillant dans le même bassin pédagogique ou non. Il me semble important ensuite de bien choisir les enseignants qui feront partie du groupe. Concernant mes études, je souhaite éviter les enseignants débutants et les enseignants experts. D'un côté, les problèmes inhérents au début de carrière pourraient occulter les objets de mes études. De l'autre, chez les enseignants experts qui enseignent au même niveau depuis des années, je pourrais observer des préparations succinctes, et des routines installées qui pourraient rendre moins visibles les évolutions qui m'intéressent. Je choisis donc des enseignants expérimentés, avec un niveau d'expertise proche, mais pas installés depuis longtemps au niveau auquel ils enseignent ou devant mettre en oeuvre un changement de programme. Ils doivent avoir des niveaux communs ou proches dans l'établissement. Dans le cas où la méthodologie envisagée comporte des autoconfrontations croisées, il me paraît nécessaire que les professeurs ne communiquent pas entre eux ni avant, ni pendant, ni après le ou les chapitres servant de support à l'étude. Pour autant, il me semble important qu'ils se connaissent, soit parce qu'ils travaillent dans le même établissement ou qu'ils appartiennent au même groupe de secteur. En effet, 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. *A contrario*, deux enseignants qui ne se connaissent pas peuvent rester sur leur « garde » pour éviter de blesser leur collègue dans leur analyse. Comme je l'ai dit précédemment, il faut libérer les potentiels subjectifs et conduire les enseignants à dépasser les normes sociales. Ils doivent aussi se coordonner dans la programmation de leur année afin que le chapitre support à l'étude soit enseigné dans la même période de l'année. Cela facilite grandement l'engagement des entretiens en autoconfrontation. Il me paraît aussi nécessaire de préciser la nécessité d'associer les enseignants aux objectifs de cette recherche ainsi qu'aux différentes modalités. Par exemple, il me paraît important de demander aux enseignants de choisir le chapitre ou la séquence d'appui. De même, de les laisser choisir la période de l'année pour la mise en œuvre de la séquence. Le chercheur s'assure ainsi de la compréhension des enjeux de la recherche à venir par le groupe d'enseignants (ou l'enseignant seul) et de son engagement. Ce sens donné au travail à venir me semble essentiel car le domaine de la recherche n'est pas connu de tous les enseignants et pourrait être un frein. Cet aspect méthodologique me semble très important si on considère que le film de l'action n'est pas l'action : c'est un analogon de l'action (Sensevy, 2011). Cet auteur présente la compréhension des images filmiques selon quatre caractéristiques fondamentales.

« Les images filmiques sont *denses*, ce qui signifie qu'elles peuvent donner lieu à un très grand nombre de descriptions, *a priori* infini. Elles sont fondamentalement *spécifiques*, et regorgent donc de détails concrets,

perçus alors non comme des instanciations de variables, mais comme des unités de sens intrinsèques (..). Elles peuvent être lues en *isomorphisme structural avec la réalité*, c'est-à-dire qu'il est toujours possible de retrouver dans l'image filmique une relation attestée entre les entités de la réalité : d'une certaine manière, si un certain nombre de conditions sont respectées, l'image filmique *témoigne* de la réalité (Shapin & Schaffer, 1993) » (p. 226).

On voit bien la nécessité à fournir des « lunettes » aux enseignants pour étudier les images filmiques issues des vidéos afin que nous regardions les mêmes choses. Le chercheur s'assure d'un dialogue entre deux professionnels confrontés à la même situation et d'une percolation de l'expérience professionnelle (Clot, 2008) mise en discussion à propos de situations rigoureusement délimitées.

Mes études à l'aide de cette « méthode » issue de la clinique de l'activité n'ont pas pour objet d'étudier le *pouvoir d'agir* des individus et des collectifs. Il s'agit pour moi d'accéder aux connaissances professionnelles en jeu dans l'action de la classe et hors classe lors des régulations ou pendant la préparation de classe. Je tente aussi de rendre visible et lisible une organisation de l'activité du professeur. Me situant en didactique de la physique, j'analyse la transmission des savoirs et les apprentissages de notions/concepts de physique dans une institution scolaire. Par conséquent, je suis assez éloigné des objets de travail menés en clinique de l'activité. Il me paraît alors nécessaire de parler plutôt d'entretiens en auto-analyses simples et croisées, ce type d'entretien étant centré sur les savoirs enseignés et les apprentissages des élèves.

J'ajouterais une autre phase à celles proposées par Faïta & Veira (2003), présentées précédemment. Elle concerne la prise de données vidéo qui sera la base des auto-analyses et de ce qui constituera le corpus de données pour les entretiens et en partie pour le chercheur (il peut avoir d'autres sources de données). Il s'agit d'anticiper le filmage des séances de classe et de se poser la question du type de caméra à employer, leurs placements (s'il y en a plusieurs, combien ?) et la technique de la prise de son. Ses éléments sont essentiels pour engager l'autoconfrontation car il est nécessaire d'acquérir des éléments sur le comportement de l'enseignant et les événements des situations. Et, de même, lors des entretiens quelles techniques faut-il employer ?

Prenons un exemple de l'intérêt à mettre en œuvre des entretiens en auto-analyse croisées. Dans mes différents travaux, la question de l'impact des SMK dans la préparation de la classe et lors de la mise en œuvre se pose car les connaissances disciplinaires sont difficiles à identifier par le chercheur. En effet, pendant les

entretiens, les professeurs sont centrés sur leur action ou l'action des élèves dans la classe. Les savoirs en jeu sont implicites car chaque enseignant sait que l'autre protagoniste sait puisqu'il a enseigné le même thème au même moment. De fait, Ils ne cherchent pas à justifier leurs choix et le risque d'un échange « sans prétentions » est encouru. C'est à ce moment que le chercheur peut intervenir pour relancer la discussion. Ce guidage a pour effet de changer l'adressage du discours qui n'est plus tourné vers l'autre protagoniste. Le changement de destinataire de l'analyse modifie l'analyse (Clot, 2008). Cela donne un accès différent au réel de l'activité, focalisé par le regard du chercheur. Dès lors, la discussion entre les deux enseignants reprend et s'intensifie et nous voyons apparaître des SMK dans leurs justifications. Par exemple, le chercheur demande à Florence quelle autre situation-problème pourrait-elle mettre en œuvre l'année suivante au regard de ce qu'elle a fait cette année et de ce qu'elle a vu de la pratique de son collègue. Elle propose à Henri (qui redevient l'interlocuteur privilégié) d'utiliser un dessin animé comme situation-problème dans lequel Tintin, Milou et le capitaine Haddock sont en état d'impesanteur²⁷ à l'intérieur d'une fusée en orbite autour de la Terre. Elle dit vouloir définir le poids en présentant un cas d'absence de pesanteur. Henri lui démontre qu'il ne s'agit pas d'une absence de pesanteur : « *attention y'a la fameuse vitesse qui compense // le poids donc euh...le danger c'est de dire qu'il n'y a pas de poids* ». Cet exemple nous montre la présence implicite de connaissances de type SMK dans les choix que font les enseignants pour la classe. Nous pouvons voir à travers cet exemple qu'un objectif de cette auto-analyse croisée demeure une mise en rapport dialogique entre la situation présentée et le processus déclenché à partir d'elle. Le chercheur doit maintenir ce mouvement dialogique entre les protagonistes autour de ce qu'ils voient et de ce qu'ils font (Faïta & Veira, 2003) pour éviter tout appauvrissement.

Des enjeux épistémologiques dans l'enseignement de la physique

Nos différentes recherches nous ont amené à relever des enjeux épistémologiques dès lors que l'enseignement de la physique-chimie se fait par démarche d'investigation (DI) ou dans un contexte d'enseignement de la physique-chimie en anglais, de type DNL ou CLIL.

Dans le contexte français, d'un point de vue institutionnel, la DI est apparue pour la première fois en physique-chimie dans les programmes de cinquième en 2005²⁸ dans la continuité de ceux de l'école primaire²⁹. Elle apparaît dans les

²⁷Le 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.

²⁸MEN, Programme des collèges. BO HS N°5 du 25 Août 2005

²⁹MEN, Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire. BO HS n° 1 du 14 février 2002

programmes de troisième en 2008. 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) ». 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. 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 qualifiée d'inductivisme « naïf » dans la pure tradition de l'enseignement français des sciences physiques (Balpe, 2001). Autrement dit, il suffirait de partir de l'expérience pour faire émerger chez les élèves les connaissances à enseigner (Bächtold, 2012). C'est une démarche que nous avons observée notamment dans le premier degré car, selon les enseignants, « les notions sont suffisamment simples pour que le résultat expérimental constitue une preuve ». Pour autant, la preuve est validée par le professeur et admise par les élèves. Cette démarche est aussi présente dans l'enseignement de la physique-chimie dans le second degré mais de manière moins répandue, car il existerait chez les enseignants une diversité de conceptions de la science et de son fonctionnement (Ibid.). Comme nous le verrons dans les paragraphes suivants, les enseignants n'ont pas toujours conscience de changer de démarche et des conséquences sur la tâche des élèves.

Lors des entretiens, les professeurs ont dit que « c'est la situation-problème qui fait l'investigation ». Elle doit être concrète et attrayante, le contenu scientifique doit être adapté et le problème scientifique posé compréhensible par les élèves. Nous sommes bien dans les préconisations (MEN, 2005, 2008) où l'appropriation du problème par les élèves est une étape essentielle de la DI. Il y a derrière ces déclarations, l'idée que les élèves doivent s'engager dans sa résolution et, en cela, « de faire des erreurs » à travers la verbalisation de conceptions initiales erronées. On se retrouve ici, selon moi, au cœur de la théorie du changement conceptuel (Posner et al., 1982) « qui vise à décrire le processus par lequel un élève abandonne une conception erronée pour adopter une conception scientifiquement acceptée » (Bächtold, 2014, p. 7). Ce travail de réorganisation conceptuelle qui n'est pas sans rappeler le principe

« d'accommodation » décrit par Piaget, est un des buts du professeur dans cette phase de la DI. Bächtold cite Baviskar et *al.* (2009) pour signifier qu'il s'agit de créer un conflit cognitif selon les théories constructivistes du mode d'enseignement des sciences. Dans le premier degré, nous assistons à des conflits plutôt sociocognitifs dès la phase d'appropriation du problème, car le but de ce moment de la DI est de confronter les conceptions initiales entre les élèves afin de faire émerger une question productive (MEN, 2002) qui sera le départ vers des investigations. Dans le second degré, il me semble que le conflit est d'abord cognitif (interaction professeur-élève) et peut devenir sociocognitif si pendant la phase de coopération les hypothèses explicatives des élèves sont questionnées. Les élèves se mettent « en quête » (au sens de l'enquête décrite par Dewey (1993[1938]) de prouver que leurs hypothèses explicatives sont justes. Ce sont des propositions justes ou fausses, emprunts de théories « opératoires », qui visent à répondre au problème posé. Le professeur crée chez les élèves « un besoin de résoudre » (Robardet, 1990, p. 22). D'un point de vue épistémologique, nous retrouvons le travail des scientifiques où la théorie précède en général l'expérience (point d'abord souligné par Duhem et Bachelard, cité par Bächtold, 2014).

Au collège comme à l'école primaire, nos études montrent que les enseignants maîtrisent les investigations des élèves dans le sens où ils encadrent les recherches pour éviter des situations ingérables. Les enseignants jouent sur un choix de matériel limité, des « étapes » de la démarche qui ne sont pas mises en œuvre 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. Dans le second degré, les enseignants peuvent passer d'une démarche inductive à une démarche déductive selon les difficultés des élèves que le professeur peut observer ou anticiper. Revenons sur le thème du poids et de la masse. La première année de notre observation, Florence pose la question suivante aux élèves : « Existe-t-il un lien entre le poids et la masse des objets ? ». La tâche des élèves est de proposer une expérience pour « montrer » l'existence ou non de ce lien. Nous l'apercevons guider les élèves sur l'expérience et le protocole à mener pour trouver ce lien. Elle finit par donner la réponse. La seconde année, l'enseignante change de stratégie. Elle leur demande de chercher chez eux une ou plusieurs expériences pour « montrer que le poids est proportionnel à la masse ». La démarche proposée par la professeure est déductive. La tâche des élèves n'est pas la même que la première année alors que le but de l'enseignante est d'arriver à la relation : $P = mg$. La tâche des élèves est de prouver par l'expérience qu'il y a une relation de proportionnalité entre le poids et la masse. Le but de l'enseignante est

inchangé pendant les deux années de notre étude. L'analyse des entretiens montre que les deux enseignants n'ont pas conscience que la nature de la démarche d'enseignement mise en œuvre par Florence change entre les deux années. A l'issue de la première année, ils ont identifié les mêmes difficultés de mise en œuvre. De fait, il existe une tension entre les contraintes didactiques et leur positionnement épistémologique personnel (Pelissier & Venturini, 2012). Comme le dit Florence, « en théorie en physique on obtient des lois à partir d'expériences alors on n'est pas en maths ! », mais sa pratique de classe semble dire le contraire. En fait, la relation $P = mg$ n'est pas un problème au sens où cette relation telle qu'elle est posée ne peut pas déboucher sur des investigations.

J'ai montré dans mes différentes études des changements de démarche opérées par les enseignants en fonction des difficultés des élèves. J'ai observé également chez une professeure de lycée, des changements d'approche de l'enseignement de sa discipline lors d'un enseignement DNL de la physique-chimie en anglais, ce qui pose un certain nombre de questions d'ordre épistémologique. Selon des enseignants interrogés, l'enseignement DNL de la physique-chimie est l'occasion de pratiquer et de construire de nouveaux savoirs sur la langue (ici l'anglais) et des savoirs scientifiques en physique ou en chimie. C'est en effet l'occasion d'aborder des thèmes qui ne sont pas forcément abordés dans le tronc commun car le programme de l'enseignement DNL laisse beaucoup de liberté. Les enseignants en profitent aussi pour approfondir des notions vues en tronc commun ou en faire découvrir de nouvelles à la demande des élèves.

Dans une étude de cas [RICL 3], nous avons observé une professeure de physique-chimie enseigner le modèle « planétaire » de l'atome à partir de l'expérience dite de Rutherford en classe de seconde Européenne. L'enseignante décide, en complément des notions abordées en tronc commun (et en français) sur les modèles de l'atome, de débiter sa séance de classe par le visionnage d'une réplique de l'expérience commentée par un chercheur anglo-saxon. Celui-ci explique que l'expérience est réalisée sous vide. De la matière radioactive est placée dans une boîte émettant des particules α (noyau d'hélium). Elle est orientée vers une très fine feuille d'or placée devant un écran. Celle-ci est enrichie d'un produit chimique (sulfure de zinc) permettant de visualiser, par un scintillement lumineux, la collision par les particules α . Après quelques minutes, différents points de lumière apparaissent à l'écran et tous ces points ne sont pas dans l'orientation du faisceau, mais certains étalés sur de grands angles.

Le début de la vidéo, qui n'est pas montrée aux élèves par l'enseignante, pose le contexte scientifique de cette expérience. Le commentateur expose les différentes

études menées par d'autres scientifiques pour démontrer l'existence d'atomes. Il explique que l'existence de l'atome est toujours débattue dans la communauté scientifique et que le modèle de Thomson dit « plum pudding », proposé en 1904, n'était pas partagée par la communauté. Il souligne également que Rutherford a fait cette découverte en étudiant le rayonnement α suite aux travaux de Becquerel sur la radioactivité et pas du tout dans l'idée de travailler sur le modèle de l'atome. Les élèves n'ont pas connaissance de ce contexte, et n'ont jamais rencontré de tels équipements de laboratoire, ni des propriétés des différents éléments qui sont utilisés pour observer les flux de particules α . L'expérience n'est pas problématisée et le savoir en jeu tourne autour du thème de la radioactivité, thème qui ne sera abordé qu'en terminale pour ceux qui feront un parcours scientifique. En outre, l'expérience de Rutherford est décrite dans la vidéo mais pas montrée. Seul le modèle de l'atome de Rutherford est présenté avec une animation. Et si nous regardons les connaissances linguistiques contenues dans la vidéo, l'homme qui parle a un accent britannique. Il parle à un rythme ordinaire et utilise également plusieurs temps (présent, passé, conditionnel), et de nombreuses expressions idiomatiques telles que « ran out of », « a simple-enough task ». En outre, on peut entendre de nombreuses occurrences d'un langage scientifique spécifique. Tous ces éléments sont susceptibles d'entraîner des difficultés de compréhension de l'expérience de Rutherford par les élèves. Une transcription de ce qui est dit par le chercheur dans le film est distribuée aux élèves avant que la vidéo (sans sous-titre) ne commence à être jouée.

Cette entrée par l'histoire des sciences est censée permettre des apprentissages scientifiques sans qu'une étude épistémologique et didactique ne soit faite. La professeure est centrée sur la pratique de la langue, le modèle de l'atome ayant déjà été travaillé en tronc commun. Elle recherche des activités en anglais, des vidéos, sans avoir d'idées précises sur ce qu'elle veut, seulement que le support doit permettre une interaction orale en classe et l'apprentissage d'un vocabulaire. Le contenu scientifique doit déjà être maîtrisé par les élèves, c'est-à-dire qu'il doit être abordé en tronc commun avant l'enseignement CLIL. Le caractère historique de l'expérience n'est qu'un prétexte à apprendre un vocabulaire spécifique et à pratiquer l'anglais. Ce n'est pas une formation aux lois et aux concepts de la science ni une histoire au service de l'apprentissage de la physique (De Hosson, 2011).

Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique

Au cours de mes travaux, j'ai constaté que les termes activité, pratique, action, agir et travail sont polysémiques et souvent utilisés en didactique sans que ces concepts/notions ne soient toujours définis. Selon Calmettes (2017), « le sens donné à chacun de ces concepts doit alors être pensé en perspective et en cohérence avec les

contextes et les réseaux théoriques et empiriques dans lesquels il est employé » (p. 9). Par exemple, parler de l'activité et parler des pratiques, ce n'est pas la même chose, surtout quand ces dernières sont envisagées comme le détail ou la somme de ce qui est, en apparence, fait, observable, analysable en tant que tel alors que l'activité n'est révélée qu'en partie par l'action, c'est-à-dire ce qui est réalisé (Ruelland-Roger, 2001). Au-delà du terme employé, il me semble que cela interroge sur l'unité d'analyse qui peut aider à comprendre la complexité des relations entre les enseignants et les élèves lors d'apprentissages en sciences physique.

Quelle unité d'analyse du travail des enseignants en didactique de la physique ?

Certaines disciplines de recherche telles la psychologie cognitive, l'ergonomie, la psychologie du travail, la sociologie, etc., proposent des définitions selon leur propre histoire, leurs valeurs épistémologiques. Pour autant, ces définitions ne sont pas toujours débattues au sein de ces disciplines de recherche et il arrive que des désaccords apparaissent. Selon Bronckart (2005, p. 81) « les conditions d'emploi et le signifié des termes « agir », « activité » ou « action » sont multiples et hétérogènes ».

Il s'agit cependant, comme l'écrit Venturini (2007), de rendre lisibles les phénomènes didactiques sans confusions de vocabulaire. Il propose, en citant les travaux de Bronckart (2005) et de Schubauer-Leoni et *al.* (2007) l'idée d'un « agir didactique » pour parler des interactions didactiques et des transactions qui les caractérisent. La question de l'unité d'analyse du travail enseignant me semble donc posée rejoignant ainsi la question plus générale de l'unité d'analyse du travail humain.

Le terme activité comme concept flou à définir

Le terme activité peut être un mot sans contenu conceptuel précis dans notre langage quotidien ou dans divers champs scientifiques. En effet, nous pouvons parler d'un volcan en activité, de l'activité médicale ou de l'activité du professeur. Malgré ce multi-usage du mot, chacun peut en comprendre une signification. Le concept « activité » ne semble pas seulement difficile à définir mais il semble aussi difficile à construire. Schwartz (2007) souligne que l'approche la plus claire pourrait nous être donnée par son opposée : l'inertie. Pour Canguilhem (1966), la vie peut être définie à travers l'activité qui est en lutte permanente avec « l'inertie et l'indifférence ».

Une première idée de l'activité est vue par Descartes comme la synergie en nous des parties « hétérogènes » de nous-même, « d'agir avec » (c'est-à-dire la contribution ou la construction commune de l'entendement, de l'imagination et des

sens³⁰). Schwartz (2007) précise qu'elle est condamnée à rester en partie énigmatique car la pensée est obscure. Mais Canguilhem, dans son « Descartes et la technique », parle à propos des artisans, dont il a observé l'habileté technique, du pouvoir original pour décrire ce qui est capable d'unifier toutes nos facultés « des dimensions aussi différentes que : savoir incorporé et savoir méthodologique, corps et esprit, nature et culture, l'héritage de la Vie et héritage du spirituel en nous » (1966, p. 127). C'est l'idée de pouvoir humain dans des rapports sociaux, c'est-à-dire en interaction avec le monde, que nous retrouvons aussi chez Marx. Leontiev (1984) écrit que pour Marx, l'activité sous sa forme initiale et fondamentale est l'activité pratique sensible par laquelle les hommes entrent en contact pratique avec les objets du monde environnant, éprouvent leur résistance et agissent sur eux en se conformant à leurs propriétés objectives. En dehors des rapports sociaux, il n'existe pas d'activité humaine.

Schwartz (Ibid) rejoint ce point de vue. Pour lui, c'est l'observation de l'homme dans sa relation au monde qui pose la question de cet « agir technique » et du lien mystérieux entre des dimensions aussi différentes que le savoir incorporé et le savoir méthodologique. C'est l'idée d'un « pouvoir énigmatique » et dynamiquement capable d'unifier toutes nos « facultés » (Canguilhem, 1937). Platon parle lui de « techné » dans le cas des artisans athéniens, qui pourrait être l'idée que certains types d'actions (le Kairos) doivent être accomplies « à temps » et ne tolèrent ni le retard, ni l'hésitation dans un contexte précis.

L'activité serait selon ces auteurs un « mécanisme » de mobilisation d'un « pouvoir humain », unificateur d'hétérogénéités multidimensionnelles cognitives, qui permettrait aux actions de se dérouler suivant une certaine organisation dans une durée établie, prévue. L'action serait donc subordonnée à l'activité mais l'activité n'est pas que l'action. L'activité pourrait être vue comme une expression de la vie humaine en tant que telle, dans sa manifestation globale, unifiée et « synthétique » (Schwartz, 2007). Nous percevons bien chez ces auteurs une relation entre activité et action, mais cela semble bien insuffisant. Pour d'autres auteurs, il paraît nécessaire de faire intervenir d'autres concepts pour arriver à comprendre un peu mieux les interactions

³⁰ Dans leur quête d'expliquer comment pouvons-nous atteindre la vérité, une forme spéciale de division à l'intérieur de l'être humain apparaît chez beaucoup de philosophes, de l'esprit, de l'âme d'un côté, et de l'autre, le côté de la sensibilité, du corps, des passions et des sentiments, qui peuvent toujours faire obstacle au noble travail du premier côté. Pour Descartes, parler de connaissance, c'est avoir affaire à quatre « facultés » : l'entendement, l'imagination, les sens et la mémoire. Seul l'entendement est capable de percevoir la vérité, aidé par les autres « facultés ». Ce sont les dynamiques obscures nécessaires pour relier ces facultés qui semblent interroger les philosophes, un processus qui semble impénétrable.

entre un individu et le monde qui l'entoure. Les concepts d'agir et de travail semblent être éclairants à ce sujet.

Activité, Action, Agir et Travail

Selon Gillet & Lenel (2016), l'activité est un processus invisible d'élaboration de l'action mais pour Rubinstein (dans Vergnaud, 2007), l'activité ne concerne pas que l'action proprement dite, mais aussi la perception et la transformation des percepts en catégories productives. Bronckart (2005) fait intervenir l'agir pour définir l'activité. Pour lui, l'activité désigne une lecture de l'agir impliquant les dimensions motivationnelles et intentionnelles mobilisées au niveau collectif et l'action une lecture de l'agir impliquant les mêmes dimensions mobilisées au niveau des personnes singulières. L'activité est première. La construction des actions relève « d'un processus généalogique » qui opère à partir de cette activité ; ces actions sont conçues comme « des formes qui se construisent » sous l'effet de la réflexivité des protagonistes de l'activité. Quant à Clot (2002), l'activité, qu'il qualifie de réelle, recouvre, selon lui, tout ce qui anime le professionnel dans l'exercice de son métier, alors que l'action, c'est-à-dire ce qui est réalisé, ne révèle qu'une partie de cette activité réelle. Autrement dit, l'action « sort » de l'activité.

Pour Dejours (2016), l'activité est individuelle et l'action est collective. L'activité renvoie à la personne, aux résultats de son action et à la manière d'agir pour y parvenir (De Terssac, 2016). Il y a pour moi l'idée de ce que font réellement les individus, le travail réel dans un contexte organisé. Dejours ajoute que l'activité est multidimensionnelle (dimensions sociales, cognitives, émotionnelles et physiologiques) et spécifique à chaque individu au travail. Pour autant, le collectif est au cœur de l'activité car un individu a notamment des règles à partager. D'un point de vue ergonomique, l'activité renvoie à l'ordre individuel c'est-à-dire au rapport entre une personne et une tâche (Dejours, 2016) alors que l'action possède un caractère collectif. Pour Clot (2016), l'activité est une « pratique transformatrice qui engage le corps et l'esprit ensemble dans un monde concret à recréer » (p. 2). L'activité des sujets au travail n'est pas déterminée mécaniquement par son contexte mais le métamorphose. L'activité est ce qui permet de répondre à l'indétermination de l'action, au-delà donc de ses déterminations (Dujarier, 2016). C'est un processus d'élaboration d'une réponse sensible et signifiante à ces multi dimensions sociales (Ibid).

Barbier (2011) rejoint le point de vue de ces chercheurs sur le fait que l'activité ne se réduit pas à « l'activité manifeste, physique, matérielle ». Pour lui, elle désigne l'ensemble des processus dans lesquels est engagé un sujet humain dans ses rapports avec ses différents environnements : « C'est un processus de

perception/transformation du monde et de perception/transformation de soi transformant le monde dans lequel et par lequel est engagé un être vivant dans ses rapports avec son environnement » (p. 3). L'activité ne se réduit pas à l'activité manifeste. Elle est en même temps transformation du sujet. C'est, nous semble-t-il, une approche holistique de l'activité dans le sens où elle est à la fois perception et transformation du monde et de soi-même. De même pour Dujarier (2016), l'activité peut être vue comme un processus, de ce que l'on fait vraiment pour accomplir cette action, celle de tout travail. Ce processus d'élaboration de l'action est invisible. Pour Schwartz (2016), elle est un « usinage en pénombre entre travail prescrit et travail réel », la forme anthropologique de la vie dans laquelle l'action n'est pas simple exécution. Elle est la « créativité de l'agir » (Joas, 1999). L'approche de l'activité pour comprendre le travail est décrite par Gillet et Lénéel (2016) comme les moments où le travailleur se confronte au réel du travail, à ce qui résiste. L'activité peut être définie aussi par certains auteurs en relation avec le travail humain. Pour Marx (dans Vergnaud, 2007), le travail est la forme d'activité humaine principale et première. Pour Rubinstein, le travail est un concept social, qui désigne un procès qui se passe entre l'homme et la nature.

De la lecture de ces différents points de vue, je retiens l'idée consensuelle que l'activité est invisible, obscure. Elle est l'expression du pouvoir humain qui permet une unification des facultés multidimensionnelles lors d'une interaction d'un sujet avec le monde. Ce pourrait être un processus de l'élaboration de l'action qui agit sur le monde et sur le sujet lui-même. L'activité n'est pas que l'action mais elle est organisée suivant une logique propre à chaque individu. Elle n'est pas accessible à l'œil nu. Il faut donc trouver le moyen d'y accéder, d'en rendre compte à partir de ce qui est visible, la tâche et/ou l'action qui peuvent être décrites empiriquement. En ergologie, pour appréhender une activité, les chercheurs étudient les contraintes (matérielles, physiques ou normes sociales) et les initiatives de l'individu au travail.

L'activité comme unité identifiable d'une analyse du travail du professeur

D'un point de vue didactique, l'activité désigne ce que fait le sujet dans un contexte précis de travail ; les pratiques renvoient aux activités entendues dans un contexte plus large que celui du travail et qui inclut les déterminations sociales et personnelles des activités elles-mêmes. En psychologie du travail, il s'agit de distinguer l'activité de la tâche car la tâche est ce qui est à faire et l'activité ce qui se fait (Leplat et Hoc, 1983). La tâche renvoie à la prescription, une forme d'obligation, alors que l'activité renvoie à ce qui est mis en jeu par le sujet pour exécuter ces prescriptions. Selon Habermas (1987a, 1987b) l'activité humaine est une des

dimensions de l'organisation de l'agir, qui coexiste avec d'autres dimensions, sinon plus fondamentales, du moins plus spécifiquement humaines. Pour autant, elle ne se réduit pas à l'exécution de la tâche : c'est un but donné dans des conditions déterminées (Léontiev dans Vinatier, 2013). L'activité est organisée ; c'est pour cela qu'elle est reproductible, analysable et compréhensible. Theureau et Jeffroy (1994) rejoignent ce dernier point de vue. Pour eux, une activité est organisée et comporte plusieurs niveaux d'organisation. Il y a un niveau d'organisation qui est montrable, racontable et commentable par l'acteur (c'est-à-dire « significatif » ou « pré-réflexif ») qui constitue un niveau d'organisation relativement autonome et il peut donner lieu à des observations, descriptions et explications suffisamment valides et utiles (Theureau, 1992). Il s'agit bien, pour moi, de décrire le réel de l'activité qui ne se limite pas à l'accomplissement de l'activité réalisée. Celle-ci ne représente qu'un possible dans un univers plus vaste.

Pour Sensevy (2011), une « activité didactique » (formelle ou informelle) peut se modéliser comme une succession de jeux d'apprentissage (description - au sens de modèle scientifique pour comprendre ce qui se passe dans l'action didactique conjointe élève-professeur). En effet, au fur et à mesure de l'avancée d'une séance, il est possible d'observer que l'enjeu d'apprentissage évolue ou que ce qui est demandé à l'élève change. Selon cet auteur, les activités humaines peuvent se décrire comme des jeux, dans une logique qui est celle de la pratique. Selon Vinatier (2013), le concept d'activité peut être pris comme unité d'analyse du travail enseignant ou des pratiques enseignantes dans des activités d'enseignement-apprentissage.

Comme je l'ai exposé au paragraphe 0 (p. 20), je cherche à travers l'articulation (le croisement) entre une didactique professionnelle faisant référence à l'ergonomie (concepts et méthodes) et à la psychologie du développement en croisant des éléments de la didactique des disciplines, plus particulièrement me concernant la didactique de la physique, une appréhension d'un sujet capable d'intégrer les différents éléments de l'élaboration de l'activité, d'enseignement-apprentissage. Je rejoins Gillet et Lénéel (2016) pour dire que cette question du croisement des disciplines de recherche du point de vue de l'activité me semble être un enjeu d'importance, et les questions notamment épistémologiques que cela pose sont de belles questions à étudier.

Le schème comme une description de l'organisation de l'activité du professeur

D'après Vinatier (2013), Piaget, dans son épistémologie génétique de la connaissance, donne l'idée que l'intelligence se construit par l'activité du sujet

confronté au réel. Autrement dit, entre un individu et le réel, il existe une structure organisatrice (une représentation schématique du réel³¹) qui permet au sujet d'agir. Il fait référence aux organisations des actions de l'individu au niveau structurel et fonctionnel. C'est ainsi que Piaget définit les schèmes d'actions « dans ce qui est transposable, analysable ou différenciable, d'une situation à la suivante, autrement dit ce qu'il y a de commun aux différentes répétitions ou applications de la même action » (1973, p. 23-24). C'est une thèse très forte que souligne Pastré (2011) « 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). Cette organisation interne de l'action « permet de comprendre comment celle-ci est efficace, reproductible, adaptable et intelligible » (Ibid., p. 156). Le schème représente donc le lien entre le concept et l'expérience sensible. Le concept n'est pas d'abord appris par le sujet, il est d'abord construit. Le schème en tant qu'intermédiaire est activité (Vinatier, 2013).

Selon Piaget, lorsqu'une personne se confronte au réel, elle développe un processus de conceptualisation (ou construction de la connaissance) qu'il présente en trois principes (1974, 1967) :

- « L'action est une connaissance autonome »,
- « Il y a un décalage entre réussir et comprendre »,
- « La prise de conscience est un véritable travail de conceptualisation ».

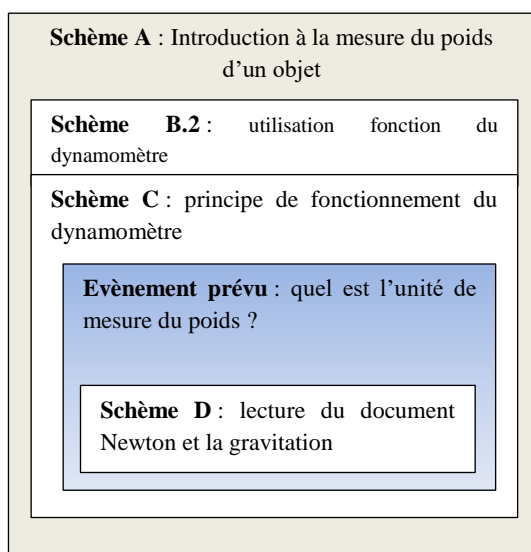
Ces trois principes sont visibles dans mes travaux de recherche grâce à la description des schèmes, à l'analyse des régulations rétroactives de l'activité, et à l'identification des connaissances professionnelles en jeu que je place dans les invariants opératoires. Je montre en quoi ce processus de conceptualisation permet à la fois des apprentissages pour le professeur sur comment enseigner un concept, une notion, et les conséquences sur les apprentissages des élèves. Le fait que ce soient, entre autres, des connaissances didactiques professionnelles qui soient apprises par l'enseignant permet de qualifier le gain en apprentissages pour les élèves. Pour autant, il se pose plusieurs questions à propos du schème.

Nous savons qu'il est nécessaire de définir ses éléments constitutifs afin de comprendre comment il génère l'action. Pour Vergnaud (1996), ces éléments constitutifs se déclinent en trois catégories : la partie fonctionnelle, la partie générative

³¹ Piaget fait référence à Kant sur la notion de schématisation (Vergnaud et Récopé, 2000) et aux psychologues Revault D'Allonnes (1915) et Janet (1928) concernant la notion de schème. La prise d'information est schématique c'est-à-dire simplifiée ; on peut penser plus de choses qu'on ne peut connaître. Pour qu'il y ait connaissance, il faut qu'une catégorie de l'entendement (faculté de comprendre, de saisir l'intelligible) soit applicable à l'intuition c'est-à-dire aux données de l'expérience.

et la partie épistémique. Mes résultats questionnent ces trois catégories. Il définit la composante fonctionnelle du schème par ce qui précède et accompagne l'action suivant un but, déclinable en sous-buts et en anticipations. Elle représente l'intention, le désir, le besoin, et la motivation d'une personne, suscités par la situation. Accéder à ce qui précède l'action et aux anticipations permet d'analyser le réel de l'activité, ce qui pour Clot et *al.* (2000, p. 2) « est également ce qui ne se fait pas, ce que l'on cherche à faire sans y parvenir [...], ce que l'on aurait voulu ou pu faire, ce que l'on pense pouvoir faire ailleurs ». C'est bien une des difficultés du chercheur d'accéder à la partie non visible du travail de l'enseignant. Il me semble que si nous nous contentons de renseigner un but, des sous-buts (éventuellement) et les anticipations, il est difficile de donner à voir le réel de l'activité du professeur. Il manque, selon moi, une étude des intentions qui permettrait d'accéder aux raisons d'agir de la personne (Schubauer-Léoni et *al.*, 2007) et à ce qui précède l'action, dans le sens de ce qui la déclenche. Il s'agit d'analyser « la manière dont elle est exécutée, comment une fois déclenchée, elle est guidée et, jusqu'à un certain point, contrôlée ou suivie jusqu'à son terme », (Pacherie, 2003, p. 451). Selon Vergnaud et Récopé (2000, p. 46), « il est essentiel d'intégrer but, intention et désir dans le schème lui-même ».

Un autre point que je soulève dans mes travaux concerne la manière dont les schèmes se composent et se décomposent hiérarchiquement, le but se décline en sous-buts et anticipations. Revenons sur l'exemple développé au paragraphe 2.2.2 (p. 33). La figure 1 (p.35), dont je ne rappelle ci-dessous qu'une partie, représente une organisation de l'activité d'Henri.



Selon la théorie de Vergnaud, un schème peut comporter un but et des sous-buts et il peut piloter l'utilisation de plusieurs autres schèmes car ceux-ci se composent et se décomposent hiérarchiquement. Les questions qui se posent sont les suivantes : comment savoir si l'organisation de l'activité de l'enseignant comporte un but et des sous-buts et s'il y a un schème qui pilote d'autres schèmes ?

Figure 5 : organisation de l'activité d'Henri - Année 2

Sont-ils des sous-schémas de ce schème ? Cette représentation traduit-elle une organisation séquentielle du professeur ? Dans le cas de la figure 5, à la suite de

l'entretien avec Henri, j'ai considéré que le professeur souhaitait mettre les élèves en situation de mesurer le poids d'un objet, puis de décrire le principe de fonctionnement du dynamomètre. Pour ce faire, il pose la question de la mesure du poids, introduit l'appareil de mesure, travaille sur son principe de fonctionnement et demande aux élèves l'unité du poids à travers une lecture d'un document. Nous voyons à travers cette description de l'activité que le professeur est en contrôle quasi permanent pendant le déroulement de son action. Il est donc aisé de dire que le schème A pilote les autres schèmes. Pour autant, pourquoi le schème A ne se décompose-t-il pas en but et sous-buts plutôt qu'en schèmes et sous-schémas ?

Si nous reprenons la théorie de Vergnaud, un schème s'adresse à une classe de situations 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, 2013, p. 36). Dans le cas décrit précédemment figure 5, le schème A pourrait correspondre à une classe de situation « introduction à une activité de mesure », le schème B2 à une classe de situation « travaux pratiques quantitatifs » et le schème C à une classe de situation « principe de fonctionnement d'un appareil de mesure ». Par conséquent, il me semble que nous avons bien trois schèmes différents s'adressant à des classes de situations différentes. Mais pourquoi le schème A pilote-t-il les autres schèmes ? Il pourrait en effet y avoir un schème « plus gros », au sens défini par Vergnaud, qui serait le schème qui pilote l'introduction à l'expérience, la mesure et le principe de fonctionnement de l'appareil de mesure. Mais je manque d'éléments empiriques pour le définir et ce ne serait qu'une interprétation de ma part qui tronque évidemment les résultats des travaux de recherche. Il me semble qu'il faut construire une méthodologie spécifique pour étudier le pilotage des schèmes entre-eux ainsi que les classes de situations afin d'analyser plus précisément les structures conceptuelles de chacune. Pour autant, dès qu'un schème s'adresse à une classe de situation, il me semble qu'un but peut se décliner en sous-buts traduisant une organisation séquentielle du travail enseignant.

Revenons sur le schème B.2. décrit au paragraphe 2.2.2 (p. 33) afin de discuter, d'une part, de la représentation du schème en tableau et, d'autre part, de ses parties génératives et épistémiques (cf. Tableau 3 ci-dessous). Ce qui est en grisé souligne les éléments qui ont changé entre les deux années à la suite d'une régulation rétroactive en boucle longue opérée par Henri. J'ai choisi de représenter le schème en tableau suivant six éléments pour donner à voir, à un instant t dans une situation donnée, une organisation de l'activité d'un enseignant comme une unité. Mes analyses portent sur

des vidéos de classe, dans lesquelles nous voyons les enseignants en action, et sur des vidéos des entretiens en auto-analyses 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 renseignons les indices dans le schème. Par ailleurs, l'analyse de mes données fait apparaître la nécessité de rendre visibles les anticipations. Il s'agit ici des anticipations que l'enseignant a du but de son activité, c'est-à-dire du résultat envisagé de cette activité sur les élèves de manière individuelle ou collective. Elles me 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 m'aident aussi, lors des entretiens, à analyser l'activité de l'enseignant, notamment du point de vue des régulations qu'il met en place.

Pour autant, cette représentation du schème me questionne. Par exemple, ne pas renseigner les règles de prise d'informations et de contrôle ne permet ni de montrer comment la succession d'actions se déroule, ni l'infléchissement de la conduite en situation. Ces règles organisent, en quelque sorte, l'adaptation du schème à la situation (Vergnaud, 2001). En outre, Vergnaud et Récopé (2000) 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 » (p. 47). On aperçoit ici les difficultés à renseigner toute cette partie invisible dans l'activité des enseignants car bien souvent inconsciente et par conséquent non exprimée dans les entretiens. Ce caractère adaptable du schème est visible en identifiant aussi les inférences faites par les professeurs. 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. Il s'agit bien entendu de distinguer une adaptation locale d'une régulation rétroactive de l'activité qui va engendrer une conduite différente de l'activité.

Schème B.2 : utilisation et principe de fonctionnement du dynamomètre	
But	Introduire un nouvel appareil de mesure : le dynamomètre
Anticipation	J'attends que les élèves écoutent la présentation
Inférences	Si aucun élève ne pose de question, je poursuis
Indices	Les élèves sont attentifs
Règle d'action	Présenter le dynamomètre et sa fonction

Invariants opératoires	Théorèmes-en-acte	Concepts-en-acte
	Le poids se mesure avec un dynamomètre et son unité est le newton de symbole N. Je m'appuie sur la définition du poids pour présenter la fonction du dynamomètre. Je présente l'appareil de mesure en grand groupe	Travail en grand groupe. Le poids, la masse, force, interaction gravitationnelle. La mesure.

Tableau 3 : année 2, évolutions du schème B

D'un point de vue théorique, les règles d'action, de prise d'information et de contrôle sont l'incarnation pragmatique des théorèmes-en-acte inclus dans les invariants opératoires du schème de l'enseignant. 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). Cette fonction se réalise en renseignant 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 » (Vergnaud, 1996, p. 56). Malgré les difficultés à renseigner cette partie du schème, et à rendre visible le caractère invariant (cf. & 2.2.1, p. 27), il me semble qu'elle est essentielle car elle me permet d'inférer les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants afin d'appréhender un premier niveau de conceptualisation qui permet d'orienter et d'organiser l'activité. Par exemple, la proposition « Je m'appuie sur la définition du poids pour présenter la fonction du dynamomètre » permet de se rendre compte de l'action du professeur en situation, de la règle d'action qu'il va mettre en place et des règles de prise d'informations « observer la réaction des élèves à la question de la définition du poids » et de contrôle « s'assurer que les élèves sont d'accord avec la réponse ». Pour autant, cette dernière proposition peut être vraie ou fausse.

Renseigner ces six éléments permet, selon moi, d'appréhender le schème comme une totalité dynamique fonctionnelle, c'est-à-dire « que la fonctionnalité repose sur un ensemble d'éléments peu dissociables les uns des autres » (Vergnaud, 1996, p. 283). Mais cela peut nuire à une lecture de la succession des actions observée, avec notamment la question, déjà soulevée, de l'articulation des schèmes entre eux. Etudier le schème comme unité identifiable de l'activité du professeur me semble tout à fait pertinent mais nous voyons bien tout le travail qu'il reste à faire pour rendre lisible le schème avec la question du grain d'analyse qui nous semble essentielle [RICL 3].

Dans le paragraphe suivant, je vais revenir sur mes résultats à propos des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants lors d'un enseignement de physique, en classe et hors classe. Je vais mettre au travail mes résultats, obtenus avec le modèle de Magnusson et *al.* (1999), en analysant un modèle plus récent développé par J. Gess-Newsome et publié en 2015.

Une évolution du modèle des PCK

Un aspect de mon travail de recherche consiste à faire le lien entre les connaissances professionnelles des enseignants et leur activité en classe et hors classe. Pour cela, je mets au travail le modèle de Magnusson et *al.* (1999)³² (cf. & 0, p. 42) et, d'un point de vue didactique, je m'intéresse plus particulièrement au concept de PCK que Shulman (1986) définit comme une connaissance spécifique pour enseigner. J'ai montré certaines limites de ce modèle, à commencer par la composante « orientation pour l'enseignement des sciences » (figure 4, p. 43). Elle se réfère aux connaissances des enseignants à propos des buts et des objectifs pour enseigner les sciences à un niveau d'étude particulier. Magnusson et *al.* (1999, p. 97) ont défini les orientations vers l'enseignement des sciences comme "des connaissances et des croyances sur les buts et les objectifs de l'enseignement des sciences à un niveau scolaire particulier". Pour ces auteurs, cette sous-catégorie chapeaute les autres. Cependant, Friedrichsen, Van Driel et Abell (2010) font le constat que la recherche sur les orientations souffre d'une absence de définition commune. Par ailleurs, Abell (2007) remarque que certains chercheurs ont examiné les orientations des enseignants en utilisant parfois différents termes pour définir la même chose. Pour ces auteurs, la composante « orientations » pour l'enseignement des sciences comprend :

- les conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (PCK-Enseignement/apprentissage).
- sur la nature des sciences (PCK-épistémologie).
- et sur les buts et finalités de l'apprentissage des sciences (PCK-Buts/finalités).

Selon moi, certaines orientations dépendent en effet du contenu comme par exemple : « démontrer que P est proportionnel à m est plus facile pour les élèves que de démontrer qu'il existe une relation entre P et m » (PCK-épistémologie) ; « Les élèves doivent différencier le poids de la masse » (PCK-Buts/finalités) ; « Introduire le concept de poids avec un planche de BD est efficace » (PCK-Enseignement/apprentissage). Mais d'autres orientations sont indépendantes du

³² Ce choix est lié au fait que c'est le modèle le plus fréquemment utilisé dans la recherche en didactique des sciences et qu'il montre une certaine opérationnalité dans différents contextes (Chesnais et al., 2017)

contenu et pour autant influencent l'activité de l'enseignant comme par exemple la consigne double dans le premier degré (cf. §.0, p. 42) qui me semble être une PK puisque cette organisation est indépendante du contenu. Pour autant, nous rejoignons Chesnais et *al.* (2017) pour dire que les travaux de Friedrichsen, Van Driel et Abell (2010) permettent de préciser cette composante « Orientations » et améliorent significativement le modèle de Magnusson et *al.*. En effet, les connaissances sur l'épistémologie n'apparaissent pas dans le modèle de Magnusson, ni celles liées à la question d'enseignement/apprentissage lié à l'introduction d'une notion spécifique à enseigner.

Outre la question de ce qui est stratégique pour un enseignant, question qui aide à définir une connaissance de type PCK ou de type PK, ce pose également la question de comment le modèle de Magnusson et *al.* prend-il en compte la mobilisation de PCK d'une autre discipline par les enseignants ou de connaissances sur le numérique pour l'enseignement ? Dans les deux cas développés au paragraphe 0 (p.42), l'activité de l'enseignant ne serait pas conduite de la même manière avec ou sans ces connaissances. Il s'agit donc de les intégrer dans le modèle de Magnusson et *al.*. J'ai soulevé également la question des connaissances personnelles des enseignants, qui sont issues de pratiques passées et liées à des conceptions personnelles construites au fil des ans. Le modèle de Magnusson et *al.* ne parle pas de ce type de connaissances mais un modèle plus récent (Gess-Newsome, 2015) est le résultat d'une conférence tenue en 2012, au cours de laquelle trente chercheurs se sont rencontrés et ont discuté du concept de PCK, dans le but de parvenir à un consensus sur la définition d'une PCK et sur un modèle (figure 6, ci-dessous). Il s'agit d'un travail répondant à la diversité des modélisations proposées jusqu'alors qui était telle qu'il est apparu nécessaire en 2012 de réfléchir à l'unification des modélisations proposées et de baliser en conséquence les nouvelles recherches à mener (Venturini, 2016). Ce modèle fait résolument le lien entre les connaissances professionnelles du professeur et les pratiques. D'ailleurs, l'intitulé est assez évocateur : « Modèle des connaissances professionnelles et des compétences des enseignants incluant les PCK et influençant une pratique de classe et les résultats (apprentissages) des élèves³³ ».

Dans ce modèle, une base de connaissances professionnelles du professeur (Teacher Professional Knowledge Bases, TPKB) est renseignée à partir de la recherche et des bonnes pratiques. Les auteurs spécifient que cette base n'est pas exhaustive. Elle est influencée et elle influence une nouvelle catégorie de connaissances professionnelles, celles liées à l'enseignement d'un sujet particulier (Topic Specific Professional Knowledge, TSPK). Cette nouvelle catégorie dépend d'un niveau donné.

³³ Model of teacher professional knowledge and skill including

Ces connaissances mélangent les connaissances disciplinaires, pédagogiques et sur le contexte socio-culturel. Cette catégorie me permet d'exprimer mes résultats où j'ai montré qu'une connaissance professionnelle dépendait d'un niveau d'enseignement à travers, par exemple, l'enseignement de l'électricité au cycle 3 [RICL 5]. La catégorie des filtres et amplificateurs me permet d'exprimer certains de mes résultats.

C'est, par exemple, la double consigne donnée par les enseignants de l'école primaire, les prérequis, la croyance du professeur de physique-chimie que pour bien entrer dans une situation elle doit être déjà connue. Ces filtres permettent de traduire les connaissances professionnelles spécifiques (TSPK) en pratique de classe. Selon Chesnais et *al.* (2017, p. 122), « les pratiques d'un enseignant sont vues comme l'interaction entre le contexte de la classe et les PCK « personnelles » de l'enseignant, celles-ci possédant à la fois une composante connaissance et une composante d'action (« knowledge, enacment ») ». Ensuite, ces connaissances passent à travers les filtres et les amplificateurs des étudiants, en tenant compte de leurs croyances, de leurs connaissances préalables et de leur comportement, pour être ensuite évaluées à travers les résultats des élèves (student outcomes).

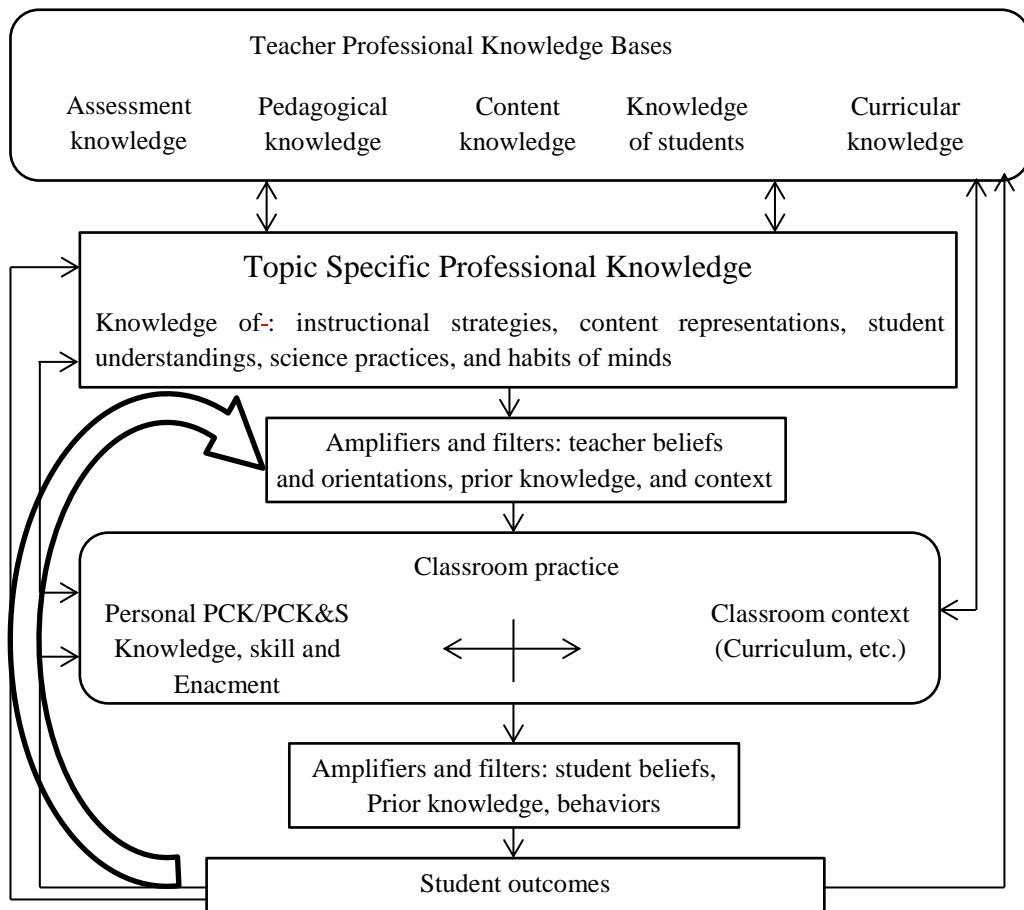


Figure 6 : Modèle issu du "PCK summit 2012", d'après Gess-Newsome, 2015

Comme je l'ai montré dans le paragraphe précédent, ce modèle répond à certaines de mes interrogations. Il me semble que dans les TPKB, nous pourrions ajouter des connaissances sur le numérique pour l'enseignement car les professeurs ont de plus en plus recours à ce type de connaissances pour intégrer une ressource à un document de classe ou s'adapter à un élève en situation de handicap [RICL 4]. Par ailleurs, l'idée d'une base de connaissances professionnelles qui sont des connaissances générales issues des bonnes pratiques et de la recherche pourrait rejoindre celle d'un corpus de savoirs de référence pour les enseignants dont il n'existe pas aujourd'hui de consensus (Ibid.). Il me semble que ce modèle proposé peut être très vite relativement complexe car les doubles flèches laissent à penser que de multiples interactions existent. Pour autant, la nature de ces interactions n'est pas clarifiée (Ibid.). Un autre point me questionne. C'est ce mélange entre des PCK et des compétences (PCK et PCK&S) afin de distinguer selon les auteurs la réflexion respectivement sur l'action et dans l'action. Les PCK sont les connaissances personnelles avant l'enseignement d'une notion alors que les PCK&S est un acte d'enseignement d'un sujet particulier d'une manière particulière dans un but particulier à des étudiants particuliers pour améliorer les résultats des étudiants. Pour moi, la nature de ces éléments est différente et nous pouvons nous interroger sur l'apport des skills (compétences) dans ce modèle de connaissances même si on considère que la plus grande partie de nos connaissances se situent dans nos compétences. La compétence c'est ce que Vergnaud appelle la forme opératoire de la connaissance celle qui permet d'agir en situation. On voit bien le couplage connaissance et situation nécessaire à l'expression des compétences. Ce modèle ne fait pas référence aux situations. Il fait seulement référence à l'action (enactment) ce qui pourrait nous faire penser à l'idée de connaissances-en-acte développée par Vergnaud (1996) qui sont dans les invariants opératoires du schème de l'enseignant.

Je vais maintenant présenter comment j'utilise mes résultats de recherche pour la formation en didactique de la physique des Master MEEF premier et second degré et Master recherche en Didactique. Ainsi, j'aborde la formation par la recherche. Selon Le Bas (2005) : « La professionnalité de plus en plus affirmée de la fonction enseignante, renvoie au développement d'une aptitude à identifier les causes des difficultés et échecs scolaires, à mettre en œuvre des solutions de sortie de crise, à prendre en compte les différences, tout en luttant contre les inégalités. Elle peut être comprise comme le passage d'un métier défini par des tâches d'exécution à une profession reposant sur la responsabilité entière des acteurs dans la conception, la mise en œuvre et l'évaluation de leur pratique » (p. 54). Il me semble que la recherche apporte par ses théories, ses méthodologies et ses outils d'analyses de données, les

savoirs nécessaires à cette prise de recul. Pour autant, ce « Model of teacher professional knowledge and skill including » demande à être mis au travail dans de nouvelles recherches en France en complément de ce qui est fait dans le monde Anglo-Saxon (Gess-Newsome et *al.*, 2019 ; Kind, 2019 ; Sorge et *al.*, 2019 ; Liepertz & Borowski, 2019 ; Kind & Chan, 2019).

La formation par la recherche en didactique de la physique

Dans le document³⁴ présentant l'offre de formation pour l'année universitaire 2020-2021 proposée par l'Inspé de Bretagne, la formation à et par la recherche est intégrée à hauteur de « au moins 15% du volume horaire global ». La place de la recherche au sein de l'Inspé de Bretagne est réaffirmée à travers :

- la valorisation dans les cursus universitaires des résultats des recherches ;
- une offre de formation continue adossée à la recherche et répondant aux attentes exprimées par le « terrain » ;
- le développement de recherches collaboratives pluridisciplinaires en lien avec les écoles et les établissements scolaires ; des expérimentations innovantes de recherche-action ou de living-labs, notamment autour de la place du numérique dans l'éducation.

Dans l'offre de formation actuelle en Master MEEF³⁵ 1^{er} et 2nd degré, une Unité d'Enseignement (UE) « Recherche » est présente dans la maquette. Outre le dispositif du mémoire en master 2 ou des Travaux Encadrés de Recherche (TER) en Master 1, les enseignements disciplinaires sont aussi l'occasion de former les futurs enseignants par la recherche. Comme l'indique le document présentant l'offre de formation, il s'agit de « valoriser dans les cursus universitaires des résultats des recherches ». Le terme « valoriser » est polysémique. Selon le rapport du sénateur Adnot (2006), il faut comprendre le terme « valoriser » comme le moyen de « rendre utilisables ou commercialisables les résultats, les connaissances et les compétences de la recherche ». Il s'agit, selon moi, d'initier à la recherche pour développer des compétences à enseigner et à permettre des apprentissages en classe. La didactique est une des sciences qui s'occupe des questions d'enseignement et d'apprentissage d'un savoir. Elle apporte à la formation notamment des connaissances théoriques et des outils méthodologiques pouvant aider les professionnels à analyser leur pratique de classe, et à s'appuyer sur des résultats de la recherche pour évoluer dans leur enseignement.

³⁴ Titre du document : « Présentation de l'offre de formation de l'institut national supérieur du professorat et de l'éducation (INSPE) à la rentrée 2020 en Bretagne »

³⁵ Métiers de l'Enseignement, de l'Education et de la Formation

C'est la réforme de la maîtrise de la formation des enseignants, mise en place à la rentrée 2010, qui a conduit un rapprochement de la formation avec la recherche et qui s'est traduit notamment par l'introduction d'unité(s) d'enseignement (UE) dans les différentes maquettes de Master proposées par les universités. Il s'agit bien d'initiation à la recherche, qu'elle soit disciplinaire ou en sciences de l'éducation. En Bretagne, dans le second degré, une offre disciplinaire et didactique est effective par exemple dans le parcours physique-chimie. Par contre dans le premier degré, ce n'est qu'une offre de recherche en sciences de l'éducation qui est proposée, en didactique, en psychologie ou en sociologie. Il s'agit au final de favoriser l'évolution des pratiques des enseignants à travers une acculturation à la recherche pour acquérir des connaissances de base, une rigueur scientifique qui va de pair avec l'éthique professionnelle requise dans l'exercice du métier d'enseignant (Perrenoud, 1994, 2010), qui, pour Crinon (2012), permet de contrecarrer la dogmatisation des savoirs. Il s'agit également de développer le modèle du praticien réflexif (Schön, 1993) à travers des ateliers d'analyse de pratique qui permettent de développer une démarche réflexive pour améliorer les apprentissages des élèves. En tout état de cause, cette initiation à la recherche doit être porteuse de développement professionnel (Paquay, 2005, 2008). Il est bien question de former des enseignants professionnels.

Mes interventions en master MEEF 1er et 2nd degré visent à aider les étudiants et les stagiaires à mieux comprendre ce qui se joue dans la classe en termes d'enseignements et d'apprentissages de notions/concepts en physique à travers des méthodologies et des résultats de la recherche. Ces apports sont nécessaires, selon moi, pour savoir quoi regarder, où regarder et comment regarder ? En bref, il me paraît nécessaire d'éduquer le regard du futur enseignant pour gagner en expertise. Bien entendu, il n'est pas question d'assimiler les futurs enseignants à des chercheurs. Selon Rayou et Ria (2009), la formation à et par la recherche est utile pour les praticiens et répond à leurs attentes, pour peu que les chercheurs s'inscrivent « dans une alternance entre les concepts qui catégorisent l'action et les situations qu'ils ont pour but d'élucider » (p. 89). Nous avons là l'idée d'une formation très ancrée dans la pratique, s'opposant à une formation théorique, où le changement de posture entre celle du praticien et celle du praticien réflexif est nécessaire.

Mes travaux de recherche sur le thème des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants en classe et hors classe sont propices au travail sur la professionnalisation des enseignants qui se constitue, selon Altet (2002), « par un processus de rationalisation des savoirs mis en œuvre mais aussi par les pratiques efficaces en situation » (p. 30). Un enseignant professionnel est un praticien qui fait preuve d'une expertise dans l'organisation et la gestion de situations d'apprentissage (Trousson, 1992). Il est capable d'analyser ses pratiques et de s'auto-former tout au

long de sa vie professionnelle (Paquay, Altet, Carlier, Perrenoud, 1998). J'utilise ces résultats de la recherche pour construire des formations en Master MEEF. Par exemple, je place les futurs enseignants devant l'observation d'enseignants titulaires en activité réelle de travail. Ce dispositif nécessite des vidéos de classe avec une technique de filmage qui permet de voir l'enseignant et les élèves au travail, et des vidéos des entretiens de type autoconfrontation avec les enseignants titulaires. Des transcriptions sont distribuées aux futurs enseignants afin de les aider, d'une part, à suivre en temps réel les interactions professeur/élèves et, d'autre part, de permettre un temps d'analyse scientifique relativement à la question qui est posée en formation. Voici quelques exemples de thèmes que j'aborde en formation :

- situations, tâches et activités. Cadre théorique : ergonomie cognitive et didactique professionnelle.
- La modélisation en mécanique au collège. Cadre théorique : Schéma sur la modélisation (Martinand, 1996).
- Enseigner un modèle : cas du circuit électrique en cycle 3.
- Enseigner un modèle précurseur : cas de la lumière au cycle 3. Cadre théorique : Le modèle précurseur, Lemeignan et Weil-Barais (1993).
- La méthodologie de la recherche qualitative.

Pour chacun de ces thèmes, les étudiants et moi analysons l'activité du professeur en identifiant son but et ses connaissances professionnelles en lien avec la situation observée, et les conséquences des prises de décisions sur les apprentissages des élèves à travers l'analyse de la tâche. Une analyse des savoirs en jeu est toujours faite afin de savoir précisément ce qui est en jeu dans l'interaction professeur/élèves. La mise au travail de cadre théorique sur l'analyse d'un corpus que j'ai choisi est un moment important, pas toujours facile pour les futurs enseignants, tant l'exercice est éloigné de ceux qu'ils ont l'habitude de faire. Mais cela leur permet de s'apercevoir qu'assurer des apprentissages aux élèves n'est pas si simple et qu'une analyse rigoureuse et scientifique des situations permet de comprendre ce qui est fait, de poser les bonnes questions pour arriver à un moment à savoir ce qu'il faudrait faire si besoin. C'est à mon sens un point essentiel de l'apport de la recherche à la formation. Et cela permet aux futurs enseignants d'acquérir des connaissances professionnelles didactiques qui sont porteuses de développement professionnel.

Cette acculturation à la recherche se retrouve aussi dans le dispositif mémoire en M2 MEEF ou TER en M1 MEEF avec une dimension de formation à la recherche plus importante. Il s'agit d'entrer dans l'exercice normé de la production d'un écrit scientifique et de comprendre le lien entre la problématique, le(s) cadre(s) théorique(s), les questions professionnelles de recherche et la méthodologie pour

énoncer des résultats qui apportent des éléments de réponses aux questions posées. Une fois ces liens faits entre les différentes parties du mémoire qui donnent du sens à l'exercice, il s'agit de s'appuyer sur les lectures d'articles de référence pour problématiser le sujet choisi par les étudiants. C'est un exercice difficile qui doit leur permettre de différencier les questions naïves, des questions de recherche, du problème scientifique qui se pose dans ce travail. L'autre difficulté est la partie discussion. Un accompagnement fort est mis en place pour aider les étudiants à changer de posture pour analyser les données recueillies afin d'identifier des résultats qui doivent faire échos aux lectures d'articles. Selon moi, c'est à ce moment que les formations d'analyse de pratiques et le dispositif mémoire se rejoignent pour outiller les futurs enseignants à analyser leur pratique et à acquérir de l'expérience. Il n'est pas aisé de discuter des résultats d'une « recherche » pour des Master MEEF dont le but est d'enseigner. Il est néanmoins important de comprendre que la recherche en sciences de l'éducation ne produit pas souvent de résultats qui font consensus dans la communauté scientifique. Les résultats d'une recherche se discutent toujours au regard des autres travaux dans le champ. Cela permet d'ouvrir son champ de travail.

Nous voyons bien la complémentarité des dispositifs mémoires et des analyses didactiques pour la formation des enseignants afin, d'une part, qu'ils s'outillent pour analyser leur pratique et, d'autre part, qu'ils gagnent en expérience.

Perspectives

Je vais maintenant présenter mes perspectives de recherche pour les années à venir. Tout d'abord, j'expose mon projet d'organiser un séminaire de doctorants autour des thèmes que j'ai développé dans cette note. Puis, je présente la poursuite du travail dans le LéA PhAnCh (cf. §079, p. 79) sur l'enseignement de la physique-chimie en anglais et notamment sur l'acquisition d'expérience des professeurs. Enfin, je montre comment ce travail dans le LéA peut se décliner en un projet ANR pour 2022.

Poursuite de mes travaux de recherche

Je co-dirige trois thèses avec le professeur JM Boilevin depuis 2013 (cf. p. 10), dont une a été soutenue en 2019.

Saïda Saddouki a été inscrite en thèse d'Octobre 2013 à septembre 2019 et elle l'a soutenue avec succès en décembre 2019. Le titre de sa thèse est : Enjeux dans l'appropriation de la démarche d'investigation par des enseignants : Cas de l'enseignement de la résonance électrique en terminale scientifique. Saïda Saddouki analyse les connaissances professionnelles mobilisées par deux professeurs de lycée dans leur enseignement de physique par démarche d'investigation (DI) dans le

contexte Tunisien. Elle les a formées au préalable à la DI car celle-ci n'était pas en vigueur dans l'enseignement Tunisien. Saïda Saddouki se focalise sur quelques moments clefs de la DI : la situation-problème, l'émission d'hypothèses et l'investigation expérimentale. Elle donne à voir une organisation de l'activité des deux enseignants en mettant au travail le schème selon Vergnaud (1996). Elle montre que les deux professeurs mobilisent des SMK et des PCK, ces dernières leur permettant d'assurer que la préparation est adaptée à la classe. Concernant la situation-problème, Saïda trouve chez les deux enseignants des « connaissances communes » dans les invariants opératoires et les inférences constituant les schèmes, de type SMK et des PCK/stratégies. Il en est de même dans le cas de la phase des hypothèses avec des PCK/programmes en plus. Dans la partie de l'investigation expérimentale, elle observe des « connaissances communes » entre les invariants opératoires et les inférences de types des PCK/stratégie et des PCK/programme. Elle s'étonne d'une absence de connaissances de type PCK/élèves. Ses travaux sur les boucles de régulation rétroactive de l'activité (Leplat, 2006 ; Pastré, 1999) montrent qu'il y a une capitalisation de connaissances dans les invariants opératoires. Par contre elle présente aussi une capitalisation de connaissances dans les inférences du schème des enseignants. Saïda voit apparaître des SMK, en plus de PCK, comme nouvelles connaissances construites lors d'un événement inattendu, qui influencent l'organisation de l'activité des enseignants. Elle a étudié également l'aspect chronophage de l'enseignement par DI. L'origine serait liée à une démarche inconnue des élèves qui rajoutent des difficultés et donc qui nécessitent des interventions plus fréquentes du professeur. Le choix de la situation problème a également un impact sur le déroulement de la démarche d'investigation. Par ailleurs, Saïda Saddouki montre que la mise en œuvre de la DI est difficile car les enseignants manquent de connaissances de type PCK, notamment sur les difficultés des élèves et sur les stratégies. De fait, les théorèmes-en-acte qui sont construits ne sont pas toujours vrais, ce qui peut être aussi à l'origine d'une perte de temps dans le déroulement de la séance. Elle remarque que les enseignants cherchent à exécuter les étapes de la DI d'une manière linéaire. Elle observe des moments de ruptures du déroulement de la DI avec parfois un retour à une méthode d'enseignement ordinaire en vigueur en Tunisie.

Lobna M'barik doit soutenir sa thèse au mois de mars 2021. Elle est inscrite depuis le mois d'Octobre 2016. Le titre provisoire de sa thèse est : Régulations et évolution de l'organisation de l'activité de deux enseignantes en lien avec leurs activités réflexives au cours de l'enseignement d'une même leçon avec trois groupes différents : cas de l'enseignement des sciences physiques au primaire et au collège. Son travail porte sur l'activité réflexive des enseignants pendant la préparation et lors de la mise en œuvre de leur enseignement. L'étude se déroule dans le contexte de l'enseignement de l'éveil

scientifique en classe de sixième année primaire (élèves âgés de 12 ans) et des sciences physiques au collège (élèves âgés de 13 ans) dans le système éducatif tunisien. Lobna M'Barik y étudie les régulations, les schèmes et les évolutions. Son approche théorique articule la didactique des sciences et la didactique professionnelle. Elle a élaboré une méthodologie spécifique afin de saisir les écarts entre la préparation des enseignements et leur mise en œuvre. A partir de cet écart, elle définit des incidents critiques qui sont la base du corpus qu'elle analyse. Le travail de Lobna porte également sur les connaissances professionnelles mobilisées par deux enseignants de sciences physiques lors d'une activité de réflexion sur une action menée en situation de classe. Elle identifie les connaissances professionnelles mobilisées au cœur des invariants opératoires des schèmes d'action aux cours des différents processus réflexifs utilisés par les enseignants afin de commenter et d'analyser leur activité. Elle montre que les enseignants acquièrent de nouvelles connaissances au cours des régulations rétroactives de l'activité qui se retrouvent dans les invariants opératoires et dans les inférences du schème. Elle ajoute que la « réflexion dans l'action » produit des inférences qui permettent l'adaptation des enseignants au contexte et peuvent donner lieu à de nouvelles règles d'action et à des principes flexibles. Lobna M'Barik retrouvent les connaissances de notre cadre d'analyse dans les invariants opératoires et dans les inférences du schème des enseignants, des SMK, PK, et PCK. Elle montre que l'acquisition de nouvelles PCK est à l'origine de régulations proactives.

Muriel Blat a débuté sa thèse en septembre 2019 et elle prévoit de soutenir en décembre 2022. Le titre provisoire de sa thèse est : Identification et analyse des intentions portant une suite d'actions lors de phases de régulations de l'activité enseignante dans et hors de la classe. Cas de l'enseignement des sciences au premier degré. Son approche théorique allie la didactique des sciences et la didactique professionnelle pour analyser la manière dont un enseignant du primaire français anticipe l'activité, organise, contrôle et régule son action dans une situation d'enseignement-apprentissage en science et technologie. Elle montre que la fiche de préparation donne à voir une organisation prévue de l'activité, mais davantage en termes de buts à atteindre qu'en termes d'actions concrètes. Ce constat l'amène à une réflexion sur sa méthodologie de recherche pour lever les implicites qui porte les actions des enseignants en situation. Elle constate également que les décisions prises par les enseignants pour adapter leur préparation à la situation de classe ne relèvent pas toujours d'un mécanisme de régulation et transforment parfois leur plan d'actions de manière involontaire voire même insatisfaisante de son point de vue par un glissement de but. Celui-ci semble s'accompagner d'un affaiblissement de l'enjeu didactique initial. Dans son analyse des régulations, Muriel observe que toutes n'ont pas la même portée didactique. Certaines concernent « le pilotage de la classe » qui semble

essentiel pour maintenir la relation didactique et qui permet au groupe de fonctionner. Muriel utilise le modèle de la dynamique tripartite des intentions, proposé par Pacherie (2003), afin de distinguer les intentions tournées vers le futur et les intentions tournées vers le présent et de caractériser plus particulièrement leur évolution. Cet aspect de sa recherche lui permet de redéfinir la composante intentionnalité du schème en référence aux intentions des enseignants.

Nous voyons que ces trois thèses que je co-encadre (ou ai co-encadré) mettent au travail des cadres théoriques et une méthodologie assez proche de celle que je convoque dans mes travaux de recherche. Ces trois thèses étudient les connaissances professionnelles mobilisées par des enseignants de physique-chimie, le concept de schème pour donner à voir une organisation de l'activité du professeur ainsi que les boucles de régulations rétroactives de l'activité à la suite d'un imprévu afin de regarder une acquisition d'expérience se former du point de vue des nouvelles connaissances acquises par les enseignants. Les résultats de ces travaux, parfois en cours de traitement, montrent déjà plusieurs choses. On retrouve bien les connaissances professionnelles des enseignants dans les invariants opératoires du schème. Elles sont de type PCK, PK, SMK et KofC. La trace de ces connaissances dans les inférences demande à être encore travaillée car la partie épistémique du schème est portée par les invariants opératoires et elle permet le prélèvement et la sélection de l'information pertinente et nécessaire pour l'action. Parmi les éléments du schème qu'il s'agit de travailler figurent les intentions. Muriel Blat utilise le cadre de Pacherie (2003) pour définir les intentions en s'assurant de sa compatibilité avec celui des schèmes. Au cours des régulations rétroactives, à la suite d'un évènement inattendu, il semblerait que d'autres types de connaissances que des PCK soient en jeu. Certaines de ces recherches montrent l'acquisition de SMK mais cela reste à confirmer. Un travail sur une typologie des invariants opératoires a été amorcé par Saïda Saddouki mais il doit être poursuivi. Enfin, Muriel Blat s'interroge sur la méthodologie qui serait la plus adaptée à ce type de recherche. Donner à voir une organisation de l'activité des enseignants et placer les connaissances professionnelles demande au chercheur d'aller traquer les anticipations, qui ne sont pas toujours conscientisées par le professeur.

Nous voyons bien tout l'intérêt qu'il y aurait à organiser des séminaires de doctorants et jeunes chercheurs sur ces objets de recherche. La future équipe que je souhaiterais coordonner poursuivrait cette mise au travail du schème et du modèle d'acquisition d'expérience. Il s'agirait, par exemple, de travailler les règles de prise d'informations et de contrôle qui rejoignent la prise d'indices dans l'action. N'est-ce pas un schème en lui-même ? De plus, la question de l'articulation des schèmes entre eux est toujours d'actualité. Un schème se décline en sous-schémes ou un but en sous-

buts selon Vergnaud (1996). Quelles sont les caractéristiques qui permettent telle ou telle modélisation ? A quelle échelle, celle des situations ? De même, un travail reste à accomplir à propos des classes de situations auxquelles s'adresse le schème. Ce sont des événements porteurs d'une même structure conceptuelle comme par exemple la relation d'aide au travail (Vinatier, 2013). Il faut revenir au concept de situation, selon Vergnaud, qui s'apparente à celui de tâche « l'idée étant que toute situation complexe peut être analysée comme une combinaison de tâches » (Vergnaud, 1990, p. 153). Il distingue deux grandes classes de situations (Vergnaud, 1990, p. 136) :

- des classes de situations pour lesquelles le sujet dispose dans son répertoire, à un moment donné de son développement et sous certaines circonstances, des compétences nécessaires au traitement relativement immédiat de la situation ;
- des classes de situations pour lesquelles le sujet ne dispose pas de toutes les compétences nécessaires, ce qui l'oblige à un temps de réflexion et d'exploration, à des hésitations, à des tentatives avortées, et le conduit éventuellement à la réussite, éventuellement à l'échec.

Deux autres points pourraient donner lieu à des recherches complémentaires : retravailler le modèle des connaissances professionnelles, aux différentes échelles, notamment les PCK relativement aux questions que je pose dans le paragraphe 0 (p. 42) ; les régulations rétroactives et proactives, autrement dit de quelles constructions les régulations proactives sont-elles issues ? Sont-elles liées à des régulations rétroactives ?

L'enseignement de la physique en anglais – Le LéA PhAnCh

Au cours de mes recherches dans le cadre de l'ANR sur les Ressources Vivantes pour l'Enseignement et l'Apprentissage (ReVEA), j'ai eu l'occasion de comprendre et de modéliser la gestion des ressources par une enseignante [RICL 3] lors d'un enseignement de physique-chimie. Par ailleurs, j'ai profité que cette dernière enseigne en section Européenne, la physique-chimie en anglais, pour aller l'observer. Avec ma collègue didacticienne de l'anglais, nous nous sommes aperçus de l'importance qu'il y avait à étudier ce type d'enseignement, une des spécificités étant que les élèves doivent acquérir des connaissances scientifiques et langagiers. Comment l'enseignement de la physique-chimie en anglais peut-il permettre aux élèves des apprentissages dans les deux domaines de savoir ? Nous avons observé que ce type d'enseignement modifiait l'approche habituelle de l'enseignante lors de son enseignement de physique-chimie dans le tronc commun. Nous nous sommes donc intéressés aux recherches sur l'enseignement DNL³⁶, appelé CLIL (Content and

³⁶ Discipline Non Linguistique

Language Integrated Learning). Elles sont nombreuses (entre autres, Gajo, 2007 ; Tardieu & Dolitsky, 2012 ; Mehisto, 2008 ; Roussel et *al.*, 2017 ; Maître, 2017), mais ne portent que très rarement sur des analyses didactiques. Dans nos publications récentes, nous nous situons dans ce type d'analyse [RICL 2] ; [ACTI 1, 2, 3] ; [RNCL 2].

Nos travaux montrent que les savoirs scientifiques et linguistiques avancent ensemble mais dans un mouvement asynchrone. L'enseignant ne peut pas concentrer l'attention des élèves sur les deux types de savoirs avec la même densité épistémique. Ainsi, si un type particulier de savoir est abordé, l'autre reste en arrière-plan, mais n'est pas éludé pour autant. La langue et le contenu progressent en parallèle mais rencontrent rarement un point d'intersection. Selon Collins (2011), comprendre une pratique de la langue aide à comprendre une pratique scientifique. Mais la plupart des résultats de recherche montrent que l'enseignement d'un savoir « disciplinaire », associé à l'enseignement d'un savoir linguistique, est un dispositif qui manquerait d'efficacité, car il porte simultanément sur deux types de savoirs (Roussel, Joulia, Tricot & Sweller, 2017). Pour Mehisto (2008), une difficulté ressentie par de nombreux professeurs est de se focaliser à la fois sur la langue et sur le contenu de la discipline enseignée. En outre, ce type d'enseignement provoquerait une surcharge cognitive (Sweller et *al.*, 2011), nécessitant une aide à la compréhension en langue (Roussel et *al.*, 2017), sous forme d'étayage par exemple. Cette nécessité d'articulation entre ces différents types de savoirs est décrite dans les recherches menées par Maître (2017). Il constate que la mise en arrière-plan des savoirs disciplinaires par rapport aux savoirs langagiers est récurrente.

Par ailleurs, nous avons observé que les enseignants de physique-chimie ont pour habitude de faire pratiquer l'anglais oral aux élèves, ce qui oriente la sélection et l'utilisation des ressources. Les professeurs semblent adopter ce que l'on pourrait appeler, en référence au Cadre européen commun de référence pour les langues (Conseil de l'Europe, 2001), une approche "orientée vers l'action". Ils choisissent et organisent des ressources qui sont principalement orientées vers la pratique de l'anglais, afin de faire agir les élèves avec la langue étrangère. Ils mobilisent alors des connaissances professionnelles spécifiques tels que des PCK sur l'enseignement de la physique ou de la chimie et de l'anglais, et des connaissances techno-pédagogiques qui sont en lien avec l'utilisation du numérique (TPK) [RICL 2, 3]. Ces premiers résultats demandent à être confirmés dans de nouvelles études. Ils rejoignent mes questions exposées au paragraphe 2.4 (p. 42) sur l'articulation de PCK de disciplines différentes dans notre modèle de référence. Nous savons également que les enseignants de physique-chimie ne sont pas enseignants de langue et n'ont pas de formation spécifique, ce qui est dommageable (Duverger, 2007). Quels types de PCK sur

l'anglais mobilisent-ils ? Sont-ce vraiment des PCK ou des PK ? Comment ces connaissances évoluent-elles et quelles sont les conséquences sur les apprentissages des élèves ?

Le fait de centrer les apprentissages sur la pratique de l'oral contraint les enseignants à choisir des ressources qui engendrent d'autres difficultés chez les élèves. Par exemple, montrer l'expérience de Rutherford [RICL 2] commentée par un chercheur anglo-saxon entraîne des difficultés au niveau de la compréhension orale de l'anglais (accent, structures grammaticales, expressions idiomatiques, vocabulaire scientifique, etc.) mais aussi des difficultés scientifiques pour comprendre une expérience que les élèves ne connaissent pas bien. Se pose ici, selon moi, des questions épistémologiques sur l'enseignement de la physique ou de la chimie. Quel est le contexte de l'expérience ? Pourquoi Rutherford et son équipe l'ont-ils mené ? En quoi est-ce important pour les élèves de connaître ce contexte de l'étude et du problème scientifique sous-jacent pour comprendre ce qui est raconté par le chercheur ? Une autre question se pose en termes de contenu abordé : la radioactivité. Les élèves de seconde ne l'ont pas encore étudié puisque ce phénomène sera abordé en terminale dans le programme actuellement en vigueur. Cela pose les questions de la compréhension de ce phénomène et de l'utilisation de matériels expérimentaux spécifiques. Les mots employés par le chercheur-présentateur ont alors toute leur importance. Par ailleurs, il semblerait que cette expérience ne soit que partiellement abordée dans le tronc commun. Nous en déduisons que l'enseignement DNL change la manière dont les enseignants pensent leur enseignement de physique-chimie.

En partant de ces premières études, nous avons décidé de proposer un LéA³⁷ sur ce thème de l'enseignement de la physique-chimie en anglais. Ce choix est motivé par la poursuite de mes travaux de recherche sur le thème du « donner à voir comment les professeurs comprennent leur activité d'enseignement » et celui des spécificités d'un enseignement CLIL, ce type d'enseignement étant de plus en plus proposé dès le collège. Le dispositif LéA est soutenu depuis son lancement par le ministère de l'Éducation nationale (MEN) par l'intermédiaire de la Direction générale de l'enseignement scolaire (DGESCO) et de son Département Recherche-Développement, Innovation et Expérimentation (DRDIE), ainsi que par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA) depuis 2016. La recherche menée dans les LéA s'appuie sur des équipes pluridisciplinaires. Cette pluridisciplinarité peut concerner les disciplines d'apprentissage, mais aussi les disciplines d'appartenance des chercheurs associés au projet : sciences de l'éducation, sociologie de l'éducation,

³⁷ Lieu d'Éducation Associé. Il a débuté en septembre 2019 et devrait se poursuivre jusqu'en septembre 2022.

sciences cognitives, didactique, philosophie de l'éducation, etc. Les Lieux d'éducation associés à l'IFÉ (LéA) articulent quatre entités : des lieux d'éducation porteurs d'un questionnement, des unités de recherche, des structures de formation, et les institutions dont ils dépendent. Ils visent des recherches orientées vers le développement de ressources, pris dans un sens large, comme par exemple l'élaboration d'ingénieries didactiques. Les LéA associent pour trois ans chercheurs et acteurs de terrain. Le travail collectif est un élément fondamental de ces projets. Les problématiques de recherche se construisent à partir de questionnements issus des lieux d'éducation.

Je suis responsable depuis année du LéA PhAnCh (Physique Anglais Chimie) dont l'unité de recherche porteuse est le Centre de Recherches sur l'Education, les Apprentissages et la Didactique (CREAD, EA 3875) et l'unité de recherche partenaire est le Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Éducation et Formation (LIRDEF, EA 3749). Nous travaillons avec quatre lycées d'Ille et Vilaine avec lesquels nous avons signé une convention de partenariat. L'équipe du LéA est composé de cinq enseignants-chercheurs, un post-doctorant, deux doctorants, deux IA-IPR (sciences physiques et anglais) et six collègues dont une formatrice INSPE.

Tardieu & Dolitsky (2012) ont montré qu'un des défis de ces dispositifs était de former les professeurs de langue et les professeurs des contenus « disciplinaires » à travailler ensemble, pour donner davantage de cohérence à ce type d'enseignement. Pour cela, nous avons mis en place une ingénierie coopérative (Joffredo-Lebrun, 2017) pour construire et analyser collectivement des séquences d'enseignement de physique-chimie en anglais. Au cours de cette ingénierie, nous construisons et analysons collectivement des séquences d'enseignement, menées en co-intervention par les professeurs d'anglais et de physique-chimie. Les objectifs de recherche sont de trois ordres :

1) Permettre aux élèves des apprentissages dans les deux domaines de savoir, en physique-chimie et en anglais ;

2) Décrire et analyser une acquisition d'expérience des professeurs de disciplines différentes lorsqu'ils co-conçoivent des séquences, ainsi que de l'ensemble des acteurs associés à la conception. Il s'agit d'identifier les types de connaissances en jeu et de regarder comment elles évoluent pour chacun des participants ;

3) Mettre en place des ingénieries coopératives en tant que modalité de travail coopératif entre enseignants et chercheurs. Deux chercheuses du projet, spécialistes des ingénieries coopératives, travaillent spécifiquement à une dimension "méta" du fonctionnement du LéA, en s'appuyant notamment sur des entretiens avec les participants, et sur des enregistrements des échanges en réunion.

Nous avons débuté les réunions (environ toutes les 6 semaines) au mois de septembre 2019 et nous les avons poursuivies jusqu'au mois de février 2020. Le thème du rayonnement électromagnétique a été choisi par les enseignants pour cette première période de travail, en classe de terminale. La dernière réunion, avant confinement, au mois de février 2020, a donné lieu à une analyse des savoirs en jeu par le collectif, de la première séance de cours mise en œuvre par un collègue de physique-chimie. Nous avons également eu le temps de filmer les premières séances de la séquence menées en sciences-physiques et en anglais. Les données est en cours de traitement. Il arrive que certains participants se trouvent à distance pour ces temps de travail. Un espace partagé institutionnel a été créé, sur lequel les participants déposent les comptes-rendus des réunions, les données traitées (transcriptions d'entretiens, de séances...), les ressources pour les classes, les documents destinés à l'IFé... D'autres espaces collaboratifs sont régulièrement utilisés, lors des réunions (pour des prises de notes collectives, sur framapad par exemple), ou entre les réunions, par exemple pour analyser collectivement des vidéos de classe (vialogues). La suite du travail envisagé est la suivante : l'analyse de la séquence mise en place par le binôme de professeurs de physique-chimie et d'anglais sera analysée par le collectif et donnera lieu à une seconde version mise en œuvre par un autre binôme. Cette version sera à son tour analysée par le collectif. Toutes ces analyses donneront lieu à des publications et des communications dans des colloques, comme cela a déjà été le cas en 2020. Il s'agira également de participer à la construction de la formation pour les professeurs en poste, ou les professeurs stagiaires, pour passer l'habilitation DNL. Cette formation sera à la fois interne à l'INSPE de Bretagne, et en partenariat avec l'académie de Rennes.

Ce travail sur l'enseignement CLIL au sein du LéA PhAnCh est une étape vers un projet plus important, de type ANR, que nous³⁸ pensons déposer à l'horizon 2022. Son titre provisoire est : Langues et Éducation à la Citoyenneté. Ce projet mettrait en synergie des chercheurs français, autrichiens et allemands en linguistique, en didactique des langues et des sciences et en sciences de l'éducation et de la formation. Les laboratoires français partenaires seraient le LIRDEF, le CREN et ADEF. Nous étudierions les liens entre l'éducation à la citoyenneté, en Allemagne et en France, et l'enseignement des langues. Je souhaiterais en particulier coordonner une équipe autour de l'enseignement d'autres disciplines que la physique-chimie en anglais et en allemand. Il s'agirait d'étudier des interactions entre les différents types de savoirs, l'évolution de ces savoirs du côté des élèves et des professeurs et d'analyser l'acquisition de l'expérience des professeurs. Le projet produirait des résultats

³⁸ Avec ma collègue Carole le Hénaff, Mcf en didactique des langues et des cultures à l'INSPE de Bretagne et Anke Wegner, PU en didactique des langues et des cultures, à l'université de Trèves (Allemagne),

concernant l'enseignement des langues, nationales et étrangères, l'enseignement CLIL et l'enseignement immersif (Diwan, Ikastola, écoles danoises en Allemagne).

Conclusion

Dans cette note de synthèse, j'ai présenté mon travail de recherche qui se décline en deux axes principaux : l'étude d'un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique basé sur une mise en relation d'éléments théoriques et méthodologiques en didactique de la physique et en didactique professionnelle ; l'enseignement de la physique en anglais dans le contexte DNL appelé CLIL (Content and Language Integrated Learning). Au-delà des différences entre les objets d'étude, nous pouvons percevoir que mes travaux sur le cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique nourrissent mes recherches sur l'enseignement de la physique en anglais. En effet, le cadre d'analyse tel qu'il est construit peut se mettre au travail indépendamment de la langue d'enseignement que ce soit du côté de la définition du schème ou du modèle des PCK. Il permet notamment d'étudier les types de connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants lors d'un enseignement CLIL et de regarder comment elles évoluent. En cela, ce cadre didactique d'analyse aide à décrire et à étudier une acquisition d'expérience des professeurs de disciplines différentes (sciences physiques et anglais) lorsqu'ils co-conçoivent des séquences, ainsi que de l'ensemble des acteurs associés à la conception (ingénierie coopérative). En outre, il permet de questionner l'enseignement de la physique en montrant les approches différentes mises en œuvre par des enseignants suivant qu'il s'agit d'un enseignement en français (tronc commun) ou en anglais (DNL). A partir d'un exemple, j'ai montré au paragraphe 0 (p. 53) des écarts très importants entre ces approches, qui posent des questions épistémologiques et didactiques sur l'enseignement de la physique.

J'ai construit un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique pour donner à voir comment les enseignants comprennent leur activité d'enseignement. Pour cela, je mets en relation des éléments théoriques et méthodologiques de la didactique de la physique et de la didactique professionnelle. J'ai montré au paragraphe 0 (p. 61) que l'activité est une unité d'analyse du travail des enseignants qui correspond à ma problématique de recherche, car l'activité est organisée et, par conséquent, reproductible, analysable et compréhensible. Cela me permet également d'étudier le travail hors classe car le réel de l'activité ne se limite pas à l'accomplissement de l'activité réalisée. Je me suis alors tout naturellement tourné vers le schème, selon Vergnaud (1996, 2001), pour décrire une organisation de l'activité d'enseignement/apprentissage du professeur. Nous savons que pour Vergnaud, Les éléments constitutifs du schème se déclinent en trois catégories : la

partie fonctionnelle, la partie générative et la partie épistémique. C'est dans cette dernière partie que je place les connaissances professionnelles des enseignants qu'ils mobilisent lors d'un enseignement de la physique. Ces connaissances, je les étudie avec le concept de PCK (Shulman, 1986, 1987) et le modèle de Magnusson et *al.* (1999). En outre, en analysant les boucles de régulation rétroactives de l'activité que les professeurs opèrent en classe et hors classe, je donne à voir l'impact de nouvelles connaissances professionnelles sur cette organisation et les conséquences sur les apprentissages des élèves. Cela me permet également de proposer un modèle d'une acquisition d'expérience des enseignants au cours d'un enseignement de physique. Pour montrer les effets sur les apprentissages des élèves en physique, je fais référence aux travaux de Martinand sur la modélisation (1986, 1996).

Dans cette note de synthèse, je soulève des questions théoriques sur le concept de schème tel qu'il est défini par Vergnaud et sur le modèle de Magnusson et *al.* au regard de mes résultats. Il me semble que certaines méritent d'être à nouveau relevées. Comment accéder à la partie non visible du travail de l'enseignant ? Une étude des intentions de l'enseignant ne permettrait-elle pas d'accéder aux raisons d'agir de la personne (Schubauer-Léoni et *al.*, 2007) et à ce qui précède l'action, dans le sens de ce qui la déclenche ? Comment s'organisent les schèmes entre-eux ? A quel grain d'analyse faut-il se placer pour marquer le caractère invariant du schème et pour le rendre plus lisible ? Certains travaux, depuis ceux de Magnusson et *al.*, apportent des éléments réponses aux questions que je pose dans mes études. Ceux de Friedrichsen, Van Driel et Abell (2010) permettent de préciser la composante « Orientations » significativement. Le modèle de Gess-Newsome (2015) met en relation des catégories de connaissances professionnelles en lien avec la pratique de classe. La catégorie des « Topic Specific Professional Knowledge » me permet d'exprimer mes résultats, à savoir qu'une connaissance professionnelle dépendrait d'un niveau d'enseignement. La catégorie des « Amplifiers and filters » me permet d'exprimer certains de mes résultats. Par exemple, la double consigne donnée par les enseignants de l'école primaire, une consigne sur le travail scientifique et une consigne sur la trace écrite pour chaque tâche qui est liée à une « culture du premier degré ». Dans cette catégorie, nous pouvons placer également la croyance du professeur de physique-chimie selon laquelle pour bien entrer dans une situation elle doit être déjà connue. Mais ce modèle s'avère très compliqué par ces nombreuses doubles flèches, tant du point de vue de la représentation que de la compréhension des relations envisagées entre les catégories. J'ai par ailleurs posé quelques questions dans le paragraphe 0 (p. 68) notamment à propos d'un mélange de connaissances et de compétences dans la catégorie « Classroom practice ». Pour autant, je suis convaincu que ce modèle demande à être mis au travail dans de nouvelles recherches en France.

Ce cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique nécessite une méthodologie qui lui est propre. J'ai développé au paragraphe 0 (p. 49) les entretiens en autoconfrontation qui permettent d'apporter des données concernant deux des trois principes sur lesquels repose ma méthodologie : une comparaison de ce qui est prévu et de ce qui est réalisé, la confrontation du professeur à son action. Ce type d'entretien, qu'il soit simple ou croisé, met un ou des enseignants avec un chercheur devant les traces vidéo du travail de l'enseignant ou des enseignants. J'ai montré tout l'intérêt qu'il y avait à mener ce type de méthodologie pour identifier des connaissances professionnelles des enseignants et leur évolution, pour renseigner les éléments constitutifs du schème et pour donner à voir une organisation de leur activité. Il s'agit de demander à chaque enseignant de décrire puis d'analyser ses actions, en verbalisant ce qu'il faisait, pensait ou prenait en compte pour agir, et en évitant les interprétations ou généralités. Puis, en autoconfrontation croisé, il est nécessaire de favoriser un dialogue professionnel entre deux experts confrontés à la même situation afin de permettre une percolation de l'expérience professionnelle (Clot, 2008) mise en discussion à propos de situations rigoureusement délimitées. Parmi les questions soulevées dans ce paragraphe, je reviendrais sur la nécessité d'anticiper le filmage des séances de classe et de se poser la question du type de caméra à employer, leurs placements (s'il y en a plusieurs, combien ?) ainsi que de la technique de la prise de son. Ses éléments sont essentiels pour engager l'autoconfrontation car il est nécessaire d'acquérir des éléments sur le comportement de l'enseignant par rapport aux situations. De même, lors des entretiens quelles techniques faut-il employer ? Et, comment faire évoluer cette méthodologie pour étudier le pilotage des schèmes entre eux ainsi que les classes de situations afin d'analyser plus précisément les structures conceptuelles de chacune ?

L'enseignement de la physique en anglais dans un contexte DNL, appelé CLIL, est un thème de recherche que nous travaillons au sein du LéA PhAnCh. Nous le traitons d'un point de vue didactique. Les premiers résultats montrent que les savoirs scientifiques et linguistiques avancent ensemble mais dans un mouvement asynchrone. L'enseignant ne peut pas concentrer l'attention des élèves sur les deux types de savoirs avec la même densité épistémique. Ainsi, si un type particulier de savoir est abordé, l'autre reste en arrière-plan, mais n'est pas éludé pour autant. L'approche est résolument tournée vers l'oral pour faire pratiquer la langue aux élèves. Cela a des conséquences sur le choix des ressources choisies par l'enseignant et sur les dispositifs et modalités de travail. Bloor (2020) montre à travers une étude en licence 1^{ère} année, que l'enseignement de la physique en anglais ne peut se faire qu'avec un seul enseignant : il est nécessaire que les professeurs de physique et d'anglais collaborent à la conception et à la mise en œuvre de cet enseignement CLIL. Nous rejoignons cette

préconisation, ce qui explique la mise en place d'une ingénierie coopérative au sein du LéA, pour construire et analyser collectivement des séquences d'enseignement de physique-chimie en anglais. Les questions principales qui se posent sont les suivantes : Quels sont les enjeux d'un travail coopératifs pour, d'une part, permettre aux élèves des apprentissages dans les deux domaines de savoir, en physique-chimie et en anglais et, d'autre part, favoriser une acquisition d'expérience des professeurs ?

Nous voyons bien qu'il est nécessaire de poursuivre ces recherches sur le cadre didactique d'analyse que j'ai présenté dans cette note de synthèse afin d'améliorer notre compréhension de comment les enseignants pensent leur activité d'enseignement de la physique. Il s'agit de mener des études avec d'autres enseignants, dans d'autres disciplines, comme dans le cadre du LéA PhAnCh sur l'enseignement de la physique en anglais.

Bibliographie

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. (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.

Altet, M. (2008). Rapport à la formation, à la pratique, aux savoirs et reconfiguration des savoirs professionnels par les stagiaires. Dans : Philippe Perrenoud éd., *Conflits de savoirs en formation des enseignants : Entre savoirs issus de la recherche et savoirs issus de l'expérience* (pp. 91-105). Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur.

Bachy, S. (2014). Un modèle-outil pour représenter le savoir technopédagogique disciplinaire des enseignants. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 30(2), 1-23. En ligne : < <https://ripes.revues.org/821> >.

Bächtold, M. (2012), « Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation », *Tréma*, 38, 1-31.

Balpe, C. (2001). *Enseigner la physique. Approche historique au collège et au lycée*. Rennes : PUR.

Barbier, J. (2011). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.

Barrère, A. & Legrand, G. (2009). La formation professionnelle universitaire des enseignants. *Recherche et formation*, 60, 5-11.

Baviskar, S., Hartle, T. et Whitney, T., Essential criteria to characterize constructivist teaching : derived from a review of the literature and applied to five constructivist-teaching method articles, *International Journal of Science Education*, 31 (4), 541-550.

Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*, 45, 165-188.

Béguin, P., & Weill-Fassina, A. (1997). De la simulation des situations de travail à la situation de simulation. Dans P. Béguin, A. Weill-Fassina. *La simulation en Ergonomie : connaître, agir, interagir*. Toulouse : Octarès, 5-28.

- Bronckart, J.-P. (2005). Une introduction aux théories de l'action. *Carnets de la Section des Sciences de l'Éducation (Université de Genève)*.
- Calmettes, B. (2017). Introduction : ce que fait l'enseignant. Réflexions sur la construction de différents cadres utilisés dans les recherches en didactique. Dans Bachtold, M., Boilevin, J.-M. & Calmettes, B. *La pratique de l'enseignant en sciences. Comment l'analyser et la modéliser* (pp. 9-22). Louvain : Presses Universitaires de Louvain.
- Canguilhem, G. (1937/1969). Descartes et la Technique. *Travaux du IXème Congrès International de Philosophie, Congrès Descartes, Tome 1, fascicule II*, pp 77 à 85, Herman, 1937. Ré-édité dans *les Cahiers Philosophiques*, n° 69, 12/1996.
- Canguilhem, G. (1966). *Le normal et le pathologique*. Paris : P.U.F, Nouvelle édition.
- Chesnais, A., Cross, D., & Munier, V. (2017). Étudier les effets de formations sur les pratiques : réflexions sur les liens entre connaissances et pratiques. *RDST 15*, 97-132.
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris : PUF.
- Clot, Y. (2002). Clinique de l'activité et répétition. *Cliniques méditerranéennes*, n° 66(2), 31-53.
- Clot, Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*. Paris : PUF.
- Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G., & Scheller, L. (2001). Entretien en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Éducation permanente*, 146(1), 17-25.
- Clot, Y., & Faïta, D. (2000). Genres et styles en analyse du travail. Concepts et Méthodes. *Travailler*(4), 7-42.
- Collins, H. (2011). Language and Practice. *Social Studies of Science*, 41(2), 271-300.
- 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.
- Crinon, J. (2012). Écrire, s'initier à la recherche, se professionnaliser : un triptyque à repenser. Dans R. Lozi et N. Biagioli (dir.), *Actes des Deuxièmes rencontres des*

chercheurs en interdidactique : l'initiation à la recherche dans la formation des enseignants à l'université. Nice, France : Université de Nice Sophia-Antipolis.

Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Éducation & Didactique*, 4(3), 39-60.

De Hosson, C. L'histoire des sciences : un laboratoire pour la recherche en didactique et l'enseignement de la physique. Enseignement de la physique [physics.ed-ph]. Université Paris-Diderot - Paris VII, 2011. [tel-00655594](tel:00655594).

Dejours, C. (2016). La référence à l'activité en psychodynamique du travail. Dans Dujarier, M.-A., Gaudart, C., Gillet, A., & P. Lénéel (dir.), *L'Activité en théories. Regards croisés sur le travail* (pp. 81-95). Octarès, 2016.

Dewey, J. (2011). *Démocratie et éducation ; suivi de Expérience et éducation*. Paris : Armand Colin

Dujarier, M.-A. (2016). Apports d'une sociologie de l'activité pour comprendre le travail. Dans Dujarier, M.-A., Gaudart, C., Gillet, A., & P. Lénéel (dir.), *L'Activité en théories. Regards croisés sur le travail* (pp. 223-253). Octarès, 2016.

Duverger, J. (2007). Professeur bilingue de DNL, un nouveau métier. *Le Français dans le Monde*, 349, 20-21.

Dewey, J. (1938). *Logique. Théorie de l'enquête*. Paris : PUF.

Faïta, D., & Vieira, M. (2003). Réflexions méthodologiques au sujet de l'autoconfrontation croisée. *Skhôle*, 1 HS, 57-69

Friedrichsen, P., Van Driel, J. & Abelle, S. (2010). Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376.

Gajo, L. (2007). Linguistic Knowledge and Subject Knowledge: How Does Bilingualism Contribute to Subject Development? *The International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, 10(5), 563-581.

Genzling, J.-C., & Pierrard, M.-A. (1996). La modélisation, la description, la conceptualisation, l'explication et la prédiction. Dans J.-L. Martinand, & al, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 46-78). Paris: INRP-Lirest.

Gillet, A., & Lénéel, P. (2016). Conclusion. Les enjeux du point de vue de l'activité sur le travail. Dans Dujarier, M.-A., Gaudart, C., Gillet, A., & P. Lénéel (dir.), *L'Activité en théories. Regards croisés sur le travail* (pp. 223-253). Octarès, 2016

Goigoux, R. (2002). Analyser l'activité d'enseignement de la lecture: une monographie. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 125-134.

Goigoux, R. (2007). Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants. *Éducation & didactique*, 1(3), 47-69.

Grossman, P. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York : Teachers College Press.

Gruson, B. (2019). *L'action conjointe en didactique des langues : élaboration conceptuelle et méthodologique*. Rennes: PUR.

Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (éd.). *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*, Londres : Routledge Press, p. 14-27.

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.

Habermas, J. (1987a), *Théorie de l'agir communicationnel. Rationalité de l'agir et rationalisation de la société*, Paris, Fayard.

Habermas, J. (1987b), *Théorie de l'agir communicationnel. Pour une critique de la raison fonctionnaliste*, Paris, Fayard.

Hammoud, R. (2012). *Le travail collectif des professeurs en chimie comme levier pour la mise en œuvre de démarches d'investigation et le développement des connaissances professionnelles. Contribution au développement de l'approche documentaire du didactique*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1, Université libanaise.

Joffredo-Le Brun, S. (2016). Enseignement et apprentissage des mathématiques au CP : continuité de l'expérience des élèves et systèmes de représentation, un exemple. *Questions vives*, 25, 217-239.

Kermen, I. (2015). Studying the activity of two French chemistry teachers to infer their pedagogical content knowledge and their pedagogical knowledge. In M.

- Grangeat (éd.), *Understanding science teacher professional knowledge growth*, Rotterdam : Sense Publishers, 89-115.
- Joas, H. (1999). *La créativité de l'agir*. Paris : Cerf.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2008). Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques : impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia*, 32, 77-116.
- Kermen, I., & Izquierdo-Aymerich, M. (2017). Connaissances professionnelles didactiques des enseignants de sciences : un thème de recherche encore récent dans les recherches francophones. *RDST 15*, 9-32.
- Leblanc, S. (2007). Concepts et méthodes pour valoriser l'activité professionnelle au sein de la formation initiale et continue des enseignants. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 6, 11-33.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette éducation.
- Léontiev, A. (1984). *Activité, Conscience, Personnalité*. Moscou : Éditions 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.
- Leplat, J., & Hoc, J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3, 49-63.
- Le Bas, A. (2005). Didactique professionnelle et formation des enseignants. *Recherche & Formation*, 48, 47-60.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borke, 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.
- Maitre, J.-P. (2017). L'intégration d'une langue seconde dans l'enseignement des sciences physiques: quels termes pour quels savoirs en tronc commun et discipline non linguistique? *Éducation & Didactique*, 1, 81-104.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière ; des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Bern : Peter Lang.

- Mathé, S., Méheut, M., & de Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-76.
- Mayen, P., (2013). Expérience professionnelle. Dans A. Jorro (Eds). *Dictionnaire des concepts de la professionnalisation* (pp. 121-125). De Boeck Supérieur.
- Mehisto, P. (2008). CLIL counterweights: recognising and decreasing disjuncture in CLIL. *International CLIL Research Journal*, 1(1), 93-119.
- MEN, Enseigner les sciences à l'école : cycles des approfondissements (cycle 3). *Documents d'application des programmes*, CNDP. Disponible sur Internet : <<http://www2.cndp.fr/archivage/valid/38287/38287-5690-5493.pdf>>. 2002.
- MEN., Programmes des collèges : introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale*, n°5 du 25 août 2005. Disponible sur Internet : <<ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/bo/2005/hs5/annexe1.pdf>>. 2005.
- MEN, Programmes du collège : programmes de l'enseignement de physique-chimie. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale*, spécial n°6 du 28 août 2008. Disponible sur Internet : <http://media.education.gouv.fr/file/special_6/52/7/Programme_physiquechimie_33527.pdf>. 2008.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for integrating technology in teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Morge, L (2009). La simulation croisée pour accéder aux connaissances professionnelles didactiques locales (LPCK) acquises par l'expérience. *Actes des sixièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Nantes.
- Pacherie, É. (2003). La dynamique des intentions. *Dialogue*, 42(3), 447-480.
- Paquay, L. (2005). Vers quelles évaluations du personnel enseignant pour dynamiser leur développement professionnel et leur implication vers des résultats? *Recherche & formation*, 50, 55-74.
- Paquay, L. (2008, décembre). *La formation des enseignants en Europe : quelques points clés* [Présentation PowerPoint]. Communication présentée à la Conférence des Directeurs d'IUFM 2008. Repéré à <http://www.iufm.education.fr/reseau-iufm/colloque/formation-enseignants-europe/documents/Paquay-Leopold.pdf>.

Paquay, L., Altet, M., Charlier, E., & Perrenoud, P. (dir.) (1996). – *Former des enseignants professionnels, Quelles stratégies ? Quelles compétences ?* Bruxelles, De Boeck Université.

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. (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 de savoirs épistémologiques ? Dans B. Calmettes (ed.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. (pp. 127-150). Paris : L'Harmattan.

Perrenoud, P. (1994). *La formation des enseignants entre théorie et pratique*. Paris : L'Harmattan.

Perrenoud, P. (2010). Les processus de (dé)professionnalisation entre savoir, rapport au savoir et contrôle. *Recherche en Éducation*, 8, 121-126

Piaget, J. (1973). *Biologie et connaissance*. Paris : Gallimard.

Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : PUF.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66 (2), 211-227.

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.

Rayou, P. et Ria, L. (2009). Former les nouveaux enseignants : Autour des statuts, de l'organisation et des savoirs professionnels. *Éducation et sociétés*, 1(23), 79-90.

Robardet, G. (1990). Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 84, 1990, p. 17-28.

Roussel, S., Joulia, D., Tricot, A., & Sweller, J. (2017). Learning subject content through a foreign language should not ignore human cognitive architecture: a cognitive load theory approach. *Learning and Instruction*, 52, 69-79.

Ruelland Roger, D. (2001). La « clinique de l'activité »: Une démarche réflexive et développementale de professionnels. Un terrain parmi d'autres: Les professeurs de mathématiques en collège. In *Théories de l'action et éducation*. De Boeck Supérieur.

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.

Samurçay, R., & Pastré, P. (1995). La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences. *Éducation permanente*, 123, 13-31.

Sensevy, G. (2006). L'action didactique Eléments de théorisation. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 28 (2), 205-225.

Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck.

Sensevy G., Mercier A., Schubauer-Leoni M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. À propos de la Course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20 (3), 263-304.

Sensevy, G., & Amade-Escot, C. (2007). Une présentation de "Those who understand knowledge growth in teaching". *Éducation & Didactique*, 1(1), 95-96.

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. *Éducation et didactique*, 1(2), 9-35.

- Schwartz, Y. (2007). Un bref aperçu de l'histoire culturelle du concept d'activité. *Activités*, 4(2), 122-133.
- Schwartz, Y. (2009). L'activité peut-elle être un objet d' « analyse » ? Dans Dujarier, M.-A., Gaudart, C., Gillet, A., & P. Lénéel (dir.), *L'Activité en théories. Regards croisés sur le travail* (pp. 159-185). Octarès, 2016.
- Shapin, S., & Schaffer, S. (1993). *Leviathan et la pompe à air : Hobbes et Boyle entre science et politique*. Paris : La Découverte.
- Schön, D. A. (1993). *Le praticien réflexif : À la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Éditions Logiques.
- 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.
- Sweller J., Ayres P., & Kalyuga S. (2011). Measuring Cognitive Load. In: *Cognitive Load Theory. Explorations in the Learning Sciences, Instructional Systems and Performance Technologies*, vol 1. Springer, New York,
- Tardieu, C., & Dolitsky, M. (2012). Integrating the task-based approach to CLIL teaching. In J. de Dios (Coord.), *Teaching and learning English through bilingual education* (pp. 3-35). Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Theureau, J. (1992). *Le cours d'action : Analyse sémiologique. Essai d'une anthropologie cognitive située*. Berne: Peter Lang.
- Theureau, J. (2002). L'entretien d'autoconfrontation comme composante d'un programme de recherche empirique & technologique. *Conférence in II^o Journées Internationales des Sciences du Sport*, 12-15.
- Theureau J. & Jeffroy F. (1994). *Ergonomie des situations informatisées*. Toulouse : Octares.
- Tiberghien, A. (2012). Analyse d'une séance de physique en seconde : quelle continuité dans les pratiques ? *Éducation et didactique*, 6(3), 97-123.
- 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.

Trousseau, A. (1992). *De l'artisan à l'expert. La formation des enseignants en question*. Paris, INRP & Hachette, 57-67

Venturini, P. (2016). Grangeat, M., Understanding Science Teachers' Professional knowledge Growth, *Questions Vives*, 25, 1-7.

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. In BARBIER, J.M. (dir), *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.

Vergnaud, G. (2001). Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, 33, 107-123.

Vergnaud, G. (2007). Rubinstein aujourd'hui. Nouvelles figures de l'activité humaine. *Revue française de pédagogie*, 161, 1-5.

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.

Vinatier, I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. Rennes : PUR.

Vinatier, I. (2013). *Le travail de l'enseignant*. De Boeck.

Annexes : sélection d'articles publiés

Articles en lien avec la partie « Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique »

1. Jameau, A. (2017). Connaissances professionnelles et travail documentaire des professeurs : une étude de cas en chimie au lycée. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologie*, 15, 33-58.
2. Jameau, A. (2016). Un modèle d'acquisition de connaissances professionnelles chez des enseignants dans le cas d'un enseignement de l'électricité à l'école primaire par démarche d'investigation. *Review of science, mathematics and ICT Éducation*, 10(2), 29-53.
3. **Jameau, A.** et Boilevin, J.-M. (2015). The double loop of science teachers' professional knowledge. In M. Grangeat (Ed), *Understanding science teacher professional knowledge growth*, 25-42. Sense Publishers
4. Jameau, A. (2015). Une étude des connaissances professionnelles des enseignants du point de vue de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. *Éducation & Didactique*, 9(1), 9-31

Articles en lien avec la partie « Enseignement de la physique en anglais »

5. **Jameau, A.,** & Le Hénaff, C. (2018). « Content and Language Integrated Learning” Teaching in Science: A Didactic Analysis of A Case Study. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*.12(2), 21-40.

Articles en lien avec la partie « le modèle précurseur »

6. Kambouri-Danos, M., Ravanis, K., **Jameau, A.,** & Boilevin, J-M. (2019). Precursor Models and Early Years Science Learning: A Case Study Related to the Water State Changes. *Early Childhood Education Journal*. 47(4), 475–488.

Connaissances professionnelles et travail documentaire des enseignants : une étude de cas en chimie au lycée

Alain Jameau

Université de Bretagne Occidentale, CREAD, ESPE Bretagne

alain.jameau@espe-bretagne.fr

Résumé • Cet article porte sur le thème des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants de physique-chimie lors de leur travail documentaire. Nous présentons une étude de cas concernant une professeure de lycée pendant la préparation d'un OP sur l'élément cuivre par démarche d'investigation, en classe de seconde, dans le contexte du projet ANR REVEA (Ressources vivantes pour l'enseignement et l'apprentissage). Notre approche théorique fait référence à l'approche documentaire du didactique et au concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK). Nous mettons en œuvre une méthodologie construite autour de « la valise documentaire » dont le but est de concevoir un système d'outils qui permet de suivre comment les enseignants, individuellement, collectivement, à l'intérieur et en dehors de leur établissement d'enseignement, utilisent et produisent leurs ressources. Nous identifions les connaissances professionnelles dans les invariants opératoires du schème d'utilisation des ressources au cours du processus de genèse documentaire. Nous montrons que, lors de l'usage du document en classe l'année dernière, Laura a construit de nouvelles connaissances. Nous mettons en évidence le lien entre ces nouvelles connaissances et l'adaptation du document au contexte d'enseignement de cette année.

Mots Clefs : ressource, connaissances pédagogiques liées au contenu, schème, éducation scientifique, sciences, documentation

Abstract • In our paper, we study how chemistry teachers draw on their professional knowledge in their « documentational » work. We particularly focus on the case of a high school teacher while she prepares an experimental activity on copper element, based upon IBSE principles, with grade 10 students. Data have been collected as part of a national research project in France (“REVEA”, Living resources for teaching and learning), funded by the French National Agency for Research (ANR). Our theoretical approach refers to the documentational approach in didactics and to the concept of Pedagogical Content Knowledge (PCK). In order to examine how teachers collect, transform and share their resources, we will refer to the “valise” methodology that has been developed within the theoretical framework of the documentational approach. The purpose of this methodological framework is to design a system of tools that would allow us to track how teachers, individually, collectively, inside and outside their educational institution, use and produce their teaching resources. In the documentational genesis process, we identify the professional knowledge in the operational invariants within the scheme of resources. We show that when Laura used the document in class last year, she had built new knowledge. We highlight the link between her new knowledge and the adaptation of the document to a subsequent teaching context.

Keywords : resources, pedagogical content knowledge, PCK, schema, science education, documentation

L'étude présentée examine les connaissances mobilisées par une professeure de lycée en France dans le contexte d'un enseignement de chimie au lycée. Nous étudions plus spécifiquement le rôle des connaissances professionnelles de l'enseignante dans ses choix et ses utilisations de ressources, mais aussi comment une utilisation de ressources peut amener des évolutions de ces connaissances. Ce travail s'inscrit dans une recherche ANR¹ sur les Ressources Vivantes pour l'Enseignement et l'Apprentissage (ReVEA). Dans cette recherche, il s'agit de comprendre et de modéliser la gestion des ressources par les enseignants dans le système éducatif en étudiant des processus quotidiens de gestion des ressources

¹ Agence Nationale de la Recherche

éducatives, individuellement et dans des collectifs. Il est question aussi de mettre en évidence les déterminants principaux des usages et de déterminer des tendances. Ce travail est mené dans quatre disciplines : anglais, mathématiques, sciences physiques, sciences et techniques industrielles (STI²).

Les connaissances professionnelles des enseignants font partie de ces déterminants car ils apparaissent comme des moyens de décision (Jameau & Boilevin, 2015a ; Calmettes, 2012 ; Sensevy, 2011 ; Dumez & Jeunemaître, 2005). L'étude des connaissances professionnelles des enseignants a déjà été abordée dans de nombreuses recherches en éducation au niveau international, aussi bien d'un point de vue général que du côté des professeurs de sciences. Elles réfèrent souvent au concept de Pedagogical Content Knowledge, PCK, (Shulman, 1986, 1987) qui peut être traduit par connaissances pédagogiques liées au contenu ou par savoir didactique, « puisque qu'on peut le définir comme la connaissance que l'on a d'un savoir à des fins d'enseignement » (Sensevy, 2009, p. 53). Il s'agit d'une connaissance spécifique pour enseigner qui est nourrie partiellement par la connaissance du contenu (Sensevy & Amade-Escot, 2007). Selon Abell (2007), la plupart des études internationales ont cherché à identifier les connaissances des enseignants à partir de ce qu'ils disent sur leurs connaissances et de leur pratique. En France, certains travaux mettent en œuvre des méthodologies qui permettent de repérer une PCK à partir de l'action du professeur (Cross, 2010 ; Hammoud, 2012 ; Jameau 2015 ; Jameau & Boilevin, 2015a) ou des unités plus petites. Par exemple, Cross (2010) étudie les Teacher Pedagogical Construction (TPC) tandis que Morge (2009) parle des Local Pedagogical Content Knowledge (LPCK) comme des unités qui ne peuvent pas faire l'objet d'un transfert à d'autres séances. Dans tous les cas, ce concept originel est très peu discuté (Abell, 2007).

Dans cet article, nous analysons la préparation d'une séance de travaux pratiques (TP) d'une enseignante, que nous nommons Laura, sur l'élément cuivre enseigné par démarche d'investigation (DI) en classe de seconde d'un lycée français (élèves âgés de 15 ans). Selon Bécu-Robinault (2007), une part non négligeable des décisions sur l'enseignement est prise pendant le travail de préparation de la classe. Nous filmons ce moment, hors

² Cette dénomination regroupe la technologie enseignée au collège, les sciences de l'ingénieur au lycée, et les disciplines technologiques de l'enseignement technologique et professionnel

classe, avec l'enseignante. Elle commente au fur et à mesure ses gestes et ses décisions. Le thème de l'élément chimique a été choisi conjointement avec la professeure car il lui demande un travail important sur les ressources. En outre, l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation (ESFI) est une approche qui nous semble favorable si nous supposons que sa mise en œuvre incite les enseignants à modifier leurs pratiques de manière à répondre aux nouvelles exigences (Calmettes, 2012 ; Grangeat, 2013). Avant de détailler notre questionnement, la méthodologie et les résultats de recherche, nous présentons le cadre théorique auquel nous nous référons.

1. Cadre théorique

Pour analyser la conception, la sélection, les utilisations et les transformations des ressources, nous nous référons à l'approche documentaire du didactique (Gueudet & Trouche, 2008). Cette approche s'intéresse au travail documentaire des professeurs : rassembler des ressources, les sélectionner, les transformer, les articuler, les utiliser en classe et les réviser. Elle considère l'activité du professeur dans son ensemble, en classe et hors classe. Adler (2000, 2010) définit une ressource comme tout ce qui peut ressourcer l'activité du professeur : les ressources matérielles mais aussi, par exemple, les interactions avec les élèves ou avec des collègues, le temps, le langage, et les connaissances des professeurs. Elle montre également que comprendre et accompagner les évolutions de l'enseignement des mathématiques nécessite d'examiner les interactions entre professeurs et ressources, porteuses d'évolutions professionnelles.

À la suite des travaux de Poisard, Bueno-Ravel et Gueudet (2011) lors d'une étude de l'intégration de ressources technologiques en mathématiques par des professeurs des écoles, nous entendons par connaissances professionnelles ce qui permet aux enseignants de faire des choix pour un objectif professionnel fixé, en lien avec un contenu physico-chimique. Nous ne distinguons pas connaissances et conceptions dans cette étude. Nous nous intéressons à la manière dont les connaissances professionnelles interviennent dans les interactions entre une professeure et des ressources, lors d'un enseignement de chimie. Il nous apparaît donc nécessaire de restreindre la définition d'Adler, c'est-à-dire de ne pas considérer les connaissances professionnelles des professeurs comme des ressources.

Nous présentons maintenant les principaux éléments de l'approche documentaire du didactique et notamment le processus de genèse documentaire. Puis nous exposons le concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK) proposé par Shulman en 1986, avant de détailler les modèles de Grossman (1990) et de Magnusson, Krajcik et Borko, (1999) que nous utilisons dans notre analyse des connaissances professionnelles.

1.1. Le processus de genèse documentaire

L'approche documentaire du didactique s'appuie sur l'approche instrumentale (Rabardel, 1995 ; Guin & Trouche, 2002) qui considère que tout au long de son utilisation d'un artefact dans une activité orientée vers un but, un sujet développe une entité mixte : un instrument, composé par un artefact et un schème d'utilisation de cet artefact (Vergnaud, 1996). Comme nous l'avons exposé en introduction du paragraphe, l'approche documentaire du didactique considère une notion plus générale que celle d'artefact, celle de ressource au sens d'Adler (2000, 2010) qui suggère qu'« il est possible de penser les ressources comme une forme du verbe re-sourcer : nourrir à nouveau ou différemment » (p. 25). Cette approche considère que l'enseignant développe, au cours de ses interactions avec un ensemble de ressources, un document pour une classe de situations d'activité professionnelle (Rabardel, 1995) (figure 1).

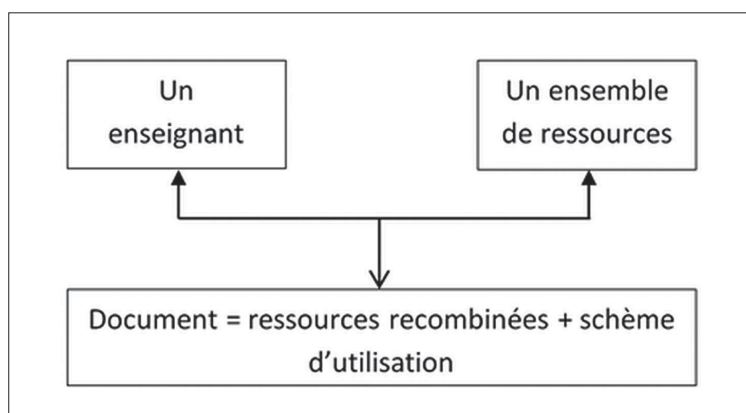


Figure 7 : la genèse d'un document (Gueudet & Trouche, 2008)

Au cours d'une genèse documentaire se développe un document qui comporte un ensemble cohérent de ressources, des ressources recombinaisons, et un schème d'utilisation de ces ressources.

Un schème est « une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée » (Vergnaud, 2001, p. 112). Il est constitué de quatre éléments :

- *le but, les sous-buts, les anticipations*. C'est la partie du schème qui représente l'intention, le désir, le besoin, la motivation, l'attente. Cet élément précède et accompagne l'action ;
- *les règles d'action, de prise d'information et de contrôle*. C'est la partie générative du schème. Elle conduit au résultat recherché ;
- *les invariants opératoires*. Ils permettent le prélèvement et la sélection de l'information pour en inférer des conséquences utiles pour l'action, le contrôle et la prise d'information. Ils sont de nature conceptuelle et pas forcément explicites. Cet élément constitue la partie épistémique du schème. Il est composé de concepts-en-acte et de théorèmes-en-acte. Les premiers sont des objets ou des prédicats qui ne sont ni vrais ni faux mais seulement pertinents ou non pertinents pour la prise d'information nécessaire à l'action ; les seconds sont des propositions qui sont susceptibles d'être vraies ou fausses ;
- *les inférences*. Elles sont présentes dans toutes les activités en situation car une activité n'est jamais automatique mais au contraire régulée. Elles permettent l'ajustement du schème aux conditions locales de la situation. Il est nécessaire de faire appel à des règles conditionnelles de type SI....ALORS...en fonction des variables de situation.

Ainsi, dans le schème, l'intentionnalité, la générativité, la conceptualisation et l'inférence se rencontrent nécessairement (Vinatier, 2009).

1.2. Pedagogical Content Knowledge

Le concept originel proposé par Shulman, en 1986, vise la compréhension des connaissances spécifiques en jeu, dans l'enseignement d'un contenu, afin de distinguer un enseignant d'un spécialiste. Il définit les connaissances pédagogiques liées au contenu, Pedagogical Content Knowledge (PCK). Elles expriment la combinaison (l'amalgame) du contenu et de la pédagogie. L'étude de Grossman (1990) fournit une description plus complète. Elle définit les quatre grands domaines de connaissance de l'enseignant : les connaissances pédagogiques générales (PK), les connaissances disciplinaires (SMK), les connaissances

pédagogiques liées au contenu disciplinaire (PCK), et les connaissances du contexte (KofC). De leur côté, Magnusson et al. (1999) définissent un modèle des PCK suivant cinq composantes (figure 2) :

- connaissances sur l'orientation pour l'enseignement des sciences : elles se réfèrent aux connaissances des enseignants à propos des buts et des objectifs pour enseigner les sciences à un niveau d'étude particulier ;
- connaissances des programmes de sciences : elles concernent la connaissance des buts et objectifs (attentes nationales) et la connaissance spécifique du programme et du matériel pédagogique ;
- connaissances sur l'évaluation : ce qu'il faut évaluer et comment l'évaluer ;
- connaissances des stratégies d'enseignement : elles incluent 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 ;
- connaissances sur les élèves : elles portent 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 et les conceptions alternatives.

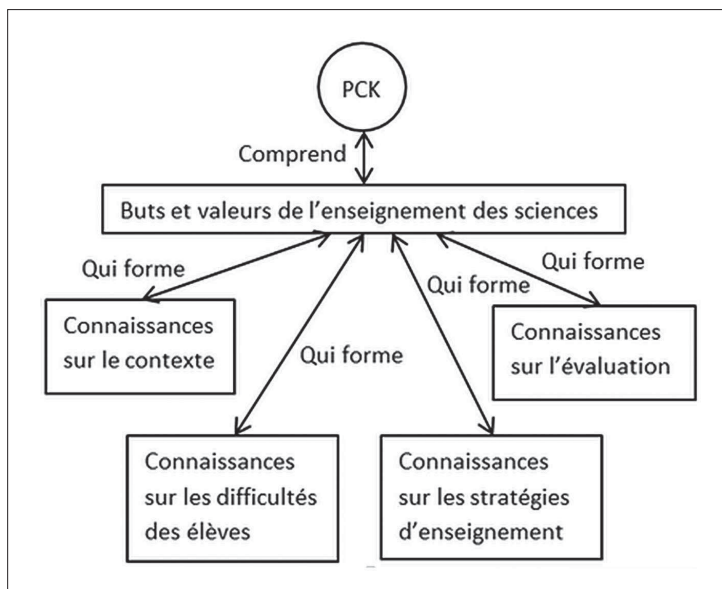


Figure 8 : modèle développé par Magnusson et al. (1999) sur les différentes composantes des PCK

Ces cinq composantes des PCK sont, elles-mêmes, divisées en sous-catégories. La composante « orientations pour l'enseignement » chapeaute les autres.

Notre présentation des cadres théoriques apporte des outils conceptuels pour nous aider à analyser les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants de physique-chimie lors de leur travail documentaire. Nous plaçons les connaissances des enseignants dans les invariants opératoires du schème car, selon Vergnaud (1996), le sujet sait mobiliser des connaissances-en-acte pour atteindre son but, qui sont à la fois des concepts mais aussi des énoncés tenus pour vrais. C'est la définition qu'il donne des invariants opératoires du schème (§ 1.1). Il nous semble donc cohérent d'identifier les connaissances professionnelles des enseignants dans les invariants opératoires du schème du professeur. Notre choix d'utiliser le concept de PCK pour déterminer un type de connaissance vient du fait qu'il ne nous semble pas appartenir à un paradigme particulier. En effet, 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 » (Shulman, 1986). L'auteur constate qu'entre 1885 et 1980, les objets évalués ont changé et passent d'un contenu disciplinaire en 1885 à un contenu pédagogique en 1980. 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 concept de PCK nous apparaît donc compatible avec le concept de schème et les travaux de Grossman (1990) et de Magnusson et al. (1999) sont très utiles comme cadre d'analyse des connaissances professionnelles des enseignants.

2. Questions de recherche

Les cadres théoriques que nous venons de présenter nous permettent de préciser nos questions de recherche. Afin d'étudier les connaissances professionnelles en jeu dans le choix et l'utilisation de ressources pour la préparation d'une séance de TP sur l'élément cuivre par démarche d'investigation, nous articulons les travaux de Grossman (1990) et de Magnusson et al. (1999) et le concept de schème. Cette organisation

s'appuie sur le présupposé que les connaissances professionnelles se trouvent dans les invariants opératoires. Nos questions de recherche sont les suivantes :

- quels types de connaissances sont mobilisés par l'enseignante au cours de la construction du document de TP?
- quels sont les types de connaissances qui évoluent après une mise en œuvre du document de TP dans la classe l'année passée ? Comment participent-elles à la révision du document ?

Nous présentons maintenant la méthodologie construite autour de « la valise documentaire » permettant de répondre à nos questions.

3. Méthodologie

Nous mettons en œuvre une méthodologie construite autour de « la valise documentaire » (Trouche, 2014). Il s'agit d'un outil méthodologique qui permet au chercheur de se constituer une base de données portant sur le travail documentaire d'un enseignant. Cette méthodologie distingue, au sein d'un processus de genèse, les ressources disponibles à partir des documents élaborés par les enseignants (Gueudet et al., 2014). Elle permet également d'identifier des interactions éventuelles entre l'activité en classe et hors de la classe. La mise en place de la valise documentaire doit nous aider à caractériser d'une part, des éléments du schème d'utilisation des ressources en classe et, d'autre part, les connaissances mobilisées par l'enseignante lors du travail documentaire à travers l'étude des invariants opératoires.

3.1. Contexte de l'étude

En ce qui concerne l'étude de cas présentée ici, nous mettons en œuvre cette méthodologie pour le suivi d'une enseignante peu expérimentée dans un lycée de Bretagne. Ce choix est à considérer dans le contexte global du projet ReVEA où d'autres cas sont étudiés. Le sujet, choisi en concertation avec l'enseignante, concerne l'enseignement des éléments chimiques en classe de seconde (élèves de 15 ans). Il fait partie du thème « l'Univers ». Il est traité en trois séances de TP d'une heure vingt minutes chacune et trois séances de cours d'une heure.

3.2. Données recueillies

Notre corpus est ainsi constitué de plusieurs éléments : un questionnaire fournissant des informations sur la biographie professionnelle, un entretien filmé (E1) portant sur les ressources générales de l'enseignante ainsi que sur une visite des lieux où elle travaille habituellement et stocke son matériel, et une « valise documentaire ». Celle-ci comprend les éléments suivants :

- un entretien filmé (E2) montrant l'enseignante en préparation effective des séances de TP ;
- des vidéos collectées pendant les séances de TP en classe ;
- un entretien filmé (E3) après les séances de TP.

Lors des différents entretiens, la caméra est placée de manière à observer la professeure faire des recherches sur internet ou sur ses documents, ou visionner une vidéo.

L'étude présentée dans cet article s'appuie essentiellement sur les entretiens E1 et E2 car elle vise à analyser la révision du document « l'élément cuivre par démarche d'investigation » qui correspond au premier TP de la séquence sur les éléments chimiques.

3.3. Méthodologie d'analyse

Nous parlons en effet de révision car ce document a été construit l'année passée par l'enseignante dans un contexte différent, car elle enseignait dans un lycée d'une autre région. Nous faisons ce choix car il nous semble représentatif du travail documentaire effectué par Laura. En effet, selon la professeure, ce sujet nécessite de passer beaucoup de temps dans les recherches de ressources. Par ailleurs, elle déclare que le travail documentaire est en général plus important pour la construction d'un TP que pour un cours. De plus, l'entretien filmé montrant l'enseignante en préparation effective nous donne accès notamment à certaines régularités dans son travail. Elles sont des façons d'organiser une recherche et de sauvegarder une ou plusieurs ressources. Elles sont aussi des façons d'adapter une ou plusieurs ressources didactisées³ au contexte actuel d'enseignement.

³ Nous entendons par ressource didactisée, une ressource qui a déjà fait l'objet d'une utilisation en classe par l'auteur.

Notre analyse se situe parfois à un grain très in, au niveau de l'énoncé, pour nous permettre d'analyser les interactions entre la professeure et les ressources lors du processus de genèse documentaire. Ceci nous conduit à procéder selon la méthodologie de l'étude de cas.

L'entretien sur les ressources générales est mené à partir d'un questionnaire construit par le collectif de chercheurs participant à l'ANR ReVEA. Son analyse permet de cerner les éléments du portrait qui enrichissent notre caractérisation et amènent à une meilleure compréhension des interactions. L'entretien montrant Laura en préparation effective, donne à voir le processus de genèse du document de TP. Par conséquent, ces deux entretiens nécessitent d'être transcrits afin qu'ils soient étudiés dans leur intégralité.

4. Résultats

Dans ce paragraphe, nous analysons la préparation de Laura d'un TP sur l'élément cuivre par démarche d'investigation (DI). Nous commençons par présenter le travail de l'enseignante qui consiste à réviser le document « l'élément cuivre par DI », afin de l'adapter au contexte d'enseignement de cette année. Puis nous analysons le schème d'utilisation des ressources que nous présentons sous forme de tableau, en incluant une colonne « ressources utilisées » pour présenter des éléments du travail documentaire de la professeure qui se passe en dehors de la classe. Nous expliquons ensuite la nécessité d'un niveau de formulation des éléments du schème, de façon à mieux comprendre comment l'activité de l'enseignante est organisée. Nous finissons par l'analyse des connaissances professionnelles mobilisées par Laura pendant ce travail.

4.1. La révision du document « l'élément cuivre par démarche d'investigation »

L'enseignante prépare la séance de TP sur l'élément cuivre par démarche d'investigation, en s'appuyant sur des ressources stockées sur sa clef USB et dans son classeur. On y trouve notamment la fiche TP « élève » construit et mise en œuvre l'année dernière dans un autre établissement, la fiche TP « professeur » concernant la correction du TP, qu'elle a construit mais pas distribué aux élèves et une fiche TP sur le même sujet mis en ligne

sur un site personnel. L'enseignante entre les mots clefs « magic copper » dans un moteur de recherche pour télécharger la ressource « originale », qu'elle n'avait pas jugé utile de sauvegarder l'année dernière car « elle est facile à retrouver ». L'enseignante dit la nécessité de la consulter pour reprendre « le fil » du travail effectué l'an dernier, « voir ce que j'ai changé ». C'est une collègue, qui lui avait conseillé cette ressource mise en ligne sur un site personnel. Lors de ce TP, les élèves doivent résoudre une énigme : il s'agit de faire « réapparaître » le cuivre (métal) d'une pièce de monnaie qu'un magicien a fait « disparaître » dans de l'acide nitrique.

Nous observons Laura modifier la fiche élève mise en œuvre l'année dernière à partir de différents critères. Elle l'adapte au contexte d'enseignement de cette année et prend en compte des éléments issus de la mise en œuvre passée, notamment à propos des difficultés que les élèves ont eues pour résoudre l'énigme.

La durée des TP a changé : elle est de 1 h 20 alors qu'elle était de 2 h dans l'établissement où l'enseignante travaillait l'année précédente. Laura dit devoir changer son organisation, « détailler » un peu plus le texte, « leur mettre un peu plus d'explications [...] car 1 h 20 c'est un peu rapide ». Alors, elle ajoute une liste de tâche à faire pour « guider » les élèves. Laura précise qu'elle leur demande cette année de faire le compte rendu à la maison car, selon elle, « en 1 h 20 ils ne peuvent pas faire les deux c'est-à-dire mener une démarche d'investigation et le compte rendu ». Par ailleurs, la professeure nous explique que l'équipe des professeurs de physique-chimie de l'établissement a construit une progression et une planification sur un an des enseignements pour toutes les classes de seconde. Ce travail a été mené avant son arrivée, en raison du manque de salles et de matériel pédagogique. La progression est « calquée » sur celle du manuel scolaire choisi par l'équipe, ce qui contraint l'enseignante à placer ce TP dans le thème de « l'univers », alors qu'elle l'avait programmé dans celui de « la santé » l'année dernière⁴. Par ailleurs, Laura vérifie auprès des personnels de laboratoire que ce sujet de TP est bien présent dans la progression construite

⁴ Dans le programme de la classe de seconde la réaction chimique apparaît dans trois thèmes du programme : la santé, la pratique du sport et l'univers. Cela peut donner lieu à des progressions différentes selon les équipes d'enseignants.

par l'équipe, et que les produits qu'elle pense utiliser sont disponibles. Ce travail de l'équipe impose à l'enseignante de mettre en œuvre ce TP avant de faire le cours sur les ions. Elle dit devoir ajouter dans le paragraphe « Banque de données » des informations sur l'ion cuivre « pour pas qu'ils [les élèves] soient perdus » (annexe).

Nous observons Laura changer la police du texte pour permettre à un élève malvoyant de lire. Mais elle applique cette nouvelle police, le « Verdana », pour tous les élèves de la classe car, dit-elle, « plusieurs collègues mêmes des parents d'élèves m'ont dit Verdana c'est bien pour les dyslexiques comme ça si jamais y'en a ». Cependant, avec cette nouvelle police, le texte ne tient pas sur une page, ce qui ne convient pas à la professeure car « s'il y a plus d'une page ils n'auront pas envie de lire ». Nous l'observons agir sur la taille de la police, sur la forme et le contenu du tableau associant les produits utilisés et les pictogrammes, sur les espaces, les en-têtes, le pied de page, etc. Elle est très attentive à ce que le « document » soit « attrayant ». Pour cela, Laura insère une image de magicien téléchargée sur internet.

Laura sait par expérience que les élèves pensent faire réapparaître la pièce à l'issue des différentes transformations chimiques. Par conséquent, elle reformule la question de recherche initiale « comment allez-vous faire réapparaître la pièce ? » en : « comment allez-vous faire réapparaître le cuivre issu de la pièce ? ».

Selon l'enseignante, un des objectifs du TP est de sensibiliser les élèves au fait que, lors d'une série de transformations, il y a conservation de l'élément cuivre. Il s'agit de travailler sur la notion d'élément chimique et d'interpréter une suite de transformations chimiques en terme de conservation d'un élément. Laura laisse aux élèves le soin de compléter cet objectif car « sinon ils vont avoir la réponse au TP donc je laisse des pointillés ». Laura souhaite leur faire vivre une démarche d'investigation. Pour cela, elle rédige la question de recherche (placée au centre du document, avec un style de police en gras et une taille plus importante), formulée à partir d'une mise en problème « ludique », afin qu'ils proposent un protocole expérimental en plusieurs étapes permettant de retrouver du cuivre métallique, à partir d'une solution contenant des ions cuivre (II). Pour les aider, elle note dans le paragraphe « banque de données » des

descriptions plus ou moins complètes de transformations chimiques. En effet, certaines transformations ne contiennent pas tous les réactifs et/ou tous les produits en jeu. Par ailleurs, aucune formule brute n'apparaît, car l'enseignante sait que les élèves ne maîtrisent pas la notation symbolique à ce moment de l'année. Selon Laura, l'investigation consiste à remettre dans l'ordre ces transformations chimiques. Pour autant, cette tâche n'apparaît pas dans le document. Par exemple, l'interaction de l'acide nitrique (en solution concentrée) avec le métal cuivre est rédigée comme suit : « L'un des produits de la réaction entre le cuivre et l'acide nitrique est le monoxyde d'azote qui est un gaz incolore mais celui-ci se transforme immédiatement sous l'action de l'air en dioxyde d'azote, gaz roux très toxique ». La formation des ions cuivre (II) n'apparaît pas dans la description ni le fait qu'il s'agit du métal cuivre et que l'acide nitrique est en solution. Pourtant, le premier renseignement nous semble important puisqu'il s'agit ensuite de faire réagir les ions cuivre (II) avec des ions hydroxydes contenus dans la solution. Pour nous, la banque de données ne fournit pas aux élèves des réactions chimiques qui modélisent les multiples transformations chimiques présentes dans le TP. Par conséquent, pour résoudre la première tâche, les élèves doivent identifier une phrase décrivant une transformation chimique, noter le produit de la réaction et le retrouver dans les réactifs d'une autre transformation, dans une autre phrase. Par exemple : « Les ions cuivre (II) réagissent avec les ions hydroxyde contenus dans la soude pour donner un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre (II) » et « Par chauffage, l'hydroxyde de cuivre (II) donne de l'oxyde de cuivre (II) qui est un solide noir ». Il nous semble qu'il n'y a pas besoin de connaissances en chimie pour mener l'investigation et résoudre la première tâche. Il s'agit plutôt d'un jeu s'apparentant au jeu de domino.

4.2. Description d'un schème d'utilisation des ressources

Dans cette étude, nous ne rendons pas visibles les inférences car elles ne sont pas explicitées par la professeure lors de la révision du document « l'élément cuivre par démarche d'investigation », construit et mis en œuvre l'année dernière. Les inférences expriment l'adaptation du schème aux caractéristiques de la situation et de la tâche, c'est-à-dire le fait que toute activité en situation n'est jamais automatique. Durant ce travail de préparation, Laura n'est pas confrontée à des imprévus comme cela pourrait être le cas en classe avec les élèves. Elle organise son espace en plaçant son

classeur à côté de l'ordinateur avec sa clef USB, afin de consulter soit des ressources déjà répertoriées soit des ressources sur internet. Elle s'organise aussi dans le temps puisqu'elle planifie son travail. Elle doit faire une visite au technicien de laboratoire afin de discuter des produits chimiques à mettre à disposition des élèves et des concentrations des solutions. Lors de cette visite, Laura montre les différentes transformations chimiques en jeu dans le TP et échange sur la sécurité des élèves. Par conséquent, pour comprendre comment s'organise l'activité de la professeure lors des interactions avec les ressources au cours de la préparation de classe, nous ne renseignons pas les inférences. Nous décrivons ainsi le schème suivant trois éléments : Le but et les sous-buts, les règles d'action ainsi que les invariants opératoires. Nous formulons ainsi l'objectif de la professeure : « Réviser le document l'élément cuivre par démarche d'investigation déjà mis en œuvre l'année dernière ». Nous décrivons l'activité de Laura en un but et deux sous-buts pour traduire une organisation séquentielle de son travail de préparation que

Sous-But	Règles d'action	Exemples
Consulter et sauvegarder une ressource didactisée ou non	J'organise la recherche et la sauvegarde d'un document ou d'une ressource	Laura télécharge la fiche TP d'origine « Magic copper » ou une image de magicien
Laura sauvegarde son travail dans le dossier « l'univers »		
Modifier le document construit et mis en œuvre l'année dernière	J'adapte le document de l'année dernière au contexte actuel	Laura reformule la question de recherche ou corrige une faute de frappe
	Je prends en compte l'élève dans la construction du document	Laura tient compte d'élèves qui ont des troubles des apprentissages ou en situation de handicap

nous énonçons ainsi : « Consulter une ressource didactisée ou non » et « Modifier le document construit et mis en œuvre l'année dernière ». Nous donnons ci-dessous quelques exemples de règles d'action associées à ces sous-buts ainsi que des éléments d'analyse que nous avons reformulés :

Tableau 1 : exemples de règles d'action pour chaque sous-but

4.3. Le tableau-document « l'élément cuivre par démarche d'investigation »

Nous représentons le schème sous forme d'un tableau auquel nous ajoutons une colonne « Ressources utilisées » (tableau 2). L'ajout de cette colonne nous permet d'appréhender les éléments qui constituent le document, dans le processus de genèse documentaire, à savoir les ressources

recombinées et le schème d'utilisation. Nous nommons ce tableau, tableau-document (Gueudet & Le Hénaff, 2015), que nous renseignons ainsi : Tableau-document « l'élément cuivre par démarche d'investigation ». Les reformulations des règles d'action et des invariants opératoires par le chercheur se font à partir des propos énoncés par l'enseignante. Nous revenons sur cette nécessité de reformulation au paragraphe suivant.

Nous ne distinguons pas, dans ce tableau-document, les concepts-en-acte et les théorèmes-en-acte qui sont les constituants des invariants opératoires du schème. La première raison est que les invariants opératoires ne sont pas forcément explicites ni conscients. De fait, ils sont inférés en partie par le chercheur. La seconde raison est que cette distinction ne nous semble pas apporter d'éclairage sur la manière dont Laura comprend son activité, c'est-à-dire de ce qui est de l'ordre de l'intention et des connaissances à partir desquelles l'enseignante peut prélever et sélectionner l'information.

C'est la formulation des éléments du schème, en particulier celui des règles d'action, qu'il nous semble nécessaire de préciser pour présenter cette organisation.

4.4. Nécessité de choisir un niveau de formulation pour rendre compréhensible le schème d'utilisation de ressources

Revenons sur l'exemple précédent où Laura modifie la mise en page du document de l'année précédente. Elle doit utiliser la police de texte Verdana pour son élève malvoyant, qu'elle applique pour tous les élèves de la classe. Nous notons l'invariant opératoire correspondant à cette formulation : « Je tiens compte d'élèves qui ont des troubles des apprentissages ou en situation de handicap ». Le caractère invariant se justifie par le fait que Laura nous dit modifier tous les documents élèves de cette classe depuis le début de l'année scolaire en physique et en chimie. La formulation nous permet d'accéder à ce qui est invariant et opératoire dans l'activité de Laura. Nous notons la règle d'action associée ainsi : « Je prends en compte l'élève dans la construction du document ». Elle permet d'accéder à ce que Laura sait au niveau des élèves qui détermine didactiquement son travail. Cette règle d'action est en relation avec le sous-but que nous notons ainsi : « modifier le document construit l'année précédente ». Nous avons vu précédemment (§ 4.1) que l'enseignante doit intégrer le TP « l'élément

cuire » au thème de « l'univers », rédiger des éléments de guidage pour permettre aux élèves de mener à bien la tâche qui leur est demandée et faire un rappel sur les ions. Toutes ces actions menées par la professeure, sont représentées par des règles d'action associées au sous-but « modifier le document construit l'année précédente ». Si nous devons renseigner le tableau-document de toutes les règles d'actions correspondantes à chacun des sous-buts, relatif à une échelle d'analyse fine, il serait illisible. Par conséquent nous devons les reformuler. Il apparaît donc un écart entre le niveau de formulation des éléments du schème et le grain d'analyse des données pour donner à voir comment Laura comprend son activité. Il nous paraît nécessaire aussi de classer les invariants opératoires qui sont englobés sous des règles d'action spécifiques. Notre analyse nous amène à les classer suivant trois cas : les invariants opératoires qui déterminent une organisation matérielle du professeur; ceux qui déterminent la conception d'un document; ceux qui déterminent didactiquement le travail dans la classe (tableau 2).

Dans le paragraphe suivant, nous relevons les connaissances professionnelles de l'enseignante lors de son travail documentaire. Pour cela, nous analysons les invariants opératoires du schème d'utilisation des ressources.

4.5. Connaissances professionnelles mobilisées lors de la révision du document

Les connaissances mobilisées par Laura, lors de la révision du document « l'élément cuivre par démarche d'investigation », sont relevées à partir d'une analyse des invariants opératoires du schème d'utilisation des ressources lors du travail documentaire. Nous observons que l'enseignante ne mobilise pas uniquement des connaissances disciplinaires (SMK) et des connaissances pédagogiques (PK) pendant ce travail de préparation. Nous identifions aussi des connaissances pédagogiques liées au contenu (PCK). Nous notons des SMK sur les réactions chimiques, tant du point de vue des espèces chimiques en jeu que des produits de la réaction (par exemple : du cuivre immergé dans une solution d'acide nitrique réagit pour produire du dioxyde d'azote, c'est un gaz toxique). Nous notons des PK sur les élèves (par exemple : les élèves dyslexiques et malvoyants ont besoin d'une police de caractère spécifique), sur les stratégies (par exemple : la fiche doit tenir sur 1 page pour être lue, la conclusion du TP ne doit pas être écrite sur la fiche). Nous relevons aussi des connaissances sur le contexte

d'enseignement, KofC (Ce TP s'inclut dans la progression commune « calquée » sur celle du manuel scolaire, la durée du TP est d'une heure vingt minutes) et des connaissances spécifiques à l'enseignement de l'élément cuivre par DI, des PCK.

But	Sous-but	Règles d'action	Invariants opératoires	Ressources utilisées
Réviser le document « l'élément cuivre par DI » - déjà mis en œuvre dans un autre établissement	Consulter et sauvegarder une ressource didactisée ou non	J'organise la recherche et la sauvegarde d'un document ou d'une ressource.	Je range les ressources « utiles » dans un dossier de la clef USB et dans une pochette du classeur. Je peux trouver ou retrouver une ressource en entrant des mots clés à partir des programmes dans un moteur de recherche. Je télécharge une ressource à partir d'un site institutionnel ou non. Je sauvegarde le TP dans un dossier appelé « l'univers » sur la clef USB.	<ul style="list-style-type: none"> – Ressources didactisées sur le même thème et rangées dans le classeur. – Ressources téléchargées sur internet : fiche TP originale, autres fiches TP, image d'un magicien. – Progression commune à l'équipe de la classe de seconde. – Matériel de laboratoire. – Personnel de laboratoire. – Collègue de l'équipe éducative.
	Modifier le document construit et mis en œuvre l'année dernière	J'adapte le document de l'année dernière au contexte actuel.	Je construis un document dont le texte tient sur une page pour qu'il soit attractif. Je traduis les formules chimiques en forme littérale si elles sont trop difficiles à lire. Je dois m'assurer que les autres collègues font ce TP avec le même matériel. Je prends en compte la sécurité chimique dans les tâches prescrites.	
		Je prends en compte l'élève dans la construction du document.	Je prends en compte les prérequis. Je tiens compte d'élèves qui ont des troubles des apprentissages ou sont en situation de handicap. Je ne donne pas trop d'informations car c'est un TP par démarche d'investigation. Je tiens compte des représentations initiales des élèves. Je prends en compte qu'un TP par DI est chronophage.	

Nous identifions des PCK dans trois composantes de notre modèle de référence : des connaissances sur les élèves, sur les programmes et sur les stratégies. Nous les présentons dans le tableau 3 avec des exemples que nous avons reformulés à partir des propos du professeur.

Catégories de PCK	Sous-catégories	Formulations
PCK sur les élèves	Connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés	Les élèves croient qu'ils vont faire réapparaître la pièce à la fin des expériences La question de recherche doit être claire Éviter les formules brutes des substances car elles ne sont pas maîtrisées par les élèves à ce moment de l'année
	les pré-requis nécessaires pour l'apprentissage d'une notion	Rappeler ce qu'est un ion cuivre et la formule dans le paragraphe « Banque de données »
PCK sur les programmes	Connaissance spécifique du programme et du matériel pédagogique.	Le TP est dans le thème de « l'univers » et pas dans celui « de la santé » Les ions sont au programme de la classe de 3 ^e La verrerie utilisée est connue des élèves
	Connaissance des buts et objectifs (attentes nationales)	Mettre en œuvre un enseignement par démarche d'investigation
PCK sur les stratégies	Connaissances des stratégies dans l'enseignement des sciences	Les élèves doivent remettre dans l'ordre les données proposées dans la banque de données pour répondre à la question Je privilégie la démarche d'investigation pour ce TP Je ne représente pas les différentes expériences sous forme de cycle sur la fiche

Tableau 3 : tableau des PCK mobilisées par Laura

Nous avons des difficultés à classer certaines connaissances avec notre modèle de référence. Par exemple, Laura nous dit pendant l'entretien : « on va juste l'utiliser [l'hydroxyde de cuivre] avec les noms sans mettre les formules hydroxyde de cuivre et tout ça et on verra ça une fois qu'on aura refait les atomes ». Comme nous l'avons décrit précédemment (§ 4.1), elle n'utilise pas de formules brutes dans les transformations chimiques écrites dans le paragraphe « banque de données » car elle sait qu'à ce moment de l'année, les élèves ne maîtrisent pas cette notation. Nous reformulons ses propos comme suit : « Éviter les formules brutes des substances car elles ne sont pas maîtrisées par les élèves à ce moment de l'année ». Notre difficulté est de savoir si Laura mobilise une PCK sur les stratégies ou sur les difficultés d'élèves. Nous avons fait le second choix car, nous inférons des

propos de Laura sa volonté de dire les difficultés que pourraient avoir les élèves si des formules brutes apparaissaient à ce moment de l'année. Ce choix s'appuie sur un ensemble de propos de l'enseignante que nous détaillons dans la discussion (§ 5).

Prenons un autre exemple. L'enseignante décide de ne pas renseigner un objectif du TP dans le document car, selon elle, il donne la réponse à la question posée. Elle souhaite que les élèves le complètent à la fin de la séance. Pour cela, elle laisse des pointillés en notant le premier mot : « savoir ». Laura attend : « savoir qu'un élément chimique se conserve au cours d'une transformation chimique ». C'est une stratégie que l'enseignante dit mettre en œuvre très souvent en classe de seconde, uniquement concernant des TP par DI. Elle prend l'exemple de TP en terminale S, qu'elle juge très guidant (c'est le cas aussi en 1re S), où elle renseigne tous les objectifs. Nous avons des difficultés à placer cette connaissance dans notre modèle de référence. Il s'agit d'une stratégie en lien avec les DI. Par conséquent, nous pouvons classer la connaissance mobilisée comme une PCK stratégie dans la catégorie « Les connaissances sur des stratégies spécifiques à un sujet (portée plus restreinte) ». Mais elle peut être classée aussi comme une PK car elle paraît ne pas dépendre d'un contenu spécifique. En effet, l'enseignante nous dit utiliser cette stratégie très souvent, pour des contenus différents. La frontière est malgré tout mince. La question de ce qui est stratégique pour un enseignant se pose. Est-ce la mise en place d'un dispositif particulier comme une expérience, une simulation, une activité d'investigation, une analogie ou est-ce le dispositif et la « démarche » qui y est associée ? Nous notons cette connaissance : « Les élèves doivent compléter l'objectif du TP en fin de séance ». Nous revenons dans la discussion sur les limites de ce travail d'analyse.

5. Discussion

Dans ce paragraphe, nous discutons les éléments d'analyse présentés dans cette étude. Nous débutons par les connaissances professionnelles mobilisées par l'enseignante lors du travail de révision du document. Nous comparons nos résultats à ceux de notre modèle de référence (Magnusson, Krajcik & Borko, 1999) et nous évoquons certaines limites. Puis, nous analysons le tableau-document du point de vue de la trace du travail de construction du document dans le processus de genèse documentaire. Enfin, nous analysons les nouvelles connaissances mobilisées par Laura lors du

travail de préparation, qui ont été acquises au cours de la mise en œuvre du document l'année passée.

5.1. Les connaissances professionnelles de l'enseignante

Le modèle de schème que nous renseignons par trois éléments nous permet de comprendre comment l'activité de Lola est organisée lors de la révision du document « L'élément cuivre par démarche d'investigation ». Le lien entre les connaissances professionnelles et l'organisation de l'activité se fait par les invariants opératoires du schème.

Nous observons que l'enseignante ne mobilise pas uniquement des connaissances disciplinaires (SMK) et des connaissances pédagogiques (PK) dans la préparation de sa séance de TP. Nous identifions aussi des connaissances sur le contexte d'enseignement (KofC) et des connaissances pédagogiques liées au contenu (PCK) dans trois des quatre composantes de notre modèle de référence : des connaissances sur les élèves, sur les programmes et sur les stratégies. Nous ne relevons pas de PCK sur les évaluations car l'enseignante ne l'a pas encore envisagé à ce moment de la préparation de la séquence. Elle n'a pas non plus recours à une évaluation diagnostique sur le sujet en début de séance car le paragraphe banque de données est censé donner tous les éléments aux élèves pour pouvoir résoudre l'énigme.

Nous avons soulevé au paragraphe 4.4, notre difficulté à utiliser notre modèle de référence pour catégoriser des types de PCK. Elle nous semble questionner directement la méthodologie d'analyse des connaissances des enseignants. À quelle échelle faut-il se situer ? Sur quels éléments l'analyse se base-t-elle ? Revenons sur l'exemple où l'enseignante justifie l'absence d'utilisation de formules brutes dans les phrases décrivant des « réactions chimiques » à l'intérieur du paragraphe « banque de données ». Notre choix de catégoriser cette connaissance mobilisée par Laura en une PCK sur les élèves vient de plusieurs sources qui se situent à l'échelle du discours. L'enseignante sait que les élèves au collège apprennent « des formules brutes de molécules simples : CO₂, O₂, CH₄, etc. ». Elle dit aussi qu'une fois au lycée : « ils ont tout oublié ». Par conséquent, il lui paraît nécessaire de faire les cours sur l'atome et la molécule « avant d'utiliser des formules brutes en TP ». Pour nous, la professeure exprime des règles stratégiques sous forme de propositions qui sont activées en situation pour atteindre son but (Sensevy, 2011). C'est dans ces propositions que nous inférons les

connaissances professionnelles mobilisées par l'enseignante qui sont de type PCK sur les élèves. Par conséquent, nous rejoignons les travaux de Kermen (2015) pour dire qu'une PCK sur les stratégies représente une stratégie pour surmonter une difficulté d'apprentissage spécifique à un sujet. Mais les stratégies des professeurs n'ont pas toujours pour objectif premier l'apprentissage de notions spécifiques. Elles peuvent être élaborées pour intéresser les élèves à une discipline, à ce qui va être nouvellement appris ou à donner du sens aux apprentissages en faisant le lien avec la vie quotidienne par exemple. Dans ce cas, les connaissances mobilisées par l'enseignant peuvent être aussi classées dans les PK sur les stratégies. Une étude des règles stratégiques devrait permettre de le montrer.

Nous identifions un autre type de connaissance, en lien avec l'utilisation du numérique. Comme nous l'avons décrit au paragraphe 4.1, Laura souhaite augmenter l'attractivité de la fiche TP afin d'en favoriser la lecture. Pour cela, elle télécharge une image de magicien pour l'insérer dans le texte. Cette image est retravaillée avec un logiciel freeware. Elle « aère » le texte en jouant sur les paragraphes, l'interligne, la taille de la police, etc., tout en faisant en sorte qu'il soit contenu sur une page. Pour nous, ces connaissances mobilisées par la professeure peuvent être décrites par le modèle Technological Pedagogical and Content Knowledge, TPACK, (Mishra & Koehler, 2006). Ce modèle est un élargissement de celui de Shulman sur les PCK en intégrant les connaissances que les professeurs mobilisent pour utiliser les outils technologiques lors d'enseignements (Bachy, 2014). Pour nous, Laura mobilise des connaissances techno-pédagogiques (TPK) qui sont une association des connaissances technologiques et des connaissances pédagogiques. En effet, le travail de Laura sur le texte ne dépend pas du contenu enseigné. Il est stratégique. Donc, elle mobilise des connaissances pédagogiques sur les stratégies et des connaissances techniques pour atteindre son but. Cette association entre ces deux types de connaissances montre des capacités à pouvoir associer certains outils pour des tâches pédagogiques spécifiques. Pour Bachy (2014), la place des connaissances technologiques n'a de sens que s'il y a des connaissances pédagogiques.

5.2. Le tableau-document comme trace de la préparation du professeur

Le tableau-document (tableau 2) nous permet de décrire l'organisation de l'activité de Laura lorsqu'elle interagit avec des ressources pour réviser le document déjà mis en œuvre l'année passée. Nous accédons

ainsi à la liste des ressources recombinaées et à une organisation de l'activité de l'enseignante en renseignant des éléments du schème d'utilisation de ces ressources.

Dans le tableau 2 nous remarquons que toutes les ressources consultées par Laura sont en lien avec le TP qu'elle doit enseigner : l'élément cuivre par DI. Dans son classeur elle ne garde que peu de traces de son travail documentaire : nous trouvons le document mis en œuvre l'année précédente, la correction, ainsi qu'une séquence sur le thème de « l'élément chimique » imprimé à partir d'un site internet personnel. Lorsque la professeure cherche des ressources sur internet, elle a toujours la même technique. Elle part des programmes pour identifier les mots clefs puis ajoute éventuellement le niveau de classe. Elle dit ne pas avoir de sites privilégiés, sauf Eduscol

⁴³. Laura signale qu'elle visite certains sites régulièrement mais elle ne ressent pas le besoin de les répertorier car, d'après elle, « c'est facile de les retrouver ». Lorsqu'une ressource est jugée « utile » pour construire un document, elle est sauvegardée sur sa clef USB. Laura nous dit dans les entretiens qu'elle ne garde pas la plupart des ressources, ni en format papier ni dans un dossier sur un ordinateur. Leur durée de vie est d'environ une période scolaire, c'est à dire entre deux vacances scolaires. Par exemple, elle n'a pas gardé la fiche TP « Magic Copper » qui lui a donné l'idée de « la problématique » du TP. Nous l'avons observée aller la chercher sur internet, en tapant sur un moteur de recherche les mots clefs « magic copper ».

Dans la colonne « Ressources » du tableau 1, nous y avons noté : « document construit et mis en œuvre l'année dernière ». Cette formulation rend compte du fait que nous observons la professeure s'appuyer non seulement sur le texte de la ressource didactisée, mais aussi reprendre les éléments essentiels de son travail documentaire pour retrouver « le il » du travail effectué l'an dernier, se remémorer les changements qu'elle a effectués par rapport à la ressource originale. Cela montre que, lors du processus de genèse documentaire, un enseignant peut interagir avec des ressources didactisées ou non mais aussi avec des documents qu'il a construits et mis en œuvre par le passé. Nous avons noté aussi le personnel de laboratoire et les collègues de l'équipe éducative du lycée, comme ressources. Or, selon Bruillard (2015), il pourrait être utile de séparer une source d'une ressource c'est-à-dire de distinguer un lieu, une personne ou une organisation qui peut communiquer des ressources. Cela reviendrait à différencier ce qui permet de produire ou de modifier des ressources et ce qui permet de les trouver (ibid.). Dans la définition d'Adler (2000), une ressource est définie comme tout ce qui re-source l'activité du professeur, c'est-à-dire ce qui permet de la nourrir et de la modifier. En chimie, par exemple, la durée d'une expérience est un élément qui peut être pris en compte par l'enseignant dans l'organisation de son activité selon son but. Elle est une ressource dans le sens où des phénomènes peuvent être observés dans le temps. La proposition de distinguer la source de la ressource nous paraît bien difficile tant la frontière est mince ici. En effet, il ne s'agit pas d'un lieu physique comme pourrait l'être la salle des professeurs ni d'un lieu

⁴³ Il s'agit du site du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche dans lequel Laura consulte les programmes et les documents d'accompagnement.

numérique comme YouTube ou le site de la BnF. Cette distinction source et ressource peut être nécessaire suivant le cas d'étude mais ne doit pas occulter le fait que la frontière n'est parfois pas très étanche entre les deux notions (ibid.).

5.3. L'acquisition de nouvelles connaissances dans l'usage d'un document en classe

Lors de la mise en œuvre du document en classe l'année dernière Laura a construit de nouvelles connaissances, qu'elle mobilise lors de sa révision pour l'adapter au contexte de classe de cette année. Elle s'est aperçue, dans l'action, que les élèves pensaient faire réapparaître la pièce à l'issue des différentes transformations chimiques (§ 4.1.). Ce constat l'a amené à réécrire la question de recherche sur le document. Pour nous, elle a acquis une nouvelle PCK sur les élèves dans la sous-catégorie « Connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés ». Cette connaissance est le résultat d'une double boucle de régulation rétroactive de l'activité (Jameau & Boilevin, 2015b). D'une part, elle dit dans l'entretien avoir reformulé la question en classe l'an dernier et, d'autre part, nous l'observons corriger la phrase. La professeure a opéré une régulation rétroactive en boucle courte et en boucle longue (Pastré, 1999). L'enseignante a appris par le seul fait d'agir en situation. Cela reflète le fait que l'activité a un aspect constructif et un aspect productif (Samurçay & Rabardel, 2004). Nous observons la conséquence au niveau du schème d'utilisation des ressources : il y a une capitalisation de connaissances dans l'invariant opératoire (Jameau, 2015). Nous la retrouvons sous la formulation « Je tiens compte des représentations initiales des élèves ».

Laura nous donne un autre exemple lié à la durée du TP : elle ajoute une liste de tâches à faire dans le texte du document pour « guider » les élèves (§ 4.1.). Elle nous dit dans l'entretien s'appuyer sur son expérience acquise cette année dans la mise en œuvre des TP de chimie ayant précédé celui-ci. Elle ne peut pas demander le compte rendu à la fin de la séance lorsqu'il s'agit d'un TP par DI, car les élèves n'ont pas le temps de faire les deux en une heure vingt minutes. Elle doit privilégier soit la démarche d'investigation soit le compte rendu. Lorsqu'il s'agit d'un TP par DI, l'enseignante détaille un peu plus le texte du document pour que « les élèves sachent quoi mettre dans le protocole comment il faut rédiger et tout ça ». Elle dit mettre un peu plus « d'explications » que l'année dernière. Nous

manquons d'éléments pour caractériser plus précisément les régulations opérées par Laura, mais nous observons une capitalisation de connaissances dans l'invariant opératoire que nous formulons comme suit : « Je prends en compte qu'un TP par démarche d'investigation est chronophage ».

6. Conclusion

Notre travail nous conduit à étudier les connaissances professionnelles d'une enseignante dans le choix et l'utilisation de ressources pour la préparation d'une séance de TP en chimie. En nous appuyant sur des références théoriques et sur une méthodologie basée sur « la valise documentaire », nous avons identifié les connaissances professionnelles de la professeure en articulant le modèle des PCK et le concept de schème. Notre étude montre que Laura mobilise d'autres types de connaissances que les connaissances disciplinaires académiques et les connaissances pédagogiques : des connaissances qui dépendent du contenu à enseigner, des PCK, des connaissances sur le contexte d'enseignement, des KofC, et des connaissances techno-pédagogiques qui sont en lien avec l'utilisation du numérique, des TPK. Toutes ces catégories sont incluses dans les connaissances professionnelles de l'enseignant. Elles lui permettent de rendre le sujet d'étude plus compréhensible pour les élèves (Shulman, 1986). Elles sont des déterminants de son action (Jameau & Boilevin, 2015a).

Notre analyse fait apparaître que l'enseignante acquiert des nouvelles connaissances lors de la mise en œuvre du document l'année passée. Elle les mobilise au cours du travail de révision afin de l'adapter au contexte d'enseignement de cette année. L'acquisition de nouvelles connaissances est parfois le résultat d'une double boucle de régulation rétroactive de l'activité (Jameau & Boilevin, 2015b). Elles sont de type PCK sur les élèves. Nous observons la conséquence au niveau du schème d'utilisation des ressources : il y a une capitalisation de connaissances dans l'invariant opératoire. Ce sont des mécanismes qui pourraient modéliser, en partie, l'acquisition d'expérience professionnelle (Jameau, 2015). Cela montre que la préparation de la classe n'est pas définitive et n'assure pas les enseignants d'atteindre leurs objectifs ; elle évolue à travers des réajustements.

Nous revenons maintenant sur deux questions que nous avons soulevées dans cette étude. La première concerne le schème d'utilisation des ressources. La seconde est à propos des connaissances stratégiques

mobilisées par le professeur. Il y aurait un niveau de formulation minimal des éléments du schème pour les rendre lisibles et aider à la compréhension de la manière dont les enseignants organisent leur activité. Les règles d'action peuvent être alors précisées et les invariants opératoires classés puis reliés à chaque règle d'action spécifique. L'aspect invariant de l'activité du professeur apparaît plus clairement. Ce niveau est parfois décalé avec celui du grain d'analyse des données. Pour Tiberghien (2012), la classe est un système complexe et l'utilisation de plusieurs échelles d'analyse et les liens entre les échelles permettent de développer une compréhension de la situation. Il paraît en être de même concernant la préparation de la classe. Une étude à différentes échelles est nécessaire pour donner à voir comment les professeurs comprennent leur activité et le niveau de formulation permet de percevoir comment ils l'organisent.

La seconde question est à propos de ce qui est stratégique pour un professeur. Nous avons vu que les deux sous-catégories de la PCK sur les stratégies, qui sont définies dans notre modèle de référence, ne nous paraissent pas très différentes et n'aident pas à identifier ce type de connaissance. Nous pensons que pour définir une stratégie il est nécessaire d'étudier les règles stratégiques qu'exprime le professeur. Notre étude des règles montre que dans certains cas une PCK sur les stratégies représente une stratégie pour surmonter une difficulté d'apprentissage spécifique à un sujet. Alors, une PCK sur les stratégies est reliée à une PCK sur les difficultés des élèves. Elles forment un ensemble. Mais lorsqu'il s'agit de stratégies qui n'ont pas pour objectif premier des apprentissages de notions spécifiques, l'enseignant mobilise une PK stratégie.

Toutes ces questions montrent le travail qu'il reste à accomplir pour mieux appréhender comment les enseignants comprennent et organisent leur activité et son évolution du point de vue des connaissances professionnelles. Nous pensons que la construction d'une méthodologie pour systématiser l'étude des connaissances des enseignants aiderait à faire progresser le modèle. Elle nous permettrait de gagner en précision sur les définitions des catégories.

Bibliographie

ABELL K. (2007). Research on science teacher knowledge. In K. Abell & N. Lederman (éd.), *Handbook of research on science education*, Mahwah : Lawrence Erlbaum, p.1105-1150.

ADLER J. (2000). Conceptualising resources as a theme for teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education*, n° 3, p.205-224.

ADLER J. (2010). La conceptualisation des ressources. Apports pour la formation des professeurs de mathématiques. In G. Gueudet, L. Trouche (éd.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs, le cas des mathématiques*, Rennes/Lyon : Presses universitaires de Rennes/INRP, p.23-40.

BACHY S. (2014). Un modèle-outil pour représenter le savoir technopédagogique disciplinaire des enseignants. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, vol. 30, n° 2, p.1-23. En ligne : <<https://ripes.revues.org/821>>.

BÉCU-ROBINAULT K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*, n° 45, p.165-188.

BRUILLARD É. (2015). *ReVEA, point d'étape. Problématiques et méthodologie*. Séminaire REVEA, Paris.

CALMETTES B. (éd.) (2012). *Démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan.

CLOT Y. & FAÏTA D. (2000). Genres et styles en analyse du travail. Concepts et Méthodes. *Travailler*, n° 4, p.7-42.

CLOT Y., FAÏTA D., FERNANDEZ G. & SCHELLER L. (2001). Entretiens en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Éducation permanente*, vol. 146, n° 1, p.17-25.

CROSS D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Éducation et didactique*, vol.4, n° 3, p.39-60.

DUMEZ H. & JEUNEMAÎTRE A. (2005). La démarche narrative en économie. *Revue économique*, n° 56, p.983-1005.

GRANGEAT M. (éd.) (2013). *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*. Grenoble, Presses universitaires de Grenoble.

GROSSMAN P. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York : Teachers College Press.

GUEUDET G. & LE HÉNAFF C. (2015). Atelier de travaux croisés sur les données : étude de la préparation d'une séance d'anglais. *Séminaire REVEA, Valence*.

GUEUDET G. & TROUCHE L. (2008). Towards new documentation systems for mathematics teachers? *Educational Studies in Mathematics*, vol.71, n° 3, p. 199-218.

GUEUDET G., TROUCHE L., SABRA H. & HAMMOUD R. (2014). A documentational approach of didactics. 7 janvier 2015. En ligne : <http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/approche_documentaire/documentation-valise>.

GUIND. & TROUCHE L. (éd.) (2002). *Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique, un problème didactique*. Grenoble : La pensée sauvage.

HAMMOUD R. (2012). *Le travail collectif des professeurs en chimie comme levier pour la mise en œuvre de démarches d'investigation et le développement des connaissances professionnelles. Contribution au développement de l'approche documentaire du didactique*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1, Université libanaise.

JAMEAU A. (2017). Acquisition de nouvelles connaissances professionnelles chez des enseignants dans le cas d'un enseignement de l'électricité à l'école primaire par démarche d'investigation. *Review of science, mathematics and ICT Education*, vol. 10, n°2, p.29-53.

JAMEAU A. (2015). Une étude des connaissances professionnelles des enseignants du point de vue de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. *Éducation et didactique*, vol.9, n° 1, p.9-32.

JAMEAU A. & BOILEVIN J.-M. (2015a). Les déterminants de la construction et de la mise en œuvre de démarches d'investigation chez deux enseignants de physique-chimie au collège. *Recherches en éducation*, n° 21, p.109-122.

JAMEAU A. & BOILEVIN J.-M. (2015 b). The double loop of science teachers' professional knowledge. In M. Grangeat (éd), *Understanding science teacher professional knowledge growth*, Rotterdam : Sense Publishers, p.25-42.

KERMENI I. (2015). Studying the activity of two French chemistry teachers to infer their pedagogical content knowledge and their pedagogical knowledge. In M. Grangeat (éd.), *Understanding science teacher professional knowledge growth*, Rotterdam : Sense Publishers, p. 89-115.

MAGNUSSON S., KRAJCIK J. & BORKO H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (éd.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*, Boston : Kluwer, p.95-132.

MISHRA P. & KOEHLER M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for integrating technology in teacher knowledge. *Teachers College Record*, vol. 108, n° 6, p.1017-1054.

MORGE L. (2009). La simulation croisée pour accéder aux connaissances professionnelles didactiques locales (LPCK) acquises par l'expérience. *Actes des sixièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*. Nantes.

PASTRÉ P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Éducation permanente*, n° 139, p.13-35.

POISARD C., BUENO-RAVEL L. & GUEUDET G. (2011). Comprendre l'intégration de ressources technologiques en mathématiques par les professeurs des écoles. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol.31, n°2, p.151-189.

RABARDEL P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.

SAMURÇAY R. & RABARDEL P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. Dans R. Samurçay & P. Pastré (éd.), *Recherches en didactique professionnelle*, Toulouse : Octarès, p.163-180.

SENSEVY G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck.

SENSEVY G. (2009). Didactique et sciences de l'éducation : une reconfiguration? In A. Vergnion (dir.), *40 ans des sciences de l'éducation*, Caen : Presses universitaires de Caen, p.49-58.

SENSEVY G. & AMADE-ESCOT C. (2007). Une présentation de "Those who understand knowledge growth in teaching". *Éducation et didactique*, vol.1, n°1, p.95-96.

SHULMAN L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, vol. 15, n° 2, p. 4-14.

SHULMAN L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Educational Review*, vol. 57, n° 1, p. 1-22.

TIBERGHIE N A (2012). Analyse d'une séance de physique en seconde : quelle continuité dans les pratiques? *Éducation et didactique*, vol.6, n°3, p.97-123.

TROUCHE L. (2014). *Documentation valise*. 18 décembre 2014. En ligne : <http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/approche_documentaire/documentation_valise/documentation_valise-1>.

VERGNAUD G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J. Barbier (éd.), *Savoirs didactiques et savoirs d'action*. Paris : Presses universitaires de France, p.275-292.

VERGNAUD G. (2001). Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, n° 33, p.107-123.

VINATIER I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. Rennes : Presses universitaires de Rennes.

Annexe

Univers Chapitre 5 Les éléments chimiques dans l'univers – 2^{de}

TP1 : Magic copper !!!!!

Objectifs :	Savoir- Mettre en œuvre un protocole expérimental pour répondre à un problème- Rédiger un compte rendu- Manipuler en respectant les règles de sécurité
-------------	--

À Las Vegas, le célèbre illusionniste Timothy Best fait « disparaître » une pièce de un penny et fait « réapparaître » le cuivre dont elle est formée. On vous propose de découvrir son secret.

Au début de son tour, Timothy plonge la pièce dans une solution d'acide nitrique. Cette opération est délicate car il se forme un gaz roux, le dioxyde d'azote qui est toxique. Cette opération sera donc réalisée par le professeur sous la hotte. Vous disposez de la solution obtenue réalisée au préalable.

Attention, cette solution est toujours acide.

Comment allez vous faire réapparaître le cuivre issu de la pièce ?









- Montrez qu'il n'y a rien de « magique » dans ce tour : Élaborez votre protocole et faites-le vérifier.
- Réalisez les manipulations nécessaires après accord du professeur.
- Rédiger un compte rendu comportant :
 - le schéma des expériences réalisées
 - les résultats obtenus
 - une conclusion

Banque de données

- On note Cu l'atome de cuivre et Cu^{2+} l'ion cuivre (II) (voir chapitre 4)
- Le métal cuivre est un solide rouge-orangé constitué d'atomes de cuivre.
- L'oxyde de cuivre (II) réagit avec une solution d'acide chlorhydrique pour former une solution bleue contenant des ions cuivre (II).
- Les ions cuivre (II) réagissent en solution aqueuse avec le métal fer pour donner du métal cuivre. (*)
- L'un des produits de la réaction entre le cuivre et l'acide nitrique est le monoxyde d'azote qui est un gaz incolore mais celui-ci se transforme immédiatement, sous l'action de l'air, en dioxyde d'azote, gaz roux et très toxique.
- Les ions cuivre(II) sont de couleur bleue en solution aqueuse.
- Par chauffage, l'hydroxyde de cuivre (II) donne de l'oxyde de cuivre (II) qui est un solide noir.
- Les ions cuivre (II) réagissent avec les ions hydroxyde contenus dans la soude pour donner un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre (II).

Remarque :

(*) En milieu fortement acide, le fer est attaqué par l'acide et ne réagit pas avec les ions cuivre (II).

Produit utilisé	Acide chlorhydrique	Hydroxyde de sodium	Acide nitrique Manipulé uniquement par le professeur
Pictogramme			
Consigne de sécurité	 	 	

Des processus d'acquisition de connaissances professionnelles chez deux professeurs des écoles lors d'un enseignement de sciences

Alain Jameau

Centre de Recherche sur l'Éducation, les Apprentissages
et la Didactique (CREAD), ESPE

Université de Bretagne Occidentale France
Alain.jameau@espe-bretagne.fr

Abstract

This paper focuses on the theme of professional knowledge mobilized by teachers at elementary school in teaching sciences. This study was conducted in the context of the teaching of electricity in grade 5 and in grade 4 in France. It comes to analyzing teachers' knowledge acquisition mechanisms. The theoretical approach articulates science didactics and professional didactics as well as on a methodology that we developed specifically for this research. Unexpected events lead to a short regulation loop which allows the teacher to adjust his preparation. During this regulation, new professional knowledge is acquired. This study identifies some elements concerning the acquisition of professional experience.

Keywords

Pedagogical Content Knowledge, PCK, knowledge acquisition, Inquiry-Based Science Education, science

Résumé

Cet article porte sur le thème des connaissances professionnelles mobilisées par des enseignants du premier degré lors d'un enseignement de sciences. L'étude est menée dans le contexte d'un enseignement de l'électricité au cycle 3 (8-10 ans). Il s'agit d'analyser des mécanismes d'acquisition de connaissances d'enseignants en nous appuyant sur les cadres théoriques de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle ainsi que sur une méthodologie construite spécifiquement pour cette recherche. Des imprévus donnent lieu à des boucles courtes de régulation rétroactive de l'activité ce qui permet à l'enseignant d'ajuster sa préparation. Ils sont à l'origine de la construction de nouvelles connaissances. Cette étude permet d'identifier certains éléments concernant l'acquisition d'expérience professionnelle.

mots-clés

Connaissances pédagogiques liées au contenu, PCK, acquisition de connaissances, démarche d'investigation, sciences

Introduction

Cette étude examine les connaissances mobilisées par des enseignants¹ de l'école primaire en France dans le contexte d'un enseignement des sciences par démarche d'investigation (DI). L'enseignement des sciences expérimentales à l'école concerne le «cycle 3» (âge 8-10 ans) dans le domaine «sciences expérimentales et technologie»². Pour les élèves plus jeunes, les programmes parlent de «découvrir le monde» en cycle 1 (âge 3-5 ans) et de «découverte du monde» en cycle 2 (âge 6-7 ans) dans lesquels nous trouvons des éléments «attribués» aux sciences mais aussi d'autres éléments qui ne sont pas une simple addition des disciplines que nous retrouvons dès le collège (Bisault, 2010). Les objectifs des sciences expérimentales et des technologies sont de «comprendre et de décrire le monde réel, celui de la nature et celui construit par l'Homme, d'agir sur lui, et de maîtriser les changements induits par l'activité humaine » (2008, p. 24). Les textes officiels préconisent une acquisition des connaissances et des compétences dans le cadre d'une démarche d'investigation. Celle-ci est apparue dans les programmes de l'école en 2002, suite au *Plan de Renovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie à l'École (PRESTE)*, adopté en juin 2000. Elle est aussi présente dans les programmes du collège depuis 2005 et au lycée depuis 2010.

Pour Boilevin (2013a, 2013b) et Venturini et Tiberghien (2012), cette démarche s'inscrit dans le contexte international plus large de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation (Inquiry-Based Science Education, IBSE). Les différentes prescriptions semblent plus ou moins voisines (AAAS, 1989; NRC, 1996; Eurydice, 2006), et la mise en œuvre d'un tel enseignement pose un certain nombre de difficultés. Venturini (2012) souligne que l'IBSE opère une rupture avec un enseignement classique d'un point de vue «des pratiques, des croyances, des valeurs» qui touche aussi bien les enseignants que les élèves. Bisault (2010) ajoute que la prescription introduit une certaine ambiguïté, en particulier concernant la démarche d'investigation, par la multiplicité des références: «référence épistémologique au débat scientifique, référence pédagogique au rôle des interactions entre élèves, enjeu d'apprentissage de la langue, enjeu d'apprentissage civique » (p. 5). Il signale la difficulté pour les enseignants à séparer ces différentes références au sein du même texte officiel. Un enjeu de cette démarche est de renouveler les pratiques d'enseignement des sciences et des technologies en cherchant à rendre l'apprentissage plus actif et plus motivant et en proposant aux élèves des tâches plus ouvertes leur laissant plus d'autonomie (Calmettes, 2012; Boilevin, 2013a). Il s'agit notamment d'élaborer des questions «scientifiques», de formuler des hypothèses qui seront vérifiées lors des investigations, à partir d'une situation de départ ouverte et motivante pour les élèves (Venturini & Tiberghien, 2012).

L'IBSE fait l'objet de très nombreux travaux de recherche tant au niveau international que français (Bachtold, 2012; Boilevin, 2013b). Certains portent sur l'explicitation du sens

¹Ce sont des professeurs des écoles qui enseignent différents domaines scolaires dont les mathématiques et le français.

² Bulletin Officiel de l'Education Nationale, BOEN N°3, 19 juin 2008

accordé au terme de «démarche d'investigation» en classe dans les curricula (Park Rogers & Abell, 2008; Gengarelly & Abrams, 2009; Minner, Jurist Levy & Century, 2010; Dell'Angelo, Coquidé & Magneron, 2012; Venturini & Tiberghien, 2012). D'autres travaux portent sur les représentations des enseignants de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation (ESFI) (Park Rogers & Abell, 2008; Prieur, Monod-Ansaldi & Fontanieu, 2013) ou bien sur les croyances et connaissances des enseignants sur la nature des sciences (Crawford, 2007; Gyllenpalm, Wickman & Holmgren, 2010; Pélissier & Venturini, 2012) ou à propos des fondements épistémologiques, psychologiques et didactiques de ce type d'enseignement (Bachtold, 2012; Cariou, 2013).

D'autres recherches s'intéressent aux conditions de mise en œuvre en classe et aux effets sur les apprentissages (Grangeat, 2013). Ainsi, Boilevin, Brandt-Pomares, Givry & Delsérieys (2012), Calmettes (2012) et Jameau (2015) mettent en évidence les écarts et les tensions entre les prescriptions et les connaissances professionnelles des enseignants alors que certains travaux abordent la formation des enseignants à ces nouvelles pratiques (Blanchard, Southerland & Granger, 2009; Grangeat, 2013). Enfin, nous trouvons des études sur les effets de ce type de démarches pédagogiques sur les apprentissages des élèves (Windschitl, 2003; Blanchard et al., 2009; Minner et al., 2010). Cette étude vise à modéliser une acquisition de connaissances professionnelles lors de boucles de régulations rétroactives de l'activité opérées par les enseignants de sciences. Il s'agit d'analyser le processus qui permet au professeur d'adapter sa *préparation*¹ à un public et comment celle-ci évolue en relation avec l'activité dans la classe. Pour cela, nous nous intéressons spécifiquement à l'écart entre ce qui est prévu par l'enseignant et ce qui est réalisé en classe. Il est donc nécessaire de considérer ce qui se passe hors de la classe et dans la classe. Selon Bécu-Robinault (2007), une part non négligeable des décisions sur l'enseignement est prise pendant le travail hors classe et notamment lors de la préparation. C'est à partir des traces écrites produites par le professeur, de son journal de bord et des entretiens, que nous y accédons. Pour cette étude, le choix est d'analyser les pratiques de deux professeurs d'école (§ Méthodologie) dans la mise en œuvre d'un enseignement fondé sur l'investigation car nous pensons que l'ESFI offre un terrain propice si nous faisons l'hypothèse que sa mise en œuvre amène les enseignants à évoluer dans leurs pratiques pour faire face aux nouvelles prescriptions. Avant de détailler notre questionnement et les résultats de recherche, nous présentons le cadre conceptuel auquel nous nous référons.

Problématique et cadre théorique

De nombreux travaux de recherche en éducation étudient des connaissances professionnelles des enseignants aussi bien en sciences que d'un point de vue général. Ils se réfèrent souvent aux travaux de Shulman (1986, 1987) et au concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK), qui est défini comme une connaissance spécifique pour enseigner, nourrie partiellement par la connaissance du contenu (Sensevy & Amade-Escot, 2007). La

¹ Nous désignons ici par *préparation* l'activité du professeur en amont de la mise en œuvre d'une séance ou d'une séquence. Elle peut donner lieu à la conception et à l'organisation de supports matériels (fiches de préparation...).

plupart des études internationales, comme le montre Abell (2007), ont cherché à identifier les connaissances des enseignants à partir de ce qu'ils disent sur leurs connaissances et de leur pratique. En France, les études sont encore peu nombreuses. Certaines mettent en œuvre des méthodologies qui permettent de repérer une PCK à partir de l'action du professeur (Bécu-Robinault, 2007; Cross, 2010; Hammoud, 2012; Jameau, 2015; Jameau & Boilevin, 2015a). Quelques-unes soulignent la nécessité de se placer à un grain plus petit pour mieux conceptualiser une PCK. Par exemple, Cross (2010) étudie les Teacher Pedagogical Construction (TPC) qui sont une collection d'unités plus petites que les PCK tandis que Morge (2008) parle des Local Pedagogical Content Knowledge (LPCK) qui sont des unités dépendant du contenu enseigné et qui ne peuvent pas faire l'objet d'un transfert à d'autres séances. Dans tous les cas, ce modèle originel est très peu discuté car, soit il est redéfini à chaque recherche, soit un autre cadre théorique est proposé (Abell, 2007).

Pour identifier les connaissances, nous analysons les buts des professeurs au cours de leur activité ainsi que les tâches prescrites qui en découlent pour les élèves. Pour cela, nous explorons différents cadres théoriques que nous présentons maintenant. Tout d'abord, nous exposons nos références à la didactique professionnelle pour analyser l'activité des enseignants et les mécanismes de régulations qui l'accompagnent. Puis, nous présentons le concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK) ainsi que le modèle de Magnusson, Krajcik et Borko (1999) que nous utilisons dans notre analyse. Enfin, nous présentons quelques travaux de recherches concernant le concept de l'imprévu.

Activité et Action de l'enseignant

Pour Sensevy (2007) le sens du mot action dans le syntagme «action didactique» renvoie à *l'agir* « que celui-ci soit *manifeste* ou *intellectuel*, et le sens général qu'on peut lui donner lorsqu'on parle de *philosophie de l'action* » (p. 5), ce que Bronckart (2005) désigne par « toute forme d'intervention orientée d'un ou plusieurs humains dans le monde » (p. 81). Schubauer-Leoni, Leutenegger, Ligozat & Fluckinger (2007) soulignent l'intérêt à retenir les éléments d'articulation entre *activité* et *action* tels qu'ils sont proposés par Leontiev (1975) et, à la suite, par Bronckart. Leontiev place les actions *réalisées* comme les composantes essentielles des activités humaines. Elles sont subordonnées aux activités. Les activités se réalisent par des actions; les actions répondent à des buts conscients. Ces buts font partie de la *tâche* qu'il définit comme « un but donné dans des conditions déterminées » (Leontiev, 1975, p. 96). Les actions sont réalisées par les opérations déterminées par les conditions de l'activité et les activités sont orientées par un mobile, objet matériel(s) ou idéal(s) satisfaisant un besoin (Venturini, 2012). De son côté, Bronckart définit l'activité comme une lecture de l'agir au niveau du collectif organisé et l'action au niveau d'une personne singulière. Cette «importance» collective de l'activité comporte, au plan intentionnel, des *finalités*, alors que la dimension individuelle de l'action est portée par des *intentions* et des *motifs* qui sont propres aux raisons d'agir de celle-ci.

Il nous paraît nécessaire de bien différencier ce qui relève de la tâche de ce qui relève de l'activité pour étudier des tâches prescrites aux élèves. Les travaux de Leplat (2004) articulent ces deux éléments tout en montrant précisément ce qui les différencie. 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 » (p. 14). Par conséquent, l'étude de l'activité ne peut se faire indépendamment de la tâche (Vinatier, 2009).

Les boucles de régulation

Leplat (2006) signale que la notion de régulation revient souvent dans les textes consacrés à l'étude de l'activité en situation de travail. 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). Il mentionne quelques principaux types de régulations qu'il classe comme des *régulations rétroactives et proactives*: la première est fondée sur les résultats, la seconde sur l'anticipation. Coulet (2010) ajoute que « *les régulations rétroactives montrent la réorganisation de l'activité en conséquence des retours sur l'action (feedback) pris en compte par le sujet* » (p. 5).

De son côté, 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 »: la stratégie dite à *boucle courte* et la stratégie dite de *boucle longue*. La première est celle du novice qui ne parvient pas à avoir une représentation d'ensemble du fonctionnement. Elle est de type procédural. 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. C'est une régulation de type « coordination agie » (Piaget, 1974), essentiellement axée vers la réussite. La seconde stratégie est de type analytique. L'opérateur met en œuvre une forme de « coordination conceptuelle » (Ibid.), à travers une approche globale. Il apparaît, de plus, 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. Pour Coulet (2010), il s'agit de régulations de type « changement de schème ».

Les travaux que nous venons de présenter apporte des outils conceptuels qui nous aident à analyser l'activité des enseignants, son organisation, et les processus de régulation qui l'accompagnent. En effet, les travaux de Leontiev permettent de montrer que toute activité est organisée. La description des actions et des opérations qui les réalisent nous permet d'accéder aux connaissances des enseignants. Les changements de but dans l'action montrent les régulations de l'activité.

Nous examinons maintenant les travaux de recherche concernant la modélisation dans l'enseignement des sciences afin d'étudier la tâche prescrite aux élèves en lien avec l'activité des enseignants, dans le cas d'un enseignement de sciences.

La notion d'imprévu

Dans certaines études, l'imprévu est considéré comme un outil alors que, dans d'autres travaux, il est vu comme un objet ou comme « un objet structurant intégré dans une méthode ou en tant qu'élément de formation » (Jean, 2008, p. 25). L'imprévu est parfois synonyme d'incident perturbateur (Woods, 1990), de malentendus (Broussal, 2006) qui sont liées à des enseignements qualifiées de « travail flou » par Tardif et Lessard (1999). De son côté, Yinger

(1986) parle d'improvisation pour qualifier le travail des enseignants experts.

Huber et Chautard (2001) considèrent un imprévu comme un cas particulier d'événement défini comme perturbateur qui conduit l'enseignant à la recherche «d'un nouvel équilibre» dans l'instant ou en différé. Il s'agit de comprendre l'imprévu comme un système de régulation des apprentissages. Nous retrouvons cette relation entre l'imprévu et la régulation dans les travaux de Broussal (2006). Ce dernier met en évidence une relation entre le repérage de malentendus et l'expertise des enseignants qui se servent des malentendus comme des «indicateurs pertinents» qui ont un impact sur leurs interventions. Perrenoud (1999) utilise aussi la notion d'évènement mais ajoute le qualificatif « imprévu ». Cet auteur distingue le cas de *l'évènement prévisible* dont l'occurrence n'est pas prévue et *l'évènement inédit* pour lequel seule une réponse improvisée est envisageable.

Notre étude de l'écart entre le prévu et le réalisé se fait à travers l'identification d'imprévus dans la classe. En nous appuyant sur les travaux de Huber et Chautard (2001) ainsi que ceux de Perrenoud, nous définissons l'imprévu comme un événement perturbateur survenant en classe qui sort de la planification du professeur. Nous nous plaçons dans le cas particulier où l'imprévu est perçu par l'enseignant mais qui ne génère pas forcément une régulation. De fait il fait événement au professeur mais pas forcément à l'élève.

La modélisation dans l'enseignement des sciences

Certaines recherches en didactique s'intéressent à la prise en compte des modèles dans l'enseignement (Boilevin, 2013a). Ainsi, pour Martinand (2000), l'enseignement des sciences, trop dogmatique, présente les modèles comme des évidences non questionnées non rattachées à des problèmes. Les questions d'enseignement et d'apprentissage de la modélisation se posent en termes de construction, d'adaptation et d'utilisation des modèles scientifiques. Ceux-ci doivent conserver au cours des manipulations leurs trois caractéristiques essentielles: ils sont hypothétiques, modifiables et ils sont pertinents pour certains problèmes dans certains contextes. Pour cet auteur, il s'agit de distinguer le registre du référent empirique et le registre des modèles construits sur ces référents, selon des exigences qui n'ont pas de solution dans le premier registre. Le registre du référent empirique n'est pas constitué uniquement d'objets ou de phénomènes, ce qui pourrait être appelé le réel, mais aussi de connaissances phénoménographiques, phénoménotechniques et phénoménologiques qui leur sont associées. Pour Bisault (2010), ce qui est référent à un moment donné est une description qui remplace la réalité qu'on ne connaît pas. De la même manière, un modèle scientifique peut se substituer à une description antérieure et être incorporé comme phénoménologie dans un nouveau registre empirique (Larcher, 2003). Les résultats de recherche pointent les difficultés d'élaboration du registre du référent empirique. Il y a une responsabilité didactique dans le choix et la définition du référent empirique car les objets et les phénomènes ne sont pas «donnés» mais ils sont le résultat d'une lecture de la «réalité». Cependant, cette lecture n'est pas forcément la même pour les élèves et pour des adultes instruits (Martinand, 2000).

Ces références théoriques à la didactique des sciences nous permettent d'étudier la tâche prescrite aux élèves au cours d'une modélisation et dans l'application du modèle. Nous faisons la relation avec le but du professeur dans l'activité et les changements de but grâce au concept de régulation. Dès lors, nous pouvons regarder la manière dont les élèves

s'approprient les savoirs en jeu. Il ne nous reste plus qu'à présenter le concept de PCK et le modèle de Magnusson et al. (1999) qui nous permettent d'analyser les connaissances des enseignants afin de montrer leur impact au niveau de leur activité et de sa conduite.

Les PCK

Le modèle de Shulman permet d'identifier les connaissances spécifiques en jeu, dans l'enseignement d'un savoir en lien avec un sujet, afin de distinguer un enseignant d'un spécialiste de ce sujet. Il définit d'abord trois types de « *content understanding* » et étudie leur impact en classe : « *Subject Matter Knowledge (SMK)* », « *Pedagogical Content Knowledge (PCK)* » et « *Curricular Knowledge (CK)* ». Plus tard, Grossman (1990) propose une évolution du modèle de Shulman en définissant quatre domaines : les connaissances pédagogiques générales (PK), les connaissances disciplinaires (SMK), les connaissances pédagogiques liées au contenu (PCK), et les connaissances du contexte (KofC).

Magnusson et al. (1999) ont défini séparément les composantes des PCK. Elles se déclinent en quatre composantes : les connaissances sur les stratégies d'enseignement, les connaissances du programme, les connaissances de l'évaluation, les connaissances sur les élèves. Ces quatre composantes des PCK sont, elles-mêmes, divisées en sous-catégories qui interagissent entre-elles. De plus, une cinquième composante façonne les autres: la composante «orientations pour l'enseignement des sciences». Dans notre étude, nous utilisons ce modèle pour catégoriser les connaissances en jeu dans la pratique du professeur. Il est composé de catégories et sous-catégories qui permettent de distinguer finement les connaissances qui se situent au niveau enseignant, celles qu'il mobilise en lien avec un contenu à enseigner (l'électricité pour notre étude), des connaissances au niveau élève qui sont les connaissances spécifiques à l'enseignement de ce contenu.

Nous présentons maintenant la notion d'imprévu qui nous permet d'identifier les écarts entre le prévu et le réalisé à la base des régulations opérées par le professeur. D'un point de vue méthodologique, ces imprévus sont identifiés par l'enseignant lors de la mise en œuvre de son enseignement et servent de base aux entretiens (§ Méthodologie).

Questions de recherche

Les cadres théoriques que nous venons de présenter nous permettent de préciser nos questions de recherche. Afin d'étudier l'évolution des connaissances professionnelles en jeu, nous devons articuler l'action des enseignants avec leurs connaissances. Pour cela, nous examinons le but des enseignants et les changements de but dans l'activité.

Nous mobilisons le concept de PCK comme cadre d'analyse des connaissances des enseignants en nous référant au modèle de Magnusson & al. (1999) pour caractériser les types de connaissances professionnelles en jeu. Notre problématique s'articule autour de deux questions principales : Quels types de connaissances professionnelles sont mobilisés par les enseignants de sciences? Comment évoluent-elles au cours de l'activité du professeur?

Le concept de boucle de régulation rétroactive de l'activité permet d'analyser les conséquences de l'écart entre le prévu et le réalisé. Par conséquent, la seconde question principale peut se décliner 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? Pour répondre à ces questions, nous avons construit une méthodologie propre à cette recherche que nous présentons maintenant.

Méthodologie

Nous explicitons, dans ce paragraphe, les outils de recueil et de traitement des données par rapport à notre contexte de l'étude.

Contexte de l'étude

Nous avons mis en œuvre cette méthodologie pendant pour le suivi de deux enseignants expérimentés de l'école primaire française. Nous les avons appelés André et Francis. L'étude de cas que nous présentons ici se réfère à un enseignement de l'électricité, pour des élèves de 8 ans à 10 ans (cycle 3). Les deux enseignants ont très peu d'expérience dans l'enseignement de l'électricité, mais ils en ont beaucoup par ailleurs ce qui nous permet d'éviter, d'un côté, les enseignants débutants et les problèmes inhérents au début de carrière qui pourraient occulter les objets de notre étude, et de l'autre, les enseignants experts qui enseignent le même thème depuis des années, chez qui nous pourrions observer des préparations pouvant être succinctes, et des routines installées qui rendraient moins visibles les évolutions qui nous intéressent.

Le thème choisi concerne les notions de circuits en série et en dérivation. Il est traité par chacun des enseignants en quatre séances d'une heure chacune

environ, suivies d'une évaluation sommative. Les progressions ont été coordonnées de manière à ce que ce thème soit enseigné dans la même période de l'année afin de permettre à chacun de discuter de situations d'enseignement récemment vécues. Ajoutons enfin que la pratique de ces deux enseignants s'inscrit dans le contexte curriculaire français où l'ESFI figure parmi les prescriptions depuis 2002⁴⁷.

Outils de recueil de données

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 journal de bord renseigné par les deux professeurs sur toute la durée de l'étude. Ce dernier nous donne une trace de leur préparation de classe et de leur analyse de la séance précédente. Il permet d'approcher le travail hors classe des enseignants. C'est un outil essentiel de la méthodologie d'investigation réflexive dans le sens où il incite à la réflexivité sur les activités.

La durée totale d'enregistrement vidéo est d'environ 20 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.

Nous menons différents types d'entretiens avec les enseignants : un entretien en début et en fin de séquence ainsi que des entretiens de type autoconfrontation (Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001). 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 professeurs font une auto-analyse de leur action, à partir des enregistrements vidéo des séances, selon des modalités proches de l'autoconfrontation simple et croisée. L'auto-analyse⁴⁸ est envisagée ici comme méthode de recueil de

⁴⁷ BOEN N°1, 14 février 2002 Hors-série

⁴⁸ Nous souhaitons distinguer un entretien en auto-analyse qui, dans notre étude, est centré sur les savoirs enseignés et sur les apprentissages des élèves, d'un entretien en auto-confrontation qui est défini comme une méthode d'analyse de l'activité de travail (Clot & al., 2001) qui vise non seulement de comprendre le travail pour le transformer, mais de le transformer pour comprendre comment le développement se produit ou ne se produit pas.

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. Il s'agit d'analyser les imprévus relevés au cours de l'auto-analyse simple. Nous avons donc retenu de suivre deux enseignants simultanément pour pouvoir organiser ces entretiens.

Outils de traitements des données

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*, comportant deux niveaux d'analyse.

Au premier niveau, nous élaborons un synopsis (Sensevy, 2007) des séances à partir d'une première analyse vidéo. 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. Afin de préparer l'entretien en auto-analyse simple, nous fournissons à chacun des enseignants les vidéos de classe de leur propre pratique avec les synopsis. Puis, nous leur demandons de relever toutes les situations qu'ils souhaiteraient discuter avec leur binôme en notant, en particulier, tous les imprévus survenus en classe. Au cours de cet entretien, les imprévus identifiés par l'enseignant sont croisés avec ceux relevés par le chercheur, puis discutés. Ceux qui sont jugés pertinents, au regard de notre étude, sont listés pour être discutés 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 discuter 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 imprévus 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*⁴⁹.

Notre étude s'appuie ici sur deux extraits qui nous semblent représentatifs de la séquence en électricité mise en œuvre par Francis et André.

Résultats

Nous présentons maintenant quelques résultats de nos recherches. Nous étudions des imprévus qui ont donné lieu à des régulations rétroactives de l'activité en boucle courte de la part des deux enseignants. Nous analysons la situation d'entrée mise en œuvre par Francis puis la réponse d'André à deux imprévus concernant le montage pile – lampe et le circuit en série.

Francis propose une situation d'entrée sous la forme de quatre questions et d'un exercice qui font l'objet d'une correction en suivant. Elles ont toutes les deux une valeur de diagnostic c'est-à-dire, pour Francis, « *de faire remarquer au bout de la séquence qu'ils (les élèves) ont progressé un écrit reste une manipulation non* ». Il s'agit aussi pour le professeur de s'assurer que tous les élèves possèdent les savoirs aux programmes du cycle 2 avant de débiter le programme du cycle 3. Cette approche de la situation d'entrée, Francis l'a construite depuis très longtemps en mathématiques et en EPS. Il n'enseigne pas habituellement les sciences dans sa classe et, par conséquent, il s'appuie sur cette « *façon de faire* » pour aborder un enseignement nouveau.

André débute la séquence sur l'électricité par une phase expérimentale, dans laquelle les élèves ont à allumer une lampe avec une pile et à dessiner leur montage. La mise en commun qui suit comporte deux temps. 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. Puis, à la seconde séance, il leur demande de construire une petite guirlande de Noël, composée seulement de 3 lampes et de 4 fils. Le professeur impose le nombre de fils pour éviter d'avoir à gérer trop de circuits différents car il souhaite travailler sur le circuit en série.

⁴⁹ Nous appelons *transcript* les tableaux des transcriptions des productions verbales des situations de classe, et des entretiens, associées à quelques descriptions succinctes du chercheur

Un imprévu au cours de la situation d'entrée. Cas de Francis

Au cours de la correction de deux schémas de l'exercice (annexe 3, schéma A et B encerclés), Francis s'aperçoit que les élèves ne connaissent pas les mots de vocabulaire, «plot», «culot» et «borne». Il est surpris car il sait qu'ils l'ont appris en cycle 2. Après plusieurs tentatives infructueuses pour les aider à se souvenir, l'enseignant leur demande de refaire l'expérience correspondant au schéma A en faisant bien attention aux points de contact entre la pile et la lampe. Lors de la mise en commun, les élèves n'arrivent toujours pas à expliquer pourquoi la lampe n'éclaire pas, par manque de vocabulaire scientifique. Ils parlent de «dessous» ou de «côté» de l'ampoule qui est ou qui n'est pas en contact avec les «barrettes», le «plus ou le moins» de la pile. Le professeur n'introduit toujours pas le vocabulaire scientifique. Il poursuit la correction de l'évaluation diagnostique.

Francis dit dans l'entretien n°1 ses difficultés: *«moi-même j'ai pas les connaissances ce qui m'a dérangé toute la séance c'est le vocabulaire scientifique à chaque fois ça se résume à ça marche ou ça marche pas (...) j'aurai dû intervenir quoi avoir un vocabulaire adapté»*. L'enseignant n'avait pas prévu de redéfinir le vocabulaire dans cette séance. Nous nommons cet imprévu: «description de la manipulation pile/lampe en mobilisant le vocabulaire scientifique». Son manque de connaissances n'a pas permis à Francis de réguler son activité afin d'atteindre son but: corriger tous les montages représentés par un schéma dans l'évaluation diagnostique. Les élèves sont restés dans le flou et il dit avoir perdu le fil au fur et à mesure de la séance car il était *«agacé (..) par ce manque-là de connaissances qui n'est pas acceptable pour un maître»*. Il reconnaît que l'activité expérimentale n'a servi à rien *«c'est une perte de temps»*. En effet, sans le vocabulaire adapté, les élèves ne peuvent pas modéliser le circuit fermé composé d'une pile, de fils et d'une lampe.

Pour autant, Francis a mobilisé des connaissances professionnelles pour construire cette évaluation lors de sa préparation de classe. Nous identifions des connaissances scientifiques (SMK) sur les circuits simples, des PCK sur les programmes (le circuit électrique est appris en cycle 2, le matériel pédagogique), sur les élèves (la formulation des questions, les schémas des montages) et des connaissances pédagogiques sur la gestion de la classe et sur

les stratégies. En effet, Francis met en place une évaluation diagnostique dans d'autres matières scolaires, en Mathématiques et en Education Physique et Sportive. Dans tous les cas, Francis nous dit que l'organisation est la même, des exercices qu'il s'agit de corriger, et ses objectifs sont identiques, faire un diagnostic des savoirs acquis par les élèves et qu'ils se rendent compte des progrès accomplis en fin de séquence. Pour nous, il s'agit d'une connaissance pédagogique, indépendante du contenu enseigné.

La réponse à deux imprévus par l'expérience. Cas d'André

André a les plus grandes difficultés à faire émerger chez les élèves des explications claires et précises à propos du montage qu'ils ont fait pour allumer la lampe à l'aide de la pile. Il souhaite qu'ils utilisent le vocabulaire scientifique de «plot», «culot» et « borne » pour répondre à la question « *que faut-il pour que cette ampoule s'allume ?* ». Ce vocabulaire a été appris par tous les élèves en cycle 2. Le professeur s'appuie sur le référent empirique constitué notamment d'une pile et d'une lampe et de ce que les élèves ont appris les années précédentes (Martinand, 2000; Larcher, 2003) pour construire le modèle du circuit fermé. Pour autant, ils n'arrivent toujours pas à répondre à la question. André décide de les faire expérimenter à nouveau car « *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* » (Annexe 1). Le professeur dit dans l'entretien n° 1 que cette situation n'était pas prévue: « *c'est une improvisation judicieuse parce que ça leur permet de se rendre compte mais là on est concrètement dans la phase de redécouverte* ».

André nous donne l'indice qui lui a fait changer son organisation: « *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* » (Tdp 7). Donc, c'est à partir sa connaissance de l'élève et du contenu de sa réponse que l'enseignant a décidé d'opérer une régulation de son activité à partir d'un imprévu que nous nommons: imprévu n° 1 « *décrire la manipulation pile/lampe en mobilisant le vocabulaire scientifique* ».

Après cette phase expérimentale, les élèves montrent très précisément les points de contacts nécessaires entre la pile et la lampe pour que cette dernière

s'allume. Mais ils ne sont pas d'accord entre eux sur le sens du branchement de la lampe. Certains disent qu'il faut que le plot soit en contact avec la petite borne; d'autres disent que le plot doit être en contact avec la grande borne. Nous observons le professeur remettre les élèves à expérimenter. La preuve s'établit à nouveau par l'expérience. C'est un nouvel imprévu pour André, que nous nommons: imprévu n°2 « la lampe n'est pas polarisée ». C'est le « *brouhaha de la classe* » qui lui a fait changer l'organisation de son activité. Au final, les élèves concluent que la lampe peut se brancher dans les deux sens.

Le circuit en série comportant une lampe défectueuse. Cas d'André

Au cours de l'activité expérimentale pour allumer 3 lampes avec une pile et 4 fils, André dépanne un binôme pour lequel aucune lampe n'éclaire. Il isole la lampe défectueuse qui est responsable de la panne et la place dans un montage en série accroché au tableau afin de mobiliser la classe sur le problème: « *Bien voici donc ma guirlande de Noël malheureusement (...) un soir je rentre à la maison j'allume mon sapin il y a comme une petite lumière et on entend pac et puis et puis là ça ne fonctionne pas (...) si ça arrive le soir de Noël on est drôlement embêté on ne peut pas fêter Noël sans que le sapin ne soit éclairé* ». Les élèves doivent expliquer « *pourquoi la guirlande ne fonctionne pas* » (Transcript en annexe), à savoir que la lampe défectueuse ouvre le circuit (le filament est coupé) et empêche les autres d'éclairer puisqu'elles appartiennent à la même boucle.

Cette activité n'était pas prévue par André. Nous nommons cet imprévu n°3 « mise en évidence d'une propriété du circuit en série ». Dans l'entretien n°1, il justifie son changement d'organisation: « *ça nous permettait justement de faire l'expérience devant tout le monde et de faire référence à ce qu'ils avaient fait avant et de mieux comprendre aussi les points positifs et négatifs du circuit en série* ».

La stratégie d'André permet à tous les élèves de s'appropriier le problème. En effet, il scénarise la situation en se plaçant le soir de Noël où il n'est pas question d'avoir une guirlande qui ne fonctionne pas. Ensuite, le fait d'accrocher le circuit au tableau permet à tous de voir les effets et d'agir sur le circuit « *en direct sachant qu'ils ont déjà manipulé avant* ». L'enseignant

s'appuie sur le modèle du circuit en série construit par les élèves, au cours des expériences précédentes, pour qu'ils puissent expliquer la panne. Il leur demande d'émettre des hypothèses explicatives qui n'ont pas vocation à être testées individuellement mais plutôt à être discutées et testées collectivement (par exemple, Tdp 13). Nous observons les difficultés des élèves à répondre à la question du professeur. Ils restent au niveau du registre empirique (Martinand, 2000) en faisant référence à des solutions pour dépanner (Jusqu'au Tdp 11). Ensuite, ils le mettent en lien le registre des modèles en faisant référence à l'électricité qui circule dans le circuit (pour les élèves le terme circuit est synonyme de boucle) avec, parfois, un point de vue animiste (par exemple, Tdp 18).

Pour nous, les difficultés des élèves se situent à deux niveaux. Ils doivent, d'une part, faire le lien entre le registre empirique et celui des modèles et, d'autre part, l'activité langagière entre les élèves doit se situer, *a priori*, sur le plan explicatif et sur le plan empirique. En effet, la question posée par le professeur débute par «pourquoi». Elle est sensée placer les élèves dans une activité langagière sur le plan explicatif par la formulation d'arguments qui s'appuient notamment sur les modèles déjà construits. Pour autant, la situation présentée par André place les élèves dans le registre empirique puisqu'il met en scène la panne avec du matériel déjà manipulé par les élèves. La tâche des élèves nous paraît donc complexe (Bisault & Berzin, 2009) car elle met en jeu deux modalités d'activités langagières complémentaires et deux registres différents d'élaborations scientifiques qui doivent être mis en relation. La tâche prescrite est d'autant plus difficile à appréhender (Bautier, 2006). Il faut que l'enseignant reformule la question deux fois (Tdp 7 et Tdp 13) pour que des élèves proposent que « *l'ampoule bloque l'électricité* » (Tdp 20) et que, par conséquent, « *le courant ne peut pas passer* » (Tdp 22) avant de conclure que le circuit est alors ouvert.

Discussion

Nous discutons maintenant les éléments d'analyses concernant les trois moments que nous avons présentés dans le paragraphe précédent: un imprévu au cours de la situation d'entrée mise en œuvre par Francis et deux imprévus survenus au cours d'une mise en commun des travaux faisant suite à une investigation expérimentale mise en œuvre par André. Nous débutons cette

discussion en identifiant les connaissances professionnelles mobilisées par les deux enseignants à l'aide de notre modèle de référence. Puis, nous présentons des mécanismes d'acquisition de nouvelles connaissances professionnelles et nous analysons des conséquences sur les réorganisations de l'activité des professeurs.

Les connaissances professionnelles des enseignants

Nous observons que les deux enseignants ne mobilisent pas uniquement des connaissances disciplinaires (SMK) et des connaissances pédagogiques (PK) dans la préparation et au cours de la mise en œuvre de leur enseignement. Nous identifions aussi des connaissances pédagogiques liées au contenu (PCK).

Les premières sont en électrocinétique (typologie des circuits électriques, schéma avec codes SI, notion de dipôles, matériaux conducteurs et isolants électriques, court-circuit, loi d'Ohm, sécurité électrique) en régime continu essentiellement. Les secondes sont à propos de tout ce qui ne concerne pas les contenus disciplinaire. Nous avons montré que Francis, mobilisait une PK sur les stratégies en mettant en œuvre des évaluations diagnostiques dans différentes matières scolaires qui sont organisées de la même manière et avec les mêmes objectifs. Il s'agit de sa «conception de l'enseignement» qu'il dit s'être construite au fil des années. C'est une connaissance pédagogique personnelle (Morine-Dershimer & Kent, 1999). Notre étude montre que lors du lancement des activités expérimentales, la consigne des professeurs des écoles est double. Les élèves doivent réaliser une expérience et produire une trace écrite. Pour André et Francis, elle apporte une forme de régulation entre les élèves rapides et les autres, et plus d'autonomie. De plus, les deux professeurs donnent un rôle dans les apprentissages aux écrits individuels et collectifs et plus spécifiquement à la construction d'une trace collective pour apprendre des notions en sciences. Les élèves disposent d'une feuille de recherche généralement vierge qui est affichée au tableau car, nous dit Fabien, *« elle permet de construire la trace écrite collective qui constituera la synthèse »*. Pour André, 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 »*. Pour nous, les deux professeurs

mobilisent des PK sur les principes pédagogiques (place et rôle du langage dans les apprentissages), sur l'organisation et la gestion de classe (modalités, co-construction des synthèses, autonomie et planification de la séquence aux abords de Noël).

Les autres connaissances mises en jeu sont des PCK sur l'apprentissage en sciences: les programmes (DI, matériel pédagogique, le circuit électrique est au programme du cycle 2, le courant et la tension électrique ne sont pas au programme, la place du langage dans les apprentissages en sciences), sur les élèves (les prérequis sur le circuit électrique, circuit ouvert, circuit à plusieurs boucles, le court-circuit, conducteurs et isolants électriques, symbolisation), sur les stratégies (le circuit en série est accroché au tableau, la guirlande électrique). Nous avons observé aussi des PCK sur l'apprentissage du français (syntaxe, lecture, orthographe, phonologie) au cours de la construction des écrits collectifs en grand groupe. En effet, les deux professeurs en profitent pour corriger les erreurs d'orthographe et de prononciation des élèves. Par exemple, nous avons observé André corriger la prononciation d'un élève en faisant une correspondance entre la phonie et la graphie des sons [il] et [ij] par rapport à un mot connu: *bille*. Pour nous, les professeurs des écoles mobilisent aussi des PCK sur les orientations pour l'enseignement des sciences (Magnusson & al., 1999) à travers le lien qu'ils font entre le langage et les sciences, la dimension de co-construction des synthèses et des écrits institutionnalisés qui constituent la leçon à apprendre. Pour autant, s'agit-il d'une connaissance de type PCK car elle ne paraît pas spécifique à l'enseignement de l'électricité? Nous rejoignons Abell (2007) pour dire qu'il s'agit d'une vue générale de l'enseignement des sciences. De plus, cette vue générale ne peut se résumer à des connaissances. En effet, pour l'auteur, il y a des croyances et des valeurs en jeu. D'autres études sont nécessaires pour comprendre comment les orientations peuvent s'articuler avec le modèle des PCK.

Toutes ces catégories de connaissances sont incluses dans les connaissances professionnelles des enseignants qu'ils mobilisent pendant la préparation et au cours de la mise en œuvre de leur enseignement.

Acquisition de nouvelles connaissances des enseignants: conséquences sur les réorganisations de l'activité

Dans tous les cas que nous venons d'étudier, l'acquisition d'une ou plusieurs connaissances de type PCK se fait lors des régulations opérées par les professeurs. Revenons sur les cas que nous avons décrits précédemment.

Francis et André ont acquis une nouvelle connaissance, de type PCK sur les élèves, lors d'un imprévu « commun » que nous avons noté « description de la manipulation pile/lampe en mobilisant le vocabulaire scientifique ». Ils n'ont pas anticipé la difficulté des élèves à expliquer précisément les points de contacts qui sont nécessaires pour allumer une lampe avec une pile. Nous la notons dans la sous-catégorie « La connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés ». Comme nous l'avons décrit précédemment, André atteint son but donnant des tâches plus précises aux élèves. Par contre, le manque de connaissances scientifiques de Francis l'a empêché d'atteindre son but « corriger l'exercice », à la première séance, malgré plusieurs tentatives. Nous observons le professeur débiter la seconde séance par un rappel du vocabulaire « plot », « culot » et « borne », à l'aide d'un document qu'il a construit pour l'occasion. Puis, un groupe d'élève vient faire l'expérience devant la classe, en réinvestissant le vocabulaire pour expliquer ce qu'ils font pour allumer la lampe avec la pile. Par ailleurs, André a acquis deux nouvelles PCK sur les élèves au cours d'une régulation en boucle courte à la suite des deux imprévus que nous avons noté: l'imprévu n° 2 « la lampe n'est pas polarisée »; l'imprévu n° 3 « mise en évidence d'une propriété du circuit en série ». Nous notons les connaissances comme suit: « il n'y a pas de sens pour brancher une lampe sur une pile » et « une lampe défectueuse ouvre le circuit lors d'un montage en série ». Pour nous, Francis a acquis une nouvelle connaissance professionnelle qui lui permet d'atteindre son but suivant une double boucle de régulation rétroactive de l'activité (Jameau & Boilevin, 2015b): une boucle courte qui lui permet de laisser de côté la correction de l'exercice et de poursuivre son activité prévue à la séance 1; une boucle longue qui lui permet d'atteindre son but « corriger l'exercice » à la séance 2, à la suite d'une nouvelle PCK sur les élèves acquise lors de la séance 1.

Cette analyse montre que, d'une part, l'acquisition de nouvelles

connaissances se fait à partir de l'activité en classe et, d'autre part, ces nouvelles connaissances ont un impact sur l'organisation de l'activité du professeur. Cet impact peut se mesurer par un travail en classe et hors classe. De fait, nous percevons la différence entre, d'un côté, l'activité du professeur construite pendant la préparation, et, de l'autre côté, les évolutions de l'activité à la suite de nouvelles connaissances acquises dans l'action de la classe (Jameau, 2015; Jameau & Boilevin, 2015b). Autrement dit, l'activité possède un versant productif et un versant constructif (Samurçay & Rabardel, 2004).

Une boucle courte de régulation est axée sur la réussite mais n'apporte pas une réponse définitive (Piaget, 1974). Dans notre cas, la « réussite » est de nature différente. Pour Francis, elle consiste à poursuivre son activité prévue en abandonnant le but initial qui était de corriger l'exercice. Concernant André, les élèves effectuent la tâche avec succès. Nous remarquons ainsi qu'un enseignant n'est pas assuré d'apporter une réponse pertinente lors de chaque régulation en boucle courte. En effet, il doit mobiliser des connaissances professionnelles qui peuvent être des PCK ou des SMK.

Pour nous, la boucle courte implique que *le spectre* des contenus enseignés est plus large que prévu (Jameau, 2015). Par contre, lorsque les enseignants opèrent une double boucle de régulation, le résultat est plus appropriée pour la classe, à savoir les réponses données sont plus précises et plus efficaces du point de vue de l'apprentissage des élèves (Jameau & Boilevin, 2015b). Nous remarquons que cette double boucle se fait à une échelle de temps qui dépasse celle de la session de classe (Ibid.).

Mais qu'ils soient sélectionnés ou pas, les imprévus peuvent être à l'origine de la construction de nouvelles connaissances par l'enseignant. Par exemple, Francis dit dans les entretiens que son évaluation diagnostique n'est pas adaptée pour 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* ». Il s'aperçoit au fur et à mesure du déroulement de la séance que les élèves sont focalisés sur le matériel sans pouvoir le manipuler: « *je vois bien une frustration de la part des élèves qui ont envie de manipuler qui ont envie de chercher* ». Il pense qu'ils n'ont « *rien appris* ». Pour lui, ils connaissent « *la théorie* ». Par conséquent, il préconise de les faire

expérimenter dès le début: « *au départ pourquoi pas leur demander de construire des circuits avec une ampoule pour voir ce qu'ils sont capables de faire réellement et ensuite peut-être donner un exercice* ». Pour nous, Francis a construit une PCK sur les stratégies. Cette connaissance n'a pas fait l'objet de régulation. Francis prend conscience que l'évaluation diagnostique qu'il met en place en mathématiques et en EPS n'est pas adaptée aux sciences expérimentales.

Dans tous les cas, les imprévus deviennent des événements prévisibles (Perrenoud, 1999) lorsque les enseignants ont construits de nouvelles connaissances (Jameau & Boilevin, 2015b) de type PCK ou SMK.

Conclusion

Notre travail nous a conduits à étudier l'acquisition de connaissances professionnelles chez les enseignants de sciences. Pour cela, nous nous appuyons sur des références théoriques, en didactique des sciences et en didactique professionnelle, ainsi que sur une méthodologie construite pour cette recherche.

Notre étude montre que les enseignants mobilisent d'autres types de connaissances que les connaissances disciplinaires académiques et les connaissances pédagogiques : des connaissances sur les élèves, des connaissances sur les programmes, des connaissances sur les stratégies d'enseignement. Ces connaissances dépendent du contenu à enseigner, ce sont des catégories de PCK. Elles peuvent concerner l'apprentissage des sciences mais aussi l'apprentissage du français. Elles s'amalgament (Shulman, 1986) notamment avec des connaissances disciplinaires (SMK), d'un niveau supérieur à celui qui est enseigné, et des connaissances pédagogiques (PK). Toutes ces catégories sont incluses dans les connaissances professionnelles de l'enseignant. Elles lui permettent de rendre le sujet d'étude plus compréhensible pour les élèves (Ibid).

Dans cet article, nous avons soulevé une question théorique. Nous rejoignons d'autres résultats de la recherche dans nos difficultés à définir une PCK sur les orientations pour l'enseignement des sciences. En quoi le lien qui est fait pas les enseignants du premier degré entre sciences et langage est-il une PCK? Pour autant, il s'agit bien d'une orientation qu'ils donnent à leur enseignement et qui est un déterminant de l'action pour chacun d'eux, au

même titre que les autres catégories des connaissances professionnelles (Jameau & Boilevin, 2015b).

Nous pensons que notre étude permet d'identifier certains éléments concernant l'acquisition d'expérience des enseignants. En effet, des imprévus sont à l'origine de la construction de nouvelles connaissances, de type PCK sur les élèves. Elles engendrent parfois des boucles courtes de régulation rétroactives de l'activité qui montrent comment ces connaissances se construisent et participent à l'adaptation de l'enseignement du professeur à la classe, suivant une échelle de temps plus ou moins large (Jameau, 2015). De fait, les mécanismes qui pourraient modéliser, en partie, l'acquisition d'expérience professionnelle sont l'acquisition de nouvelles PCK et la constitution d'évènements prévisibles (Perrenoud, 1999) que nous identifions dans l'action et qui ont été précédemment construits. Par conséquent, la préparation de la classe n'est pas définitive et n'assure pas les enseignants d'atteindre leurs objectifs; elle évolue à travers des réajustements. Mais cette étude demande à être poursuivie notamment en la replaçant par rapport aux travaux sur le développement professionnel des enseignants.

Toutes ces questions montrent le travail qu'il nous reste à accomplir pour mieux comprendre l'activité des enseignants de sciences et ses évolutions du point de vue des connaissances professionnelles. Il nous paraît nécessaire d'élaborer un programme de recherche autour de notre modèle pour tester son pouvoir heuristique et éventuellement le prendre comme point d'appui pour des recherches dans la cadre de la formation d'enseignants de sciences.

Références

- Abell, K. (2007). Research on science teacher knowledge. In K. Abell & N. Lederman (Eds), *Handbook of research on science education* (pp. 1105-1150). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1989). *Science for All Americans. Project 2061*. New York: Oxford University Press.
- Bachtold, M. (2012). Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation. *Tréma*, 38, 7-39.
- Bautier, E. (2006). Le rôle des pratiques des maîtres dans les difficultés scolaires des élèves. *Recherche et Formation*, 51, 105-118.
- Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*, 45, 165-188.
- Bisault, J. (2010). Des moments de sciences à l'école primaire : quelles références pour quels enjeux? *Recherches en Didactiques des Sciences et des Technologies*, 2, 53-77.
- Bisault, J., & Berzin, C. (2009). Analyse didactique de l'activité effective des élèves en sciences à l'école primaire. *Éducation et Didactique*, 3(2), 77-99.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., & Granger, E. M. (2009). No silver bullet for inquiry: making senses of teacher change following an inquiry-based research experience for teachers. *Science Education*, 93(2), 322-360.
- Boilevin, J.-M. (2013a). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles: De Boeck.
- Boilevin, J.-M. (2013b). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. Dans M. Grangeat (Éd.), *Les enseignants de*

sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe (pp. 27-53). Grenoble: PUG.

Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., Givry, D., & Delserieys, A. (2012). L'enseignement des sciences et de la technologie fondé sur l'investigation: étude d'un dispositif collaboratif entre enseignants de collège et chercheurs en didactique. Dans B. Calmettes (Dir.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation* (pp. 214-234). Paris: L'Harmattan.

Bronckart, J.-P. (2005). *Une introduction aux théories de l'action*. Genève: Université de Genève, FPSE Publications.

Broussal, D. (2006). *Interagir en début de cours une professionnalisation du malentendu entre savoir et langage*. Thèse de doctorat, Université Montpellier III, France.

Calmettes, B. (2012). *Modélisation pragmatiste de l'action didactique de l'enseignant – le cas des démarches d'investigation en physique au collège*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Toulouse 2, Toulouse, France.

Cariou, J.-Y. (2013). Démarches d'investigation: en veut-on vraiment? Regard décalé et proposition d'un cadre didactique. *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies*, 7, 137-166.

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.

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.
- Crawford, B. A. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613-642.
- Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Éducation & Didactique*, 4(3), 39-60.
- Dell'Angelo, M., Coquidé, M., & Magneron, N. (2012). Statut de l'investigation dans des standards de l'enseignement scientifique: cas des USA, de la Suisse et de la France. Dans B. Calmettes (Dir.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation* (pp. 27-58). Paris: L'Harmattan.
- Eurydice (2006). *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*. Bruxelles, Commission Européenne, Direction Générale de l'Éducation et de la Culture.
- Gengarelly, L. M., & Abrams, E. D. (2009). Closing the gap: inquiry in research and in the secondary science classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 74-84.
- Grangeat, M. (Éd.) (2013). *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*. Grenoble: PUG.
- Grossman, P. (1990). *The making of a teacher: teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Gyllenpalm, J., Wickman, P.-O., & Holmgren, S.-O. (2010). Teachers' language on scientific inquiry: methods of teaching or methods of inquiry? *International Journal of Science Education*, 39(9), 1151-1172.
- Hammoud, R. (2012). *Le travail collectif des professeurs en chimie comme levier pour la mise en œuvre de démarches d'investigation et le*

développement des connaissances professionnelles. Contribution au développement de l'approche documentaire du didactique. PhD Thesis, Lyon I University - Lebanese University.

Huber, M., & Chautard, P. (2001). *Les savoirs cachés des enseignants. Quelles ressources pour le développement de leurs compétences professionnelles.* L'Harmattan: Paris.

Jameau, A. (2015). Une étude des connaissances professionnelles des enseignants du point de vue de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. *Éducation & Didactique*, 9(1), 9-31.

Jameau, A., & Boilevin, J.-M. (2015a). Les déterminants de la construction et de la mise en œuvre de démarches d'investigation chez deux enseignants de physique-chimie au collège. *Recherches en Education*, 21, 109-122.

Jameau, A., & Boilevin, J.-M. (2015b). The double loop of science teachers' professional knowledge. In M. Grangeat (Ed.), *Understanding science teacher professional knowledge growth* (pp. 27-46). Rotterdam/Boston/Taipei: Sense Publishers.

Jean, A. (2008). *Le traitement des imprévus par les professeurs stagiaires de technologie en formation initiale à l'IUFM. Quels gestes d'ajustement en situation de classe? Quelle utilisation pour leur développement professionnel?* Thèse de doctorat, Université Montpellier III, France.

Larcher, C. (2003). Contribution à la table ronde «cadres théoriques autour de la modélisation». Dans V. Albe, C. Orange & L. Simonneaux (Éds), *Actes des 3èmes rencontres scientifiques de l'ARDIST «Recherches en didactique* (pp. 305-308). Toulouse: ENFA.

Leontiev, A. (1975). *Activité, conscience, personnalité.* Moscou: Éditions du Progrès.

Leplat, J. (2004). L'analyse psychologique du travail. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 54(2), 101-108.

Leplat, J. (2006). Les contextes de formation. *Education Permanente*, 166, 29-48.

- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds), *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Martinand, J.-L. (2000). Rapport au savoir et modélisation en sciences. In A. Chabchoub (Dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences. Actes du 5e colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences*, tome 1 (pp. 123-135). Tunis.
- Minner, D. D., Jurist Levy, A., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction-What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
- Morge, L. (2008). *La simulation croisée pour accéder aux connaissances professionnelles didactiques locales (LPCK) acquises par l'expérience*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.
- Morine-Dersheimer, G., & Kent, T. (1999). The complex nature and sources of teachers' pedagogical knowledge. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 21-50). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- National Research Council (NRC) (1996). *National Science Education Standards* Washington, DC: The National Academies Press.
- Park Rogers, M. A., & Abell, S. K. (2008). The design, enactment, and experience of inquiry-based instruction in undergraduate science education: a case study. *Science Education*, 92(4), 591-607.
- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Education Permanente*, 139, 13-35.
- Pélissier, L., & Venturini, P. (2012). Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission de savoirs épistémologiques? Dans B. Calmettes (Dir.), *Didactique des sciences et démarches*

d'investigation: références, représentations, pratiques et formation (p.151-182). Paris: L'Harmattan.

Perrenoud, P. (1999). Gestion de l'imprévu, analyse de l'action et construction de compétences. *Education Permanente*, 140, 123-144.

Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris: PUF.

Prieur, M., Monod-Ansaldi, R., & Fontanieu, V. (2013). Réception des démarches d'investigation prescrites par les enseignants de sciences et de technologie. *Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies*, 7, 53-76.

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.

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.

Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Éds.), *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique* (pp. 13-49). Rennes: PUR.

Sensevy, G., & Amade-Escot, C. (2007). Une présentation de "Those who understand knowledge growth in teaching". *Education & Didactique*, 1(1), 95-96.

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.

Tardif, M., & Lessard, C. (1999). *Le travail enseignant au quotidien*. Québec: Les Presses de l'Université Laval.

Venturini, P. (2012). Action, activité, «agir» conjoints en didactique: discussion théorique. *Education & Didactique*, 6(4), 127-136.

Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques: étude de cas au collège. *Revue Française de Pédagogie*, 180, 95-120.

Vinatier, I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. Rennes: PUR.

Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: what can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.

Woods, P. (1990). *L'Ethnographie de l'École*. Paris: Armand Colin.

Yinger, R. J. (1986). Examining thought in action: A theoretical and methodological critique of research on interactive teaching. *Teaching and Teacher Education*, 2, 263-282.

Annexe 1

Extrait 1: Transcript de l'imprévu «mises en mots des points de contact entre la pile et la lampe»

Tdp1	PE: que faut-il pour que cette ampoule s'allume que faut-il que je fasse avec / ma pile
Tdp2	E1: faut mettre le plot dessus ici comme ça
Tdp3	PE: 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
Tdp4	Es: non
Tdp5	PE: non alors moi je veux des explications qui soient claires / mireille
Tdp6	M: ben le plot ben
Tdp7	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

Extrait de transcript (PE = professeur des écoles, Es = élèves, E1 = élève, M: Mireille / = pause supérieure à 2s) de la discussion en grand groupe à propos de la réponse à la question «que faut-il pour que cette lampe s'allume?»

ANNEXE 2

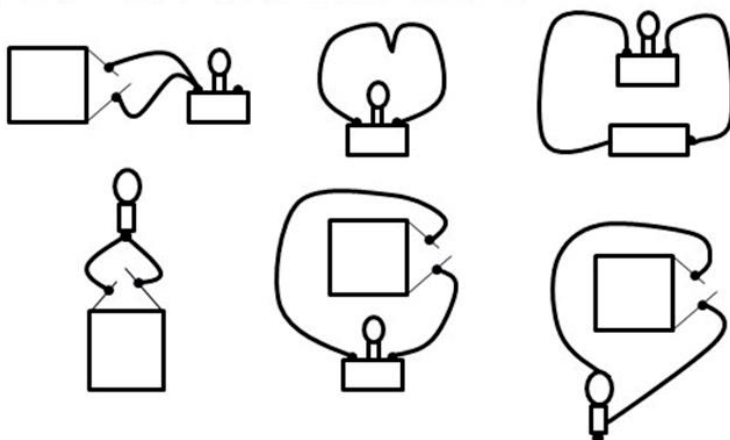
Extrait 2: Transcript Alain «une propriété du circuit en série»

Tdp1	PE: pourquoi est-ce que mon circuit pourquoi est-ce que ma guirlande ne fonctionne pas / réfléchissez bien // Romane
Tdp2	Ro: parce que les fils ils peuvent pas relier aux 2 bornes et ça peut pas marcher
Tdp3	PE: presque presque / Charlotte qu'est-ce que tu en penses toi
Tdp4	Cha: je remets une autre pile
Tdp5	PE: une autre pile
Tdp6	E3: non une autre ampoule
Tdp7	PE: une autre ampoule oui / pour répondre à ma question pourquoi est-ce que la guirlande ne fonctionne pas j'ai quand même 2 ampoules qui fonctionnent là
Tdp8	Cha: parce que y'a une ampoule qui qui empêche
Tdp9	PE: et alors qu'est-ce que ça provoque dans mon circuit / alors charlotte / thibault
Tdp10	Thi: elle est mal vissée heu
Tdp11	PE: non non elle est bien vissée // maxence
Tdp12	Ma: si y'a une ampoule qui est grillée c'est l'électricité après y'en a une avant et ben y'en aura qu'une qui va marcher
Tdp13	PE: ben regarde regarde y'en a qu'une qui va marcher moi je veux bien mais écoute moi je veux bien mais pour l'instant il y en a aucune qui fonctionne / et tu vois je peux te le prouver car il suffit que je remplace celle-ci par celle-ci [PE fait la manipulation en même temps] et tout s'allume / ah / donc ce que tu viens de dire à l'instant ne fonctionne pas je repose ma question pourquoi est-ce qu'à cause d'une ampoule vous avez vu c'est une petite guirlande hein moi dans ma guirlande à la maison j'ai au moins une vingtaine de d'ampoules de couleur [brouhaha] chut on écoute toni
Tdp14	To: (...?)
Tdp15	PE: ah vous ne répondez pas à la question // antonin
Tdp16	Anto: l'électricité elle passe dans les fils mais comme ça ne passe pas dans les ampoules l'électricité elle euh tout ne peut pas s'allumer
Tdp17	PE: on y est presque mais vous n'arrivez pas à le dire hein on y est presque / aller ambre qui saute sur sa chaise depuis tout à l'heure
Tdp18	Amb: en fait comme toute l'électricité elle veut faire allumer l'ampoule et elle y arrive pas et puis les autres elle s'allume pas
Tdp19	PE: non
Tdp20	Mar: ça bloque l'électricité
Tdp21	PE: donc donc marie
Tdp22	Mar: le courant ne peut pas passer
Tdp23	PE: donc
Tdp24	E5: ça ne marche pas
Tdp25	PE: donc donc
Tdp26	E6: elle n'éclaire pas
Tdp27	PE: on a remarqué oui mais donc [PE montre le mot circuit écrit au tableau] donc
Tdp28	déborah
Tdp29	Deb: le circuit ne s'allume pas
Tdp30	PE: donc
Tdp31	E6: le circuit est ouvert Es : mais oui

Extrait de transcript (PE = professeur des écoles, Es = élèves, E1 = élève, / = pause supérieure à 2s, (...?) = propos inaudible) de la discussion en grand groupe à propos de la panne occasionnée par une lampe défectueuse dans le circuit série

Annexe 3

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.



ALAIN JAMEAU & JEAN-MARIE BOILEVIN

**THE DOUBLE LOOP OF
SCIENCE TEACHERS'
PROFESSIONAL KNOWLEDGE
ACQUISITION**

The study of teachers' professional knowledge has already been addressed in numerous educational research studies at the international level, both in general and with a focus on science teachers. These research studies often refer to the concept of Pedagogical Content Knowledge or PCK (Shulman, 1986, 1987), which is specific knowledge for teaching that is enriched, in part, by content knowledge (Sensevy, & Amade-Escot, 2007). As shown by Abell (2007), most international studies have sought to identify teachers' knowledge based on what they say about their knowledge and their practice. In France, some groups have implemented methodologies that identify PCK based on teachers' actions (Bécu-Robinault, 2007; Kermen, & Méheut, 2008; Cross, 2010; Jameau, 2014). Some of these methods emphasise the need to focus on a smaller scale in order to better conceptualise PCK (Cross, 2010; Morge, 2008). In all cases, the original model is rarely discussed because it is either redefined in each study or another theoretical framework is proposed (Abell, 2007).

Further, in recent years a reflection at the

international level about the role of experimental activities in science teaching along with an evolution of the purposes of science education have allowed the development of new curricula, accompanied by new teaching practices, such as Inquiry-Based Science Education (IBSE) (Boilevin, 2013a, 2013b; Venturini and Tiberghien, 2012). The different curricula around the world (AAAS, 1989; NRC, 1996; Eurydice, 2006) describe this teaching approach in more or less the same form, but there is no real consensus on the definition of IBSE. The challenge is to renew teaching practices in science and technology (and sometimes in mathematics) by trying to make learning more active and more motivating and by providing more open tasks for the students, which give them greater autonomy (Boilevin, 2013; Calmettes, 2012). Thus, we move from activities focused on laboratory work or on conceptual learning, organized into stereotypical approaches, to education based on open investigations including the elaboration of questions and of hypotheses etc.

In this chapter, we present a model for science teachers' professional knowledge acquisition and compare it with an empirical study based on the implementation of a science course based on an investigation in the French curricula context¹. IBSE is indeed promising if we assume that its implementation incites teachers to change their practices so as to meet the new requirements. Before we describe the model we have constructed in detail, and demonstrate its interest, we present the conceptual framework to which we refer.

RESEARCH QUESTION AND THEORETICAL FRAMEWORKS

Our study led us to explore different theoretical frameworks, which we present here. First, we discuss our references on professional didactics for the analysis of the organisation of teacher activity and its accompanying regulation mechanisms. Then, we examine the studies about the PCK concept before presenting the Magnusson, Krajcik and Borko (1999) model, which we used in our analysis. Finally, we present some research concerning the concept of unexpected events.

Teacher activity/action

According to Sensevy (2007), the meaning of the word "action" in the phrase "didactic action" refers to acting "whether this is manifest or intellectual, and the general meaning that we give it when talking about philosophy of action" (our translation, p. 5), which Bronckart (2005) calls "any form of oriented intervention from one or more humans in the world" (p. 81). Schubauer-Leoni et al. (2007) emphasised the utility of retaining the elements of articulation between activity and action as they were proposed by Leontiev (1975) and, subsequently, by Bronckart. The latter defined activity as an interpretation of acting at the level of an organised collective and action at the level of a single person. The collective dimension of the activity is driven by *goals*, while the individual dimension of the action is driven by *intentions* and *motivations* that are specific to the reasons for acting. Leontiev (1975) considers realised actions as essential components of human activities. They are subordinate to activities. Activities are carried out through actions and actions respond to conscious goals. These goals are part of the task that he defines as a specific goal in defined conditions (Leontiev, 1975). Actions are realised by operations determined by the conditions of the activity and activities are oriented by a motive, which is a material or conceptual objective satisfying a need (Venturini, 2012).

It is important to differentiate what is related to the task from what is related to the activity in order to study the tasks required of students. The work of Leplat (2004) connects these two elements while showing precisely what differentiates them. He states:

the task is what there is to do: the goal to be achieved under certain conditions (...), the activity depends on the task and the characteristics of the subject, of the individual, but it can contribute (in return) to the definition of the task and to the transformation of the subject (p. 14).

Consequently, the activity cannot be studied independently of the task (Vinatier, 2009).

Retroactive activity regulation loops

Leplat (2006) notes that the concept of regulation is often used in texts devoted to the study of activity in work situations. In addition, according to Coulet (2011):

It is, indeed, difficult to account for activity without insisting on the regulation mechanisms that accompany it (p. 15).

Consequently, Leplat (2006) proposes a definition and a model that allows him to show how a model of regulation can highlight some aspects of the activity. He mentions a few of the main types of regulations that he classifies as retroactive and proactive regulations: the first type is based on results, the second on anticipation. Coulet (2010) adds that:

The function of proactive regulations is the adjustment of a scheme with regard to the specificity of the situation through the variability of the actions performed, while retroactive regulations show the reorganization of the activity as a result of the feedback of the action taken into account by the subject (p. 5).

In the context of his research on the learning of nuclear power plant operations using simulators, Pastré (1999) shows that there are two types of strategies, both qualified as "retroactive and partial". The novice teacher cannot have an overview of the whole operation; his strategy called a short loop is procedural by nature. The result of the simulator training led Pastré to qualify the second strategy as a long loop; it is analytic by nature. In other words, the novice modifies his activity gradually, using a procedure that may be described as trial and error, where each mistake is associated with a rule for action. The short loop represents an "active coordination" regulation (Piaget, 1974), mainly oriented towards success. Concerning the long loop, the operator implements a form of "conceptual coordination" (Piaget, 1974) through a global approach. Moreover, in problem-solving situations, another form of retroactive activity regulation is seen: one that reorients the subject towards other forms of activities, towards other schemes, which would be better adapted to the properties of the situation and the task. According to Coulet (2010), these represent "scheme change" regulations.

Pedagogical content knowledge

The Shulman model can be used to understand the specific knowledge involved in the teaching of subject-related knowledge in order to distinguish a teacher from a specialist in a subject. He first defined three types of "content understanding" and studied their impact in the classroom: "Subject Matter Knowledge" (SMK), "Pedagogical Content Knowledge" (PCK) and "Curricular Knowledge" (CK). Later, Grossman (1990) proposed developing the Shulman model by defining four domains: general pedagogical knowledge (PK), disciplinary knowledge (SMK), pedagogical content knowledge (PCK), and knowledge of context (KofC).

Magnusson, Krajcik and Borko (1999) defined the components of PCK separately (see Figure 1). According to these authors, there are four components: knowledge of teaching strategies, knowledge of programmes, knowledge of assessment, and knowledge of students. These four components of PCK are also divided into subcategories that interact with each other. In addition, a fifth component shapes the others: the "orientation to teaching science" component. In our study, this model is useful in order to categorise the knowledge involved in teacher practice. It is composed of categories and subcategories that make a fine distinction between knowledge at the level of the teacher, which he uses in relation to the content to be taught (weight and mass in our study), and knowledge at the student level that is specific to the teaching of this content.

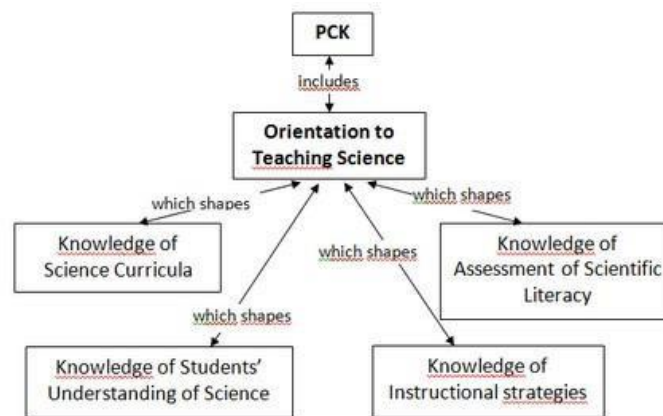


Figure 1. Examining Pedagogical Content Knowledge (Gess-Newsome & Lederman, 1999)

The concept of unexpected events

In some studies, the unexpected is considered as a tool while, in other works, it is seen as an object or as "a structuring object integrated in a method or as a training element" (Jean, 2008, p. 25). Unexpected incidents are sometimes synonymous with disruptive incidents (Woods, 1990) or misunderstandings (Broussal, 2006), linked to teaching described as "vague work" by Tardif and Lessard (1999). Yinger (1986) refers to improvisation to describe the work of expert teachers.

Huber and Chautard (2001) consider the unexpected as a particular type of event defined as disruptive, which leads the teacher to look for "a new balance" either immediately or later. This implies that the unexpected should be considered as a regulation system for learning. We find this relationship between the unexpected and regulation in the work of Broussal (2006). He demonstrates a relationship between the identification of misunderstandings and the expertise of teachers who use the misunderstandings as "pertinent indicators" that have an impact on their interventions. Perrenoud (1999) also uses the concept of event, but adds the qualifier "unexpected". He distinguishes the case of the predictable event whose occurrence is not planned, and the unpredictable event for which only an improvised response is possible.

A THEORETICAL MODEL FOR PROFESSIONAL KNOWLEDGE ACQUISITION

Our study of the gap between the planned and the realised entails identifying unexpected events in the class. Based on the work of Huber and Chautard, as well as that of Perrenoud, we define the unexpected as a disruptive event that occurs in the classroom and is not planned by the teacher. We consider the particular case where the unexpected event is perceived by the teacher and generates a regulation. These unexpected events can lead to the construction of new teacher knowledge.

From a methodological point of view, we identify the unexpected events during self-confrontation interviews (Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001) (see the methodology section). Then, we note the goal changes that are characteristic of retroactive regulations of activity with reference to the work of Leontiev.

We propose a theoretical model (see Figure 2) that expresses the acquisition of new knowledge from the in-class activity and, at the same time, shows the impact of this new knowledge on the organisation of the teacher's activity. This impact can be measured by in-class and out-of-class work. It

reflects the fact that the activity has a constructive factor and a productive factor (Samurçay & Rabardel, 2004). We consider that this model allows us to differentiate between the teacher activity constructed during the preparation on one hand, and the evolutions of the activity as a result of the new knowledge gained in the class action on the other hand.

Our model covers two different situations. The first corresponds to an unexpected event that is perceived and selected by the teacher. He operates a short regulation loop that allows him to achieve her/his goal by operating step by step (Pastré, 1997). Then, she/he resumes the planned course of the lesson. During this regulation, new professional knowledge is acquired.

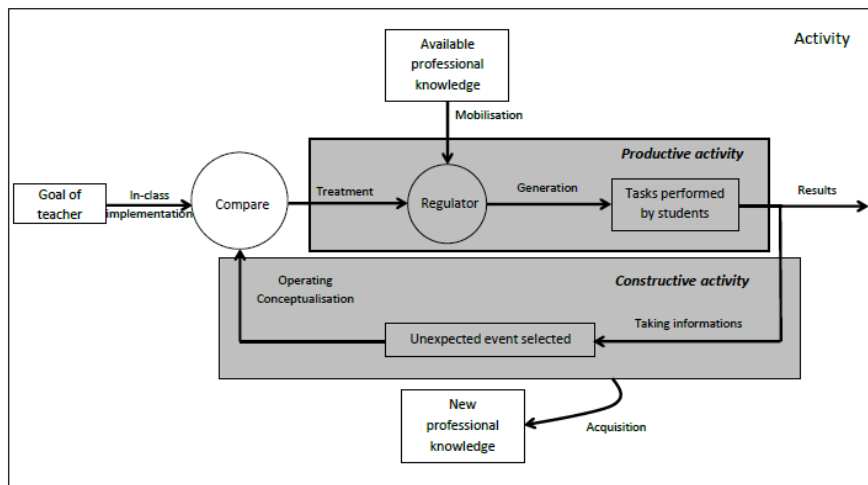


Figure 2. Theoretical model of a short-term loop

In the model, the circles represent actions of information treatment from several sources. The rectangles represent states. The regulator function aims to represent the fact that the activity of a subject position is never automatic, i.e. without checks and taken information. Here, it is either for the teacher to achieve its goal in relation with what is planned, or it comes to treating a gap between what is planned and what is realised. In the first case, we refer for example to the different modes we can characterise from the abstraction hierarchy of Rasmussen et al. (1994). In the second case, we focus on the treatment by the teacher in the class action that allows her/him to achieve her/his goal by working step by step (Pastré, 1997).

The second situation describes the consequences of the new knowledge acquisition on the result of the short regulation loop, as previously described. This allows the teacher to achieve her/his goal, but not in a way that is always satisfactory. Consequently, she/he performs a long regulation

loop at a time scale that exceeds that of the class session. The result is generally more appropriate for the class, i.e. the responses given are more accurate and more efficient from the point of view of student learning (see Figure 3).

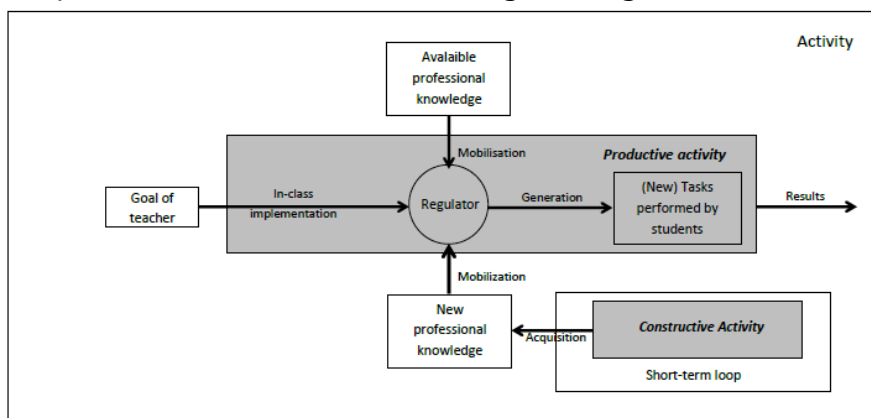


Figure 3. Theoretical model of a long-term loop

We will now compare this model with an empirical study to test its ability to account for the acquisition of professional knowledge by science teachers, as well as its evolutions. We first present our research methodology and then describe our results.

METHODOLOGY

In this paragraph, we describe the data collection and processing tools with respect to the context of the study.

Context of the study

We implemented this methodology during two consecutive years. It consists of monitoring two experienced teachers in French secondary schools who are specialists in physics-chemistry teaching. We will call them Henri and Florence. The case study we present here involves a mechanics course for 14-year-old students. We chose Henri and Florence because they are neither novice teachers nor expert teachers. Indeed, studying novice teachers and the problems inherent to the early career stage may have obscured the objectives of our study. On the other hand, expert teachers who have been teaching at the same level for years, and among whom we might observe succinct preparations and installed routines, would have made the changes that interest us less obvious.

The chosen topic concerns the concepts of 'weight and mass'. It is treated by each of the teachers in three one-hour sessions. The advancements were coordinated so that this chapter was taught at the same time of the year to allow everyone to discuss teaching situations that had been

experienced recently.

Finally, we note that the practice of these two teachers was performed within the French curricular context, where IBSE has been one of the requirements since 2005, following on from elementary school².

Tools for data collection

The corpus we collected includes audio and video recordings of class sequences and interviews with each of the teachers, as well as data from a diary filled in by the two teachers for the duration of the study. The latter provides a trace of their class preparation and their analysis of the previous session. It allows us to address their out-of-class work. It is an essential tool in the reflexive investigation methodology in the sense that it encourages reflexivity on the activities (Power, 2008; Gueudet, & Trouche, 2010).

The total duration of the video recording was approximately 38 hours. Two cameras were installed: one at the back of the class, which was focused on the blackboard, and a second mobile one, filming the interactions between the teacher and the students. The teacher was equipped with a lavalier microphone and two 'ambiance' microphones were placed in the class. The video recording was then digitised.

We conducted different types of interviews with the teachers: interviews at the beginning and at the end of the sequence, as well as self-confrontation interviews (Clot & Faïta, 2000; Clot, Faïta, Fernandez, & Scheller, 2001). The topic studied during the sequence was decided in advance by the teachers and the researcher together. It was the basis for the two interviews, in which the teachers performed a self-analysis of their action, watching the video recordings of the sessions, according to methods that are similar to simple and cross self-confrontation. Self-analysis is envisaged here as a method for collecting empirical data and analysing verbal protocols in relation to the action. Simple self-analysis consists of an interview between the researcher and each teacher. They are asked to describe and then analyse their actions, verbalising what they did, thought or took into account, and avoiding any interpretations or generalities. The cross self-analysis involved the two teachers and the researcher in a common analysis of the same video recording. It was used to analyse the unexpected events identified in the simple self-analysis. Therefore, we chose to monitor the two teachers simultaneously in order to organise these talks.

Tools for data processing

Our analysis was sometimes done at a very fine scale, at the statement level, to allow us to perceive the adjustments made

by the teachers in the class action, which led us to proceed according to the methodology of the case study, with two levels of analysis.

At the first level, we produced a synopsis (Sensevy, & Mercier, 2007) of the sessions, based on an initial video analysis. From a methodological point of view, the session synopsis corresponds to a reduction of the corpus, allowing an overview of the complete session studied. In order to prepare the simple self-analysis interview, we provided each teacher with the videos of their own practice in class, together with the synopsis. Then, we asked them to indicate all the situations that they would like to discuss with their colleague, in particular noting all the unexpected events that occurred during the class. During this interview, the unexpected events identified by the teacher were compared to those identified by the researcher, and then discussed. Those that were judged relevant to our study were kept for discussion in the cross interview. We then provided each teacher with the videos of their colleague's courses, as well as the session synopses. They had to do an initial analysis of the courses and note the subjects for discussion with their colleague. This could be related to the progress, the planning, a situation etc. This corpus represented the basis for the cross self-analysis interview. At the second level, we made transcripts of the situations that were discussed in the interviews. They concerned notably the unexpected events that were defined. We also made transcripts of the interviews related to these situations. We inferred the knowledge of the teachers by triangulating all of the data from the videos and transcripts³.

RESULTS

We now present some results of our research. We focus on one teacher and choose excerpts that we consider as representative. We analyse a topic taught by Florence during two consecutive years and present the unexpected events that gave rise to retroactive regulations of activity. We analyse a short loop and a long loop. Then, we discuss our results.

Analysis of an entry situation implemented by Florence

Year 1: a short-term loop. In the first year, Florence starts the sequence by asking the students the following question: "So if I just say weight or mass what does that make you think of?". She explains that they will then classify their propositions in a table with respect to weight or with respect to mass. The students respond by mentioning "kilogram", "gram", which they put in the mass column or in the weight column. She validates these responses as she punctuates each proposition from a student with "ok" or "yes". Then, we observe a rupture

in the planned lesson when a student (S1) proposes to classify "volume" in the weight column. In fact, Florence nods for a few seconds. She seems surprised! The proposition "heavy, light" is made by student S2, and is repeated by Florence. Then, she decides to respond to the "volume" proposition. Consequently, at this moment in the session, her goal is no longer to collect propositions from the students concerning weight and mass in order to classify them, but to 'correct the error' of student S1 (see Table 1).

Table 1. Translation of session transcript: confusion between mass and volume. The case of Florence

Speakers	Verbal productions
S ₁	Volume
F (Florence)	Volume? ((the teacher nods her head))
S ₂	Heavy, light
F	Heavy, light! So volume there is a small distinction between mass and volume ok? So volume, then this is more the capacity so heavy light no? Can you think of anything else?

We note that Florence's intervention is brief and hesitant because it is punctuated by pauses of at least 2 seconds each. We observe the teacher mobilising the class on this confusion, by formulating the first element of her response that she finishes with "ok", looking at the entire class, followed by a pause of about 4 seconds. Then, she says that volume is related to a capacity, before returning to the planned course of the lesson by asking the question: "can you think of anything else?". Florence says in the interview that she "eliminated" this proposition because density is not in the secondary school programme and "it can quickly become very complicated". We note this unexpected 'confusion between mass and volume'. In our opinion, she performed a regulation that we model with a short loop during which she made a correction to the confusion between mass and volume to avoid letting wrong ideas pass which could constitute "an obstacle later".

We observe that the teacher activity is organised around three goals during the short regulation loop. Her first goal is to mobilise the class on the proposition of student S1. The second is to correct the confusion by saying that volume is associated with capacity. The teacher's third goal is to return to the initial goal, which was to find out the students' initial conceptions of weight and mass. Indeed, the teacher tells us her objective: "is precisely to classify everything related to weight on one side, and everything related to mass on the other, but already to try to clean up their knowledge a little before starting". According to her, it is by classifying the

propositions in the table that the students express their initial conceptions on the subject. She expects certain answers: "kilogram I thought that was pretty sure I knew that kilogram would be in weight, it's classic! Light heavy I had had it in a class in sm^4 but not in the other one for some words. I knew they were going to come out but not in the right place not in the right class after". In contrast, Florence is not expecting "volume" as a characteristic of mass.

During this regulation, the teacher mobilises professional knowledge. We identify PK of class management, SMK of the concepts of weight, mass, volume and density. We also find PCK of the programmes that we note "density is not in the secondary school programme" and two PCK of the students "I need to eliminate the 'volume' proposition because I know that it can become very complicated⁵" and "I need to distinguish between volume and mass". The first belongs to the subcategory "Specific knowledge of the programme" and the other two to the subcategory "Knowledge of domains where students have difficulties".

Year 2: a long regulation loop. In the following school year, Florence is in class, in the same situation as described previously, but we observe her giving a different answer. She refers to the eighth grade programme where volume and mass are defined: "the volume is the space occupied by an object and it is measured in litres or dm^3 ". In the interviews, Florence justifies this change by the fact that she had expected this response, which she had already heard the previous year. The unexpected event of the first year actually turned into a predictable event in the second year. However, her preparation remained identical. For us, this change is characteristic of a long retroactive regulation loop.

The new PCK about the students, "Volume can be associated with mass", is the basis for this regulation that we model with a long loop. It was constructed during the first year by the teacher. We observe that the response provided by Florence in the second year is more structured and clearer than the one she formulated in the first year. To do this, she mobilised the PCK of the students "volume is defined in 8th grade" and knowledge that we could not situate in the model of Magnusson et al. We called it "Knowledge of what students learned in previous years" because, according to us, it goes beyond knowledge of students' prerequisites and of science curricula. It concerns the content of the response given by the teacher, which is precisely what she asked students to learn two years earlier. According to her, this ensures a better understanding on the part of the students of the difference between mass and volume. This teacher knowledge is constructed from the common history she has with the

students because she is the only teacher of physics and chemistry in the school. We observe that this type of knowledge can influence her practice. In our opinion, it is PCK of the students because it is linked to specific content.

We observe that the teacher has learned merely by acting in a situation. She acquires the PCK of the students who make her plan a more appropriate response to this confusion, which she constructs in another context. Indeed, it is by giving the course on the measurement of volume in eighth grade, a month later, that Florence tells us that she elaborated it.

DISCUSSION

We now discuss the elements of the analysis presented in this study. We develop our proposals further based on the case of Henri. We start with the professional knowledge mobilised by the teachers. We compare our results with the model of Magnusson et al. (1999) and mention certain limits. Then, we present the evolution of professional knowledge through mechanisms of new knowledge acquisition. We analyse the consequences of the reorganisation of teacher activity. Finally, we discuss our model for professional knowledge acquisition by science teachers.

The professional knowledge of the teachers

The model of Magnusson et al. allows us to identify the professional knowledge mobilised by the teachers during the implementation of a course based on investigation. Let us return to the two moments we analysed in the previous part: the introductory situation of the sequence and the experimental investigation constructed by the two teachers.

We previously showed that Florence has two goals: on one hand, she wants the students to propose characteristics of weight and mass and to classify them in a table and, on the other, she wants to find out their conceptions of these two quantities. In order to build and implement this introductory situation, the teacher mobilises not only CK, but also PCK. This includes CK of the concepts of weight, mass and gravity applied to the Earth. We observe different categories of PCK: of the students, the programmes and the strategies; we have reformulated these in Table 2 below:

Table 2. Categories of PCK mobilised by Florence in the entry situation

<i>PCK categories</i>	<i>Subcategories</i>	<i>Formulation</i>
-----------------------	----------------------	--------------------

PCK of the students	Knowledge of the domains where students have difficulties	I know that kilogram will be in weight. I know that the word scale will not necessarily go with mass. I know that the students mix up weight and mass.
PCK of the programmes	Knowledge of the goals and objectives in the official instruction	I know that I have to find out the students' initial conceptions at the start of the sequence in order to construct <u>the subsequent learning</u>
PCK of the strategies	More general knowledge of strategies (for multiple topics)	Start the sequence by asking the whole class a question in order to identify the confusion <u>between weight and mass</u>

The question posed at the start concerning "what do you know about..." seems fairly common to us when it comes to understanding the students' conceptions. It is not specific to the teaching of weight and mass. It is a strategic approach as there is a question and the answers are put in a table. We classify this PCK as "general knowledge of strategy". It is linked, in our opinion, to the fact that the teacher already understands a certain number of conceptions that we have classified in the sub-category "domains for which students have difficulties". She knows that the students' conceptions will emerge when the propositions are classified in the table.

Florence refers to the programmes and, more specifically, to the investigation approach when she says "find out the students' initial conceptions at the start of the sequence in order to construct the subsequent learning". Indeed, this moment of the session corresponds to the problem that aims, notably, at "identifying the conceptions or representations of the students, as well as the persistent difficulties (analysis of cognitive obstacles and errors)"⁶. This approach allows the students to carry out investigations where "the search for explanations or justifications leads to acquisition of knowledge, of methodological skills and the development of technical know-how" (ibid.). We classify this knowledge as belonging to the subcategory of the goals and objectives in the official instructions.

We observed Henri starting the sequence on "weight and mass" with the study of a comic strip of the adventures of Tintin from the album "Explorers on the moon". This strip shows one of the heroes, Dupont, on the moon, jumping over a crevasse and falling much further than expected. The teacher tells us in the interview that he has two goals: to interest the students to ensure their adherence to this new chapter and to give a definition of the weight of an object. He

gives us two reasons for choosing a comic as the start situation. The first reason is strategic: "Everyone knows Tintin, so it speaks for itself if you like (...) so we get caught up in it, it's easy". His goal is to attract each student, to gain their interest from the start of the lesson, to ensure they will stick with it as long as possible. The second reason is linked to the programmes that advocate teaching by IBSE for some subjects. According to him, implementation of this kind of teaching requires "asking open questions to break down erroneous representations, to make them evolve". Therefore, it involves choosing a topic that can be associated with a "concrete" problem situation and allows him to pose a problem that is "understandable" by the students. During the discussion, for Florence, the term "concrete" means "referring to the students' daily life". The problem situation constructed from the comic strip, described above, thus appears relevant for the two teachers: "Everyone knows Tintin, so it speaks for itself if you like (...) so we get caught up in it, it's easy".

As in the case of Florence, Henri mobilises knowledge of the CK and PCK types to formulate his objective in line with the level of the class and his answers to questions that are appropriate from the point of view of the concepts and vocabulary used.

Evolution of the teachers' professional knowledge: the case of unexpected events that do not generate regulation

In the two cases we studied, the acquisition of PCK led to regulations operated by the teachers. It included PCK of the students in the sub-categories "Prerequisites necessary for learning a concept" and "Knowledge of domains where students have difficulties", respectively, and PCK of the strategies in the sub-category "more general knowledge about strategies (for multiple topics)". But unexpected events can be perceived by the teacher and do not necessarily generate a regulation loop. In other words, they are not the subjects of short or long regulation loops. In this case, they represent an event for the teacher but not necessarily for the student. Indeed, the teacher did not always have the answer to an event in action, as with the case of Florence when she saw that the question asked in the introductory situation "aimed at finding out the characteristics of weight and mass to better differentiate between them was not precise enough". But this new knowledge acquired by the teacher is saved in the sense that it can create a system with other new knowledge elements acquired at different moments of the session or the teaching sequence and participate to activity reorganisation.

We observe Florence modifying the organisation of the introductory situation of the first session in the second year. Indeed, she uses part of Henri's student material⁷. She shows

an animated film and distributes the cartoon strip associated with the part she wants to study. Hergé's characters are found on the moon, jumping from place to place. The teacher builds on the students' description of the film, by asking: "why do the characters jump so high?".

The teacher says in the interview that she was not satisfied with her introductory situation in the sequence during the first year. She thinks that her questions and the students' answers were not "precise" enough. She says that the articulation with the previous course on gravity did not occur, resulting in difficulties in defining the notion of weight. She observes that she lost a lot of time in discussions. In our opinion at the end of this analysis, the teacher had constructed three new pieces of PCK: "The students do not re-use the concept of gravity to define the weight; the student knowledge is not sufficient at the beginning of the sequence to distinguish between the two concepts; the question asked the previous year aimed at finding out the characteristics of weight and mass to better differentiate between them was not precise enough". The first two items of knowledge are the PCK of the students, in the sub-categories "Prerequisites necessary for learning a concept" and "Knowledge of domains in which students have difficulties", respectively. The third statement corresponds to a piece of PCK of the strategies, in the subcategory "more general knowledge about strategies (for multiple topics)". All of these pieces of PCK lead to the changes we have described above.

In our opinion, Florence can change her introductory situation in the sequence because all pieces of the PCK are related to each other and constructed from elements of her in-class activity. We say that the knowledge elements create a system and participate in this type of regulation performed by the teacher. They are acquired on the time scale of the sequence or the activity. That is what we call "saving new knowledge". Nevertheless, some questions arise: on what time scale is each new piece of knowledge acquired? Is it only the new knowledge formulated by the teachers that creates a system? In the case we analysed, the new PCK is related to the activities carried out in the first session and also concerns the learning achieved in the previous sequence (the gravitational interaction). However, we think that elements from other activities at other, possibly later, moments in the sequence, the assessment results for example, can participate in the acquisition of new pieces of knowledge that create a system with the formulated ones and participate in the teacher's decision to reorganise their activity.

For us, these changes are characteristic of a long retroactive regulation loop. It would appear that the teacher's goal changes, as well as the students' task, at the level of the activity. Indeed, Florence's goal is different from that in the

first year. Here, it is to define weight with the students based on their previous knowledge, notably about gravity depending on the planet. The students' task is to explain why Hergé's characters jump so high and so far. The acquisition of the new PCK actually leads to an organisational change in the teacher's activity. It is particularly characterised by a change in the teacher's goal and in the students' tasks. Here, Florence partly rewrites her preparation.

Limits of our analysis framework

Our analysis framework allows us to identify the four types of knowledge in the model of Magnusson et al. (1999). In this study, we show how the CK and PK of class management or of strategy (Florence deciding to dismiss the student S1's proposition) is mixed with PCK in the organisation of the teacher's activity. However, our results raise several questions concerning the definition and characterisation of PCK.

We now go back to Florence's response to the confusion of a student between mass and volume in the second year of our study. We have shown that she uses knowledge that we could not situate in the model of Magnusson et al. We called it "Knowledge of what students have learned in previous years". This teacher knowledge of the history of these students' learning is specific to the context in which Florence teaches because she is the only teacher of physics-chemistry in this French school. Consequently, not only does she know exactly what the students have learned in previous classes in physics or in chemistry, but she also makes planning choices on the scale of several years. For example, Florence says during the second year interview that she did not ask the students to plot their measurements because she had already insisted on this the year before (in eighth grade). She gives this task based on an exercise in the students' textbook. This category does not appear in the model of Magnusson et al. and is, for us, a new type of knowledge.

Another outcome of our study questions the analysis framework of PCK. It concerns the nature of the teaching approach, which can be described as inductive

or deductive depending on what the teacher can anticipate about the students' difficulties. For example, when the two teachers want the students to find the mathematical relationship between weight and mass ($F_g = mg$) they either ask them to find a "mathematical relationship" or a "link" between these two quantities, or they give them the scientific law and ask the students to prove it by measurements. The teachers mobilise a system of the PCK of the students which allows them to better adapt the approach to formulate a law. However, we noticed that the two teachers were not aware that the nature of the educational approach changed between the two years. They thought they were still implementing an inductive approach because "in theory in physics we obtain laws from experiments, so it's not math!". Yet our study shows that the reality is different. We see from this that the epistemology of academic teaching subjects is an important element in the teachers' decision-making, although we do not know if, in this case, the mobilised knowledge is CK or another category of knowledge linked to a 'practical epistemology'.

Our study raises a new question: What is strategic for a teacher? Is it the implementation of a plan such as a lesson experiment, or starting a session with a question, or the choice of a medium such as a comic strip or is it the approach that is associated with it? This question comes as a result of the difficulties we had distinguishing between two subcategories of the PCK of the strategies or distinguishing it from the PCK of the programs or the students. We can consider the following example: when Florence reformulates the task the students have to complete in order to find the law $F_g = mg$, she changes the instructions during the lesson. Indeed, she rephrases the sentence given at the start "show that there is a link or that there is no link" so as to make the students "find a mathematical relationship". During this regulation, does the teacher mobilized the PCK of the strategies or the PCK of the students? In contrast, when a teacher uses an analogy, we can say that he uses the PCK of the strategies. It is an approach with knowledge involved that aims to help the students understand one or more phenomena or to conceptualize ideas. If we consider that it is the plan or the type of media that is strategic, we are in the presence of pedagogical knowledge because a plan or a medium is not specific to a topic.

CONCLUSION

The theoretical and methodological approaches used in this research allow us to illustrate our model for science teachers'

professional knowledge acquisition. This model gives a macroscopic view of the modes of professional knowledge acquisition. We organise it within the PCK framework, which allows us to specify the type of knowledge acquired. In fact, we believe that our model and the PCK analysis framework are complementary.

Our study shows that the teachers mobilize other types of knowledge in addition to the knowledge of their academic subject: knowledge of students, knowledge of the programmes, and knowledge of the teaching strategies. The knowledge depends on the content to be taught, and corresponds to the PCK categories. It is combined (Shulman, 1986) notably with discipline knowledge (CK) of a level higher than that being taught, and pedagogical knowledge (PK). All these categories are included in the teacher's professional knowledge base. They allow the teacher to make the study topic more understandable for the students. In this study, we raised a theoretical question. In accordance with other research results, we encountered difficulties in identifying the PCK of the strategies. What is strategic in the teacher action? Is it the plan used, regardless of the content or is it everything? What can be used to differentiate the PK of the strategies from PCK? We also asked a question about the discipline epistemology that is involved in the teachers' decision-making, although we do not know if the mobilized knowledge in this case is CK or another category of knowledge linked to a 'practical epistemology'.

We believe that our study results in the identification of some elements concerning the teachers' experience acquisition. Indeed, the unexpected events lead to the construction of new PCK for the students. They sometimes generate retroactive activity regulation loops, which show how this knowledge participates in the teacher's adaptation of the teaching for the class over a more or less long time scale. In fact, the mechanisms that could model, in part, the professional experience acquisition are the acquisition of new PCK and the constitution of predictable events that we identified in the action and which were constructed previously. Nevertheless, this study should be continued, particularly by positioning it with respect to the work on teachers' professional development.

The empirical study presented here shows that the model we have constructed is suitable for representing and explaining the acquisition of professional knowledge by science teachers based on IBSE. But is it predictive? It should be tested in other cases and especially in other science teaching situations because IBSE has specific characteristics. Further, with its specific epistemology is this model suitable

for academic subjects other than physics-chemistry? Again, it should be tested in other academic subjects.

In addition, other questions arise concerning our model of professional knowledge acquisition by science teachers. Is it adapted to more general or 'versatile' teachers, such as primary school teachers? Indeed, teachers can mobilise different kinds of PCK and PK, notably concerning the learning of French (syntax, phonology, spelling etc.) at the service of science learning, or about the role of writing in science learning (Jameau, 2015). Is PK not used more often when the PCK and CK are limited?

All of these questions indicate the work we still have to do to better understand teacher activity and its evolutions from the point of view of professional knowledge. We believe a research programme should be elaborated based on our model in order to test its heuristic power and possibly use it as a baseline for research in the context of science teacher training.

NOTES

¹ BO N°5, 25 August 2005, Special Edition

² BOEN N°1, 14 February 2002, Special Edition

³ We use "transcript" to refer to the tables of transcripts of verbal productions of classroom situations, and the interviews, together with some brief descriptions from the researcher.

⁴ sm is the other secondary school where Florence teaches.

⁵ Our underlining

⁶ MEN. Les programmes du collège (Secondary school programmes). BO Special edition N°6, 28 August 2008

⁷ Florence considered it more effective to enter into the sequence with the character of Tintin, as Henri did, rather than as she did in the first year. But she adapts the situation to her own objectives. This is a consequence of the self-confrontation interviews methodology. The reflexive collective activity on his own work transforms the participants, and the situation (Clot et al., 2001).

REFERENCES

- Abell, K. (2007). Research on science teacher knowledge. In K. Abell, & N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1989), *Science for All Americans. Project 2061*, New York, Oxford University Press.
- Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*, 45, 165-188.
- Boilevin, J.-M. (2013a). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- Boilevin, J.-M. (2013b). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. In M. Grangeat (Ed.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*. Grenoble : PUG.
- Bronckart, J.-P. (2005). *Une introduction aux théories de l'action*. Genève : université de Genève, FPSE Publications.
- Broussal, D. (2006). *Interagir en début de cours une professionnalisation du malentendu entre savoir et langage*. Thèse de doctorat, Université Montpellier III.
- Calmettes, B. (Ed.) (2012). *Démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. Paris: L'Harmattan.
- Clot, Y., & Faïta, D. (2000). Genres et styles en analyse du travail. Concepts et Méthodes. *Travailler*(4), 7-42.
- Eurydice. (2006), *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*, Bruxelles, Commission Européenne. Direction Générale de l'Éducation et de la Culture.
- Gess-Newsome, J. (1999). Secondary teachers' knowledge and beliefs about subject matter and their impact on instruction. In J. Gess-Newsome, & N. Lederman (Éds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*. Boston : Kluwer.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2010). Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires. In G. Gueudet, & L. Trouche (Éds.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques*. Presses Universitaires de Rennes et INRP.
- Huber, M., & Chautard, P. (2001). *Les savoirs cachés des enseignants. Quelles ressources pour le développement de leurs compétences professionnelles*. L'Harmattan : Paris.
- Jameau, A (2015). Une étude des connaissances professionnelles des enseignants du point de vue de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. *Education & Didactique*, 9(1), 9-32.
- Jameau, A. (2015). Les déterminants de l'action de deux professeurs des écoles dans le cas d'un enseignement par démarche d'investigation. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 2(1), 18-28.
- Jean, A. (2008). *Le traitement des imprévus par les professeurs stagiaires de technologie en formation initiale à l'ufm. Quels gestes d'ajustement en situation de classe ? Quelle utilisation pour leur développement professionnel ?* Thèse de doctorat, Université Montpellier III.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2008). Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques : impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia*, 32, 77-116.
- Leontiev, A. (1975). *Activité, conscience, personnalité*. Moscou : Editions du progrès.

- Leplat, J. (2004). L'analyse psychologique du travail. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 54(2), 101-108.
- Leplat, J. (2006). Les contextes de formation. *Education Permanente*, 166, 29-48.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borke, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome, & N. Lederman (Éds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Morge, L. (2008). *La simulation croisée pour accéder aux connaissances professionnelles didactiques locales (LPCK) acquises par l'expérience*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- National Research Council (NRC). (1996), *National Science Education Standards*, Washington, DC, The National Academies Press.
- 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.
- Perrenoud, P. (1999). Gestion de l'imprévu, analyse de l'action et construction de compétences. *Education permanente*, 140, 123-144.
- Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : PUF.
- Power, M. (2008). *Le concepteur pédagogique réflexif : un journal de bord*. Athabasca, AB: Athabasca University Press.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A., & Goodstein, L. (1994). *Cognitive systems Engineering*. New York: Wiley.
- Samurçay, R., & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. In R. Samurçay, & P. Pastré (Éds.), *Recherches en didactique professionnelle*. Toulouse: Octarès.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy, & A. Mercier (Éds.), *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes : PUR.
- Sensevy, G., & Amade-Escot, C. (2007). Une présentation de "Those who understand knowledge growth in teaching". *Education & Didactique*, 1(1), 95-96.
- Schubauer-Leoni, M., Leutenegger, F., Ligozat, F., & Fluckinger, A. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy, & A. Mercier (Éds.), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : PUR.
- 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.
- Tardif, M. & Lessard, C. (1999). *Le travail enseignant au quotidien*. Québec: Les Presses de l'Université Laval.
- Venturini, P. (2012). Action, activité, « agir » conjoints en didactique : discussion théorique. *Education & Didactique*, 6(4), 127-136.

Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège ». *Revue française de pédagogie*, 180, 95-120.

Vinatier, I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. Rennes : PUR.

Woods, P. (1990). *L'Ethnographie de l'Ecole*. Paris: Armand Colin.

Yinger, R.J. (1986). Examining thought in action: A theoretical and methodological critique of research on interactive teaching. *Teaching and Teacher Education*, 2, 263-282.

LES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES DES ENSEIGNANTS ET LEUR ÉVOLUTION À TRAVERS UNE ANALYSE DE L'ACTIVITÉ

UNE ÉTUDE DE CAS EN PHYSIQUE AU COLLÈGE

Alain Jameau CREAD, Université de Bretagne Occidentale, ESPE de Bretagne

Cet article porte sur le thème des connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants de physique-chimie. Nous nous plaçons dans le contexte de l'enseignement de la mécanique en classe de troisième. Notre approche théorique articule la didactique des sciences et la didactique professionnelle. Nous avons élaboré une méthodologie spécifique dont l'un des principes est d'analyser l'écart entre la préparation des enseignements et leur mise en œuvre. Nous articulons le modèle des PCK et le concept de schème pour identifier les connaissances professionnelles. 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 discutons des intérêts du croisement des deux didactiques pour décrire l'activité des enseignants et les apprentissages des élèves, notamment au cours d'un processus de modélisation en sciences expérimentales.

Mots-clés : connaissances pédagogiques liées au contenu, PCK, schème, didactique des sciences, didactique professionnelle, boucles de régulation.

Teachers' professional knowledge and their evolution through an analysis of the activity.

A case study at middle school

This paper focuses on the theme of professional knowledge mobilized by physics' teachers. Our study takes place in the context of the teaching of Mechanics in grade 9 in France. Our theoretical approach refers to science education and professional didactics. We have developed a specific methodology and one of its principles is to analyze the gap between the preparation of lessons and their implementation. We articulate the model of PCK and the concept of scheme to identify professional knowledge. We show that there is a relationship between knowledge and retroactive control that allows the teacher to adjust in/her preparation. We discuss the interests of the intersection of the two didactics to describe the activity of teachers and students learning, especially in a process of modeling in experimental sciences.

Keywords: *pedagogical content knowledge, PCK, scheme, science education, professional didactic, regulation loop.*

Cette étude examine les connaissances mobilisées par des professeurs dans leur enseignement de physique-chimie au collège, en France. Elle nécessite de prendre en compte l'activité de l'enseignant dans l'interactivité professeur-élève car nous postulons que certains types de connaissances sont construites pendant cette interactivité. Pour identifier les connaissances professionnelles, nous analysons l'organisation de l'activité des professeurs ainsi que les tâches prescrites pour les élèves. Nous étudions donc, d'un côté, le savoir et sa transmission et, de l'autre côté, l'activité des enseignants en contexte de travail. Le premier objet d'étude est généralement analysé par la didactique disciplinaire alors que le second est examiné par la didactique professionnelle en considérant, en particulier, que activité et apprentissage sont indissociables (Pastré, 2008). En ce qui nous concerne, pour étudier les tâches prescrites aux élèves, nous nous appuyons sur les travaux en didactique des sciences et, plus particulièrement, sur ceux de Martinand (1996) concernant la modélisation en sciences.

Nous étudions le processus qui permet à l'enseignant d'adapter sa *préparation*¹ à un public et comment celle-ci évolue en relation avec l'activité dans la classe. Nous nous intéressons spécifiquement à l'écart entre ce qui est prévu par le professeur et ce qui est réalisé en classe. Nous devons donc considérer ce qui se passe hors de la classe et dans la classe. Selon Bécu-Robinault (2007), une part non négligeable des décisions sur l'enseignement est prise pendant le travail hors classe et notamment lors de la préparation. Nous y accédons à partir des traces écrites produites par le professeur, de son journal de bord et des entretiens.

Nous exposons en première partie les cadres théoriques sur lesquels nous nous appuyons pour cette recherche et notre questionnement dans la seconde partie. Dans la troisième partie, nous présentons notre méthodologie construite selon trois principes : un suivi simultané de deux enseignants englobant leur activité hors classe ; une comparaison de ce qui est prévu et de ce qui est réalisé en classe ; la confrontation du professeur à son action par le biais de vidéos et d'autoconfrontations. Dans la quatrième partie, nous présentons un extrait d'étude de cas en physique-chimie au collège dont nous discutons les résultats dans la cinquième partie. Enfin, nous donnons des éléments de conclusion en interrogeant en particulier certains éléments de notre cadre théorique et nous évoquons quelques perspectives.

1. PROBLÉMATIQUE ET CADRE THÉORIQUE

L'étude des connaissances professionnelles des enseignants a déjà été abordée dans de nombreuses recherches en éducation au niveau international, aussi bien d'un point de vue général que du côté des professeurs de sciences. Elles réfèrent souvent au concept de PCK (Shulman, 1986, 1987) qui peut être traduit par connaissances pédagogiques liées au contenu. Il s'agit d'une connaissance spécifique pour enseigner qui est nourrie partiellement par la connaissance du contenu (Sensevy & Amade-Escot, 2007). La plupart des études internationales, comme le montre Abell (2007), ont cherché

à identifier les connaissances des enseignants à partir de ce qu'ils disent sur leurs connaissances et de leur pratique. En France, les études sont encore peu nombreuses. Certaines mettent en œuvre des méthodologies qui permettent de repérer une PCK à partir de l'action du professeur (Bécu-Robinault, 2007 ; Kermen & Méheut, 2008 ; Cross, 2010 ; Jameau, 2012). Quelques-unes soulignent la nécessité de se placer à un grain plus petit pour mieux conceptualiser une PCK. Par exemple, Cross (2010) étudie les Teacher Pedagogical Construction (TPC) qui sont une collection d'unités plus petites que les PCK tandis que Morge (2008) parle des Local Pedagogical Content Knowledge (LPCK) qui sont des unités dépendant du contenu enseigné et qui ne peuvent pas faire l'objet d'un transfert à d'autres séances. Dans tous les cas, ce modèle originel est très peu discuté car, soit il est redéfini à chaque recherche, soit un autre cadre théorique est proposé (Abell, 2007).

Notre étude nous conduit à explorer différents cadres théoriques que nous présentons maintenant. Tout d'abord, nous donnons quelques éléments à propos de l'articulation entre la didactique des disciplines et la didactique professionnelle, pour comprendre comment les connaissances sont construites par les professeurs. Puis, nous exposons nos références à la didactique professionnelle pour analyser l'organisation de l'activité des enseignants et les mécanismes de régulations qui accompagnent l'activité. Enfin, nous examinons les travaux de recherche en didactique des sciences concernant la modélisation et nous revenons sur le concept de PCK avant de présenter le modèle de Magnusson, Krajcik, et Borko, (1999) que nous utilisons dans notre analyse.

1.1. À propos de l'articulation entre la didactique des disciplines et la didactique professionnelle

Pour Pastré (2011), ces deux didactiques se différencient notamment au niveau de la différence d'objet d'étude, entre la connaissance et l'activité. Cette différence peut se retrouver dans l'importance qui est accordée, lors d'une analyse, à la mise en œuvre d'une connaissance et à la mise en œuvre d'une activité. Dans le premier cas, l'essentiel de la focalisation va porter sur les conditions d'accession d'une connaissance ; dans le second cas, l'essentiel de l'analyse portera sur les modalités de déploiement de l'activité. Pour autant, dans les deux cas, il y a à la fois des connaissances en jeu et de l'activité mais avec des buts différents : produire une action efficace ou construire des connaissances. Cette différence de but aboutit « à un renversement de la relation de subordination entre connaissances et actions » (Pastré, 2011, p. 19). Pastré montre que cela correspond à un passage d'un registre épistémique à un registre pragmatique que Munoz (2006) décrit comme un changement d'objectifs. Pour Vergnaud (2008), les caractéristiques d'un métier sont différentes de celles d'une discipline, ce qui produit des problématiques tout aussi différentes. De son côté, Rabardel (2007) souligne que la didactique professionnelle se situe dans une autre perspective épistémologique suivant deux dimensions principales : le pouvoir de faire du sujet, son pouvoir d'agir et sa capacité à construire des ressources, à se les approprier pour assurer ce pouvoir de faire.

Un autre point de divergence apparaît dans « l'opposition » entre le singulier de la didactique professionnelle et le pluriel des didactiques disciplinaires (Pastré, 2011). Pour autant, ce problème d'articulation entre le singulier et le pluriel est un des éléments qui a permis aux deux didactiques de se rapprocher. En effet, les concepts de situation didactique, de transposition, de contrat, de schème et de champ conceptuel trouvent un écho en didactique professionnelle (Pastré, Vergnaud, & Mayen, 2006). Pastré (2008) constate ainsi qu'il y a de l'activité dans l'apprentissage d'une connaissance et qu'il y a mobilisation de connaissances dans l'apprentissage d'une activité ce qui constitue, pour lui, un autre élément de rapprochement.

Un autre point de divergence apparaît dans « l'opposition » entre le singulier de la didactique professionnelle et le pluriel des didactiques disciplinaires (Pastré, 2011). Pour autant, ce problème d'articulation entre le singulier et le pluriel est un des éléments qui a permis aux deux didactiques de se rapprocher. En effet, les concepts de situation didactique, de transposition, de contrat, de schème et de champ conceptuel trouvent un écho en didactique professionnelle (Pastré, Vergnaud, & Mayen, 2006). Pastré (2008) constate ainsi qu'il y a de l'activité dans l'apprentissage d'une connaissance et qu'il y a mobilisation de connaissances dans l'apprentissage d'une activité ce qui constitue, pour lui, un autre élément de rapprochement.

1.2. L'organisation de l'activité et les boucles de régulations

Nous faisons référence, à propos de l'organisation de l'activité, au concept de schème suivant le développement théorique de Vergnaud (1990) s'appuyant lui-même sur les travaux de Piaget (1974). Nous en donnons une définition avec ses composantes. Ensuite, nous présentons le modèle de régulation dans une analyse de l'activité.

1.3. Le schème comme unité élémentaire d'activité

Vergnaud reprend la notion centrale de *schème* en l'articulant à la notion de situation. Un *schème* est « une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations données » (Vergnaud, 2001, p. 112). Le concept de *classe de situations* signifie 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.

Vergnaud donne des définitions complémentaires du schème. La première définition est d'ordre fonctionnel. Il 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). 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. Selon Vergnaud (1996), le schème repose sur les quatre éléments suivant :

- *Le but, les sous-buts, les anticipations.* Il représente dans le schème l'intention, le désir, le besoin, la motivation, l'attente. Cet élément précède et accompagne l'action. Le but se décline en sous-buts et anticipations de la même manière que les schèmes se décomposent et se recomposent hiérarchiquement ;
- *Les règles d'action, de prise d'information et de contrôle.* C'est la partie générative du schème. Ces règles d'action engendrent toute l'activité aussi bien les prises d'information et les contrôles que les actions matérielles. Elles conduisent au résultat recherché. Le prélèvement et la sélection de l'information pertinente se font par *les invariants opératoires* pour en inférer « des conséquences utiles pour l'action, le contrôle et la prise d'information subséquente » (Vergnaud & Récopé, 2000, p. 47) ;
- *Les concepts-en-acte et des théorèmes-en-acte.* Ils constituent la partie épistémique. Il y a des propositions (théorèmes-en-acte) qui sont susceptibles d'être vraies ou fausses et des objets ou des prédicats (concepts-en-acte) qui ne sont ni vrai ni faux mais seulement pertinents ou non pertinents pour la prise d'information nécessaire à l'action. Vergnaud précise que la relation entre concepts et théorèmes est dialectique ;
- *Les inférences.* Elles sont présentes dans toutes les activités en situation car une activité n'est jamais automatique.

C'est l'identification de ces quatre composantes qui permet de comprendre la structure de l'activité.

1.4. Les boucles de régulation

Selon Leontiev (1972), 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 que Leontiev définit comme « un but donné dans des conditions déterminées » (p. 96). Leplat (2004) précise la nécessité de distinguer tâche et activité. La tâche c'est « le but à atteindre et les conditions dans lesquelles il doit être atteint » alors que l'activité c'est « ce qui est mis en œuvre par le sujet pour exécuter la tâche » (ibid., p. 14).

Leplat (2006) signale que la notion de régulation revient souvent dans les textes consacrés à l'étude de l'activité en situation de travail. 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). Il mentionne quelques principaux types de régulations qu'il classe comme des *régulations rétroactives et proactives* : la première est fondée sur les résultats, la seconde sur l'anticipation. Coulet (2010) ajoute que « les régulations proactives ont pour fonction l'ajustement d'un schème au regard de la spécificité de la situation à travers la variabilité des actions portées, tandis que les régulations rétroactives montrent la réorganisation de l'activité en conséquence des retours sur l'action (feedback) pris en compte par le sujet » (p. 5).

De son côté, 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. Il apparaît, de plus, 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. Pour Coulet (2010), il s'agit de régulations de type « changement de schème ».

Cette présentation des concepts de schème et de régulation apporte des outils conceptuels pour nous aider à analyser l'activité des enseignants, son organisation, et les processus de régulation qui l'accompagnent. En effet, l'articulation opérée par Vergnaud, entre la notion de schème et celle de situation, permet de montrer que toute activité est organisée. C'est dans les invariants opératoires que vont se retrouver les connaissances des enseignants. Nous faisons la relation entre des propositions, les concepts et les connaissances des enseignants.

Nous examinons maintenant les travaux de recherche concernant la modélisation dans l'enseignement des sciences afin d'étudier la tâche prescrite aux élèves en lien avec l'activité des enseignants, dans le cas d'un enseignement de physique.

1.5. La modélisation dans l'enseignement des sciences

D'après Boilevin (2013), « la place des modèles dans la pratique scientifique est essentielle si l'on considère que la science constitue un système de représentation du monde qui nous entoure » (p. 63). Certaines recherches en didactique s'intéressent à sa prise en compte dans l'enseignement. Ainsi, pour Martinand (2000), l'enseignement des sciences, trop dogmatique, présente les modèles comme des évidences non questionnées non rattachées à des problèmes. Les questions d'enseignement et d'apprentissage de la modélisation se posent en termes de construction, d'adaptation et d'utilisation des modèles scientifiques. Ceux-ci doivent conserver au cours des manipulations leurs trois caractéristiques essentielles : ils sont hypothétiques, modifiables et ils sont pertinents pour certains problèmes dans certains contextes.

Fondé sur les travaux de Walliser (1977), le schéma de la modélisation (figure 1) proposé par Martinand permet de décrire la tâche de l'élève durant l'apprentissage. Ce schéma distingue le registre du référent empirique et le registre des modèles construits sur ces référents, selon des exigences qui n'ont pas de solution dans le premier registre (Martinand, 2000). Le registre du référent empirique n'est pas constitué uniquement d'objets ou de phénomènes, ce qui pourrait être appelé le réel, mais aussi de connaissances phénoménographiques, phénoménotechniques et phénoménologiques qui leur sont associées. Il s'agit des descriptions, des règles d'actions, des savoirs disponibles, qui sont issus de processus antérieurs et qui sont inconsciemment projetés sur la réalité, ce qui justifie qu'ils aient un statut empirique. Bisault (2011) ajoute que ce qui est référent, à un moment donné, est une description qui remplace la réalité qu'on ne connaît pas. De la même manière, un modèle scientifique peut se substituer à une description antérieure et être incorporé comme phénoménologie dans un nouveau registre empirique (Larcher, 2003).

Pour Martinand, il y a une responsabilité didactique dans le choix et la définition du référent empirique car les objets et les phénomènes ne sont pas « donnés » mais ils sont le résultat d'une lecture de la « réalité ». Cependant, cette lecture n'est pas forcément la même pour les élèves et pour des adultes instruits (Martinand, 2000).

Le registre des modèles comprend des composantes « sémantiques », « syntaxiques » et « pragmatiques » que Sanchez (2008) décrit comme une sémiographie « commode » pour représenter les éléments du modèle. Ce registre décrit le modèle scientifique mobilisé qui permet d'interpréter et de représenter le réel.

Martinand précise que ce schéma permet aussi de distinguer une description première devant donner lieu à une construction consensuelle (phénoménographie), et une description seconde où le modèle se projette sur le référent (phénoménologie).

Ces références théoriques à la didactique des sciences nous permettent d'étudier la tâche prescrite aux élèves au cours d'une modélisation et dans l'application du modèle. Nous faisons la relation avec le but du professeur dans l'activité et les changements de but grâce aux concepts de schème et de régulation. Dès lors, nous pouvons regarder la manière dont les élèves s'approprient les savoirs en jeu. Il ne nous reste plus qu'à présenter le concept de PCK et le modèle de Magnusson *et al.* (1999) qui nous permettent d'analyser les connaissances des enseignants afin de montrer leur impact au niveau de leur activité et de sa conduite.

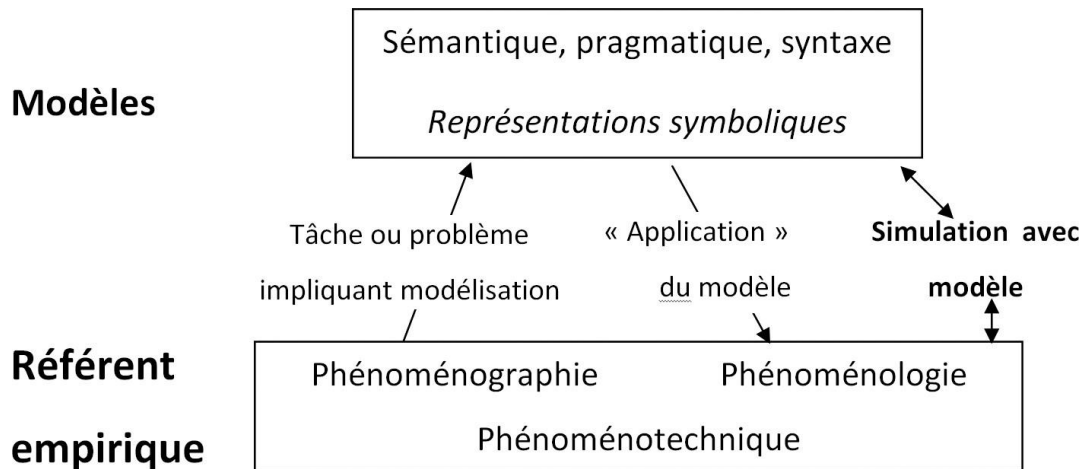


Figure 9 : Schéma sur la modélisation (Martinand, 1996)

1.6. Pedagogical Content Knowledge

Le modèle originel proposé par Shulman, en 1986, vise la compréhension des connaissances spécifiques en jeu, dans l'enseignement d'un savoir en lien avec un sujet, afin de distinguer un enseignant d'un spécialiste de ce sujet. Il définit les connaissances pédagogiques liées au contenu, *Pedagogical Content Knowledge* (PCK). Elles expriment la combinaison (l'amalgame) du contenu et de la pédagogie. La description la plus complète se trouve dans l'étude de Grossman (1990), qui définit les quatre grands domaines de connaissance de l'enseignant : les connaissances pédagogiques générales (PK), les connaissances disciplinaires (SMK), les connaissances pédagogiques liées au contenu disciplinaire (PCK), et les connaissances du contexte (KofC). De leur côté, Magnusson *et al.* (1999) définissent un modèle des PCK suivant cinq composantes que nous retenons pour notre étude (figure 2) :

- **Connaissances sur l'orientation pour l'enseignement des sciences** : elles se réfèrent aux connaissances des enseignants à propos des buts et des objectifs pour enseigner les sciences à un niveau d'étude particulier ;
- **Connaissances des programmes de sciences** : elles concernent la connaissance des buts et objectifs (attentes nationales) et la connaissance spécifique du programme et du matériel pédagogique ;
- **Connaissances sur l'évaluation** : ce qu'il faut évaluer et comment l'évaluer
- **Connaissances des stratégies d'enseignement** : elles incluent 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 ;
- **Connaissances sur les élèves** : elles portent 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.

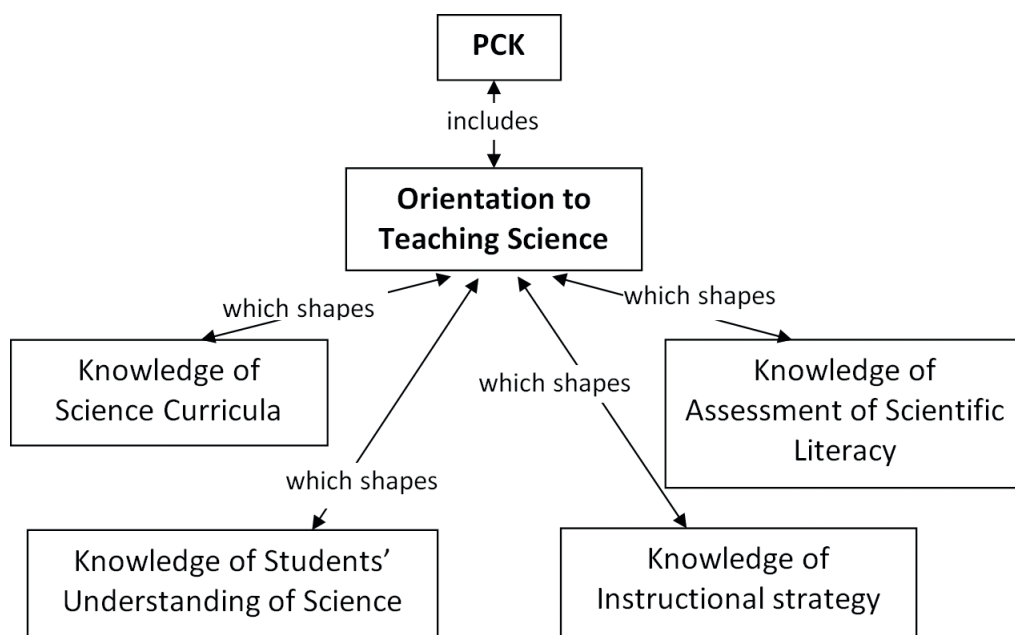


Figure 10 : Components of pedagogical content knowledge for science teaching (Magnusson et al., 1999)

Ces cinq composantes des PCK sont, elles-mêmes, divisées en sous-catégories. La composante « orientations pour l’enseignement » chapeaute les autres. Cependant, son inclusion dans le modèle des PCK est questionnée pour deux raisons (Abell, 2007). 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’interaction entre les connaissances, les croyances et les valeurs, et non pas strictement comme une structure de connaissances.

Dans notre étude, ce modèle de Shulman (1986, 1987) modifié par Grossman (1990) et Magnusson *et al.*, (1999) est précieux pour reconstruire les connaissances en jeu dans la pratique de l’enseignant. Il permet de distinguer les connaissances qui se situent au niveau enseignant, celles qu’il mobilise en lien avec un contenu à enseigner, des connaissances au niveau élève qui sont les connaissances spécifiques à l’enseignement de ce contenu. Mais ce travail de reconstruction de connaissances à partir de l’action de l’enseignant dans la classe est difficile car, selon Vergnaud (1996), c’est la forme opératoire de la connaissance qui est utilisée dans l’action. Or, elle est en décalage avec la forme prédicative, ce qui signifie qu’il existe des connaissances implicites, qui sont difficilement identifiables.

2. QUESTIONS DE RECHERCHE

Les cadres théoriques que nous venons de présenter nous permettent de préciser nos questions de recherche. Afin d’étudier l’évolution des connaissances

professionnelles en jeu, nous devons articuler l'action des enseignants avec leurs connaissances. Pour cela, nous examinons l'organisation de leur activité, représentée par le concept de schème. Cette organisation s'appuie sur le présupposé que les connaissances professionnelles se trouvent dans les invariants opératoires. Nous mobilisons le concept de PCK comme cadre d'analyse des connaissances des enseignants en nous référant au modèle de Magnusson *et al.*, (1999) pour caractériser les types de connaissances professionnelles en jeu. Notre problématique s'articule autour de deux questions principales : Quels types de connaissances professionnelles sont mobilisés par les enseignants ? Comment évoluent les connaissances au cours de l'activité du professeur ?

Le concept de boucle de régulation rétroactive de l'activité permet d'analyser les conséquences de l'écart entre le prévu et le réalisé. Par conséquent, la seconde question principale peut se décliner 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 ?

Pour répondre à ces questions, nous avons construit une méthodologie propre à cette recherche que nous présentons maintenant.

3. MÉTHODOLOGIE

Nous explicitons, dans ce paragraphe, les outils de recueil et de traitement des données par rapport au contexte de notre étude.

3.1. Contexte de l'étude

Nous avons mis en œuvre cette méthodologie pendant deux années consécutives, pour le suivi de deux enseignants expérimentés de collège, spécialistes d'un enseignement disciplinaire : la physique-chimie. Nous les avons appelés Henri et Florence. L'étude de cas que nous présentons ici se réfère à un enseignement en mécanique, dans les programmes de la classe de 3^e en vigueur à partir de 2008. Ce choix permet d'éviter, d'un côté, les enseignants débutants et les problèmes inhérents au début de carrière qui pourraient occulter les objets de notre étude, et de l'autre, les enseignants experts qui enseignent au même niveau depuis des années, chez qui nous pourrions observer des préparations pouvant être succinctes, et des routines installées qui rendraient moins visibles les évolutions qui nous intéressent. Le thème choisi concerne les notions de « poids et masse » ; il est traité par chacun des enseignants en trois séances d'une heure chacune. Les progressions ont été coordonnées de manière à ce que ce chapitre soit enseigné dans la même période de l'année afin de permettre à chacun de discuter de situations d'enseignement récemment vécues.

3.2. Outils de recueil de données

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 journal de bord renseigné par les deux professeurs sur toute la durée de l'étude. Ce dernier nous donne une trace de leur préparation de classe et de leur analyse de la séance précédente. Il permet d'approcher le travail hors classe des enseignants. C'est un outil essentiel de la méthodologie d'investigation réflexive dans le sens où il incite à la réflexivité sur les activités (Power, 2008 ; Gueudet & Trouche, 2010).

La durée totale d'enregistrement vidéo 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. Nous menons différents types d'entretiens avec les enseignants : un entretien en début et en fin de séquence ainsi que des entretiens de type auto-confrontation (Clot & Faïta, 2000 ; Clot, Faïta, Fernandez, & Scheller, 2001). 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 professeurs font une auto-analyse de leur action, à partir des enregistrements vidéo des séances, selon des modalités proches de l'autoconfrontation simple et croisée. 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. 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.

3.3. Outils de traitements des données

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*, comportant deux niveaux d'analyse.

Au premier niveau, nous élaborons un synopsis (Sensevy & Mercier, 2007) des séances à partir d'une première analyse vidéo. 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. Afin de préparer l'entretien en auto-analyse simple, nous fournissons à chacun des enseignants les vidéos de classe de leur propre pratique avec les synopsis. Puis, nous leur demandons de relever toutes les situations qu'ils souhaiteraient discuter avec leur binôme en notant, en particulier, tous les *imprévus* survenus en classe. Nous appelons un *imprévu* une réponse d'élève, une attitude, une difficulté inattendue dans une activité, etc., tout ce qui n'a pas été anticipé par le professeur. Au cours de cet entretien, les imprévus identifiés par l'enseignant sont croisés avec ceux relevés par le chercheur, puis discutés. Ceux qui sont jugés pertinents, au regard de notre étude, sont définis comme incidents critiques (Flanagan, 1954). Nous établissons une 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 discuter 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*².

4. RÉSULTATS

Nous présentons maintenant quelques résultats de notre recherche. Nous nous centrons sur un seul enseignant en choisissant des extraits qui nous paraissent représentatifs. Nous analysons un enseignement mis en œuvre par Henri pendant deux années consécutives. Les élèves doivent mesurer le poids d'un objet avec un dynamomètre puis apprendre son principe de fonctionnement. Nous en présentons une analyse du point de vue de la didactique des sciences puis de la didactique professionnelle avant de discuter nos résultats.

4.1. Analyse d'un point de vue de la didactique des sciences

4.1.1. Première année d'observation

Notre analyse s'appuie ici sur trois extraits du début de la première séance sur « poids et masse » mise en œuvre par Henri : la situation-problème, une activité de mesure du poids et une application.

a) Mesure du poids d'un objet

Henri débute la séquence par l'analyse d'une planche de bande dessinée des aventures de Tintin tirée de l'album « on a marché sur la Lune³ ». Sur cette planche, nous voyons un des héros *Dupont*, sur la Lune, sauter une crevasse et retomber beaucoup plus loin que prévu. Dans les entretiens, l'enseignant justifie ce choix : son but est double. D'une part, il souhaite intéresser les élèves pour s'assurer de leur adhésion au

cours, le plus longtemps possible. Par conséquent, cette planche de B.D. est un choix stratégique. D'autre part, cette analyse doit lui permettre de mettre en évidence le poids d'un corps. Henri en donne une définition, à l'oral, sans qu'elle soit l'objet d'une construction conjointe avec les élèves. Puis, ils doivent mesurer le poids d'objets présents dans leur trousse ou dans leur cartable, à l'aide d'un dynamomètre qu'ils utilisent pour la première fois. Le problème de la mesure du poids est *dévolu* aux élèves à travers la découverte du dynamomètre que le professeur sait n'opposer aucune difficultés dans ce cas. Il ne donne pas de consigne précise ni de protocole à suivre. L'enseignant n'intervient que « sur demande » ou s'il constate des difficultés. 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. Ils 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. Certains élèves testent les limites de l'appareil dans le cas d'une masse trop importante ou trop faible en changeant d'objet.

Pour nous, ils font preuve d'une attitude scientifique dans le sens où ils évaluent le principe de fonctionnement du dynamomètre avant d'y suspendre un objet et d'effectuer une mesure. Toutes ces expériences, interprétées en termes d'interaction, constituent le référent empirique. Les élèves mobilisent 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.

b) Le principe de fonctionnement d'un dynamomètre

Henri s'appuie sur le référent empirique constitué précédemment pour mettre en évidence le principe de fonctionnement du dynamomètre. L'échange se fait en grand groupe.

Extrait n°1 du transcript de l'activité de mesure

(H = Henri, C = Charlotte, Es = plusieurs élèves)

H : / Qu'est-ce qui fait ce ressort ? ((brouhaha))
Charlotte il monte il descend oui ? au moment où on suspend quelque chose

C : Il descend

H : / Et il est toujours étiré de la même manière ou pas ?

Es : Non

H : Non ça dépend de quoi ça son étirement ?

C : Du poids

H : Du poids de l'objet donc euh plus l'objet/

C : 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 ((h écrit au tableau))

Cet échange 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 de conclure sur le principe de l'appareil de mesure et d'en justifier l'utilisation.

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. La tentative de passage dans le registre des modèles échoue.

c) Application à un dynamomètre circulaire

Henri propose de mesurer le poids d'un objet avec un autre type de dynamomètre. Il s'agit d'un dynamomètre à ressort circulaire dont on ne voit pas les éléments mécaniques qui le compose. Il est aimanté au tableau. Le professeur décrit son fonctionnement et y suspend une paire de ciseaux. Puis, il demande à un élève de venir lire le poids.

Extrait n°2 du transcript de l'activité de mesure

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 Es : Oui

Cette application n'était pas prévue par Henri. Il dit, dans les entretiens, la proposer pour, d'une part, répondre aux difficultés à différencier le poids et la masse et, d'autre part, vérifier qu'ils savent tous mesurer le poids d'un objet. La mesure ne pose pas de problème à l'élève. Par contre, l'amalgame entre le poids et la masse est toujours présent.

d) La masse et le poids sont confondus

À travers ces deux extraits, nous remarquons que les élèves ne savent pas s'ils mesurent le poids ou la masse d'un corps avec un dynamomètre. Au-delà de la mesure, nous pensons qu'ils ne distinguent pas ce qui est une propriété d'un morceau de matière, la masse⁴, de son interaction avec la Terre, le poids. Il nous semble que cette difficulté provient du fait qu'il n'y a pas de mise en relation entre les événements et les propriétés des interactions dans leurs réponses aux questions du professeur. Lemeignan et Weil-Barais (1993) soulignent que les concepts « agir » et « objet » doivent être admis pour permettre cette mise en relation. Ils font partie des descripteurs qui, selon Genzling et Pierrard (1996), sont nécessaires dans les activités de modélisation. Cela signifie que la Terre, la main, le ressort et le corps suspendu doivent être définis comme des objets et décrits selon les interactions que chacun entretient avec les autres. Lemeignan et Weil-Barais suggèrent de distinguer cette démarche qui vise à définir le concept d'interaction de la modélisation connexe qui est déterminée par les caractéristiques de l'interaction en termes de direction, sens, importance, réciprocité. Dans la séance observée, Henri n'a pas mis les élèves dans la situation de construire le modèle du poids comme un modèle interaction à partir des deux

démarches conjointes suggérées par Lemeignan et Weil-Barais. Cela expliquerait les difficultés des élèves à différencier le poids de la masse d'un objet et à montrer le principe de fonctionnement du dynamomètre.

4.1.2. Deuxième année d'observation

L'introduction de l'activité expérimentale est modifiée entre les deux années. Par contre, le début de la séance ne change pas : l'enseignant s'appuie sur l'étude de la même bande dessinée pour définir le poids. Mais, contrairement à la première année, cette définition est construite conjointement avec les élèves et constitue la première trace écrite de la leçon.

a) Définition du poids

Henri a identifié deux dysfonctionnements à l'issue de la première année : 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 (vue au chapitre précédent) n'était pas acquis pour beaucoup d'élèves. Or, il s'appuie sur ce concept pour définir le poids et introduire sa mesure. Par conséquent, la deuxième année, il a insisté un peu plus sur le concept de gravitation et il met en place la trace écrite au bout de deux minutes de la première séance. Les élèves ont noté la définition suivante : « on appelle poids d'un corps l'attraction d'une planète sur le corps⁵ ». Pour construire cette définition, ils ont fait « fonctionner » le modèle de l'interaction gravitationnelle pour expliquer pourquoi Dupont est surpris par la longueur de son saut sur la Lune.

**Extrait n°3 du transcript de la séance 1/année 2
concernant l'étude de la B.D (E1 = élève 1)**

E1 : Il est allé aussi loin/c'est à cause de la gravitation de la Lune

H : Et alors qu'est-ce que tu veux dire par là c'est à cause de la gravitation de la Lune ?

E1 : La Lune euh elle attire moins les objets que la Terre

Dans cet extrait, l'élève E1 précise deux choses : d'une part, que chacune des planètes attire un objet et, d'autre part, que l'attraction de la Lune sur l'objet serait moindre que celle de la Terre. On remarque que sa réponse est formulée dans un cas général grâce à la relance de l'enseignant.

Puis, Henri 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.

b) Conséquences sur 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. Cependant, même si l'énoncé de la tâche des élèves est inchangé, elle n'est plus tout à fait la même. En effet, ils savent, avant de faire des expériences, que le dynamomètre mesure l'attraction de la Terre sur l'objet. Voici deux extraits qui nous paraissent représentatifs :

Extrait n°4 de l'activité de mesure (E2 = élève 2)

H : Est-ce que le ressort s'étire toujours de la même manière Manu ?

E2 : Bin non ça dépend du poids de l'objet

Dans ce tour de parole, l'enseignant se place au niveau du registre empirique. C'est sous son influence que l'élève E2 explique le phénomène empirique en faisant référence au modèle du poids et à sa définition construite précédemment.

Extrait n°5 de l'activité de mesure

H : (..) C'est très bien donc plus le poids de l'objet sera important /

E2 : Plus le euh
le ressort H : Le ressort

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 on augmentait le poids. Par conséquent, il développe une connaissance phénoménologique qui élargit le référent empirique au dynamomètre.

Les réponses des élèves satisfont Henri. Pour lui, ils ont bien compris le principe de fonctionnement du dynamomètre. Donc, il ne juge pas utile de proposer une application au dynamomètre à ressort circulaire, contrairement à la première année. En effet, nous observons les élèves mis en situation, par les questions du professeur, de définir les objets en interaction ainsi que les caractéristiques de cette interaction. Ils précisent l'interaction entre Dupont et la Lune ; ils donnent des caractéristiques de cette interaction en termes de sens, de réciprocité et d'importance par comparaison avec la Terre. Dans l'extrait n° 3, nous observons une partie de ce travail mené en grand groupe par l'enseignant. De fait, Henri a pu associer les élèves à la construction de la définition du poids qui leur permet d'accéder au modèle de type interaction (Lemeignan & Weil-Barais, 1993). En conséquence, ils n'ont pas eu de difficultés à expliquer le principe de fonctionnement du dynamomètre.

Nous allons maintenant examiner ce début de séquence sous l'angle de la didactique professionnelle. Nous analysons une organisation de l'activité de l'enseignant à travers l'identification des schèmes en jeu. Nous en déterminons les éléments constitutifs en identifiant les connaissances professionnelles dans les invariants opératoires. Puis, nous discutons de l'articulation des schèmes entre eux dans l'organisation de l'activité des enseignants.

4.2. Analyse d'un point de vue de la didactique professionnelle

Notre méthodologie basée sur une confrontation des professeurs à leur action et des entretiens de type autoconfrontation produit des résultats qui questionnent la représentation du schème. Il nous semble nécessaire de le décrire suivant six éléments au lieu de quatre dans la définition originale. Pour cet aspect de notre travail, nous faisons référence à la *Grounded theory* (Glaser & Strauss, 1967). Selon ce point de vue, l'analyse des données fait ressortir des catégories qui nous amènent à des propositions d'évolution de la théorie, que nous présentons ci-dessous.

4.2.1. Une nouvelle description du schème

Les résultats de notre travail nous permettent d'étendre les quatre composantes du schème 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. Par contre, les règles de prise d'informations ne sont pas explicitées dans les entretiens. Cet aspect peut être une conséquence de notre méthodologie puisque nous nous centrons sur des incidents critiques fortement connectés au savoir en jeu. De fait, nous avons décidé de ne pas les énoncer.

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 six éléments : un but et des sous-buts, des anticipations, des inférences, des indices, des règles d'actions, des invariants opératoires (concept-en-acte et théorème-en-acte).

Prenons un exemple pour caractériser un schème en renseignant ses six éléments. 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 ? ». Nous présentons les éléments du schème modélisant l'organisation de son activité dans un tableau (tableau 1, ci-dessous). Nous le notons schème B.1. pour indiquer qu'il s'agit du schème B la première année. La colonne de gauche indique les éléments constitutifs du schème, la colonne de droite propose ce que l'enseignant fait ou pense en situation.

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 4 : Année 1. Schème B.1 « Introduction de l'activité expérimentale »

Le contenu concernant le but, les anticipations, l'indice, la règle d'action sont énoncés dans les entretiens par Henri. Par contre, nous déduisons les inférences de la vidéo de classe car elles ne sont pas explicitées par le professeur. Les invariants opératoires sont déduits à la fois des entretiens et des vidéos de classe. Pour plus de précision, nous reformulons tous ces propos lors de la mise en tableau.

Nous relevons les connaissances de l'enseignant dans l'invariant opératoire du schème B.1, à partir de l'étude des théorèmes-en-acte et des concepts-en-acte. Henri tient pour vrai que le poids se mesure avec un dynamomètre, son unité est le newton. Il fait la proposition de débiter la séance par une question sur la mesure pour introduire le dynamomètre car il sait que cette question a été vue à la séance précédente dans l'étude du texte « Newton et la gravitation ». Les concepts-en-acte n'apparaissent pas clairement dans notre description du schème B.1. Ils ont une fonction de prélèvement de l'information dans la situation afin d'orienter l'action. Il nous est difficile de les identifier à partir de l'action des enseignants ou des entretiens.

Quels sont les types de connaissances identifiées dans cette organisation ? Dans cet exemple, nous identifions des connaissances de type SMK (*le poids se mesure avec un dynamomètre, l'unité de mesure du poids est le newton de symbole N*). Toutes les autres connaissances sont spécifiques à l'enseignement sur « poids et masse ». Pour nous, ce sont des PCK sur le matériel pédagogique (*le dynamomètre*) et sur les stratégies (*la question de la mesure permet d'introduire le dynamomètre*). Mais, il y a aussi une connaissance sur le savoir construit par les élèves dans une tâche passée (*la réponse à la question est présente dans le document « Newton et la gravitation » déjà étudiée*). C'est une PCK sur les élèves dans la sous-catégorie « les prérequis nécessaires à l'apprentissage d'une notion ».

Regardons comment s'organise l'activité d'Henri en ce début de séance. Il s'agit d'identifier les schèmes du professeur et de discuter leur articulation.

4.2.2. Organisation de l'activité d'Henri : cas de la première année

Nous distinguons deux parties dans l'organisation de l'activité mise en œuvre par Henri. La première concerne l'activité expérimentale et la seconde un travail sur le principe de fonctionnement du dynamomètre avec une application. Dans la première partie les élèves sont en groupes ; dans la seconde partie l'enseignant interagit avec la classe entière. Nous décrivons l'organisation de l'activité par quatre schèmes notés A, B.1, C et D (figure 3).

Les schèmes A et B.1 concernent l'activité expérimentale ; les schèmes C et D rendent compte de l'organisation de l'activité sur le principe de fonctionnement du dynamomètre et une application. 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. Autrement dit, les schèmes se composent et se décomposent hiérarchiquement. Mais à partir de quel critère peut-on modéliser l'organisation de l'activité des enseignants en schème et sous-schèmes ou un but en sous-but ?

Nous faisons le choix de prendre comme critère les anticipations du but du professeur dans l'activité. Lorsque nous identifions un changement de but, nous comparons les anticipations de 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'écrira 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. Nous considérons, alors, que ce nouveau schème est un sous-schème du schème « initial ». Dans notre exemple (figure 3), les anticipations du schème A « mesure du poids d'un objet » ne sont pas identiques à celles du schème B.1 « introduction d'une activité expérimentale ». En effet, d'un côté, Henri attend que les élèves s'approprient le dynamomètre pour effectuer une mesure et, de l'autre, il attend que les élèves répondent par l'affirmative à la question posée. Donc, le schème B.1 est un sous-schème du schème A. De la même manière, nous disons que le schème D « application à autre type de dynamomètre » est un sous-schème du schème C « principe de fonctionnement du dynamomètre ». De fait, le schème A pilote le schème B.1 et le schème C pilote le schème D.

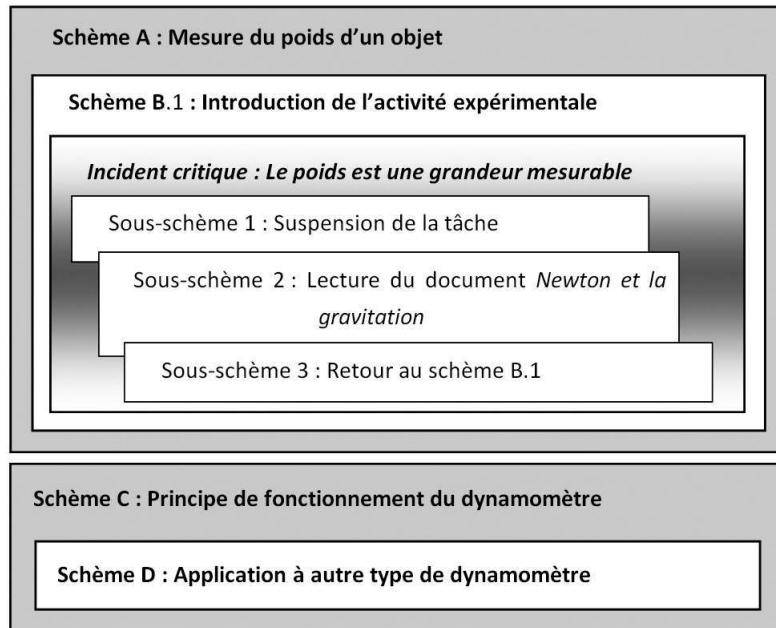


Figure 11 : Organisation de l'activité sur la mesure du poids d'un objet

Nous allons maintenant caractériser les régulations opérées par le professeur suite à des incidents critiques identifiés au cours des entretiens.

4.2.3. Relation entre des connaissances professionnelles et la régulation rétroactive de l'activité en classe

Nous présentons ici trois exemples d'incidents critiques à l'origine de trois boucles de régulations rétroactives de l'activité : une boucle courte, une boucle longue et une boucle « changement de schème ». Nous décrivons chacune de ces boucles en faisant la relation avec les connaissances professionnelles mobilisées par Henri. Pour cela, nous étudions les invariants opératoires et les inférences du schème.

a) 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 ? » (§ 3.2.1). Henri dit, dans l'entretien, son étonnement devant la difficulté pour les élèves à répondre. En effet, il dit avoir déjà travaillé sur cette question, au cours précédent, en étudiant le texte *Newton et la gravitation* qui présente les travaux de Newton sur ce sujet. L'enseignant reprend alors l'étude de ce texte. Elle n'était pas prévue. Il s'agit d'un incident critique que nous nommons « le poids est une grandeur mesurable ». Le professeur acquiert alors une nouvelle PCK sur les élèves « *les élèves ne savent pas que le poids est une grandeur mesurable* ».

Henri a opéré une régulation que nous représentons par une boucle courte. Nous la décrivons suivant trois sous-schémas du schéma B.1 (figure 3) car les anticipations de chacun des buts changent pendant l'adaptation de l'enseignant aux difficultés des

élèves à répondre à la question. En effet, le premier but est de mobiliser la classe sur la question posée. Le second est de trouver la réponse à la question en reprenant la lecture du texte *Newton et la gravitation*. Le troisième but du professeur est de revenir au but initial qui est d'introduire l'activité expérimentale de mesure du poids d'un objet. Au cours de cette régulation, Henri mobilise des connaissances professionnelles. Nous identifions une PK sur la classe lorsqu'Henri mobilise tous les élèves sur la question et dans sa gestion de la lecture du document. Nous déterminons aussi une SMK sur le concept de poids et sa mesure et une PCK sur les élèves « *les élèves ont déjà étudié le document Newton et la gravitation au cours précédent* ». Elle appartient à la sous-catégorie « Les prérequis nécessaires pour l'apprentissage d'une notion » dans notre modèle de référence. Cette régulation permet à Henri d'atteindre son but en opérant de proche en proche (Pastré, 1997). Elle est le résultat d'un écart entre l'anticipation du schème et les indices pris dans l'action.

Cet incident critique est une des causes de la modification du début du cours d'Henri l'année suivante. En effet, à la fin du chapitre sur « poids et masse », 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) 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. À l'issue de cette analyse, le professeur a construit trois nouvelles connaissances de type PCK sur les élèves : *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 savent pas que le poids est une grandeur mesurable*. Du point de vue du modèle de Magnusson *et al.*, les deux premières appartiennent à la sous-catégorie « La connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés » et la troisième « Les prérequis 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 : « *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 beaucoup insisté là-dessus* ». Nous avons montré, au paragraphe 3.1.2, comment le professeur a construit la définition du poids conjointement avec les élèves et comment il a modifié l'introduction de l'activité expérimentale en présentant le dynamomètre et sa fonction en relation avec la définition du poids.

b) Une boucle de régulation « changement de schème »

Nous représentons la réorganisation de l'activité d'Henri par la modification du schème B « Introduction de l'activité expérimentale », contrairement au schème A « Mesure du poids d'un objet » (figure 4). Identifions précisément les éléments du schème B, noté schème B.2. (pour la deuxième année), qui ont évolué (tableau 2).

Le but, la règle d'action et les invariants opératoires ont changé au cours des deux années. Pour nous, ceci est caractéristique d'une boucle de régulation « changement de schème ». L'activité d'Henri est modifiée car il présente le dynamomètre comme « *l'appareil qui permet de mesurer l'attraction exercée par une planète sur un corps* ». De fait, il s'agit d'un changement de théorème-en-acte. Le but et la règle d'action sont corrélés avec le nouveau théorème-en-acte. Du point de vue des connaissances, c'est une PCK sur les stratégies qui correspond à ce changement de théorème-en-acte. Elle indique le choix que fait l'enseignant pour articuler la définition du poids et sa mesure.

Nous n'avons pas relevé d'incident critique au cours de l'introduction à l'activité expérimentale la deuxième année. Nous en déduisons que le déroulement prévu par Henri est bien celui qui a été réalisé. C'est pour cette raison qu'il n'a pas jugé utile de proposer une application à un autre type de dynamomètre. Nous notons (figure 4) que l'incident critique de la première année s'est transformé en un *incident prévu* la deuxième année. Henri dit avoir prévu une relecture du document la deuxième année. Le professeur a opéré une boucle longue de régulation.

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 L'unité de mesure du poids est le newton de symbole N. Je donne le nom de l'appareil de mesure et sa fonction en relation avec la définition construite précédemment

Tableau 5 : Année 2. Changement de schème B.2 « Introduction de l'activité expérimentale »

C) Une boucle longue de régulation

Suite à l'incident critique « le poids est une grandeur mesurable », Henri a acquis une nouvelle PCK que nous avons notée « *les élèves ne savent pas que le poids est une grandeur mesurable* » (& 3.3.1). Cette nouvelle connaissance conduit le professeur, la deuxième année, à demander aux élèves de lire le dernier paragraphe du texte *Newton et la gravitation* pour trouver l'unité du poids. Cette étude du texte est prévue par Henri. Elle est faite après une première série de mesures avec le dynamomètre (figure 4). Par conséquent, elle ne se trouve pas au même endroit du cours entre les deux années. C'est

une conséquence de la réorganisation de son activité que nous avons décrite au paragraphe précédent.

De fait, l'incident critique de la première année s'est transformé en un *incident prévu* la deuxième année. Ce dernier garde la même organisation que l'incident critique. Nous identifions une nouvelle inférence « *si les élèves ne connaissent pas l'unité de mesure du poids je leur demande de lire le document Newton et la gravitation* » qui s'appuie sur un nouvel invariant opératoire « *je sais que les élèves ne savent pas que le poids est une grandeur mesurable* » dans le schème C. La *capitalisation* de ces deux éléments du schème est, selon nous, caractéristique d'une boucle longue de régulation.

Nous observons que l'enseignant a appris sur le seul fait d'agir en situation. À partir d'un incident critique, il capitalise des inférences et des invariants opératoires : l'activité du professeur possède un versant constructif et un versant productif (Samurçay & Rabardel, 2004). Nous remarquons que cette construction est très locale puisqu'elle est en relation avec une notion précise à enseigner.

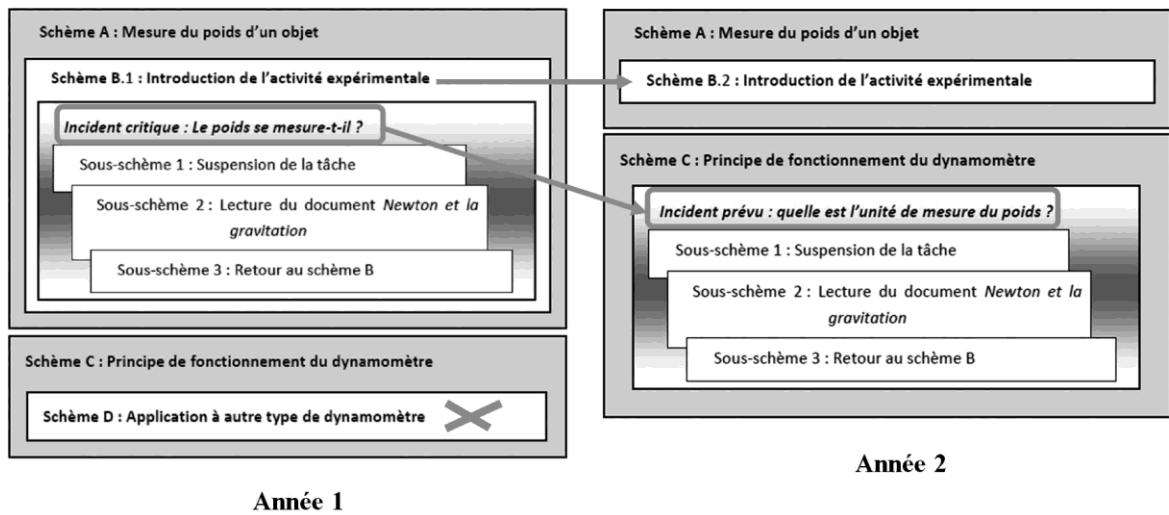


Figure 12 : Figure 4 : Boucle à changement de schème

5. DISCUSSION

Nous allons, maintenant, discuter les éléments d'analyse présentés dans cette étude. Nous enrichissons nos propos en nous appuyant sur le cas de Florence. Nous débutons par les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants. Nous comparons nos résultats à ceux de notre modèle de référence (Magnusson *et al.*, 1999) et nous évoquons certaines limites. Puis, nous présentons une évolution des connaissances professionnelles à travers des mécanismes d'acquisition de nouvelles connaissances. Nous analysons des conséquences sur les réorganisations de l'activité des professeurs. Enfin, nous discutons des intérêts à croiser les deux didactiques pour cette étude.

5.1. Les connaissances professionnelles des enseignants

Le modèle du schème que nous avons étendu à six composantes nous permet de comprendre comment l'activité d'Henri est organisée. Nous apercevons les étapes que doit franchir l'enseignant pour atteindre son but. Le lien entre les connaissances professionnelles et l'organisation de l'activité se fait par les invariants opératoires du schème et, plus précisément, à partir des théorèmes-en-acte. Lors de l'introduction à l'activité expérimentale, nous relevons des connaissances disciplinaires, des SMK, et des connaissances spécifiques à l'enseignement du poids, des PCK. Nous identifions des PCK dans trois composantes : une connaissance des stratégies d'enseignement, des connaissances sur les élèves et sur les programmes (§3.2.1). Nos observations nous amènent à décrire l'organisation de l'activité de Florence comme celle d'Henri (figure 3). Lors de l'introduction à l'activité expérimentale, nous notons des SMK sur le poids et sa mesure et des PCK sur les stratégies (*je donne le nom de l'appareil de mesure et sa fonction en relation avec la définition construite précédemment*), sur les programmes (*l'utilisation du matériel pédagogique : les dynamomètres opaques à ressort circulaires et transparents à ressort longitudinal*) dans l'invariant opératoire du schème de l'enseignante.

Nous avons observé Florence mobiliser un autre type de connaissance présent dans notre modèle de référence : les connaissances sur le contexte d'enseignement, notées KofC. Elles 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. Florence a modifié sa préparation initiale entre les deux collèges, que nous notons SM et P, dans lesquels elle enseigne. Notre exemple est extrait de l'activité qui précède la mesure du poids d'un objet. Dans le collège SM, elle note les « *caractéristiques* » (définition, unité et appareil de mesure) du poids et de la masse à partir d'un texte extrait du mensuel *Science&Vie Junior*⁶. C'est-à-dire qu'elles se succèdent dans des paragraphes distincts et numérotés. Son but est que les élèves perçoivent ce qui distingue ces deux grandeurs. Au fil de son cours, elle se rend compte du manque de clarté de sa présentation : « *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* ». Elle

décide, pour le même cours dans le collège P, de renseigner les « caractéristiques » du poids et de la masse dans un tableau. Elle évoque des causes qui expliqueraient les difficultés que ces élèves rencontrent régulièrement. L'enseignante dit qu'ils 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* ». Elle ajoute que les cas difficiles sont plus nombreux dans ce collège. De fait, elle change régulièrement sa préparation en fonction des difficultés qu'elle perçoit lors de son enseignement dans le collège SM. À propos de l'enseignement de la mécanique, elle sait que les élèves du collège P ont rencontré des difficultés dans le chapitre précédent sur la gravitation.

Au cours de cette analyse, Florence mobilise des connaissances de types PCK sur les élèves et des KofC. Elle ajoute que les élèves au collège P ont besoin d'un cours synthétique, plus facile à la relecture. 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.

Notre cadre d'analyse nous permet d'identifier les quatre types de connaissances présents dans le modèle de Magnusson *et al.*, (1999). Nous montrons comment les SMK et les KofC se retrouvent mêlées aux PCK dans l'organisation de l'activité des enseignants. Cependant, il nous paraît difficile de distinguer les deux sous-catégories des PCK sur les stratégies de notre modèle de référence : 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 de débiter une séquence en posant une question ou le choix d'un type de support comme une planche de BD ou est-ce le dispositif et la démarche qui y sont associés ? Si nous considérons que c'est le dispositif ou le type de support qui est stratégique, pour nous, le professeur mobilise une PK car un dispositif ou un support n'est pas spécifique à un sujet d'étude. Par contre, lorsqu'un enseignant utilise une analogie, il mobilise une PCK sur les stratégies. Il s'agit bien d'une démarche avec des connaissances en jeu qui vise à aider les élèves à comprendre un ou des phénomènes ou à conceptualiser des notions. De même, la frontière avec une PCK sur les élèves peut être mince. Prenons un exemple. Lorsque Florence reformule la tâche que doivent faire les élèves pour trouver la loi $P=mg$, elle emploie les termes « *trouver une relation mathématique* » au lieu de « *montrer qu'il y a un lien ou qu'il n'y a pas de lien* ». Lors de cette régulation, le professeur mobilise-t-il une PCK sur les stratégies ou une PCK sur les élèves ? Une autre question se pose au vu de notre étude.

Quel est l'impact des SMK dans la préparation de la classe et la mise en œuvre ? Cette question se pose car les connaissances disciplinaires sont difficiles à identifier. En effet, pendant les entretiens, les professeurs sont centrés sur leur action ou l'action

des élèves dans la classe. De plus, dans le second degré, les enseignants sont disciplinaires. Ils ne cherchent pas à justifier « théoriquement » leurs choix lors de l'entretien en auto-analyse croisée : implicitement, ils considèrent que le collègue sait. 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. Par exemple, Florence propose à Henri d'utiliser un dessin animé comme situation-problème dans lequel Tintin, Milou et le capitaine Haddock sont en état d'impesanteur à l'intérieur d'une fusée en orbite autour de la Terre. Elle dit vouloir définir le poids en présentant un cas d'absence de pesanteur. Henri lui démontre qu'il ne s'agit pas d'une absence de pesanteur⁷ : « attention y'a la fameuse vitesse qui compense // le poids donc euh...le danger c'est de dire qu'il n'y a pas de poids ». Cet exemple nous montre la présence implicite de connaissances de type SMK dans les choix que font les enseignants pour la classe.

Comme nous l'avons montré précédemment, notre description de l'organisation de l'activité nous permet d'identifier les connaissances professionnelles des enseignants dans les invariants opératoires. Mais, il arrive parfois qu'elles se retrouvent aussi dans les inférences du schème de l'enseignant. Par exemple, dans le cas du schème C (figure 4) nous identifions des SMK sur l'unité de mesure de l'intensité du poids et sur le rôle du ressort dans la mesure. Nous les notons : « 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 ». Donc, la régulation de l'activité en situation peut nécessiter, pour l'enseignant, de s'appuyer sur des connaissances scientifiques. De fait, nous pouvons distinguer les connaissances nécessaires pour réguler l'activité, des connaissances utiles pour prélever et sélectionner l'information pertinente. Nous observons que les schèmes gèrent à la fois la succession des actions, des prises d'informations pour poursuivre, et des contrôles. De fait, pour étudier le lien entre les connaissances professionnelles et l'organisation de l'activité, il nous paraît nécessaire d'analyser les deux composantes du schème convoqué dans l'action : les invariants opératoires et les inférences.

5.2. Évolution des connaissances professionnelles des enseignants : conséquences sur les réorganisations de l'activité

Nous identifions l'acquisition de nouvelles connaissances à partir d'incidents critiques relevés par les professeurs. Elles sont de type PCK sur les élèves dans les sous-catégories « Connaissance des domaines pour lesquels les élèves ont des difficultés » et « Les prérequis nécessaires pour l'apprentissage d'une notion ». Ces nouvelles connaissances sont très locales (Morge, 2003). Elles sont à l'origine des régulations opérées par les enseignants suite aux incidents critiques.

Notre analyse montre qu'une boucle courte de régulation n'apparaît pas à chaque incident critique. Par exemple, dans le cas de Florence, elle ne juge « pas claire » la distinction du poids et de la masse (& 4.1). Pour autant, nous ne relevons pas de régulation visant à modifier sa présentation en paragraphes dans le collège SM. C'est après son cours que le professeur trouve la solution qu'elle mettra en œuvre dans le collège P. Il en est de même à propos des trois PCK sur les élèves acquises par Henri et qui sont à l'origine de la boucle de régulation « changement de schème » (décrite en 3.3.2). En effet, seul l'incident critique « le poids est une grandeur mesurable » est identifié par l'enseignant. Pourtant les deux autres PCK sur les élèves « *le concept de gravitation n'est pas acquis pour beaucoup d'élèves* » et « *la définition du poids donnée à l'oral n'est pas comprise* » sont acquises sans que nous ne relevions une régulation de type boucle courte. Par conséquent, même si nous ne relevons pas de régulation opérée par un enseignant, une nouvelle connaissance peut être tout de même acquise. Celle-ci peut faire *système* avec d'autres nouvelles connaissances construites à différents moments de la séance ou de la séquence d'enseignement pour participer à une régulation que nous décrivons par une boucle « changement de schème ».

En effet, c'est bien parce que ces trois PCK sur les élèves sont en relation les unes avec les autres qu'Henri peut changer sa situation d'entrée dans la séquence la deuxième année. Elles font *système* pour engendrer une boucle de régulation rétroactive de type « changement de schème ». Ces connaissances sont acquises dans la première partie de la première séance et permettent au professeur d'expliquer la confusion des élèves entre le poids et la masse qui persiste tout au long de la séquence. Ce rapport de « cause à effet » produit par le professeur nécessite sur les élèves tout au long de la séquence. Pour autant, des questions se posent : la sauvegarde de chaque nouvelle connaissance peut-elle se faire à une échelle de temps dépassant la séquence ? Est-ce seulement les nouvelles connaissances énoncées lors des entretiens par les enseignants qui font *système* ? Nous avons quelques éléments de réponse à ces questions. Par exemple, nous avons observé Florence dans la situation suivante durant les deux années de notre étude : un élève confond la masse et le volume. L'enseignante fait le choix de « *corriger l'erreur* » à chaque fois, mais elle ne donne pas la même réponse. La première année, elle parle de contenance pour montrer la différence entre le volume et la masse ; la deuxième année, elle fait référence au programme de la classe de cinquième où le volume et la masse sont définis. Elle dit dans l'entretien avoir construit cette réponse deux mois plus tard après l'incident, lors d'un cours en classe de cinquième. Nous voyons, dans ce cas, que la PCK sur les élèves « *les élèves confondent la masse et le volume* » est d'une durée qui dépasse la séquence. Elle permet au professeur de co-construire, avec les élèves, une réponse plus précise l'année scolaire suivante. Pareillement, nous pensons que des nouvelles connaissances construites tout au long de la séquence, comme par exemple lors des résultats d'évaluation, peuvent faire *système* avec celles construites auparavant pour engendrer une réorganisation de l'activité du professeur.

5.3. Intérêts du croisement des deux didactiques pour décrire l'activité des enseignants dans une interaction professeur-élèves

Pour nous le croisement des deux didactiques pour analyser l'interaction professeur-élèves présentent plusieurs intérêts. La didactique professionnelle nous permet de rendre compte de l'organisation et des changements d'organisation de l'activité, pour les notions effectivement enseignées. Nous y plaçons les connaissances professionnelles des professeurs et nous montrons leur impact au niveau de l'activité, de son organisation et de sa conduite. La didactique des sciences nous permet de montrer la manière dont les élèves s'approprient les savoirs en jeu, dans le cas particulier des sciences expérimentales, en relation avec l'organisation et des changements d'organisation de l'activité du professeur.

Revenons sur l'analyse de l'activité de mesure du poids. Du point de vue de la didactique des sciences, nous montrons que la nature de la tâche prescrite aux élèves a évolué au cours de ces deux années (§3.1.2.b). La première année, ils étaient dans la découverte du dynamomètre suivant une démarche empirique. La seconde année, ils étaient dans l'application de la définition du poids, co-construite avec le professeur. Or, du point de vue de la didactique professionnelle, nous analysons que l'organisation de l'activité de l'enseignant est restée la même (figure 4). Nous en déduisons que la nature de la tâche prescrite aux élèves peut changer quand le but de l'activité du professeur ne change pas. En agissant de la sorte, les professeurs atteignent leur but.

Nous avons identifié de nouvelles connaissances professionnelles, de type PCK, qui ont conduit Henri à modifier partiellement sa préparation du cours. Du point de vue de notre modèle, ces modifications se situent sur différents éléments du schème de l'enseignant, suivant le type de boucle de régulation rétroactive qui a eu lieu. D'une part, nous pouvons décrire l'organisation de l'activité des professeurs ainsi que les réorganisations opérées et, d'autre part, nous pouvons distinguer les connaissances nécessaires pour réguler l'activité, des connaissances utiles pour prélever et sélectionner l'information pertinente. Notre analyse du point de vue de la didactique des sciences montre les conséquences de ces réorganisations sur les apprentissages des élèves. La deuxième année, le modèle de la gravitation a été construit par le professeur comme un modèle précurseur⁸ (Lemeignan & Weil-Barais, 1993) et a permis la co-construction de la définition du poids, contrairement à la première année. Les élèves ont acquis une connaissance phénoménologique qui élargit le référent empirique au dynamomètre. De fait, il y a eu modélisation et application du modèle selon le schéma de Martinand. La première année, ils sont restés dans le registre du référent empirique qui ne leur a pas permis de distinguer le poids de la masse. Au vu de ces résultats, nous pensons qu'il ne s'agit pas de séparer, à tout prix, le poids et la masse comme l'indiquent les deux enseignants. La construction d'un modèle précurseur, celui de l'interaction, pourrait être intégré comme phénoménologie au niveau du référent empirique afin de décrire le système mécanique étudié en termes : d'objets, d'interaction entre ces objets (agir sur),

de propriétés de l'interaction, le tout mis en correspondance avec les événements. Selon Lemeignan et Weil-Barais, il permet de mettre de côté momentanément les difficultés liées à la gestion d'une grandeur vectorielle. Puis, l'application à des situations nouvelles donnerait aux élèves certains automatismes de pensée et la construction de connaissances phénoménologiques afin d'appréhender au mieux le concept de force. Ils pourraient distinguer plus facilement le poids et la masse.

6. CONCLUSION

Notre travail nous a conduits à analyser les connaissances mobilisées par les enseignants dans la mise en œuvre de leur préparation, du point de vue de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. En nous appuyant sur des références théoriques et sur une méthodologie construite pour cette recherche, nous avons identifié les connaissances professionnelles des professeurs en articulant le modèle des PCK et le concept de schème.

Notre étude montre que les enseignants mobilisent d'autres types de connaissances que les connaissances disciplinaires académiques : des connaissances sur les élèves, des connaissances sur les programmes, des connaissances sur les stratégies d'enseignement. Ces connaissances dépendent du contenu à enseigner, elles sont des catégories de PCK. Elles s'amalgament (Shulman, 1986) notamment avec des connaissances disciplinaires (SMK), d'un niveau supérieur à celui qui est enseigné, et des connaissances sur le contexte de classe. Toutes ces catégories sont incluses dans les connaissances professionnelles de l'enseignant. Elles lui permettent de rendre le sujet d'étude plus compréhensible pour les élèves (*ibid.*). Notre analyse à l'aide de la didactique professionnelle permet de distinguer les connaissances nécessaires pour réguler l'activité, des connaissances utiles pour prélever et sélectionner l'information pertinente, dans l'organisation de l'activité du professeur.

La préparation de la classe n'est pas définitive et n'assure pas les enseignants d'atteindre leurs objectifs ; elle évolue à travers des réajustements. Dans cette étude, nous avons fait référence à trois types de régulation : en boucle courte, en boucle longue et en boucle « changement de schème ». Elles montrent que les modifications, et en conséquence l'adaptation de la préparation de l'enseignant se fait à des échelles de temps différentes. Nos résultats indiquent que l'origine d'une boucle de régulation est une nouvelle connaissance de type PCK sur les élèves. La boucle courte implique que le spectre des contenus enseignés est plus large que prévu. C'est une raison pour laquelle un enseignant n'est pas assuré d'apporter une réponse pertinente, à chaque incident critique. La régulation en boucle longue nous permet de montrer comment la capitalisation des connaissances dans l'invariant opératoire et dans l'inférence du schème de l'enseignant, issue de pratiques de classes passées, lui permet de produire une réponse structurée et précise pour les élèves. L'incident critique devient un incident prévu. Son organisation est identique à celle de l'incident critique. La régulation de

type « changement de schème » a pour conséquence une réorganisation partielle de l'activité de l'enseignant car un théorème-en-acte n'est plus tenu pour vrai dans l'activité. Pour nous, ce théorème contient une connaissance de type PCK sur les stratégies. Cette boucle de régulation aurait pour origine des PCK qui font système. Elles seraient acquises à différents moments de la séquence et seraient sauvegardées tout au long de la séquence par l'enseignant. Cette réorganisation nécessite de la part de l'enseignant une réécriture partielle de sa préparation.

Le croisement des deux didactiques nous permet de montrer, d'une part, que les régulations de types boucle longue ou boucle « changement de schème » augmentent la participation des élèves à l'élaboration des savoirs en classe. D'autre part, nous observons, dans le processus de modélisation, une projection du référent empirique sur le registre des modèles et une application du modèle, suivant le schéma de Martinand. Les apprentissages sont alors favorisés et l'enseignant peut atteindre son but avec plus de facilités. Ce croisement permet également de montrer que la nature de la tâche prescrite peut évoluer sans que le but de l'enseignant ne change.

Nous l'avons dit, notre approche articule le modèle des PCK et le concept de schème afin d'identifier les connaissances mobilisées par les enseignants. Dans cette étude, nous avons soulevé deux questions théoriques. L'une concerne la pertinence du concept d'invariant opératoire du schème des enseignants et l'autre est à propos du modèle de Magnusson *et al.* (1999). Nous avons mentionné notre difficulté à identifier des concepts-en-acte dans l'activité des enseignants. Selon Vergnaud, les invariants opératoires échappent à la conscience du sujet. Ils sont aussi très difficiles à expliciter car ils sont intégrés dans l'exécution de l'activité (Coulet, 2010). Les théorèmes-en-acte associés à la notion d'indices ne sont-ils pas suffisants pour comprendre l'activité des enseignants ? Nous rejoignons d'autres résultats de la recherche dans nos difficultés à identifier des PCK sur les stratégies. Qu'est-ce qui est stratégique dans l'action du professeur ? Est-ce le dispositif utilisé indépendamment du contenu ou est-ce le tout ?

Nous pensons que notre étude permet d'identifier quelques éléments concernant l'acquisition d'expérience des enseignants. En effet, les incidents critiques sont à l'origine de la construction de nouvelles connaissances, de type PCK sur les élèves. Elles engendrent parfois des boucles de régulation rétroactives de l'activité qui 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. De fait, les mécanismes qui pourraient modéliser, en partie, l'acquisition d'expérience professionnelle sont l'acquisition de nouvelles PCK, la *capitalisation* des inférences et des invariants opératoires dans les schèmes, la construction de nouveaux schèmes ou de groupements organisés de type *incident prévu*. Ce qui nous ferait envisager la notion d'*expérience* à la fois comme un ensemble de schèmes de l'enseignant que nous identifions dans l'action et qui ont été précédemment construits. Mais cette étude demande à être poursuivie notamment en la remplaçant par rapport aux travaux sur le développement professionnel des enseignants.

Toutes ces questions montrent le travail qu'il nous reste à accomplir pour mieux comprendre l'activité des enseignants et ses évolutions du point de vue des connaissances professionnelles. Notre approche sous l'angle des deux didactiques apporte des résultats pour la recherche et pour la formation des professeurs qui nous semblent importants de partager avec les deux communautés de didacticiens.

NOTES

1. Nous désignons ici par préparation l'activité du professeur en amont de la mise en œuvre d'une séance ou d'une séquence. Elle peut donner lieu à la conception et à l'organisation de supports matériels (fiches de préparation...).
2. 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. On a marché sur la Lune, Hergé, Édition Casterman.
4. La distinction entre la masse « inerte » et la masse « grave » n'est pas au programme au collège. Pour eux, la masse désigne la quantité de matière constituant un corps.
5. Les termes « poids » et « l'attraction » sont soulignés par le professeur au tableau.
6. Le poids et la masse, Science&Vie Junior (157) Octobre 2002.
7. Plus précisément, la fusée tombe à la même vitesse que les héros à l'intérieur. Pour les auteurs, « le qualificatif précurseur associé au mot modèle signifie qu'il s'agit de modèles préparant l'élaboration d'autres modèles. En conséquence, les modèles précurseurs comportent un certains nombres d'éléments caractéristiques des modèles savants vers lesquels ils tendent. Les modèles précurseurs constituent ainsi des constructions didactiques conçues pour aider les élèves à accéder aux modèles savants. Ils sont donc précurseurs au regard du développement cognitif. Ce ne sont pas des précurseurs historiques » (p. 26).

RÉFÉRENCES

Abell, K. (2007). Research on science teacher knowledge. Dans K. Abell, & N. Lederman (dir.), *Handbook of research on science education* (p. 1105-1150). Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*, 45, 165-188.

Bisault, J. (2011). *Contribution à l'élaboration curriculaire d'une éducation scientifique à l'école primaire : modélisation des moments scolaires à visée scientifique*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. École normale supérieure de Cachan.

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. *Éducation permanente*, 146(1), 17-25.

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*. Communication présentée au colloque GESCO, Clermont-Ferrand.

Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Éducation & Didactique*, 4(3), 39-60.

Flanagan, J. (1954). The critical incident technique. *Psychological bulletin*, 51(4), 327-358.

Genzling, J.-C., & Pierrard, M.-A. (1996). La modélisation, la description, la conceptualisation, l'explication et la prédiction. Dans J.-L. Martinand, & al, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (p. 46-78). Paris : INRP-Lirest.

Glaser, B., & Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory. Strategies for qualitative research*. Chicago : Aldine.

Grossman, P. (1990). *The making of a teacher : Teacher knowledge and teacher education*. New York : Teachers College Press.

Gueudet, G., & Trouche, L. (2010). Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires. Dans G. Gueudet, & L. Trouche (dir.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques* (p. 57-74). Presses Universitaires de Rennes et INRP.

Jameau, A. (2012). *Les connaissances mobilisées par les enseignants dans l'enseignement des sciences. Analyse de l'organisation de l'activité et de ses évolutions* (Thèse de doctorat en SHS, Université de Bretagne Occidentale, Brest).

Kermen, I., & Méheut, M. (2008). Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques : impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia*, 32, 77-116.

Larcher, C. (2003). Contribution à la table ronde « cadres théoriques autour de la modélisation ». Dans V. Albe, C. Orange, & L. Simonneaux (dir.), *Actes des 3^{es} rencontres scientifiques de l'ARDIST. Recherches en didactique* (p. 305-308). Toulouse : ENFA.

Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette éducation.

Leontiev, A. (1972). *Le développement du psychisme*. Paris : Éditions sociales.

Leplat, J. (2004). L'analyse psychologique du travail. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 2(54), 101-108.

Leplat, J. (2006). Les contextes de formation. *Éducation Permanente*, 166, 29-48.

Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. Dans J. Gess-Newsome, & N. Lederman (dir.), *Examining pedagogical content knowledge : The construct and its implications for science education* (p. 95-132). Boston : Kluwer.

Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques*, 1-12. Cachan (1994-1995) : Association Tour 123.

Martinand, J.-L. (2000). Rapport au savoir et modélisation en sciences. Dans A. Chabchoub (dir.), *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences. Actes du 5^e colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, tome 1* (p. 123-135). Tunis.

Morge, L. (2003). Connaissances professionnelles locales : cas d'une séance sur le modèle particulière. *Didaskalia*, 23, 101-131.

Munoz, G. (2006). Filiations et ruptures en didactique professionnelle. *Éducation Permanente* (166), 87-103.

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. *Éducation Permanente*, 139, 13-35.

Pastré, P. (2008). Introduction. Dans P. Pastré, & Y. Lenoir, *Didactique professionnelle et didactique disciplinaire en débat* (p. 13-17). Toulouse : Octares.

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.

Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : PUF.

Power, M. (2008). *Le concepteur pédagogique réflexif : un journal de bord*. Athabasca, AB : Athabasca University Press.

Rabardel, P. (2007). Principes pour la construction d'une didactique professionnelle. Dans Merri (dir.), *Activité humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud* (p. 87-90). Toulouse : Presses universitaires du Mirail.

Samurçay, R., & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. Dans R. Samurçay, & P. Pastré (dir.), *Recherches en didactique professionnelle* (p. 16-180). Toulouse : Octarès.

Sanchez, E. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la Terre ? *Éducation & Didactique*, 2(2), 97-122.

Sensevy, G., & Amade-Escot, C. (2007). Une présentation de "Those who understand knowledge growth in teaching". *Éducation & Didactique*, 1(1), 95-96.

Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes : PUR.

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.

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. BARDIER (dir.), *Savoirs didactiques et savoirs d'action*. Paris : PUF.

Vergnaud, G. (2001). Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, 33, 107-123.

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.

Vinatier, I. (2009). *Pour une didactique professionnelle de l'enseignement*. Rennes : PUR.

Walliser, B. (1977). *Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes*. Paris: Le Seuil.

“Content and Language Integrated Learning” teaching in science: a didactic analysis of a case study

ALAIN JAMEAU, CAROLE LE HENAFF

Centre de Recherches sur l'Education, les Apprentissages et la Didactique
Université de Bretagne Occidentale – ESPE de Bretagne, Rennes
France

alain.jameau@espe-bretagne.fr
carole.le-henaff1@espe-bretagne.fr

ABSTRACT

Our article deals with a didactic analysis of the teaching of a non-linguistic subject, physics and chemistry, in English, within the framework of “Content and Language Integrated Learning” (CLIL) programs. We describe, from the case study of a science teacher, the articulation between scientific knowledge and language knowledge. From the analysis of video extracts of a lesson about Rutherford’s experiment, we produce a description of the asynchronous advance of the different contents at stake. We propose at the end of the article recommendations for the training of teachers who teach in CLIL programs.

KEYWORDS

Science, English, Content and Language Integrated Learning (CLIL), Joint Action Theory in Didactics (JATD), documental approach of didactics

RÉSUMÉ

Notre article porte sur une analyse didactique de l’enseignement d’une Discipline Non Linguistique (DNL), la physique-chimie, en anglais. Nous décrivons, à partir de l’étude du cas d’une professeure qui enseigne dans ce dispositif, l’articulation entre es savoirs scientifiques et les savoirs langagiers. A partir de l’analyse d’extraits video d’une séance sur l’expérience de Rutherford, nous produisons une description de l’avancée asynchrone des différents savoirs en jeu. Nous proposons en fin d’article des recommandations pour la formation des professeurs qui enseignent dans ces dispositifs (DNL, classes européennes, CLIL).

MOTS-CLÉS

Sciences, anglais, Discipline Non Linguistique (DNL), Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (TACD), approche documentaire du didactique

INTRODUCTION

We present a case study on the teaching of chemistry in English, at high school in France. The teaching of this “non linguistic subject” in a foreign language takes place within a specific environment in what are called “European classes” (Ministère de l'Éducation Nationale, 1992), where academic content is taught through a foreign language. These classes are based on the so-called approach “Content and Language Integrated Learning” (CLIL), which consists in the teaching of a particular subject matter in a foreign language. As Tardieu and Dolitsky (2012) put it, the main objective was to gain fluency in a foreign language.

The data have been collected as part of a national research project in France (“ReVEA”), funded by the French National Agency for Research (ANR). That's why we examine, in this paper, the didactic effects of the use, by a science teacher called Laureen, of resources for chemistry teaching in English. Besides, we cross the use of concepts that are respectively specific to the fields, i) of the didactics of science, and, ii) of the didactics of foreign languages. We will first present the context of our study and the theoretical framework; secondly, we will expose the methodological tools that have been used to answer our research questions. We will then analyse three episodes, extracted from the videos of the lessons that have been filmed, and discuss our results. We will eventually produce some recommendations for teacher training.

CONTEXT OF THE STUDY

Considerable research has already been carried out about CLIL. Some studies have shown that, during CLIL lessons, the scientific knowledge is frequently withdrawn, relatively to the linguistic contents (for instance, Maitre, 2017). It also been showed that the vocabulary used during the interactions is more related to everyday speech than to specific domain knowledge contents (Auer, 1988; Caffi & Janney, 1994).

Some authors (Roussel, Joulia, Tricot & Sweller, 2017) have also demonstrated that “learning academic content through a foreign language is likely to lead to sub-optimal results” (p. 70). They have also indicated that, among the studies have been concerned with the effect of CLIL instruction on students' language skills (Jexenflicker & Dalton-Puffer, 2010; Ruiz de Zarobe, 2010), several of them have shown positive effects of this approach on linguistic outcomes (Admiraal, Westhoff & de Bot, 2006; Lasagabaster, 2008; Ruiz de Zarobe, 2008; Loranc-Paszylk, 2009; Varkuti, 2010). It is also said that “Dalton-Puffer (2011) suggested that students have better language performance, and show more ability, accuracy, and fluency in using a foreign language” (Roussel, Joulia, Tricot & Sweller, 2017, p.70).

Gajo (2001) has shown that learners develop specific strategies, such as “code-switching”, to maintain communication in CLIL classes. In a general way, researchers insist on the search, by teachers, for a balance between content and language knowledge (Lyster, 2007; Mehisto, 2008).

The originality of this study is to provide a didactic analysis of a teacher's actual actions in class, and to examine the interweaving of language and scientific contents that are constructed. We describe how

the teacher organizes the relationship between the selected resources and the orientation of work with scientific and language contents. We notably attempt to examine how the students are conducted to work, or not, on the language that is necessary to the understanding of scientific knowledge. We also examine, from a didactic point of view, how scientific and language contents progress in time, but not at the same pace.

THEORETICAL FRAMEWORK

In this paper, we investigate how a chemistry teacher uses her resources (Adler, 2000) during a lesson on atoms which is entirely in English. We do not only consider the teacher's resources, but also the links between her knowledge and her documentation work, using the perspective of the documentational approach of didactics (Gueudet, Pepin & Trouche, 2012).

For this study, we refer to some concepts that have been developed, in comparative didactics (notably, Sensevy, Mercier, & Schubauer-Leoni, 2000), within the framework of the Joint Action Theory in Didactics (JATD), in order to understand didactic activities (Sensevy & Mercier, 2007; Sensevy, 2011; Gruson, 2016). The JATD seeks to formulate the teacher and the students' actions as a whole dynamic unit, using concepts that describe didactic activities as a joint structure.

In the JATD, the concepts of didactic contract and milieu help define a strategic system, which is the strategic system of teaching and learning. These concepts are closely articulated. The contract can be described as what is already known by the students, as habits that structure a system of expectations between the teacher and the students about what they have to do, and with what kind of strategies and knowledge. The milieu can be defined as what is to be known, as a problem that produces resistance to the learner's action. The learner has to overcome this resistance by interpreting the problem in order to learn and to gain new knowledge.

We will also call "learning games" (Sensevy, 2011; Gruson, Forest & Loquet, 2012) teaching and learning situations that are "observed *in situ*, that is while the teacher and the students are playing them" (Gruson & Marlot, 2016). Sometimes, as Gruson and Marlot put it, the learning game expected by the teacher does not happen, and a more generic game substitutes itself for the expected game: this is called a "shift in the game". The main difficulty in the production of learning situations is to elaborate a milieu, a problem, that resists to the learner's action, in order to make him go beyond what he already knows, but not too much because if the milieu is too complex to decipher, to decode, the student won't be able to learn. When the milieu appropriately resists the student's action, learning can occur and renew what the student knows and how she knows it. We also refer to the concepts of topogenesis and chronogenesis (Chevallard, 1991; Sensevy, Mercier, & Schubauer-Leoni, 2000). Topogenesis describes the partitioning of knowledge between the teacher and the students, and chronogenesis describes the temporal progression of the knowledge at stake.

During CLIL lessons, the milieu can be difficult to apprehend (for the students) and to organize (for the teacher), because of its twofold complexity (Le Hénaff et al., 2017; Jameau & Le Hénaff, 2018), due to the diverse types of knowledge that are aimed at, sometimes simultaneously, sometimes not. We choose to mobilize the theoretical framework of the JATD, in order to produce a better intelligibility of the determinations, 1) of the teacher's choice of resources (relative to the didactic contract, for example), and 2) of the use of these resources in action, and of its consequences on the students' learning, in particular on the asynchronous nature of this learning.

The scientific literature on CLIL regularly draws the conclusion that subject content is lagging behind

language knowledge and that this type of program is likely to overload students cognitively. Most of the time, it uses a quantitative methodology to obtain these results. To complete or clarify these results on these points, we decided to use a methodology based on a case study, based in particular on the concepts of the didactic contract, the milieu, and the triplet of genesis. The objective is to be able to describe, as finely as possible, actual practices, and to shed more precise light on the complexity of the interweaving of language and scientific knowledge.

Thus, we study, i) how the contract influences the documentational process (the selection and the use of resources by the teacher), ii) how the teacher articulates the advance of scientific and language knowledge and, notably, iii) how the teacher makes her students work on scientific vocabulary, and which scientific vocabulary, in a foreign language.

METHODOLOGICAL FRAMEWORK

Our methodology is based on the “valise” methodology (Trouche, 2014), which provides methodological tools enabling us to track how the studied teacher, both inside and outside her educational institution, uses and produces her teaching resources. We followed several principles. The teacher’s work has been observed by the researchers in and out of class; a long term follow-up has been organized, during several school years.

The teacher and the researchers have worked together. This theory is associated with a specific methodology called “reflective investigation” (Gueudet & Trouche, 2008a), that has been initially applied in the field of didactics of mathematics, but also in science (Jameau, 2012). The teacher has had a reflective stance on her own work: for instance, she has provided comments on videos of her activity filmed by the researchers, during an auto-analysis interview (Jameau, 2015).

Self-analysis is considered here as a method of empirical data collection and analysis of verbal protocols in relation to action and not as a targeted training to help build professional skills. Indeed, we wish to distinguish a self-analytical interview which, in our study, focuses on the knowledge taught and on the learning of students, from a self-confrontation interview which is defined as a method of analysis of the work activity (Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001) which aims not only to understand the work to transform it, but to transform it to understand how development occurs or does not occur. This interview has been based on the preliminary selection, by the researchers, of significant extracts of the transcriptions of the lessons. During this interview, the teacher has been asked to describe her actions and to comment on them, by making explicit what she thought or took into account in order to conduct the activities.

This approach provides methodological tools that distinguish, within a genesis process, available resources from the documents elaborated by the teachers with these resources. The purpose of this methodological framework is to design a system of tools that would allow us to track how teachers, individually, collectively, inside and outside their educational institution, use and produce their teaching resources.

Video data have been collected during the lessons. We filmed 4 lessons of 45 minutes in English, about the story of atoms. Our initial results are based on the transcriptions and synopses of these lessons, reconstructed from video recordings. Thanks to the transcriptions of the Speech Turns (ST) and to the synopses, we identified some significant episodes and examined finely how the use of resources in class could highlight the teacher’s didactic intentions. We selected episodes that obviously highlighted the problematic of the articulation between scientific and linguistic knowledge stakes. We

also conducted epistemic analyses of the resources of the lessons, that is to say analyses about the knowledge at stake within these resources, relatively to the situations implemented.

Laureen has been a physics and chemistry teacher at upper secondary school for five years; she teaches with tenth, eleventh and twelfth graders. She usually teaches science in French, and she can also be considered as a proficient user of English. As her English is fluent, she also teaches science in English in a “European class”. The students attend most of their science lessons in French three times a week, and receive complementary teaching in English once a week, usually about a scientific theme that has been tackled during French lessons.

ANALYSIS OF THE DOCUMENTATIONAL WORK OUT OF CLASS

The interviews with the teacher were conducted from 2015 to 2017. During the first interview in 2015, she had been asked by the researchers to explain how she was used to organize her usual system of resources.

She notably said that, while she prepares her lessons, she is used to search on the Internet by keywords that she identifies from the programmes of the class concerned. She uses a search engine to select resources and does not have any favorite websites. In her search, she sometimes adds the level of class to her keywords. We observe that the teacher does not save in her favorites the sites in which she downloads resources or erases them after use. She tells us to be sure to find them. Moreover, the teacher declares to save temporarily the downloaded resources. They are erased when the documents or didactical resources (a resource that has already been used in the classroom by the author) are saved in a USB key and on the hard drive of the personal computer. Laureen does not often use textbooks or colleagues’ work except in the case of experimental teachings where resources are stored in a binder available in the physics or chemistry lab.

Laureen taught the atom in English four years ago. She stored her documents in a binder dedicated to teaching CLIL lessons. She begins her preparation by connecting to a colleague’s website from which she has downloaded resources that have allowed her to construct documents for the class. She notes, during her preparation, that there are very few open digital resources for CLIL education in France. Therefore, she usually looks for resources websites about science education in English-speaking countries, notably American websites.

Laureen did not find the video (“Atoms, the clash of the titans⁵⁰”) she had formerly used four years ago, either in her digital file or on the colleague’s website. So she looks for “atom high school teaching” on search engine in order to find it. She adds words, such as “activity”, to the series of previous words, so as to find it, but also to discover new resources. By doing this, she selects a resource entitled “build an atom”. It is a matter of constructing atoms interactively and of finding the corresponding chemical element in the periodic table of Mendeleev. She considers it interesting in the sense that the students already have the scientific knowledge which, according to her, will not be favorable for the practice of the language. She is rather looking for English language activities or videos without having specific ideas of what she wants, only that the medium must allow oral interaction in the classroom and learning of a specific vocabulary. The scientific content must already be mastered by the pupils i.e. it must be tackled in common core before the CLIL teaching. The teacher chooses to start her lesson with the video produced by the BBC and presented by Jim Al-Khalili, a Professor of Nuclear Physics. The

⁵⁰ The video is available on the following website: <http://vfsvilesieux.free.fr>

extract lasts about five minutes. For the teacher, “this video is interesting because it tackles the history of science and the work of the scientist, because finally Rutherford’s experiment demonstrated that the model of the full atom, well a full sphere, didn’t work”. Thus, she chooses this video because it permits, i) to understand the scientist’s work in his laboratory, ii) to work in an epistemological perspective. She adds that “there is less oral work during the lesson, but at the same time there is a listening activity and they will practice oral English during the next lesson”. We see that the focus on oral practice is a priority, that is spread over the whole unit, even if this specific lesson also allows her to study the “definition of the atom and who present the different models”.

Epistemic analysis of the resources

The video chosen by Laureen deals with an experiment conducted in 1909 by Hans Geiger and Ernest Marsden under the direction of Ernest Rutherford, and carried out under vacuum. Radioactive material emitting α particles (helium nucleus) is oriented towards a very thin gold leaf in front of a screen. This one is enriched with a chemical substance (zinc sulphide) allowing to visualize, by a luminous flicker, the collision by the α particles. After a few minutes, different points of light appear on the screen and all of these points are not in the orientation of the beam.

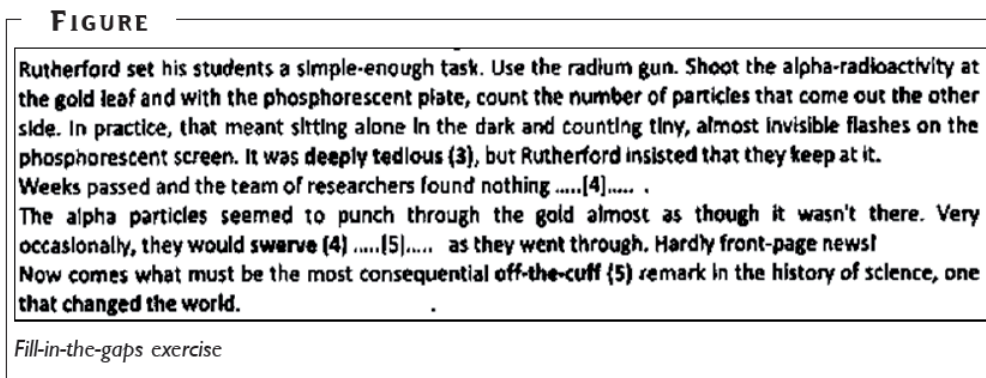
This experiment shows that matter is a lacunar structure, that is to say that atoms are essentially constituted of “vacuum” and that the nucleus, which is positively charged, concentrates the whole mass of the atom. As a result of this experiment, Rutherford proposed a “planetary” model of the atom: the negatively charged electrons revolve around a positively charged small nucleus.

The beginning of the video, which is not shown to the students by the teacher, exposes the different studies carried out by other scientists to show the existence of atoms. The commentator explains that the existence of the atom is still debated in the scientific community and that Thomson’s model of “plum pudding”, proposed in 1904, was not shared by the community. He also points out that Rutherford made the discovery by studying the radiation α , which is a form of radioactive decay, following Becquerel’s work on radioactivity. Students are not aware of this scientific context, and have never encountered such laboratory equipment. They have only heard about Thomson’s model which is studied in French.

As for the linguistic knowledge contained in the video, the man who speaks has a British accent. He speaks at an ordinary pace, and uses sentences with complex structures. He also uses several tenses (present, past, conditional), and many idiomatic expressions, such as “ran out of”, “a simple-enough task”. Furthermore, we can hear many occurrences of a specific scientific language (“alpha particles”, “sub-atomic world”, “nucleus”, “electrons”...). A few proper nouns are heard several times (“Manchester University”, “Rutherford”, “Geiger”, “Marsden”), as well as large numbers (“one tenth of a millionth of a millimetre across”, “one in 8,000 alpha particles”...). These elements are likely to raise difficulties for the students.

We believe that this lack of context and problematization can make it difficult for students to understand Rutherford’s experiment. The results pile on others without any particular explanation, whereas a more advanced epistemological study could have helped the understanding. In addition, the experience is described in the video but not *shown*. Only the model of the Rutherford’s atom is presented with an animation. Moreover, students have never heard, in their chemistry classes, about radioactivity because it is not in the curriculum, nor about the properties of the various elements that are used to observe the flows of α particles. We also note that the video does not have any subtitles.

A fill-in-the-gaps text, which is one-page-long, and which is the transcription of what is said by the commentator is handed out to the students before the video starts to be played. Here is a picture of what this text looks like:



We notice that the words in the gaps are not, at first sight, specific scientific words, in the traditional sense. These words are for instance “slightly”, “barely”, “thick”. Nevertheless, these words are essential in order to understand the experiment *fully and precisely*. The word “slightly” describes a specific trajectory of the atoms that bounce back when they encounter an obstacle (a phosphorescent screen).

In this fill-in-the-gaps exercise, speakers are not identified between the commentator and a voiceover. As a consequence, following the thread of the comment is challenging.

Moreover, the fact that this fill-in-the-gaps exercise is handed out, before the video is played, prevents the students from focusing on the video in itself.

The teacher stresses in the interview a possible origin of the difficulties encountered by the students to complete the fill-in-the-gaps text. Some have read it without watching the video and others have done the opposite. To remedy this, the teacher suggested during an interview after the lesson that the video could have been played twice, and that the students would have had the text to complete only at the second passage.

We add the need to contextualize the study of Rutherford in the problematic following the work carried out by Thomson and Becquerel on the radioactivity. As in the video, the text contains several tenses, numerous idiomatic expressions, and many occurrences of scientific words and expressions that are specific to Rutherford’s experiment. Besides, the style is very formal. We hypothesize that this high epistemic density and, thus, complexity, of these resources is likely to generate comprehension difficulties for the students.

ANALYSIS OF THE TEACHER’S PRACTICE

Episode 1

The first episode occurs after watching, only once, the video while Laureen introduces a vocabulary activity by asking students to explain the results of Rutherford’s experiment. She first reminds them that before Rutherford, Thomson had proposed a model that was not unanimous. Then, she makes her students work on the fill-in-the-gaps text.

TABLE 1

Episode "Gold leaf"

17	Teacher	So what did you find in number 1? Who wants to answer? Number 1? Did you get it? Because it was... You didn't? What could it be? If you read the sentence, what could it be? Do you know what is a gold leaf?
18	Student	No
19	Teacher	What is a leaf?
20	Student	Feuille
21	Teacher	Yeah, a leaf, what is a gold leaf?
22	Student	Une feuille d'or
23	Teacher	Yeah, a leaf made out of gold, something very very... thin. OK so it could be a few atoms what? What is the property of this leaf (<i>shows a sheet of paper</i>)? If you look at its property, it's very thin so we can talk about the thickness. What is the thickness of this leaf? How thick is it? Well it could be just a few atoms thick. It has the thickness of a few atoms. That was the property of the gold leaf that he used. Thick, so it has the thickness of just a few atoms, it was very very thin
24	Student	Just a few atoms thick?
25	Teacher	Thick! That's its size! You stop me if there is a problem. So number 2, a movable phosphorescent screen that flashed when... you didn't get this one probably... struck! (<i>writes "struck" on the board</i>) It means that when you have alpha particles that are hitting the gold leaf the phosphorescent screen flashes. Same number 3?
26	Student	Euh
27	Teacher	You didn't hear it?
28	Student	No

We can see that, from the first speech turn (ST17) of the fill-in-the-gaps activity, the students do not find the answers. Lauren asks them (ST23) to guess the missing word ("thick") from the meaning of the following sentence: "Gold leaf, beaten till it's just a few atoms...". She asks the meaning of "gold leaf" and then gives the missing word: "thick". Concerning the second sentence of the exercise, "a moveable phosphorescent screen that flashed when... by radioactive waves", she gives directly the answer: "struck" (ST25). The gap in this sentence is quite difficult to identify, for two reasons. Firstly, the word "when", followed by a past participle, is a specific structure of the English language, that cannot be translated word for word in French. Secondly, the concept of radioactive wave has not been studied yet by the students. What is more, the word "struck" is specific to radioactive phenomena. It describes how an emission of waves, moving at a certain speed, encounters an obstacle, the phosphorescent screen, and strike it. The words, "touched", or "knocked", or "bumped", for instance, could not have been used. The description of radioactivity is associated with its proper discourse, its own "practice language" (Collins, 2011), that Wittgenstein (1997) called the "language game". That is to say a language that is necessary, within the practice of describing radioactive phenomena, in order to tell precisely what occurs to atoms, and to be understood about is told. What is specific in CLIL science classes is that students have to practice the language game of science knowledge, as it is usually done in ordinary teaching, but, in this context, *a language game in a foreign language*.

In addition, the role of the equipment that is necessary to the success of the experiment, such as the gold leaf and the phosphorescent screen, is not explained in the video. Besides, the laboratory equipment that is needed for the experiment is very specific and is never used at school.

The teacher questions the students at the end of the video about the results of the experiment and not about the experimental protocol that has produced these results. However, we shall see that the first questions of the document to be completed require a clear understanding of the experiment.

Moreover, the video has only been played once.

So, we notice that Laureen either gives the answer or explains the meaning of the word in the context of the experiment, or comes back to its context so as to help the students guess the words. She also gives some answers that the students do not find. She sometimes translates the words into French. All these strategies enable her to make chronogenesis go faster. Indeed, the students had initially to complete the sentences while listening to the video. By providing the answers, the teacher is in a high topogenetic position. We could say that, in order to continue a form of communication, based on a “question and answer” learning game, the work on the milieu leaves room for a certain continuity based on a “communication contract” (Gruson, 2006; Kewara, 2012). We observe an alteration of the learning game in the sense that the communication logic takes over the epistemic logic⁵¹ (Sensevy, 2011). The scientific epistemic density is weakened and the contract-milieu relationship is unbalanced. Indeed, the use of the fill-in-the gaps resource, that is to say, the work at the sentence level, does not allow the teacher to ensure that all students have understood the experience and the results, and therefore to work (relatively) authentically on comprehension. We could add, following a study on oral comprehension (Roussel, Gruson & Galan, 2017), that the focus on low-level cognitive processes that are weakly automated in learners does not mobilize high-level processes and build overall meaning. Thus, language proficiency, if poorly mastered, prevents access to content.

Episode 2

In the following extract, the teacher is working on a gap in the text. The missing word in the sentence is “back” (“The alpha particles seemed to punch through the gold almost as though it wasn’t there. Very occasionally, they would swerve... as they went through”). The episode occurs while the students do not succeed in finding the word “back”.

TABLE 2

Episode “Swerve back”

40	Teacher	They swerve, if you look at the definition of swerve: to change directions suddenly. So what direction could they take?
41	Student	Of the atom
42	Teacher	Hum... Yeah... Euh...
43	Student	Right or left?
44	Teacher	Yeah, but is there something that would make them go right or left?
45	Student	Directions
46	Teacher	Mmmm... So we have the verb, the verb is swerve so they can change their direction we have the verb we want to know in which direction
47	Student	When as they went through
48	Teacher	No, not when because we have an “as” afterwards. They swerve back, they change direction and instead of going through it (<i>mime of back and forth with the hand</i>), they swerve back (<i>writes “back” on the board</i>).

Here, we observe Laureen doing a grammatical activity so as to help her students produce the correct answer. We observe that her strategy distracts the students from the scientific content of the experiment. Here again, the focus on low-level processes of comprehension does not give access to the global sense of the message (Roussel, Gruson & Galan, 2017).

⁵¹ According to Sensevy (2011), the logic is a “system of necessities” that structure the background of a practice.

On the other hand, we assume that if the students do not know how to answer, it is due to the fact that they have not understood the experiment, and notably that a flood of particles strikes gold atoms and is deflected in the opposite direction. The teacher does not recontextualise the answer (ST48) by stating one of the results of the experiment but remains on the language. The language learning is mostly lexical. We can also add, concerning the answers produced, that the teacher may be “sometimes unable to determine whether it is the lack of knowledge or language skills that prevents students from demonstrating their knowledge” (Gablasova, 2014, p. 152). Besides, the fact that Laureen moves from an activity focused on the comprehension of the experiment to a grammatical explanation (ST46) can be described as a shift in the game. She shifts from the “question and answer” learning game to a grammatical game, made necessary by the students’ impossibility to answer because of their lack of language skills related to the verb particle “back”.

In this episode, the communication logic does not take over the epistemic logic. Indeed, Laureen slows the chronogenesis down in order to provide a grammatical explanation: the epistemic logic takes over the communication logic. But, when she provides the answer (ST48, “they swerve back”), the communication logic takes over the epistemic logic because it is necessary for her to keep on answering the questions. By doing that, she makes the chronogenesis go faster. What is more, we have noticed that she is mistaken in the answer that she provides. The expected word should be “slightly” and not “back”. Indeed, from a scientific point of view, a tiny fraction of the alpha particles are deflected by more than 90° (“slightly”) and do not go exactly “backwards” (“back”). This meaning is important in the understanding of the experiment, and is related, as in the first episode, to the English language game necessary to describe precisely what occurs to atoms. This is all the more important as the word “slightly” is not usually seen as a word of the scientific jargon relative to atoms. But, in this precise situation, it does constitute a jargon, in the sense of a specialised language, relative to a situation.

Episode 3

The following episode, extracted from the transcription of same lesson, occurs while the teacher is drawing, on the blackboard, a sketch from Rutherford’s experiment, as it has been presented in the video.

The teacher’s sketch represents alpha rays going through a line that symbolizes the nucleus of an atom. She asks a student, Max, to describe what happens to the alpha rays (ST142). He answers that the rays “pass out” (ST143). The teacher approves his answer, and adds “they go” (ST144). Max (ST145) answers “straight”, followed by the teacher who repeats “straight”, but adds “through” (ST146). Max repeats “straight through” (ST146). His pronunciation is mistaken. The teacher asks him to “make an effort” (ST147); he eventually pronounces correctly the expression (ST149).

TABLE 3*Episode “Straight through”*

I42	Teacher	Max, what happens to those alpha rays?
I43	Max	Quite all the alpha rays pass out...through (<i>mispronounced</i>)
I44	Teacher	Yeah, they go (<i>shows the word “straight” on the board</i>)
I45	Max	Straight
I46	Teacher	Straight through
I47	Max	Euh, straight through (<i>mispronounced</i>)
I48	Teacher	Oh make an effort!
I49	Max	Straight through
I50	Teacher	Yeah

The expression “straight through” has already been heard in the video. It is also mentioned in the fill-in-the-gaps exercise. It is notably a gap to be filled in the text. So, when the teacher insists upon “straight through”, it is actually the third occurrence, within the lesson, of this expression, as knowledge to be learnt.

The teacher’s insistence upon the use, and the pronunciation, of “straight through” shows that she uses several resources so as to shape them strategically. These resources are considered as relevant resources according to the type of activity that she sees as necessary for CLIL lessons, that is to say the practice of oral English. To play the expected “learning game”, the student has to use the following strategy: answering accurately and pronouncing adequately enough according to the teacher’s expectations within the context of a CLIL lesson. The organisation of the video, with the fill-in-the-gaps text, and with the sketch, is oriented towards the development of oral skills in English. Speaking as much as possible in English is part of the didactic contract of CLIL lessons.

Max’s answer seems to be right: he tries to explain that almost all the alpha rays go straight through the gold, but hesitates between “pass out” and “pass through”. From a linguistic point of view, his answer is not valid because the word “pass” is not an equivalent of “go” in English. He actually refers to the French verb “passer” and transfers it to the English language to explain what happens to the alpha rays. Furthermore, the fact that the teacher is French allows her to understand Max’s proposition and to validate it. With respect to Max’s use of English words, Laureen actually displays enough flexibility to allow him to provide an answer. Le Hénaff (2013) has called this habit the “contract of tolerance for the ambiguity” in the discourse, to describe habits of communication that go beyond ambiguous details that are not fully understood, in order to maintain the communication flow.

This extract is emblematic of what is at stake during CLIL lessons: the teachers have to search for a balance between a focus on specific scientific knowledge and on the language practice. They are pulled between the contract (habits of communication, willingness to make the students speak) and the milieu-problem that has to be worked on (the scientific knowledge in another language).

In this situation, we could say that Laureen arranges the didactic milieu (the knowledge to be learnt), constituted of both linguistic and scientific contents, as a milieu that is very oriented towards oral linguistic knowledge. Indeed, she insists upon the pronunciation of “straight through” whereas Max’s answer is scientifically valid. The fact that she validates “pass out” (ST143) is also a sign of her willingness to make the students speak.

DISCUSSION

Choice and use of resources and didactic contract

In this case study, we have observed that the habits of communication and, more particularly, the didactic contract of communication in oral English, strongly determine the teacher's relationship to her documentational work. However, there are other elements involved in the didactic contract of the class. The teacher told us, during an interview, that she had chosen a topic related to the students' personal interests, and which is not necessarily linked to the common core curriculum in physics and chemistry. For the teacher, it is a matter of encouraging students to speak and enabling them to learn new scientific knowledge, whether or not they complement those acquired in the core curriculum. This result echoes a recent study on English teacher's resources that has shown that stimulating students' engagement to speak influences English teachers' documentation work (Gruson, Gueudet, Le Hénaff & Lebaud, in press). For all that, we observe her insisting on the pronunciation of words without focusing on grammatical or lexical mistakes. The promoting of oral expression is an essential aspect of the teacher's habits of CLIL teaching. As a consequence, the exploration of the didactic milieu is mainly oriented towards the practice of oral English.

Therefore, the selection of the Rutherford experiment video is consistent with the didactic contract described above. The work on vocabulary is done via a fill-in-the-gaps text. It is in preparation for a second work on unstable chemical elements (radioactive). However, the resources selected by the teacher, notably the video, contain many occurrences of idiomatic and specific linguistic knowledge, which is too remote from what the students already know. The resources also contain scientific knowledge that is very specific to the scientific "practice language" relative to atoms. For instance, the understanding of the experiment, through the description of the radioactive phenomenon with the waves that *strike* the screen and that swerve *slightly* is closely linked to the understanding of these words within a specific experiment, here Rutherford's experiment. When the distance between the didactic contract and the milieu seems too important, the teacher has to adjust the epistemic density of scientific and linguistic knowledge to each other. All the delicacy of the teacher's work consists in trying to alter as little or as abruptly as possible the epistemic density of one content relatively to the other.

CLIL teaching: a twofold complexity

In order to make students experience both science and the foreign "language practice" of science, CLIL teachers have to make their students deal with linguistic and scientific knowledge. This knowledge should not contain too much epistemic density (Marlot, 2008; Sensevy, 2011), but rather some specificity that still permits to mobilise adequately previous knowledge. Consequently, the teaching of a scientific subject in a foreign language requires an ongoing search for a balance between epistemic density and specificity of the linguistic and scientific contents. The shifts in the games, such as the move we observed from a comprehension activity to a grammatical explanation, could be typical for CLIL lessons, and for this ongoing search, by the teachers, for a balance between the linguistic and scientific knowledge at stake in order to avoid that the communication logic takes over the epistemic logic.

We have previously shown that communication logic and epistemic logic are related to chronogenesis. For example, if the teacher gives the answer to the question asked or translates a word or sentence into French to help students, the communication logic takes over the epistemic logic and the chronogenesis is accelerated. The teacher has a high topogenetic position which allows her to act on the

mesogenesis and on the chronogenesis, sometimes to the detriment of knowledge construction. The translation is particularly characteristic of this grip on the didactic actions by the teacher.

However, this allows her to be reassured about the expected duration of the lesson. In the opposite case, as when the teacher produces a grammatical explanation, the epistemic logic takes over the logic of communication and the slowed down chronogenesis. The teacher acts on the chronogenesis, which seems to favour the learning but makes her insecure about the expected course progress. The topogenetic position of the teacher is in this case rather low.

Thus, teaching and learning science in English constitutes a twofold complexity, because of the focus on two objects of learning. As Gablasova (2014) put it, it can be highly complex for teachers to identify in action, between science objects and language objects, the causes of students' potential difficulties.

We have chosen to focus on a case study, while bearing in mind that the question of the replicability of this type of study, which is highly context-dependent, must be questioned. In fact, our study makes it possible to build avenues for discussion and reflection on CLIL programmes, which could feed other studies on this point. The idea of analysis from the case study is to allow a better description and understanding of phenomena, for example here, in order to highlight the complexity, within actual practices, of the advancement of knowledge.

CONCLUSION

Our analysis has shown that, in the episodes, the scientific and linguistic knowledge both advance, but in an asynchrone move. The teacher cannot focus the students' attention on both types of knowledge with the same epistemic density. Thus, while a particular type of knowledge is addressed, the other one remains in the background, but is not eluded.

Language and content advance in parallel but rarely meet an intersection point. This should therefore be the characteristic of the "integrated" component in CLIL programmes.

Besides, the habit of making students practice oral English (the didactic contract) orients the teacher's selection and use of resources. She says, during her preparation work, that she wants to make her students learn scientific vocabulary in English, in the classic sense of "scientific vocabulary", that is to say names of concepts or phenomena. But, as we have seen, studying words within their context, inside their proper language game, is essential for the understanding of scientific phenomena. The word "slightly", for instance, makes it easier to understand exactly the sinuous path of the atoms that are bouncing back.

In CLIL lessons, this study is all the more complicated as it is in a foreign language and, consequently, it is all the more important not to elude this work. Understanding a practice language (Collins, 2011) helps understanding a scientific practice. That is, moreover, why scientific and linguistic knowledge are so closely linked and necessarily both advance in CLIL lessons, even if it is not at the same pace, but in an asynchrone move.

It seems necessary to develop, in CLIL lessons, the study of language items that allow to better understand scientific actions, results and descriptions, in order to make both advance scientific and linguistic contents. As an example working with resources in English, but also in the students' first language, could also be an original way to address this issue. Following these initial findings, it seems crucial to underline that teachers of "non linguistic subjects" are not language teachers and therefore require specific training (Duverger, 2007). For instance, non linguistic teachers are not familiar with that

fact that, in foreign language classes, language teachers usually play videos three times in class, so as to ensure that students understand them as much as possible.

But, as Mehisto (2008, p. 108) stated, “CLIL teachers are often not trained or certified to teach in CLIL”. Conversely, the place of non language teachers, who could conduct chemistry lessons, should also be questioned. Mehisto (2008, p. 113) insisted on the fact that “many teachers find it difficult to apply a multiple focus on content and language, as well as on cross-curricular integration”: thus, allowing science and language teachers to work together should be a way to support them in their reflection, for instance, on epistemic and communication stakes in their lessons, with respect to what we observed about the relationship between the epistemic logic and the communication logic. Moreover, Fortune, Tedick and Walker (2008, p. 85) pointed that “teachers need to understand their roles as both content and language teachers”.

And, as Collins (2011) put it, “domains of practice/language are embedded within one another in fractal-like relationship”, and the teacher of our study tries to adopt what could be called, in reference to the Common European Framework of References for Languages (Council of Europe, 2001), an “action-oriented” approach. She chooses and organizes resources that are mostly oriented towards the practice of English, in order to make the students act with the foreign language. Thus, joint preparation or joint teaching could have helped her to make her students better explore the problem at stake, such as the understanding of the video.

Moreover, co-teaching, but also the selection and conception of resources by collectives of science and language teachers, is a path that could be explored. This way of working is much more developed in some Asian countries (Miyakawa & Winslow, 2009), and is tending to spread in western countries, but these “lesson studies” are still to be developed. That kind of group work is not strictly focused on resources but takes into account the way they are integrated into the existing resources systems, and into didactic situations that generate collective reflections, implying diverse participants. It can result in what Gueudet and Trouche (2008b) call “common documentations”, notably thanks to the study, by the participants, of the “instructions for use” of the textbooks and their teaching guides (Miyakawa & Winslow, 2009). This would be all the more important as the number of resources that are currently available is quite reduced. Besides, Mehisto (2008, p. 110) argued that CLIL teachers, in order to create opportunities for reflection about their practice, could conduct “self and guided-analysis of teacher-chosen sections from their own filmed lessons”. Participants to lesson studies frequently conduct such analyses.

For the training of teachers, it is therefore important to understand that the ability to select and analyze didactic relevance of a resource is crucial for their future teaching. Currently, which tools do they have at their disposal to analyse the didactic relevance of a resource? The epistemic analysis we produced enabled us to identify the knowledge at stake and anticipate the difficulties that the use of the selected resources could produce. Such a tool would benefit from being further highlighted in the training of teachers, although we are aware that it is not possible for them to spend all their preparation time analysing the resources they pre-select for their coming lessons.

Furthermore, teacher training should be more focused on the development of collective epistemic studies of resources that are selected. As Gruson and Marlot (2016) put it, “teachers must be adequately trained to seriously investigate the knowledge involved, mainly before implementing the situation”. Adler (2015, as cited in Gruson & Marlot, 2016, p. 12) also insisted on the importance “to create time for teachers out of school where they themselves have opportunity to participate in various practices, practices that deepen their knowledge for and in teaching, providing opportunity for teachers to

appreciate that their knowledge-in-use is a key resource in their practice”. Eventually, as many studies have been carried out in the field of CLIL, emphasis should be placed on the importance of the variety of programmes and therefore of the types of knowledge involved, and expected by teachers. As Dalton-Puffer (2011) pointed, CLIL programs are characterized by a huge variety and by differences between national educational cultures.

The questions we ask, and the possible answers to them, are therefore made in the light of these specificities. The question of which disciplinary and language content fits into each other is therefore also to be studied according to the great diversity of these programmes, in France but also in Europe.

REFERENCES

- Adler, J. (2000). Conceptualising resources as a theme for teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 3, 205-224.
- Admiraal, W., Westhoff, G., & de Bot, K. (2006). Evaluation of bilingual secondary education in The Netherlands: students' language proficiency in English. *Educational Research and Evaluation*, 12, 75-93.
- Auer, J. (1988). A conversation analytic approach to code-switching and transfer. In M. Heller (Ed.), *Code-switching: Anthropological and Sociolinguistic perspectives* (pp. 187-214). Berlin, Germany: Mouton de Gruyter.
- Caffi, C., & Janney, R. (1994). Toward a pragmatics of emotive communication. *Journal of Pragmatics*, 22(3/4), 325-373.
- Chevallard, Y. (1991). *La Transposition Didactique*. Grenoble, France: La Pensée Sauvage.
- 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.
- Collins, H. (2011). Language and Practice. *Social Studies of Science*, 41(2), 271-300.
- Council of Europe (2001). *Common European Framework of References for Languages*. Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press.
- Dalton-Puffer, C. (2011). Content-and-Language Integrated Learning: from practice to principles? *Annual Review of Applied Linguistics*, 31, 182-204.
- Duverger, J. (2007). Professeur bilingue de DNL, un nouveau métier. *Le Français dans le Monde*, 349, 20-21.
- Fortune, T. W., Tedick, D. J., & Walker, C. L. (2008). Integrated Language and Content Teaching: insights from the immersion classroom. In T. W. Fortune & D. J. Tedick (Eds), *Pathways to multilingualism: evolving perspectives on Immersion Education* (pp. 71-96). Clevedon: Multilingual Matters Ltd.
- Gablasova, D. (2014). Issues in the assessment of bilingually educated students: expressing subject knowledge through L1 and L2. *The Language Learning Journal*, 42(2), 151-164.

- Gajo, L. (2001). *Immersion, bilinguisme et interaction en classe*. Paris: Didier.
- Gruson, B. (2006). *L'enseignement d'une langue étrangère à l'école et au collège: vers une meilleure compréhension des situations didactiques mises en œuvre. Analyse comparative de l'action de deux professeurs de CM2 et de deux professeurs de sixième*. Doctoral Thesis, Université de Rennes 2, France.
- Gruson, B. (2016). *L'action conjointe en didactique des langues: élaboration conceptuelle et méthodologique*. Accreditation to Supervise Research, Université de Bretagne Occidentale, Brest.
- Gruson, B., Forest, D., & Loquet, M. (2012). *Jeux de savoir: études de l'action conjointe en didactique*. Rennes, France: Presses Universitaires de Rennes.
- Gruson, B., & Marlot, C. (2016). Do teachers make all their students play the same learning games? A comparative study of learning games in Biology and English as a second language. *Teaching Education, 1*, 1-13.
- Gruson, B., Gueudet, G., Le Hénaff, C., & Lebaud, M.-P. (in press). Investigating teachers' work with digital resources. A comparison between teaching Mathematics and English. *Revue Suisse des Sciences de l'Éducation*.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2008a). Du travail documentaire des enseignants: genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Éducation et Didactique, 2*(3), 7-33.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2008b). Vers de nouveaux systèmes documentaires des professeurs de mathématiques ? In I. Bloch & F. Conne (Eds), *Actes de la 14ème école d'été de didactique des mathématiques* (pp. 1-56). Grenoble, France: La Pensée Sauvage.
- Gueudet, G., Pepin, B., & Trouche, L. (Dir.) (2012). *From text to 'lived' resources: Mathematics curriculum materials and teacher development*. New York, USA: Springer.
- Jameau, A. (2012). *Les connaissances mobilisées par les enseignants dans l'enseignement des sciences. Articulation entre préparation et pratiques(s) de classe*. Doctoral Thesis, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France.
- Jameau, A. (2015). Une étude des connaissances professionnelles des enseignants du point de vue de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle. *Éducation & Didactique, 9*(1), 9-31.
- Jameau, A., & Le Hénaff, C. (2018). *Resources for Science teaching in a foreign language*. In V. Gitirana,
- T. Miyakawa, M. Rafalska, S. Soury-Lavergne & L. Trouche (Eds), *Proceedings of the Re(s)ources 2018 international conference* (pp. 79-82). Lyon: ENS de Lyon.
- Jexenflicker, S., & Dalton-Puffer, C. (2010). The CLIL differential: comparing the writing of CLIL and non-CLIL students in higher colleges of technology. In C. Dalton-Puffer, T. Nikula & U. Smit (Eds), *Language use and language learning in CLIL classrooms* (pp. 169-190). Amsterdam: John Benjamins.

- Kewara, P. (2012). *Enseignement-apprentissage d'une discipline linguistique et non linguistique à l'école primaire*. Thèse, Université Rennes 2, France.
- Lasagabaster, D. (2008). Foreign language competence in content and language integrated learning. *Open Applied Linguistics Journal*, 1, 31-42.
- Le Hénaff, C. (2013). *L'anglais à l'école élémentaire: analyse didactique de l'articulation entre la langue et la culture*. Doctoral Thesis, Université de Rennes 2, France.
- Le Hénaff, C., Jameau, A., Gruson, B., Boilevin, J.-M., & Thépenier, L. (2017). *Teaching chemistry in English as a foreign language, a case study*. Paper presented at the European Conference on Educational Research (ECER), Copenhagen, Denmark.
- Loranc-Paszylk, B. (2009). Integrating reading and writing into the context of CLIL Classroom: some practical solutions. *International CLIL Research Journal*, 1, 47-53.
- Lyster, R. (2007). *Learning and teaching languages through content: a counterbalanced approach*. Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.
- Maitre, J.-P. (2017). L'intégration d'une langue seconde dans l'enseignement des sciences physiques: quels termes pour quels savoirs en tronc commun et discipline non linguistique? *Éducation et Didactique*, 1, 81-104.
- Marlot, C. (2008). *Caractérisation des transactions didactiques: deux cas en découverte du monde vivant au cycle 2 de l'école élémentaire*. Doctoral dissertation, Université Rennes 2, France.
- Mehisto, P. (2008). CLIL counterweights: recognising and decreasing disjuncture in CLIL. *International CLIL Research Journal*, 1(1), 93-119.
- Ministère de l'Éducation Nationale (1992). *Mise en place de sections européennes dans les établissements du second degré*. Bulletin Officiel n°33 du 3 septembre 1992.
- Miyakawa, T., & Winslow, C. (2009). Un dispositif japonais pour le travail en équipe d'enseignants: étude collective d'une leçon. *Éducation et Didactique*, 3(1), 77-90.
- Roussel, S., Gruson, B., & Galan, J.-P. (2017). What types of training improve learners' performances in second language listening comprehension? *International Journal of Listening*, DOI: 10.1080/10904018.2017.1331133.
- Roussel, S., Joulia, D., Tricot, A., & Sweller, J. (2017). Learning subject content through a foreign language should not ignore human cognitive architecture: a cognitive load theory approach. *Learning and Instruction*, 52, 69-79.
- Ruiz de Zarobe, Y. (2008). CLIL and foreign language learning: a longitudinal study in the Basque country. *International CLIL Research Journal*, 1, 60-73.
- Ruiz de Zarobe, Y. (2010). Written production and CLIL: an empirical study. In C. Dalton-Puffer, T. Nikula & U. Smit (Eds), *Language use and language learning in CLIL classrooms* (pp. 191-212). Amsterdam: John Benjamins.

- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles, Belgique: De Boeck.
- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble: l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes, France: Presses Universitaires de Rennes.
- Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Leoni, M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. À propos de la course à 20. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 20(3), 263-304.
- Tardieu, C., & Dolitsky, M. (2012). Integrating the task-based approach to CLIL teaching. In J. de Dios (Coord.), *Teaching and learning English through bilingual education* (pp. 3-35). Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Trouche, L. (2014). *Documentation valise*. Retrieved from Educmath: http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/approche_documentaire/documentation_valise/documentation-valise-1.
- Varkuti, A. (2010). Linguistic benefits of the CLIL approach: measuring linguistic competences. *International CLIL Research Journal*, 1, 67-79.
- Wittgenstein, L. (1997). *Philosophical Investigations*. Oxford: Blackwell.

Precursor Models and Early Years Science Learning: A Case Study Related to the Water State Changes

Maria Kambouri-Danos¹ · Konstantinos Ravanis² · Alain Jameau³ · Jean-Marie Boilevin³

m.danos@reading.ac.uk

ravanis@upatras.gr

alain.jameau@espe-bretagne.fr

jean-marie.boilevin@espe-bretagne.fr

¹ Institute of Education, University of Reading, Reading, UK

² Department of Educational Sciences and Early Childhood Education, University of Patras, Patras, Greece

³ Centre de Recherche sur l'Éducation, les Apprentissages et la Didactique (CREAD), ESPE, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

Abstract

Children's everyday activities enable them to learn some science even before entering preschool education and children bring these ideas with them when entering education settings. Some of these ideas, or else mental representations, may not be compatible with what is generally accepted by the scientific community. This paper presents the results of an empirical study, focusing on the construction of a precursor model that can support children's scientific learning, in relation to the phenomenon of change of the state of water. The research included 91 children aged 5–6 which participated in a specifically designed teaching intervention. The intervention lasted approximately 55 min and was conducted at eight stages, during which children's predictions and explanations for simple cases of change of the state of water were recorded. The analysis of children's responses suggests that the specific teaching intervention can have a positive effect on children's thinking in relation to the change of the state of water. A considerable number of pre-schoolers were able to take advantage of their involvement in the teaching intervention and construct a stable precursor model to support the development of their understanding, in relation to the water change of state phenomenon. It appears that precursor models can function in the minds of young children as intermediaries between mental representations of reality and scientific knowledge and prepare children's thinking, forming the basis for a cognitive path towards cognitive processing and the formation of more complex models. The proposed intervention is compatible with the model used in science education and it is proposed to be used in moderation and should not replace children's learning through play.

Keywords Precursor model · Preschool age · Water cycle · Early years · Science · Misconceptions

Introduction

Young children's initiation in science in the early years has been an area of research interest for over 30 years, not only in the context of cognitive, developmental and educational psychology, but also in the context of early childhood education as well as science education (Allen and Kambouri-Danos 2016; Fler 1996). In all these contexts, it is apparent that children have the potential to approach phenomena and concepts, to develop reasoning and to construct stable forms and schemas of approaching the natural world (Kampeza 2006; Küçüközer and Bostan 2010; Kambouri 2011; Allen and Kambouri-Danos 2016; Ampartzaki and Kalogiannakis 2016; Pantidos et al. 2017). Based on these approaches, children in everyday life form mental representations in their thoughts about phenomena and concepts studied within science.

Children's learning of science begins long before entering formal education, and much of young children's scientific learning comes from the varied environment in and around their homes. Science is part of the children's lives through television science programmes, visits to science museums as well as play time, since children use scientific principles while they play (Bradley 1996). Different reports have highlighted the significant role of play, since it is the key feature of learning in early years education (Sylva et al. 2004; Samuelsson and Carlsson 2006, 2008). Thus, it is thought that children's play is also a key vehicle of promoting science and learning in early years education. Nevertheless, children's mental representations can sometimes be incompatible with the theories, models and laws of physics (i.e. misconceptions). Misconceptions can often pose strong barriers to learning science and can be detrimental to learning (Clement et al. 1989; Kambouri 2015).

In this study, the focus is on how early years teachers can support children's learning of science and how to help children construct their knowledge. To do that, a specific teaching intervention is proposed and evaluated in order to explore the potential impact on children's learning. The intervention suggested in this paper is not being proposed to replace other forms of learning science, such as learning through play, since the authors acknowledge the significance of play in the early years. The main aim of the proposed intervention is to support the children in developing the learning that they already acquire through play and through other forms of learning.

Theoretical framework

Constructivism and social constructivism are seen as the basic theories that help us understand how children learn science in the early years and are used to provide the theoretical framework for this paper. Constructivism suggests that children construct their knowledge based on what they already know, while social constructivism emphasises the role of the teacher, giving much more room for an active, involved teacher (Chen 2007). In this sense, the children's own preconstructed concepts determine what more they can learn and how they perceive different phenomena and the world around them (Kambouri 2015).

This paper considers that children's learning of science depends on their ability to process information and this is both a function of what they already know and of their own thinking skills. Their development of thinking and, thus their learning, may be linked with brain maturity as well as cognitive development, and this maturation could be compatible with various development perspectives (De Vries 2000). Children construct their own logical concepts and since concepts do not exist 'out there', concepts cannot be discovered simply by being exposed. Within this framework,

it is proposed that some of the activities performed in preschools will have to be devoted to the systematic exploration of science and scientific phenomena (Kampeza and Ravanis 2009).

As mentioned above, occasionally young children's mental representations are sometimes incompatible with the theories, models and laws of physics as these are accepted by the scientific community. This issue has been systematically addressed by research related to science education, where mental representations have formed the basis for the development of teaching interventions that aimed to guide learners' thinking in such way that would encourage the development of cognitive models (accepted by the scientific community). These models allow children to make appropriate descriptions of the physical phenomena they discuss, to give reasoned and rational explanations and to make predictions about the evolution of the physical phenomena, using all the functions of the models presented in the scientific thinking process.

The prospect of developing such models, that can be part of children's thinking processes, is quite different for the particular theoretical stream of early childhood science education. In this theoretical stream, young children's (aged 5–7 years old) limited experiences, developing logical-mathematical thinking and intuitive forms of reflection may not allow, or for the least pose an obstacle, to the construction of integrated mental scientific models. However, children of this age are able to construct precursor entities and use them as part of their thinking, allowing them to do specific things, such as choose the appropriate elements of a natural phenomenon when making descriptions or predictions. *'These precursors are cognitive constructions... generated by the educational context. They constitute the moulds for subsequent cognitive constructions, which without their help, would be difficult, or impossible'* (Weil-Barais 2001, p. 188). In recent years, the concept of the precursor model seems to successfully give shape to the issues that arise regarding the approaches that exploit the study of social-didactic interactions for building concepts and phenomena of natural sciences into the thinking of you children. Therefore, *'the precursor models are cognitive entities which: (a) interpose themselves between the original children's representations and the scientific models used in education, and (b) allow pupils to put forth thought processes which, on the one hand, surmount the obstacles of their thinking and, on the other, are compatible with scientific ones'* (Ravanis 2017, p. 285). The concept of the precursor model links with that of cognitive constructivism and social constructivism, as the focus is on the individual learner's understanding. In this paper, the focus is on children's personal constructions of meaning which are developed based on their experiences and interactions. From this point of view, classroom learning should include practical, well-designed activities that challenge children's prior learning and misconceptions (Kambouri 2015). In addition, social constructivism highlights how meanings and understandings grow out of social encounters. From this point of view, construction of knowledge is successful when children are exposed to scientific phenomena, take part in scientific activities and are involved in scientific discourses (Driver et al. 2001). In the pre-school context, this suggests that children should be involved in group activities that will enable scientific practices. The concept of the precursor model can offer a framework within which early years teachers can potentially support children construct their knowledge.

Literature Review

Researching the teaching processes that lead to the formation of precursor models has drawn a lot of research attention in early childhood studies over the last 10 years, as it allows the exploration of both the potential outcome that children's thoughts can reach as well as the phases and the steps

undergone during this process. For example, a series of studies on different phenomena and scientific concepts, such as sinking and floating (Canedo-Ibarra et al. 2010), inheritance (Ergazaki et al. 2015), metals (Ravanis et al. 2013) and shadows (Delsérieys et al. 2018), find that children aged between 5 and 7 years old are able to move from the original mental representations to precursor models that are compatible with the scientifically accepted knowledge on which formal education is based. In one of these studies, the thermal phenomenon of expansion and contraction of metals is examined through a methodological approach that leads to a continuous exposure to successive experiences of the phenomenon under investigation (Ravanis et al. 2013).

Most studies with young children, looking into the changes in state of matter, focused on children's understanding of the water cycle as a natural phenomenon. There is limited empirical research exploring the changes in state of matter issue as a heat transfer concept and phenomena, while also focusing on children age between 3 and 8 years old. For example, Russell et al. (1989) and Bar (1989) developed a number of activities related to evaporation and the water cycle and used these in order to categorise children's mental representations (the children were aged between 5 and 11 years old). Levins (1992) and Bar and Galili (1994), in two related research projects, attempted to study children's conceptual change in relation to evaporation, but the studies focus on children aged between 3 and 14 years old. Similarly, Ravanis and Bagakis (1998), after exploring children's misconceptions (aged between 5 and 6 years old) applied a special teaching strategy and tried to lead children's thoughts to understand the stages of an evaporation process. Tytler (2000) studied the evolution of mental representations for evaporation and condensation, working with children aged between 6 and 7 years old. Similarly, Cruz-Guzmán et al. (2017), worked with children aged between 2 and 4 years old, studying children's mental representation through a process of predictions and experiments aiming to confirm the state changes of simple daily materials. More recently, a study recorded the mental representations of children aged between 5 and 6 years old, in relation to melting and solidification of a substance that is always found in solid state in daily life (Ravanis 2014).

From this limited number of studies, it seems that children, in the early years, approach the heat transfer concepts and phenomena in an unstable, limited, and isolated way. They associate the temperature of the objects with their size and attribute the thermal properties to the materials from which the objects are made. In relation to issues around the water state changes, young children seem to believe that steam is created by boiling water, but steam does not become water again as it disappears, or it is absorbed by solid objects. In addition, it appears that children's responses are satisfactory only when the change of state discussed is for phenomena that occur daily, such as for example ice cubes in liquids, and are not generalised for other materials. The above literature informed this paper and provided a basis on which the current study was developed. The study presented here focused on children aged between 5 and 6 years old and aimed to explore these children's ability to construct a precursor model to support learning about the water change of state phenomenon. At the core of this precursor model lie two key concepts; the first concept relates to the ability to recognise the changes occurring in the physical state of a material, meaning the transitions from solid to liquid and from liquid to gas and vice versa. The second concept relates to the ability to recognise that heating or cooling is the sole cause for these changes to occur, focusing on heat transfer. The development of a precursor model, that will achieve a stable connection between the concept of state changes and the concept of thermal changes, can allow young children to describe the physical states of water and predict the evolution of the changes. In this study, the main research question focuses on whether, through systematically designed teaching activities, children aged between 5 and 6 years old are able to move from an intuitive approach to water state changes to the mental construction of a

Methodology

The study involves a qualitative methodological approach, since it seeks to describe and understand in depth a phenomenon of interest in a context-specific setting (Patton 2002). It is important to bear in mind that due to the qualitative nature of the research involving a small sample, generalising results is prohibited. However, the paper allows to establish comparisons with other studies of a similar nature, contributing to the knowledge of young children's explanations of natural phenomena.

Sample

The sample included 91 children (43 boys and 48 girls) with an average age of 5 years and 2 months (S.D. 2 months), from nine classes of seven public kindergartens in Greece. The children were randomly sampled from those willing to participate in each class and with their parents' consent. The children that took part in the research had not previously attended any organised teaching activity on the changes of matter or the changes of state of water.

Design

The research design consisted of an individual teaching intervention which included eight stages, during which the children were asked to predict and explain the different phenomenon under investigation. At each one of these stages, children were asked to predict the development of a simple phenomenon in which the occurring change related to either heating or cooling, while carrying out a simple experimental process. During this process, the researchers discuss with the children, guiding them and trying to lead them to concentrations (i.e. to focus on one salient aspect of the phenomenon and neglect others) in relation to the relationship between heating, cooling and the change of the water states. At each stage, the discussion ends when the researchers are certain that the communication between themselves and the child has nothing more to offer to the child (without giving the answer to the child).

Table 1 provides a summary of the stages while a more detailed description of each stage is also given below. At stage one, children are presented with a few ice cubes that are just taken out of the freezer (in the school's kitchen). The children are asked to predict what will happen to the ice cubes if they were heated. At the stage two, the ice cubes are heated using a camping gas fire (or similar) until they melt. When fusion is completed, the children are asked to describe the phenomenon (what happened) and compare the result to what they predicted a few minutes ago (during stage one).

Subsequently, at stage three, the children are encouraged to predict what will happen if part of the water (that is now in front of them, as a result of the melted ice cubes) is heated and, in stage four, the water is heated using a camping gas fire (or similar). During stage four, the children observe the phenomenon of ventilation and compare the results to what they predicted before. In stage five children are asked to predict what will happen when the rest of the water is heated while a cold plate is being held over it. In stage six, the children observe the phenomenon of condensation during which water vapour condenses and is collected as a small amount of water. At the end of stage six children are asked to compare the results of their observations to what they had initially predicted while they are also encouraged to explain their answers. Finally, in stage seven, the children are asked to express their prediction of what will happen if the water is placed back into the freezer. This was the same water that was collected during the previous stage of condensation. In stage eight, the children put the water in the freezer and occasionally go back to check any changes until the water becomes ice again. Stages one up to seven last for approximately 55 min, while stage 8 might take longer and can extend during play time, as children will be going back to the freezer occasionally to check the water. The

Table 1 Stages of teaching intervention

	Summary	Materials	Approximate length of stage
Stage 1 prediction	Children are presented with some ice cubes Children are asked to predict what will happen to the ice cubes if they are heated	Ice cubes Heating source e.g. candle or camping gas fire	5 min
Stage 2 fusion experiment	Ice cubes are heated until they melt Children are asked to observe the phenomenon and compare their observation to their prediction		10 min
Stage 3 prediction	Children are asked to predict what will happen the water (that is now in front of them) is heated again	Water (from previous stage) Heating source e.g. candle or camping gas fire	5 min
Stage 4 ventilation experiment	The water is heated, and children are asked to compare their observations to their prediction		10 min
Stage 5 prediction	Children are asked to predict what will happen when the rest of the water is heated while a cold plate is being held over it	Water (from previous stage) Cold plate Heating source e.g. candle or camping gas fire	5 min
Stage 6 condensation experiment	The water is heated while holding a cold plate on top of it Children are asked to compare their observations to their prediction		10 min
Stage 7 prediction	Children are asked to predict what will happen if the water is placed into the freezer	Water (from previous stage) Freezer e.g. in school's kitchen	5 min
Stage 8 freezing experiment	Children put the water in the freezer and occasionally go back to check any changes until the water becomes ice again Children are asked to compare the result to their prediction		5 min and can extend into play time

whole intervention is completed with the children comparing and explaining the results of the last stage to their initial prediction.

Analysis and findings

During the above process, children's responses to the questions posed at each stage of the intervention were recorded. Children's responses were then transferred into SPSS under three categories: sufficient, intermediate and insufficient. The following criteria of evaluation were applied when analysing children's responses:

Sufficient responses were those provided by children who predicted and explained changes, associating them with thermic fluctuations on a qualitative scale, that is to say, in the way these changes can be appreciated by children of this age.

Intermediate responses were those provided by children who made correct predictions referring to a kind of change, without being associated with thermal phenomena, or the opposite.

Insufficient responses were those provided by children who failed to offer correct predictions and, when the children were asked to give explanations after the experimental activities, they did not express concrete ideas.

The inter-rater reliability of children's responses was calculated at 87% (Cohen's kappa coefficient at 0.87). To facilitate the organisation of this section, the results are presented in eight stages, based on the eight respective stages of the intervention (see design), while referring to the criteria of evaluation mentioned above.

First Stage: Children's Predictions of What Will Happen to the Ice Cubes if Heated

In the first stage, the ice cubes were placed in a metal tray and the children were asked to predict what would happen if the ice cubes were heated (using camping gas flame). Therefore, it becomes possible to determine whether children approach fusion as a thermal effect phenomenon or if they understand it as a property of ice. Children's representations were ranked in the following categories:

- (a) *Sufficient* This category included the responses from 12 children who predicted that the ice will melt due to the heat created from the camping-gas fire. For example, 'they melt... because of the heat from the fire...' (child-71).
- (b) *Intermediate* This category includes 65 children's responses which recognise that the ice will melt, referring to everyday events and explanation, but without claiming a thermal effect factor. For example, 'they melt... the ice cubes melt... I know this because that is what happens with the ice cubes when I drink juice' (child-1).
- (c) *Insufficient* The third category includes the answers of 14 children who do not refer at all to the ice melting or the phenomenon of fusion. As a result, this category would include responses from children that did not give an answer or replied with saying 'I don't know'. It would also include responses such as 'They will heat up.' (child-4), 'They will feel hot.' (child-39), 'They will burn.' (child-72), 'They will become very hot from the heat and we won't be able to touch them.' (child-29).

Second Stage: Children's Explanation of the Melting Ice Cubes

For this stage, the ice cubes were placed over the camping gas flame and very quickly started melting until they completely liquefied. The participating children observed the process and were then requested to explain what happened. When analysing the responses that the children provided during this stage, the following representations were identified:

- (a) *Sufficient* This category includes responses from 64 children relating liquefaction to the heat created from the camping gas fire, explaining that the ice cubes melted because of the heat from the flame. For example, 'The ice cubes became water... because we heated them...'. To clarify the children's response the researchers asked: 'What if we didn't heat them and we only got them outside the freezer and just left it on the table?. In this category the children's responses to this question would include examples such as 'they would still melt because they would be left outside... outside the freezer is hotter than inside the freezer...' (child-35).
- (b) *Intermediate* 17 children recognise and report that the ice is melting but do not associate this change with heating it at the camping gas flame. Responses included in this category are similar to 'The ice melted...because we put them to melt' (child-46). To clarify the children's responses the researchers asked follow-up questions such as 'Where did we put them? Why did they melt?' Children's ideas in response to this, included answers such as 'We put them in the plate/saucer...' (child-51) or 'We put them up there.... (showing the camping gas) and that's why they melted.' (child-11), 'Because we left it the (showing the camping gas) for a while, and they melted...' (child-83). The children's responses included in this category do not indicate an appreciation of the link between heat and the liquefaction.

- (c) *Insufficient* This category includes ten children's responses which did not provide an answer in relation to liquefaction. For example, 'I don't know...' (child-17), 'I don't know what happened...' (child-10).

Third Stage: Children's Predictions of What Will Happen if we Heat the Water

During this stage, children were asked to predict what would happen if the camping gas fire was used to heat up the water resulting from the ice cubes. Children's representations were ranked in the following categories:

- (a) *Sufficient* A small group of 22 children predicted that the water would evaporate. For example, when the researchers asked, 'What will happen if we heat the water for a long time?' and the children said, 'We will see smoke.' (child-6) or 'It will become smoke...' (child-49). To clarify the children's responses the researchers asked follow-up questions such as 'Why will we see smoke?', 'How will the smoke be created?'. In this category, children provided responses such as 'From the heated water...like it happens when boiling the kettle...' (child-62). The researchers would then ask questions such as, 'What will happen if we keep heating the water' and the children provide responses such as 'It will run out, it will leave with the smoke. We will need to put more water.' (child-82).
- (b) *Intermediate* In this case, 53 children recognised that the water will be boiling hot, but they did not refer to the changes happening to the states of the water. For example, when the researchers asked: 'What will happen if I heat the water for a long time?' the children provided responses such as 'the water will boil... it will burn...' (child-31). To clarify the children's responses, the researchers would ask some follow-up questions such as 'What do you mean when you say it will burn?' and the children provided answers such as 'If you touch it you will burn' (child-60) or 'You will not be able to touch it. The water will be too hot...' (child-44).
- (c) *Insufficient* Here, we had 16 children's responses which did not relate to heating the water or to the phenomenon of evaporation. For example, when the researchers asked questions such as 'What will happen to the water from the ice cubes if we heat it up for a long time?' Typical examples of children's responses in this category included 'It will catch fire.' (child-10) or 'I don't know...' (child-69).

Fourth Stage: Children's Explanation of the Water Evaporation

After the completion of the discussions generated during phase three, a small amount of water is placed in a transparent container and above the camping gas flame. During this phase, the children observe the water evaporating and a new discussion takes place which specifically focuses children's attention to the movement of the bubbles within the water. The children observe the bubbles, emerging at the bottom of the container and moving upwards towards the surface of the water, as well as the steam created at the surface of the water and moving upwards. For this stage, children's representations were grouped in the following categories:

- (a) *Sufficient* After observing and discussing the phenomenon, 68 children related heating with evaporation. Typical responses in this category include examples such as 'The water was filled with bubbles and then became vapour...' (child-44) and 'All the water became smoke... water heated up and became smoke' (child-75). However, some children provided responses such as 'The water was heated by the fire and became vapour...' (child-55). In cases like this, the researchers would use questioning to unravel children's understanding. If the children provided responses that demonstrated that they used the word '*smoke*' to refer to '*vapour*', the researchers considered this

to be a *lack in vocabulary*, rather than a *lack of understanding* necessarily, and noted the children's responses as 'efficient'. At this stage, it was also evident that some of the children that were previously not able to predict correctly (i.e. during previous stages) were now providing responses that were considered to be 'sufficient'.

- (b) *Intermediate* A total of 15 children recognised that the water was being heated by the camping gas flame and that steam was produced, but there was no reference to the change of the water state. The children in this group provided responses similar to 'We heated the water... and then we got smoke...' (child-90). As mentioned above, in cases like this, the researchers would use questioning to unpack children's understanding. This category includes those responses that were clearly indicating a *lack of understanding*, rather than a *lack in vocabulary*. The following conversation is a typical example of the dialogue that would develop between the researchers and a child whose responses would be noted as 'intermediate'. Researchers: 'Can you explain what happened?', Child: 'There is smoke...'. Researchers: 'How was the smoke created?', Child: 'From the fire'. Researchers: 'And what about the water?', Child: 'The water was heated... and then we got smoke...'. Researchers: 'So, the smoke came from the water that was heated?', Child: '...from the heat, the smoke came from the heat...'. Researchers: 'And what happened to the water?'. Child: 'It became... very hot...'. As you can see from the example, in cases like these, the children's responses would indicate an 'intermediate' level of understanding.
- (c) *Insufficient* In this category we have eight responses from children that refer to various aspects of the situation, such as the heating flame and the bubbles created, but without approaching any of the basic characteristics of the evaporation phenomenon. The following would be a typical example: Researchers: 'Can you explain what happened.', Child: 'The water is burning... the fire...'. Researchers: 'And what happened then?', Child: 'Then we had smoke and it went to the bubbles.'. Researchers: 'Where did the smoke go?', Child: 'To the bubbles.'. Researchers: 'And what happened to the water?', Child: 'Nothing...'.

Fifth Stage: Children's Predictions the Liquefaction of Vapor

In this stage, children are asked to predict what will happen if the same procedure is repeated but this time placing a cold plate on the top of the boiling water. Children's responses, when answering this question, were grouped in the following categories:

- (a) *Sufficient* Only one child's response referred to the liquefaction phenomenon as a thermal phenomenon, using a domestic experience to explain the prediction. More specifically, the child said 'If we put a plate there the smoke will fall onto it. Like on a pot... We will get water... on the plate...' (child-24). The researchers then asked, 'How will this happen?' and the child explained 'From the some that will fall on the cold plate... like it happens on a pot's lid...' (child-24).
- (b) *Intermediate* In this category we had 51 responses which recognised that a thermal phenomenon would take place but without predicting liquefaction as part of it. In this group we also have the responses of two children who did refer to liquefaction but not as a thermal phenomenon. Instead, they only related their response to their previous experiences, saying things such as 'The smoke will not be able to pass... but it will come out... from the sides...' (child-16). The researchers would follow-up with questions such as, 'Will we notice anything on the plate?' and the responses in this category would be similar to the following one: 'The plate will become warm... from the smoke... because it is hot from the fire...' (child-60).
- (c) *Insufficient* In this category we have 39 answers in which children hardly refer to the

phenomenon of liquefaction. For example, children's responses were similar to 'We will see smoke...' (child-17). When the researchers asked if there would be anything noticed on the plate the children ranked in this category replied negatively providing responses, with or without justification, such as 'No...' (child-4) or 'No because smoke is white...' (child-14).

Sixth Stage: Children's Explanation of the Vapor Liquefaction

After completing the discussions as part of stage five, the children observe the rest of the water being heated while the researchers hold a cold plate on the top of the water and in the course of the vapour (but not too close to the plate). During this phase, the conversation focuses on the change of the state of the vapour and the role of the cold plate in this. Then, the children are asked to explain the changes happening to the state of the vapour. Children's representations, as a result of this discussion, were grouped in the following categories:

- (a) *Sufficient* A total of 75 responses were ranked as 'sufficient', when there was evidence that children understood the change in the vapour's state as a thermal phenomenon, with or without relating their explanation to previous/domestic experiences. For example, when the researchers asked, 'What happened to the plate?' the children in this group would provide responses similar to the following one: 'The smoke fell on the plate and it became water...' (child-26). Like in stage four, in cases like this, the researchers would ask further questions to ensure that if the children used the word 'smoke' to refer to 'vapour', because of a *lack in vocabulary*, rather than a *lack of understanding*. When the children were asked to explain their responses, the answers would be similar to the following one: 'Because it (the water) became cold when it fell on the cold plate... like before... that the water became smoke... now the smoke became water... it became cold...' (child-56).
- (b) *Intermediate* In this category, we had 11 responses which did not recognise liquefaction as a thermal phenomenon. For example, the children said 'There is water... I can see water... on the plate...'. With the researchers following up to clarify how they think this happened, the children in this group provided responses such as: 'From the smoke... the smoke fell on the plate with force and it couldn't get away. He fell with force onto the plate and could not go through...' (child-88).
- (c) *Insufficient* In this category, a total of 5 responses were classified as 'insufficient' since there was no reference made to the liquefaction phenomenon. For instance, responses in this group were similar to: 'It's smoke...' (child-10), 'I can see smoke... like before' (child-64). When the researchers followed-up with clarifying questions, the children in this category provided responses such as 'I don't know...' (child-17) or did not provide an answer at all (child-39).

Seventh Stage: Children's Predictions of the Solidification of Water

During the liquefaction phenomenon, the researchers collected a small amount of water. In the seventh stage, the children are asked to predict what will happen if that same water is placed in the freezer. Like before, the answers were classified into three categories.

- (a) *Sufficient* This category included 80 responses that relate to the solidification phenomenon, recognising it as a thermal phenomenon. Specifically, responses were ranked as efficient when the children predicted that the water would 'Become ice...because we will make it cold... if we put it in the freezer it will become ice... because it's very cold in the freezer...' (child-47).
- (b) *Intermediate* On the other hand, seven responses predicted solidification but without any reference to the thermal phenomenon, or the link remained at the level of the everyday experiences when the children tried to explain the phenomenon. In this case, children's responses were similar to: 'It will freeze... the water will become ice... that's what happen when we put water in the freezer...' (child-47).

we put it like water and we get it out sometime like ice...' (child-9).

- (c) *Insufficient* In this category, we have four children's responses which do not refer to the solidification phenomenon at all. All children in this case did not provide an answer at all or replied with 'I don't know...' (child-90).

Eighth Stage: Children's Explanations of the Solidification of Water

At this last stage, the children and the researchers put the water in the freezer. The researchers then allow for a few minutes to go by. They then ask the children to return to the freezer to observe what happened to the water. The researchers then ask the children to provide an explanation. During this stage, children's responses were ranked as follows:

- (a) *Sufficient* In this category, we had 82 responses from children that recognised the solidification phenomenon as a thermal phenomenon. The children's responses provided explanations that demonstrate their understanding of the thermal phenomenon such as: 'It became ice... from the cold in the freezer... many things, if we put them in the freezer they will become like ice...like juice and milk...because it's very cold in the freezer...' (child-62).
- (b) *Intermediate* In this category, we had seven responses within which the role of the freezer was not clearly linked to the water becoming ice, since the main element in these responses was based on children's everyday experiences. For example, 'The water became ice... because we put it in the freezer'. When the researchers followed-up with clarifying questions the children responded with answers such as 'Because that's what happens when we put water in the freezer...' (child-43) demonstrating that the children did not associated the freezer with cold and its association to the thermal phenomenon.
- (c) *Insufficient* In this category, we had two responses from children that did not refer to the change of the state of water at all, nor to the fact that the water became ice. More specifically, in this category children did not provide an answer at all, or did not recognise that the water became ice, even when seeing the ice in the tray, or replied by saying 'I don't know...' (child-59).

The Course of Children's Reasoning

At the eight stages of intervention, the qualitative results that derived from the discussions with the children were presented and studied. It would be more beneficial though to explore the thinking process that the children followed during the whole discussion, in order to identify which children are closer to constructing a precursor model. Table 2 presents the frequency of children's responses at each stage of the process, the exact sequence of responses that each child provided during the teaching intervention as well as some examples of children's responses (numbering children from 1 to 91).

The Pearson's chisquared test (χ^2 test) that was conducted in relation to the three categories (sufficient, intermediate, insufficient) at each stage, showed that the differentiation made between the three categories is statistically significant ($\chi^2 = 12.31$, $p < 0.004$). It is apparent that all eight stages of the intervention process led to having more children with either sufficient or intermediate mental representations. In addition, the two-step cluster analysis indicated four categories of cognitive performances that the children have, which generally remain the same when moving between the different intervention stages.

Table 2 Frequencies of pupils' representations (n=91) and examples of children's responses

Representations	Sufficient		Intermediate		Insufficient	
	Children's codes	f	Children's codes	f	Children's codes	f
Stage 1	2, 24, 36, 38, 48, 55, 56, 62, 71, 80, 82, 91	12	1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 83, 84, 85, 86, 87, 89	65	4, 10, 17, 25, 29, 39, 42, 47, 64, 72, 76, 81, 88, 90	14
Examples from children's responses	'They melt... because of the heat from the fire.'		'The ice cubes melt... I know this because that is what happens with the ice cubes when I have a drink.'		'They will feel hot.', 'They will burn.'	
Stage 2	6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 78, 80, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 91	64	1, 2, 5, 11, 12, 22, 32, 46, 50, 51, 57, 63, 74, 79, 83, 89, 90	17	3, 4, 10, 17, 29, 39, 64, 72, 73, 81	10
Examples from children's responses	'The ice cubes became water... because we heated them.'		'The ice melted...because we put them to melt.'		'I don't know.'	
Stage 3	2, 6, 8, 14, 24, 33, 35, 36, 40, 48, 55, 58, 62, 67, 71, 76, 80, 82, 84, 85, 90, 91	22	1, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 47, 49, 52, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 68, 70, 72, 74, 75, 77, 78, 79, 83, 86, 88, 89	53	3, 4, 5, 10, 17, 22, 29, 41, 46, 50, 51, 64, 69, 73, 81, 87	16
Examples from children's responses	'We will see smoke'		'The water will boil... it will burn...'		'It will catch fire' 'I don't know.'	
Stage 4	2, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 91	68	1, 3, 10, 19, 22, 34, 41, 45, 57, 63, 69, 72, 73, 87, 90	15	4, 17, 29, 46, 50, 64, 79, 81	8
Examples from children's responses	'The water was filled with bubbles and then became vapour.'		'We heated the water... and then we got smoke.'		The water is burning to smoke'	
Stage 5	24	1	1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 23, 25, 27, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 39, 40, 41, 43, 44, 47, 48, 51, 52, 53, 54, 56, 58, 62, 65, 66, 68, 70, 71, 74, 76, 77, 78, 80, 82, 83, 84, 91	51	4, 7, 10, 13, 17, 19, 21, 22, 26, 28, 29, 34, 37, 38, 42, 45, 46, 49, 50, 55, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 67, 69, 72, 73, 75, 79, 81, 85, 86, 87, 88, 89, 90	39
Examples from children's responses	'If we put a plate there the smoke will fall onto it. Like on a pot... We will get water... on the plate...'		'The smoke will not be able to pass... but it will come out... from the sides.'		'There is going to be smoke.'	

Table 2 (continued)

Representations	Sufficient	f	Intermediate	f	Insufficient	f
	Children's codes		Children's codes		Children's codes	
Stage 6	1, 2, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 91	75	3, 4, 7, 19, 22, 42, 57, 63, 72, 88, 90	11	10, 17, 39, 64, 81	5
Examples from children's responses	'The vapour fell on the plate and it became water...'		'There is water... I can see water... on the plate...'		'It's smoke.'	
Stage 7	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 91	80	4, 9, 43, 45, 63, 72, 88	7	17, 39, 59, 90	4
Examples from children's responses	'It will become ice...because we will make it cold.'		'The water will become ice... that's what happen when we put water in the freezer.'		'I don't know.'	
Stage 8	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 91	82	4, 9, 39, 43, 45, 88, 90	7	17, 59	2
Examples from children's responses	'It became ice... from the cold in the freezer.'		'The water became ice... because we put it in the freezer'		'I don't know...'	

- In the first category, there were 21 children that were generally unstable with their responses and most importantly did not attribute the change of state to a thermal change in the environment. These children consistently provided insufficient or intermediate mental representations, from stage 1 until stage 8 of the intervention process.
- In the second category, there were 12 children who provided mainly intermediate responses. Despite the fact that the children provided more sufficient mental representations at the last two stages, the overall picture indicates that these children had difficulties in relation to constructing stable mental representations.
- In the third category, there are 49 children whose responses after the second stage were stabilised and remained stable until the final stage, always expressing sufficient mental representations. The only exception, for all the children in this category, is the fifth stage of intervention, which seems that it did not allow the activation of an appropriate precursor model to support their reasoning. This category includes those children that seem to be able to construct a precursor model, which they apply consistently at the different stages.
- In the fourth category, there were nine children who were consistently able to provide a sufficient response from the beginning (stage 1), indicating the existence of a precursor model which consistently supported their reasoning. This precursor model pre-existed before the children entered the experimental process presented here, meaning that the construction of the precursor model cannot be attributed to the teaching intervention.

It is worth mentioning that the overall data analysis indicates that the 49 children (who were part of the third category) tended to provide more and more stable explanations as the intervention process was advancing. These explanations were based on the conceptual understanding that the water changes in state are linked to thermal changes in the environment, something which was evident not only during the prediction stages, but also during the explanation stages. It is also worth noting that, concerning gender, there were not any statistically significant differences between boys and girls.

Discussion

The study's findings indicate that it is possible, for children aged between 5 and 6 years old, to consistently approach a complete sequence of water state changes, as part of a specifically designed teaching intervention. It appears that approximately 50% of the children that participated in the study, were able to successfully construct a stable conceptual framework which supported their understanding of the changes of water states, as a result of participating in this specifically designing teaching intervention. The rest of the children, either did not need the intervention (children in the fourth category) or the intervention did not support their understanding. Nevertheless, given

that this conceptual framework is compatible with the curriculum, it can be suggested that a precursor model has been built and operated in the minds of these children, offering the potential for adequate descriptions and predictions. As shown in Table 1, during the last three stages, eight to nine out of ten children provided sufficient responses. This confirms the results derived from other studies, which focused on parts of the water state changes phenomenon (Tytler 2000) or focused on other thermal phenomena such as thermal expansion (Ravanis et al. 2013).

Nevertheless, the children in the first two categories, which are slightly more than a third of the sample, have a general instability in their responses, even for phenomena known to them from everyday life. This weakness is mostly noted when this group of children are asked to make predictions and less noted during their explanations, possibly because as the latter follow the interaction between the researchers and children (during each stage), suggesting that at the level of perception there is a possible influence on the child's reasoning. However, this influence does not appear to then transform into a more stable conceptual framework.

In addition, it is apparent that the fifth stage of the intervention process did not support the development of the children's understanding, as it did not help the children to attribute characteristics of the thermal phenomenon to the interaction between the vapour and the plate. The interviews revealed that most children did not recognise that the plate is acting as a 'cold' object in relation to the vapour. Although the children realised that there is liquification at the sixth stage, eight out of ten children searched for the thermal differences and used them to explain the change in the state of the water.

When wondering about the cognitive transformation that occurs in children's thinking, it seems that the design, which allowed children's thinking to focus on successive status changes with successive predictions and experimental testing of forecasts, progressively led both to improved forecasting as well as improved explanations. From a cognitive point of view, it is particularly interesting that in this process, children aged five to six, seem to integrate in their thinking a series of more or less known changes from the daily routine, as they face them as phenomena due to thermal changes. Indeed, the literature review has shown that, while there is some empirical research that attempted to unpick how children of this age can understand isolated phenomena such as evaporation or condensation (Bar and Galili 1994), there is no research study that cover a complete sequence of changes which allows a step-by-step teaching process of a complete cycle, one that starts and ends on ice. Of course, the approach of these changes is done in a qualitative or semi-quantitative way on a 'warmer-colder' scale. But, as research has shown, for this age group, thinking on such a scale is a key element of a precursor model (Ravanis et al. 2013).

Conclusion

In this paper, we intended to present and discuss the results of a study that aimed to identify if, through participating in systematically designed teaching activities, children aged between 5 and 6 years old would be able to move from an intuitive approach to water state changes to the mental construction of a precursor model. The study was based on a teaching intervention that focused on supporting children's scientific learning through a series of specifically designed activities which aimed to activate a precursor model that would support the understanding of water state changes. The main aim of the proposed intervention is to support the learning that children already acquire mainly through play, but also through other forms of learning in the early years, and to offer a framework within which early years teachers can potentially support children construct their knowledge and possibly overcome misconceptions.

As mentioned before, the concept of the precursor model in this paper refers to cognitive entities whose fundamental elements are compatible with those of the scientific models used in the processes of learning and teaching science (Lemeignan and Weil-Barais 1993, 1994; Weil-Barais 2001). Precursor models include only a certain number of the characteristics that mental representations have, and therefore their range and applicability is inevitably limited. In terms of knowledge construction, precursor models function in the minds of children as intermediaries between mental representations of reality and scientific knowledge and prepare children's thinking by forming the basis for a cognitive path towards cognitive processing and the formation of more complex models. The findings suggest that the precursor model, which children construct as part of this study, allows them to describe, predict and explain the changes of the state of water, in a way that is in accordance with the scientifically accepted explanation as well as the model used when teaching science in formal educational settings. Thus, the children's responses are either sufficient or intermediate, as the process and the phenomenon investigated evolve.

It worth noting that the study presented here is part of a more general trend, the main aim of which is to explore and understand the ability of young children to approach phenomena of natural sciences, in order to develop activities which will then be integrated into curricula and teaching practices. Often, these studies are part of the Piagetian and Vygotskian, socio-cognitive or socio-cultural frameworks, while, from a methodological point of view, they focus on the analysis of interactions between children and teachers or on preand post-replies of children in specially designed experimental situations. In this case, the aim was to systematically detect and address the successive reflections formulated by the children about the relationship of phenomena to the factors of heating and cooling, by following the successive stages of the activity. To achieve this, children's predictions and explanations were recorded, both before and after each phenomenon of change of status, as well as children's way of thinking when they predict, monitor the evolution of the phenomena, confirm or contradict their prediction and

interpret successively the changes that are happening. It is therefore apparent that this approach, of successive predictions and tests, in combination with having only one variable in every change of condition (heating/cooling), allows young children to develop a precursor model, i.e. a mental construction in which the basic elements are compatible with scientifically accepted knowledge.

The study seems to confirm that such an approach contributes to the construction of a precursor model in pre-schoolers' thinking. At the methodological level, this succession of experimental situations, during which we ask for predictions and explanations in relation to the changes in the state of water, leads the children's thinking to a focus on the only factor that intervenes: the thermal environment that is recognised by children with a qualitative scale 'warmer-colder' (Ravanis et al. 2013). In this way, it is possible to unidirectionally connect the state of the water with the heating or cooling of the material. From this perspective, the development of a precursor model seems to be able support children's learning of science and the proposed intervention can support children's knowledge construction.

It is worth noting that the success of the intervention can be even higher if children are allowed to further explore these ideas during play. It is proposed that early years teachers could adopt and use this intervention for different science topics within the early years curriculum, as an additional tool to support children's scientific learning. Such interventions should be used to build upon the learning that children acquire through play. Furthermore, such interventions should be used in moderation as they can be time-consuming, both in their design and their delivery, and should not replace children's learning through play (Sylva et al. 2004; Samuelsson and Carlsson 2006, 2008).

It is necessary to carry out further studies to see if this precursor model can be generalised to other materials or if it is limited to water. This primary form of thermal phenomena provides an appropriate framework to explore and approach scientific phenomena. However, the most important issue is to create conditions for these phenomena to be approached and explored within real early childhood education contexts of teaching, as well as when developing curriculums and practice.

Références

- Allen, M., & Kambouri-Danos, M. (2016). Substantive conceptual development in preschool science: Contemporary issues and future directions. *Early Child Development and Care, 187*(2), 181–191.
- Ampartzaki, M., & Kalogiannakis, M. (2016). Astronomy in early childhood education: A concept-based approach. *Early Childhood Education Journal, 44*(2), 169–179.
- Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science Education, 73*(4), 481–500.
- Bar, V., & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education, 16*(2), 157–174.
- Bradley, L. S. (1996). *Children learning science*. Oxford: Nash Pollack.
- Canedo-Ibarra, S. P., Castelló-Escandell, J., García-Wehrle, P., & Morales-Blake, A. R. (2010). Precursor models construction at preschool education: An approach to improve scientific education in the classroom. *Review of Science, Mathematics and ICT Education, 4*(1), 41–76.
- Chen, I. (2007). An electronic textbook on instructional technology. University of Colorado at Denver School of Education. Retrieved February 24, 2010 from <http://viking.coe.uh.edu/~ichen/ebook/et-it/cover.htm>.
- Clement, J., Brown, D. E., & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: Finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education, 11*(5), 554–565.
- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A., & Criado, A. M. (2017). Aprendiendo sobre los cambios de estado en educación infantil mediante secuencias de pregunta-predicción comprobación experimental [Learning about state changes in early childhood education through question-prediction sequences experimental testing]. *Enseñanza de las Ciencias, 35*(3), 175–193.
- De Vries, R. (2000). Vygotsky, Piaget, and education: A reciprocal assimilation of theories and educational practices. *New Ideas in Psychology, 18*, 187–213.
- Delserieys, A., Jegou, C., Boilevin, J.-M., & Ravanis, K. (2018). Precursor model and preschool science learning about shadows formation. *Research in Science and Technological Education, 36*(2), 147–164.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (2001). *Making sense of secondary science Research into children's ideas*. New York: RoutledgeFalmer.
- Ergazaki, M., Valanidou, E., Kasimati, M. C., & Kalantzi, M. (2015). Introducing a precursor model of inheritance to young children. *International Journal of Science Education, 37*(18), 3118–3142.

- Fleer, M. (1996). Early learning about light: Mapping preschool children's thinking about light before, during and after involvement in a two week teaching program. *International Journal of Science Education*, 18(7), 819–836.
- Kambouri, M. (2011). Children's misconceptions and the teaching of early years science: A case study. *Journal of Emergent Science*, 2(2), 7–16.
- Kambouri, M. (2015). Investigating early years teachers' understanding and response to children's preconceptions. *European Early Childhood Education Research Journal*, 25(3), 907–927.
- Kampeza, M. (2006). Preschool children's ideas about the Earth as a cosmic body and the day/night cycle. *Journal of Science Education*, 7(2), 119–122.
- Kampeza, M., & Ravanis, K. (2009). Transforming the representations of preschool-age children regarding geophysical entities and physical geography. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 141–158.
- Küçüközer, H., & Bostan, A. (2010). Ideas of kindergarten students on the day/night cycles, the seasons and the moon phases. *Journal of Theory and Practice in Education*, 6(2), 267–280.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique, build concepts in physics*. Paris: Hachette.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16(1), 99–120.
- Levins, L. (1992). Students' understanding of concepts related to evaporation. *Research in Science Education*, 22(1), 263–272.
- Pantidos, P., Herakleioti, E., & Chachlioutaki, M. E. (2017). Reanalysing children's responses on shadow formation: A comparative approach to bodily expressions and verbal discourse. *International Journal of Science Education*, 39(18), 2508–2527.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Ravanis, K. (2014). Les représentations des enfants de 5-6 ans sur la fusion et la solidification du sel, comme support pour le déploiement des activités didactiques [Representations of 5-6 years old children on the fusion and solidification of salt, as support for the deployment of the teaching activities]. *International Journal of Research in Education Methodology*, 6(3), 943–947.
- Ravanis, K. (2017). Early childhood science education: State of the art and perspectives. *Journal of Baltic Science Education*, 16(3), 284–288.

- Ravanis, K., & Bagakis, G. (1998). Science education in kindergarten: Sociocognitive perspective. *International Journal of Early Years Education*, 6(3), 315–327.
- Ravanis, K., Papandreou, M., Kampeza, M., & Vellopoulou, A. (2013). Teaching activities for the construction of a precursor model in 5-6 years old children's thinking: The case of thermal expansion and contraction of metals. *European Early Childhood Education Research Journal*, 21(4), 514–526.
- Samuelsson, I. P., & Carlsson, M. A. (2008). The playing learning child: Towards a pedagogy of early childhood. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 52(6), 623–641
- .Samuelsson, I. P., & Johansson, E. (2006). Play and learning: Inseparable dimensions in preschool practice. *Early Child Development and Care*, 176(1), 47–65.
- Russell, T., Harlen, W., & Watt, D. (1989). Children's ideas about evaporation. *International Journal of Science Education*, 11(5), 566–576.
- Sylva, K., Melhuish, E., Sammons, P., Siraj-Blatchford, I., & Taggart, B. (2004). *The effective provision of pre-school education (EPPE) project: final report*. London: SureStart DfES Publications Ref SSu/FR/2004/01.
- Tytler, R. (2000). A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: Dimensions of conceptual