



Modélisation des connaissances professionnelles des enseignants de sciences à l'aide du couple schème-classe de situations

David Cross

► To cite this version:

David Cross. Modélisation des connaissances professionnelles des enseignants de sciences à l'aide du couple schème-classe de situations. Education. Université Toulouse Jean Jaurès, 2022. tel-04205920

HAL Id: tel-04205920

<https://hal.science/tel-04205920>

Submitted on 13 Sep 2023

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

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

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE



Délivrée par :
Université Toulouse Jean Jaurès

Discipline ou Spécialité :
Sciences de l'Education et de la formation

Présentée par :
David Cross

Tome 1 : Note de synthèse

Modélisation des connaissances professionnelles des enseignants de sciences à l'aide du couple schème-classe de situations

Ecole Doctorale
Comportement, Langage, Education, Socialisation, Cognition (CLESCO)
Unité de recherche
UMR Education Formation Travail Savoir (EFTS)
Directeur de l'HDR
Patrice Venturini, Professeur émérite des Universités

Membres du Jury

Aurélié Chesnais, Professeure des universités, Université de Montpellier
Michel Grangeat, Professeur émérite des Universités, Université Grenoble-Alpes
Cécile de Hosson, Professeure des Universités, Université de Paris – Rapporteure
Isabelle Kermen, Professeure des Universités, Université de Bretagne Occidentale – Rapporteure
Ludovic Morge, Professeur des Universités, Université Clermont Auvergne – Rapporteur
Valérie Munier, Professeure des universités, Université de Montpellier
Patrice Venturini, Professeur émérite des Universités, Université Toulouse Jean Jaurès – Directeur de l'HDR

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement Patrice Venturini pour le temps qu'il a accordé à l'encadrement de ce travail. Nos nombreuses discussions et ses commentaires, toujours pertinents et d'une rigueur scientifique sans faille, m'ont permis d'aller toujours plus loin dans mon travail de réflexion.

Ce travail n'aurait pu aboutir sans l'aide précieuse de mes collègues de la faculté d'éducation de Montpellier. Merci à Valérie Munier, Aurélie Chesnais et Manuel Bächtold pour tous ces moments de travail scientifique en commun. J'espère que ce document apporte quelques réponses à nos nombreuses interrogations scientifiques élaborées ensemble. Merci à Périne Landois d'avoir été d'un soutien infailible et d'avoir repris une partie de mes enseignements pendant mon CRCT.

Je remercie également mes doctorantes, Marie Sudriès et Maëlle Mallent, de m'avoir fait confiance pour co-encadrer leur thèse.

Enfin ce travail est profondément marqué par les discussions, souvent informelles, à toute heure du jour ou de la nuit, que nous avons avec Sylvain. Sa contribution à la concrétisation de ce travail va bien entendu beaucoup plus loin que sur des aspects scientifiques...

SOMMAIRE

Introduction	6
1 Des référentiels professionnels des métiers de l'enseignement à la formalisation des connaissances professionnelles des enseignants de physique chimie	6
2 les Pedagogical Content Knowledge	7
3 Un modèle simple mais sans fondement théorique	9
4 Structure de la note de synthèse	10
 Partie 1 : Les Pedagogical Content Knowledge : état des lieux	 12
Chapitre 1 : Présentation des modèles des PCK	13
1 Les PCK dans les recherches en « Science Education »	13
2 Les PCK en didactique des sciences : la question du lien entre connaissances et agir en classe	35
3 Les méthodes d'étude des PCK	40
4 Conclusion sur les modèles de PCK	44
Chapitre 2 : Discussion sur les différents modèles	45
1 La première famille de modèles des PCK : entre connaissances nécessaires pour enseigner et connaissances personnelles des enseignants	45
2 Les modèles de consensus : entre modèle de savoirs et/ou de connaissances et modèle de l'agir de l'enseignant	46
3 Les modèle des PCK in context et l'articulation PCK et DADE : une vision de la connaissance entre internalisme et externalisme	48
4 Les PCK comme élément d'un schème : la question des classes de situations et de l'élémentarisation de la connaissance	52
5 Conclusion sur la discussion des modèles des PCK	54
6 Nécessité d'une nouvelle approche	54
 Partie 2 : Vers une nouvelle approche	 57
Chapitre 3 : Présentation de mes travaux sur les PCK	58
1 Construction des PCK à partir de l'étude de l'agir en classe	58
2 Contribution à la formalisation des PCK en lien avec l'agir des élèves, la question de la lecture de la situation par l'enseignant	66
3 La formalisation des PCK pour rendre compte du lien entre formation et l'agir des enseignants	69

4	Une approche discursive pour dépasser l'opposition entre le dire et le faire de l'enseignant dans l'étude des PCK.....	75
5	Discussion sur cet ensemble de travaux.....	80
Chapitre 4 : Une proposition théorique pour repenser les PCK.....		84
1	Bilan de l'état des lieux et de mes travaux.....	84
2	Les PCK comme des schèmes, une proposition théorique susceptible de favoriser la formalisation des connaissances professionnelles	85
3	Une première proposition de classe de situations étudiée : les démarches d'investigation	87
Chapitre 5 : Les PCK comme des schèmes liés à des situations didactiques : un programme de recherche.....		107
1	Définir une classe de situations liée au travail de groupe et évaluer la pertinence de certains schèmes	107
2	Développement de schèmes dans un cadre de travail collaboratif avec des enseignants : le cas de la modélisation en chimie dans un contexte d'éducation au développement durable.	109
3	Perspectives concernant la formalisation des schèmes et les effets des schèmes sur les élèves.....	112
4	Conclusion	114
Bibliographie.....		115

INTRODUCTION

1 DES REFERENTIELS PROFESSIONNELS DES METIERS DE L'ENSEIGNEMENT A LA FORMALISATION DES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES DES ENSEIGNANTS DE PHYSIQUE CHIMIE

Depuis le « Rapport annexé à la loi pour l'avenir de l'École » de 2005, des référentiels successifs pour les métiers de l'enseignement ont été mis en place. Le référentiel actuel, institué par l'arrêté du 1er juillet 2013, fait état notamment des connaissances qu'un enseignant doit avoir pour exercer son métier. Celui-ci doit par exemple « connaître les processus et les mécanismes d'apprentissage, en prenant en compte les apports de la recherche » ou encore « maîtriser les savoirs disciplinaires et leur didactique » c'est à dire « connaître de manière approfondie sa discipline ou ses domaines d'enseignement », et « en situer les repères fondamentaux, les enjeux épistémologiques et les problèmes didactiques. » Ces référentiels aux formulations très générales s'inscrivent dans un mouvement de professionnalisation des enseignants initié par le rapport Bancel de 1989, qui cherche à augmenter l'efficacité de l'école (Lantheaume, 2008).

Le terme de « professionnalisation » recouvre toutefois des acceptions et des intentions différentes (Wittorski, 2008). En effet, selon Bourdoncle (2000), il est possible de parler de professionnalisation d'une activité, du groupe qui exerce cette activité, des savoirs liés à cette activité, de l'individu exerçant cette activité ou encore de la formation à cette activité :

- La professionnalisation de l'activité suppose qu'elle puisse s'enseigner dans une institution et donc que des savoirs professionnels puissent être identifiés et formalisés.
- La professionnalisation des savoirs liés à une activité implique qu'ils puissent être organisés et validés selon un critère d'efficacité et de légitimité.
- La professionnalisation des individus passe par l'acquisition de savoirs, les rendant opérationnels en situation réelle.
- Enfin la professionnalisation de la formation repose sur un critère d'efficacité de celle-ci : elle doit rendre les individus capables d'exercer une activité déterminée.

Quel que soit le point de vue que l'on adopte à propos de la professionnalisation de l'enseignement, la question des connaissances professionnelles dont font preuve les enseignants est au cœur de plusieurs préoccupations enchâssées : celle de leur formation, tout d'abord, qui implique elle-même celle de la formalisation d'un corpus de savoirs professionnels de référence et celle de la validation de ce dernier. Ce corpus est difficilement définissable *a priori*, sans mettre à jour l'expertise que les professionnels ont développée au cours du temps. Aussi n'est-il pas surprenant que les connaissances professionnelles des enseignants constituent sur le plan international un objet de recherche important depuis plus de 40 ans.

Cet objet est étudié soit en prenant en compte ses dimensions transversales indépendantes de la discipline enseignée, soit en prenant en compte ses dimensions spécifiques à une discipline

particulière. Les travaux menés par les chercheurs en Science Education¹, tout comme les miens, relèvent de cette deuxième orientation. Ceux-ci s'inscrivent en effet dans le domaine scientifique de la didactique de la physique et de la chimie et sont relatifs au champ des connaissances professionnelles des enseignants de ces disciplines. Dans ce domaine, la question des connaissances des enseignants est abordée selon un modèle de catégorisation de celles-ci. Plusieurs types de connaissances sont définis, parmi lesquels les Pedagogical Content Knowledge (PCK), que l'on peut traduire par les connaissances pédagogiques liées au contenu disciplinaire.

2 LES PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE

En examinant les contenus des concours de recrutement aux États-Unis, Shulman (1986) constate une alternance entre des périodes au cours desquelles l'accent est mis sur les contenus disciplinaires à enseigner et d'autres périodes au cours desquelles les connaissances pédagogiques générales sont privilégiées. En partant du double principe que la littérature ne s'enseigne pas comme l'histoire ou les sciences, et que de faire des sciences et enseigner des sciences sont deux activités différentes, Shulman avance l'idée de l'existence de connaissances spécifiques aux enseignants d'une discipline, c'est-à-dire des connaissances pédagogiques leur permettant d'enseigner des contenus disciplinaires particuliers, qu'il regroupe dans une catégorie qu'il nomme les Pedagogical Content Knowledge (PCK). Cette catégorie de connaissances est constituée de deux composantes : les connaissances sur les représentations du savoir, qui permettent aux élèves de comprendre le contenu disciplinaire (par exemple des schémas ou des figures qui sont particulièrement efficaces pour aider à comprendre) et les connaissances sur les difficultés d'élèves concernant un objet de savoir (cette composante comprend les conceptions d'élèves). Une des particularités des PCK, pour Shulman, est qu'elles se construisent par la pratique et sont étroitement liées à deux autres catégories de connaissances : les connaissances disciplinaires (sur la physique ou la chimie par exemple), appelées en anglais Subject Matter Knowledge (SMK), et les connaissances pédagogiques générales (Pedagogical Knowledge, PK). Ce premier modèle a par la suite été développé et de nombreuses variations se trouvent dans la littérature (Abell, 2008). La Figure 1 représente une version simplifiée² du modèle de Shulman (1986). Les flèches représentent les liens entre les catégories de connaissances.

¹ « Science Education » est le terme utilisé à l'international pour parler du domaine de recherche sur l'enseignement/apprentissage des sciences. Dans les pays francophones c'est le terme de « didactique des sciences » qui est utilisé.

² Dans la suite il sera question de sous-catégories (ou composantes) pour les différentes catégories de connaissances qui ne sont pas représentées ici. Par ailleurs il y a débat dans la littérature pour savoir si les SMK sont incluses, tout ou partie, dans les PCK (Abell, 2008). Le modèle de la Figure 1 représente les SMK comme étant distinctes des PCK en accord avec ce qui semble être le modèle dominant (van Driel et al., 2014).

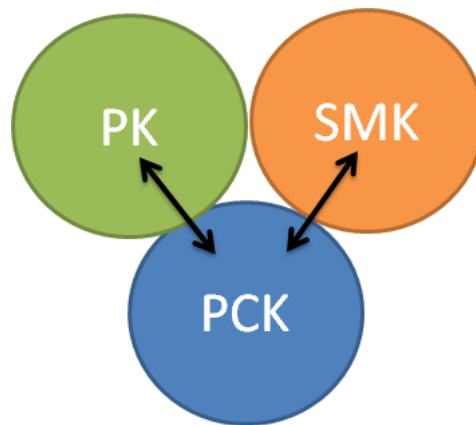


FIGURE 1 : UNE REPRESENTATION DU MODELE DES CONNAISSANCES SELON SHULMAN (1986).

Ce modèle des connaissances est le point de départ d'un champ de recherche international qui se développe depuis près de 40 ans. Dans le champ des Science Education, les recherches se sont principalement centrées sur les catégories des SMK et des PCK, celle des PK étant moins bien documentée.

2.1 UN ENSEMBLE DE CATEGORIES VARIABLE EN FONCTION DES PUBLICATIONS

Les PCK sont, selon Shulman, complétées par d'autres catégories de connaissances. Ces catégories varient d'une publication à l'autre, intégrées dans quatre modèles différents selon Carlsen (1999). Ainsi, dans son article de 1987 (Shulman, 1987), le modèle présenté comprend les catégories de connaissances suivantes : « Curriculum », « Apprenants et apprentissages », « Pédagogie », « Connaissances Pédagogiques liées au Contenu (PCK) », « Philosophie, buts et objectifs », « Contexte » et « Connaissances Disciplinaires ». Dans un article précédent (Shulman & Sykes, 1986), des catégories supplémentaires sont présentes : « Culture générale » et « Aptitude à la communication », et une autre ne l'est pas encore : la catégorie « Contexte ».

2.2 LES PCK : UN PROJET POLITIQUE

Comme mentionné plus haut, Shulman propose la catégorie des PCK pour rendre compte de la spécificité du métier d'enseignant par rapport à un spécialiste de la discipline et des différences entre enseignants de différentes disciplines. La création d'une catégorie de connaissances spécifiques aux enseignants en lien avec leur expertise construite sur le terrain et qui s'appuie sur des connaissances disciplinaires (ce qui permet de différencier l'enseignant d'histoire de l'enseignant de physique par exemple) et sur des connaissances pédagogiques (ce qui permet de distinguer l'enseignant du spécialiste d'une discipline, par exemple le physicien), s'inscrit dans un projet politique de la part de Shulman (Carlsen, 1999). En effet, l'objectif de celui-ci était de faire en sorte que le métier d'enseignant soit reconnu comme une profession et, à ce titre, qu'il repose sur un ensemble de connaissances spécifiques à cette profession, les PCK. Il s'agit en quelque sorte de penser la professionnalisation du métier d'enseignant à travers l'établissement, la reconnaissance et la transmission de savoirs spécifiques au métier (Bourdoncle, 2000). Un des buts associés à cette professionnalisation était une meilleure reconnaissance du métier d'enseignant par la société afin de susciter des vocations. C'est à ce titre que les connaissances relatives à un contenu disciplinaire sont pensées comme une des sources des PCK : en faisant des enseignants d'abord des spécialistes de leur discipline, Shulman espère que ceux-ci bénéficieront des avantages et du prestige accordés aux autres professions reconnues pour leur spécialisation disciplinaire. Ainsi, pour Shulman, un enseignant ne peut pas se contenter de

transmettre le savoir d'une discipline à ses élèves, il doit pouvoir justifier pourquoi ce savoir est reconnu comme valide, comment ce savoir se positionne par rapport à d'autres propositions alternatives et pourquoi ce savoir est important (Shulman, 1986). Enfin, les travaux de Shulman sur les PCK prennent place dans un contexte particulier de la recherche sur les connaissances des enseignants. En effet, aux États-Unis, la recherche dans ce domaine était préemptée par les approches psychologiques. Pour Carlsen (1999), la proposition, par Shulman, d'une base de connaissances comprenant des catégories variées signe une volonté d'ouvrir ce champ de recherche à des approches plus variées et pluridisciplinaires.

3 UN MODELE SIMPLE MAIS SANS FONDEMENT THEORIQUE

Le modèle de Shulman met en avant la particularité du métier d'enseignant : à la fois spécialiste d'un domaine disciplinaire (la physique-chimie, les mathématiques, etc.) ou de plusieurs domaines (dans le cas, par exemple, des professeurs des écoles) et de la pédagogie. Cette particularité est modélisée en termes de catégories de connaissances, attirant ainsi l'attention des chercheurs en éducation et des formateurs d'enseignants sur une catégorie particulière, censée représenter ce qui rend si particulier ce métier, la catégorie des PCK. Cette proposition a permis l'émergence d'une approche ni purement disciplinaire ni purement transversale concernant la question des connaissances des enseignants, ce qui marque, tout au moins aux États-Unis³, un tournant. Les chercheurs en Science Education investissent ainsi tout naturellement ce champ de recherche puisqu'il correspond à leur propre spécificité : des recherches en éducation portant sur un contenu disciplinaire scientifique.

Ce modèle tient peut-être son succès à sa relative simplicité : des catégories de connaissances qui sont le reflet direct de la nature du métier d'enseignant. Cependant cette simplicité est potentiellement problématique. En effet, Shulman n'explicite pas la nature des relations entre les catégories de connaissances de son modèle. Dans la Figure 1, les doubles flèches semblent indiquer que les PCK sont en relation avec les SMK et les PK et inversement, mais quelle est la nature de ce lien ? Est-ce qu'il s'agit d'une influence réciproque ou d'une véritable construction réciproque de ces catégories ? Ces catégories ne sont elles-mêmes pas simples à distinguer. Par exemple, où se situe la frontière entre PK et PCK ? On peut en effet imaginer des PCK qui soient plus « générales » que d'autres. On pourrait ainsi penser un continuum entre PK et PCK. De la même façon, le découpage entre SMK et PCK peut être délicat. Par exemple, où sont situées les connaissances épistémologiques, comme les connaissances sur la modélisation ou encore l'histoire des sciences ?

De manière plus générale, la simplicité de ce modèle tient également au fait qu'il n'est pas adossé à une théorie sur les connaissances (autre que la possibilité de regrouper les connaissances en catégories) ou une théorie sur le métier de l'enseignant. Ce manque d'adossement théorique entraîne deux limitations. Premièrement, le modèle ne s'accompagne pas d'une méthode d'analyse. En effet, le terme même de connaissance n'est pas défini, ce qui laisse à la charge des utilisateurs du modèle le soin de le définir et donc de construire une méthode d'étude adéquate.

³ L'apparition du modèle des PCK en France est plus tardive, peut être en partie en raison de l'existence d'une recherche en didactique s'appuyant sur des modèles prenant fortement en compte les spécificités du contenu disciplinaire.

Cette première limitation a des répercussions sur la possibilité de comparer des résultats. Deuxièmement, le modèle semble faire, implicitement, un lien quasi-direct entre les connaissances de l'enseignant et l'agir⁴ de celui-ci. Or, si on peut raisonnablement penser qu'un tel lien existe, il n'est sûrement pas direct. Là encore, c'est à l'utilisateur du modèle de compléter celui-ci, ce qui est susceptible d'entraîner une variété importante d'utilisations du modèle et de résultats.

Comme mentionné plus haut, le modèle de Shulman a été le point de départ de 40 ans de recherche. De nombreux modèles ont été proposés sur la base de la catégorisation de Shulman. On peut interroger les évolutions qu'elle a subies au regard de l'idée originale de Shulman et comment et jusqu'où les différents modèles proposés ont dépassé les limites du modèle original. Les limitations pointées plus haut sont importantes et liées à la structure même du modèle (une analogie directe entre des catégories de connaissances et la spécificité du métier d'enseignant, que l'on pourrait qualifier de cognitiviste naïve). Il est donc légitime de se demander si un changement de paradigme ne permettrait pas de trouver des points de sortie plus opérationnels tout en conservant l'idée de départ de Shulman qu'il existe une particularité, du point de vue des connaissances, du métier d'enseignant. C'est à ces questions que cette note de synthèse se propose de répondre pour partie.

4 STRUCTURE DE LA NOTE DE SYNTHESE

Cette note vise à montrer comment mes travaux contribuent à renouveler le champ des recherches sur les connaissances professionnelles des enseignants de sciences. Ne sont concernés que les travaux depuis la thèse (à l'exclusion, donc, de mon travail de Master en didactique des sciences) jusqu'à ma dernière publication en 2019, et seulement mes travaux concernant l'enseignement / apprentissage des sciences.

Ces travaux rendent ainsi compte de mon parcours depuis la thèse au laboratoire ICAR sous la direction d'Andrée Tiberghien et Jean-François Le Maréchal, soutenue en 2009, à mon recrutement comme maître de conférences à la Faculté d'Education de l'Université de Montpellier en 2014 en passant par une période d'alternance de contrats post-doctoraux et d'ingénieur d'étude entre 2009 et 2014. Ce parcours m'a amené à travailler avec de nombreuses personnes en France ou à l'étranger dans des contextes variés : contrat doctoral de la région Rhône-Alpes, projets européens, lieux d'éducation associés, projet ANR. Mes travaux sont donc le produit des contraintes et opportunités liées à ces contextes et rencontres. Cette note de synthèse cherche à en illustrer la variété tout en démontrant la cohérence.

A la suite de cette introduction, la partie 1 de ce document est consacrée aux différents modèles de PCK qui ont été proposés jusqu'à présent à l'exclusion de mes propres travaux.

- Dans le chapitre 1, les principaux modèles sont présentés suivant un ordre chronologique et en distinguant les modèles issus des recherches en Science Education et en didactique des sciences, ces approches ayant des traditions différentes, notamment

⁴ Dans cette note, le terme d'*agir de l'enseignant* sera utilisé pour faire référence à ce que fait l'enseignant (hors ou dans sa classe). Ce terme renvoie indifféremment aux notions d'action ou d'activité.

en ce qui concerne la prise en compte du savoir disciplinaire ou la modélisation de l'agir de l'enseignant.

- Le chapitre 2 discute de chacun des modèles présentés précédemment.

La partie 2 de cette note est consacrée à l'apport de mes travaux à une nouvelle approche sur les PCK et à une proposition de programme de recherche

- Le chapitre 3 montre en quoi mes travaux constituent un apport original à l'étude des PCK tout en étant confrontés à un certain nombre de problèmes partagés par les modèles présentés dans la partie 1 de cette note.
- Le chapitre 4 discute de la nécessité d'une nouvelle approche et fait une proposition théorique concernant les PCK. Cette proposition théorique est utilisée pour revisiter une partie de mes travaux qui ne sont pas originellement centrés sur les PCK.
- Enfin le chapitre 5 illustre comment la proposition théorique du chapitre précédent permet de penser un programme de recherche en prenant appui sur les travaux en cours dans lesquels je suis impliqué.

PARTIE 1 : LES PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE : ETAT DES LIEUX

Le premier chapitre de cette partie (chapitre 1) présente les principaux modèles concernant les Pedagogical Content Knowledge (PCK) ainsi que les méthodes d'étude des PCK. Le chapitre 2 discute ces modèles pour en montrer les apports et les limites et la nécessité d'une nouvelle approche.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DES MODELES DES PCK

Ce chapitre fait un tour d'horizon des différents modèles des Pedagogical Content Knowledge (PCK). Une première partie est consacrée aux travaux de tradition principalement anglo-saxonne se situant dans le champ de la recherche en « Science Education ». La deuxième partie présente les travaux se situant dans le champ de la didactique des sciences, de tradition francophone. Les discussions portant sur chacun des modèles sont renvoyées au chapitre 2 de cette partie. Mes travaux sur les PCK, qui relèvent de la didactique des sciences, seront quant à eux présentés dans la deuxième partie de cette note de synthèse.

1 LES PCK DANS LES RECHERCHES EN « SCIENCE EDUCATION »

Dans cette première partie, trois familles de modèles sont présentées. La première fait référence aux premiers travaux concernant les PCK, visant à catégoriser les connaissances professionnelles nécessaires à l'enseignant. La deuxième famille de modèles regroupe les travaux issus d'un collectif de chercheurs travaillant, à partir des premiers travaux, à élaborer un modèle consensuel de la structuration des connaissances de l'enseignant. Enfin, la dernière famille ne comporte qu'un seul modèle, qui cherche à intégrer les PCK dans un modèle de l'agir de l'enseignant.

1.1 LES PCK COMME UNE CATEGORIE DE CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES NECESSAIRES A L'ENSEIGNANT

Cette partie présente les résultats des premiers travaux sur les PCK allant du milieu des années 80 à la fin des années 90. Le point commun de ces premiers travaux est de penser les connaissances en termes de catégories construites en fonction de leur nature. Je présente tout d'abord les adaptations du modèle de Shulman proposées par ses élèves et qui sont centrées sur les différentes catégories de connaissances nécessaires pour enseigner, avant de présenter le travail de Veal & Makinster (1999) qui traite de la spécificité des PCK vis-à-vis du « grain » de savoir et enfin le modèle de Magnusson et al., (1999) qui propose des composantes de PCK pour l'enseignement des sciences.

1.1.1 UNE CATEGORISATION DES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES POUR ENSEIGNER

Parmi les premiers travaux qui ont repris le modèle de Shulman, ceux de Grossman (1990) sont encore souvent cités. Le modèle de Grossman (Figure 2) reprend les catégories des modèles initiaux de Shulman ; ainsi, les « General Pedagogical Knowledge » se distinguent des PCK par le fait que les premières ne sont pas liées au « Subject Matter Knowledge » alors que c'est le cas pour les PCK. Comme mentionné dans l'introduction, le projet de Shulman était de (re)donner du prestige au métier d'enseignant tout en ouvrant les recherches états-uniennes à des approches pluridisciplinaires. Le modèle de Grossman est cohérent avec cet objectif en ce qu'il met au centre du modèle de connaissances des enseignants les PCK, ce qui marque la spécificité du métier, tout en reconnaissant une parenté avec d'autres métiers de par les relations entre les PCK et d'autres domaines de connaissances (notamment les « Subject Matter Knowledge »). Le modèle de Grossman est constitué de quatre catégories de connaissances qui sont déjà présentes dans certaines publications de Shulman. Ainsi Grossman fait une sélection et réorganise les catégories de connaissances des propositions de Shulman :

- Les connaissances sur le contenu disciplinaire à enseigner (Subject Matter Knowledge, SMK). Cette catégorie est déjà présente dans le modèle de Shulman.
- Les connaissances pédagogiques générales (General Pedagogical Knowledge, GPK), qui se distinguent des PCK par le fait que les premières ne sont pas liées au « Subject Matter Knowledge » alors que c'est le cas pour les PCK. Cette catégorie est également déjà présente chez Shulman.
- Les connaissances du contexte (Knowledge of Context, KC).
- Les PCK.

Chacune de ces catégories comporte différentes composantes. Ces composantes étaient, pour certaines, déjà présentes dans le modèle de Shulman (soit en tant que composantes, soit comme catégories à part entière) ; pour d'autres, il s'agit d'ajouts. La distinction entre certaines composantes n'est pas toujours évidente. A titre d'exemple, la distinction des composantes « Knowledge of students' understanding » de la catégorie PCK et « Learners and Learning » de la catégorie GPK repose sur le fait que la première est spécifique à un contenu d'enseignement alors que la deuxième est transversale. Cette distinction entre des composantes de connaissances de type PCK ou GPK reste délicate et a donné lieu à de nombreuses discussions et modèles. En effet, une des particularités des recherches sur les PCK (surtout dans les premières années de ces modèles) est qu'il y a une abondance (voire une surabondance) de modèles (Abell, 2008; Settlage, 2013). Il devient rapidement difficile de rapprocher les modèles les uns des autres, notamment en raison du fait que les auteurs n'utilisent pas tout à fait les mêmes dénominations pour les catégories et composantes. De plus, les doubles flèches de la Figure 2 laissent penser que les PCK influencent les SMK ou permettent leur développement sans que l'on sache comment cela peut se produire. De manière générale, les relations entre les catégories de connaissances ne sont pas étudiées de manière systématique (Van Driel et al., 2014), ce qui ne permet pas de préciser ce type de modèle.

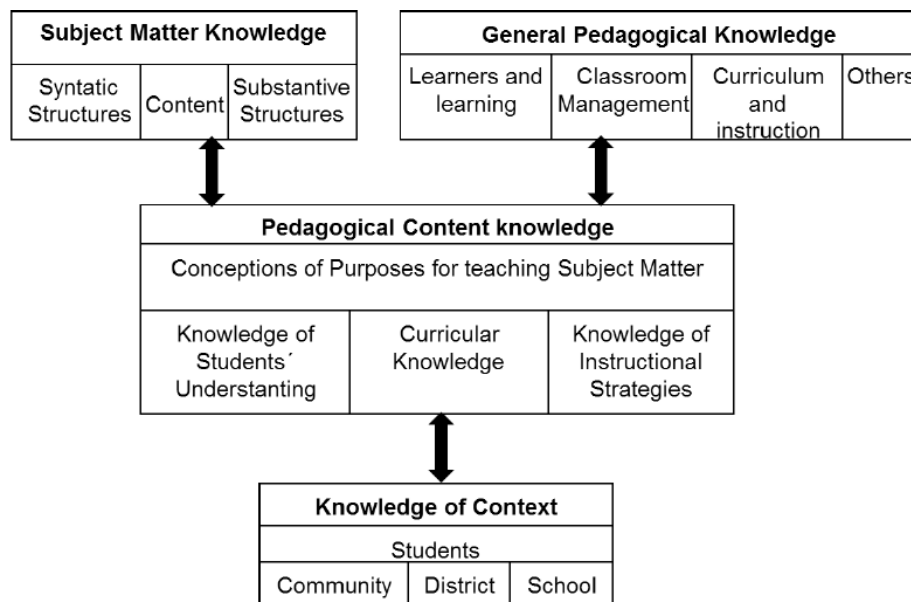


FIGURE 2 : MODELE DES CONNAISSANCES DES ENSEIGNANTS SELON GROSSMAN (1990)

1.1.2 UNE TENTATIVE DE CATEGORISER LES PCK A PARTIR DE LEUR SPECIFICITE DISCIPLINAIRE

Ce qui distingue les PCK des PK dans les modèles de Shulman et de ses élèves est que les PCK sont liées à un savoir disciplinaire alors que les PK sont « transversales ». Or, une question reste en suspens dans ces modèles : à quel grain faut-il considérer le savoir disciplinaire en jeu ? Au niveau de la discipline ? Il y aurait ainsi des PCK liées à la physique, d'autres à la chimie, etc. Ou bien à un grain plus fin, ce qui permettrait de distinguer des PCK liées aux réactions d'oxydo-réduction, d'autres aux réactions acido-basiques. Pour tenter de traiter la question de la spécificité des PCK par rapport aux savoirs disciplinaires en jeu (le « grain » des PCK), Veal & Makinster (1999) proposent une taxonomie des PCK. Ce travail est cité comme point de départ d'un ensemble de recherches qui étudient les différents grains de PCK et les liens entre ces grains (Mavhunga, 2020). L'objectif de cette taxonomie est également de mettre de l'ordre dans le foisonnement de modèles. En effet, le travail des années 90 sur les PCK est marqué par des débats sur les composantes de PCK (Hashweh, 2013), certains auteurs considérant, par exemple, que les connaissances disciplinaires font partie des PCK (Marks, 1990). Cette taxonomie est basée sur l'association de certains termes relatifs à l'éducation, à l'enseignement scientifique, à la physique et à la chimie à partir de publications de l'époque mais également de manuels scolaires. Les résultats de cette étude sont représentés par deux figures (Figure 3 et Figure 4).

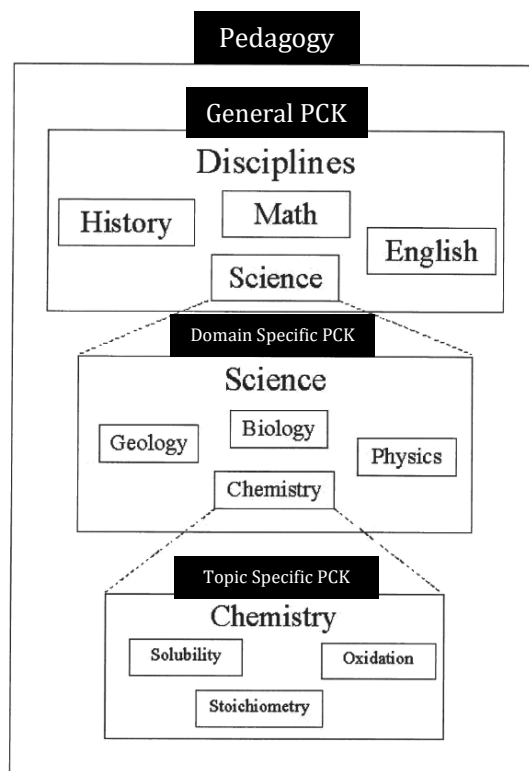


FIGURE 3: TAXONOMIE SELON VEAL ET MAKINSTER (1999) QUI REND COMPTE DE L'ORGANISATION DES PCK.

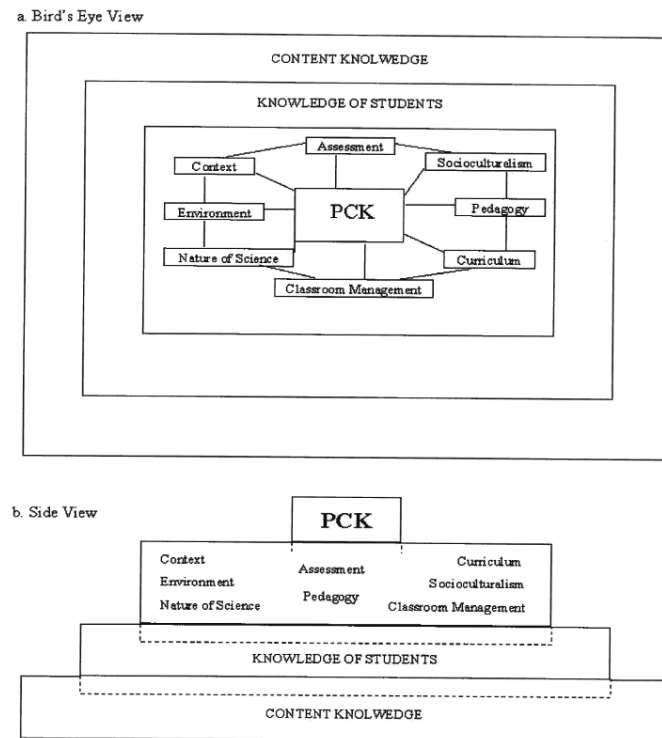


FIGURE 4: TAXONOMIE SELON VEAL ET MAKINSTER (1999) QUI REND COMPTE DE L'INSCRIPTION DES PCK DANS LE CHAMP DES CONNAISSANCES DES ENSEIGNANTS.

La première figure (Figure 3) représente une catégorisation des PCK en fonction de leur spécificité vis-à-vis des connaissances disciplinaires (correspondant à des grains de PCK). Il existerait ainsi des PCK spécifiques à des « topics » comme par exemple l'oxydoréduction, des PCK spécifiques à des « domains », comme par exemple la chimie, ou encore des PCK spécifiques à des disciplines, par exemple les sciences. La figure 3 laisse penser que les relations entre les différents niveaux de spécificité sont de nature cumulative (les « Domain specific PCK » consisteraient en une collection de « Topic specific PCK » relatives à l'ensemble des « topics » de la discipline) sans que cela soit clair. Par ailleurs, la catégorie des « General PCK » semble être spécifique de tout un ensemble de disciplines variées. On peut alors se demander en quoi il s'agit de PCK (qui sont par nature spécifiques à un contenu donné) et donc comment ces « General PCK » se distinguent de la catégorie « Pedagogy ». Enfin, le choix des découpages disciplinaires n'est pas explicité dans l'article : ceci peut amener le lecteur à se demander comment traiter les PCK liées à certaines disciplines comme la biochimie ou l'écologie, par exemple.

La Figure 4 représente l'inscription des PCK par rapport à d'autres catégories de connaissances. Il est difficile de percevoir ce que ce modèle peut apporter par rapport aux modèles déjà existants de l'époque. La représentation laisse penser que les PCK s'appuient sur un ensemble d'autres connaissances dans la mesure où la taille des rectangles représentant chacune des catégories de connaissances est proportionnelle au nombre de fois où chacune des catégories a été rencontrée dans le corpus analysé. Il semble également y avoir des recouvrements entre les catégories, représentés par des pointillés. Finalement, ce modèle rend peut-être plus compte de la façon dont sont organisés des textes relatifs aux connaissances des enseignants que de la façon dont ces dernières peuvent être catégorisées.

1.1.3 LES PCK COMME UNE COLLECTION DE COMPOSANTES

Le dernier modèle de la première génération des travaux sur les PCK qui reste très fréquemment cité est celui de Magnusson et al. (1999). C'est ce modèle que j'ai largement utilisé dans mes travaux sur les PCK (Cross, 2010, 2017; Cross & Lepareur, 2015). Ce modèle a pour particularité de détailler finement la catégorie des PCK en cinq composantes avec leurs sous-composantes et de proposer une articulation entre ces cinq composantes (voir Figure 5). De plus, ce modèle a été spécifiquement pensé pour les enseignants de sciences, comme l'atteste le nom des composantes.

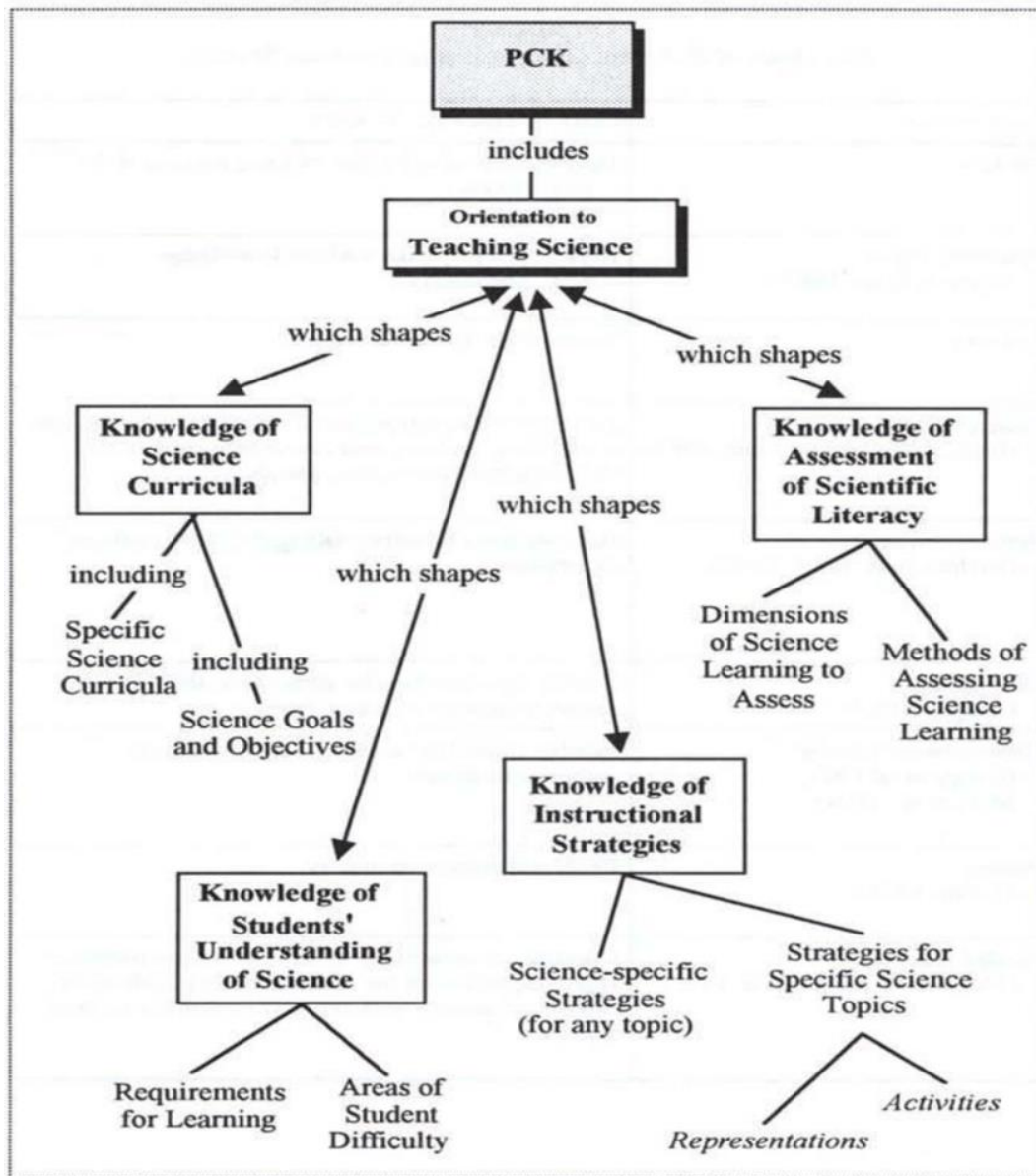


FIGURE 5 : MODELE DES PCK D'APRES MAGNUSSON ET AL. (1999).

D'après ce modèle, les PCK sont constituées⁵ de :

- Connaissances sur le curriculum : cette composante est constituée de deux sous-composantes, la connaissance du programme officiel et les connaissances relatives aux buts et objectifs liés à l'enseignement des sciences.
- Connaissances relatives à la compréhension des sciences par les élèves : cette catégorie contient deux sous-composantes : les connaissances sur les requis nécessaires pour apprendre des concepts scientifiques spécifiques et les connaissances sur les parties difficiles d'un contenu pour les élèves.
- Connaissances sur les stratégies d'enseignement : les connaissances sur les stratégies d'enseignement correspondent à des connaissances qui sont spécifiques aux manières d'enseigner les sciences, complétées par des connaissances spécifiques adaptées à l'enseignement de domaines scientifiques particuliers
- Connaissances sur l'évaluation de la littératie scientifique : cette composante comporte des sous-composantes relatives aux aspects de l'apprentissage des sciences qu'il est important d'évaluer et aux connaissances relatives à leur évaluation.
- Orientation pour l'enseignement des sciences : cette composante des PCK est relative à la façon de concevoir, de manière générale, l'enseignement des sciences. Elle comprend, entre autres, les connaissances à propos des buts et valeurs de l'enseignement des sciences à un niveau donné.

Cette dernière composante de PCK se distingue des autres, d'une part, car elle influence les autres composantes et est influencée par elles et, d'autre part, car elle n'est pas formulée en termes de « knowledge of » et semble donc correspondre à un ensemble de dispositions, de croyances ou de façon de faire⁶. Magnusson et ses collègues proposent une typologie des différentes orientations (voir Figure 6) qui regroupe, pour chacune des orientations un but et des caractéristiques de l'enseignement. Cette composante des PCK a été discutée dans des travaux plus récents (Friedrichsen et al., 2011) pour proposer une redéfinition de celle-ci en trois sous-composantes : buts et visées de l'enseignement scientifique, vision des sciences et enfin croyances et connaissances sur l'enseignement scientifique. Le terme de « croyance » (« belief ») est à comprendre dans le contexte anglo-saxon : en anglais il n'existe qu'un seul mot pour désigner les connaissances et les savoirs. L'utilisation du terme « belief » dans la littérature sur les connaissances des enseignants est fréquente et désigne des connaissances qui ne sont pas forcément scientifiquement ou socialement valides. Le premier argument avancé par Friedrichsen et ses collègues pour une refonte de la composante des orientations est qu'un enseignant n'adopte pas une seule orientation pour son enseignement des sciences⁷. Le deuxième argument est que la littérature sur les PCK montre une grande diversité dans les définitions des orientations, il est donc nécessaire de chercher une définition qui englobe les différentes acceptions ou utilisation de cette composante.

⁵ Le terme utilisé dans la Figure 5 : Modèle des PCK d'après Magnusson et al. (1999).est « includes » ce qui laisse penser que le modèle n'est pas complet. Il n'est toutefois jamais question dans la littérature d'autres éléments non représentés dans le schéma de la Figure 5.

⁶ Cela renvoie à la distinction que l'on peut faire entre connaissances et savoirs, et qui sera introduite dans le chapitre 2. Il y a dans le modèle de Magnusson et al. un glissement dans la conceptualisation des PCK comme « connaissances nécessaires pour les enseignants » à des « connaissances mises en œuvre en classe » (voir 11).

⁷ On peut penser que la composante « orientation » a été pensée comme monolithique au départ.

TABLE I
The Goals of Different Orientations to Teaching Science

<i>ORIENTATION</i>	<i>GOAL OF TEACHING SCIENCE</i>
<i>Process</i>	Help students develop the “science process skills.” (e.g., SAPA)
<i>Academic Rigor</i> (Lantz & Kass, 1987)	Represent a particular body of knowledge (e.g., chemistry).
<i>Didactic</i>	Transmit the facts of science.
<i>Conceptual Change</i> (Roth, Anderson, & Smith, 1987)	Facilitate the development of scientific knowledge by confronting students with contexts to explain that challenge their naïve conceptions.
<i>Activity-driven</i> (Anderson, & Smith, 1987)	Have students be active with materials; “hands-on” experiences.
<i>Discovery</i> (Karplus, 1963)	Provide opportunities for students on their own to discover targeted science concepts.
<i>Project-based Science</i> (Ruopp et. al 1993; Marx et al., 1994)	Involve students in investigating solutions to authentic problems.
<i>Inquiry</i> (Tamir, 1983)	Represent science as inquiry.
<i>Guided Inquiry</i> (Magnusson & Palincsar, 1995)	Constitute a community of learners whose members share responsibility for understanding the physical world, particularly with respect to using the tools of science.

TABLE II
The Nature of Instruction Associated with Different Orientations to Teaching Science

<i>ORIENTATION</i>	<i>CHARACTERISTICS OF INSTRUCTION</i>
<i>Process</i>	Teacher introduces students to the thinking processes employed by scientists to acquire new knowledge. Students engage in activities to develop thinking process and integrated thinking skills.
<i>Academic Rigor</i>	Students are challenged with difficult problems and activities. Laboratory work and demonstrations are used to verify science concepts by demonstrating the relationship between particular concepts and phenomena.
<i>Didactic</i>	The teacher presents information, generally through lecture or discussion, and questions directed to students are to hold them accountable for knowing the facts produced by science.
<i>Conceptual Change</i>	Students are pressed for their views about the world and consider the adequacy of alternative explanations. The teacher facilitates discussion and debate necessary to establish valid knowledge claims.
<i>Activity-driven</i>	Students participate in “hands-on” activities used for verification or discovery. The chosen activities may not be conceptually coherent if teachers do not understand the purpose of particular activities and as a consequence omit or inappropriately modify critical aspects of them.
<i>Discovery</i>	<i>Student-centered.</i> Students explore the natural world following their own interests and discover patterns of how the world works during their explorations.
<i>Project-based Science</i>	<i>Project-centered.</i> Teacher and student activity centers around a “driving” question that organizes concepts and principles and drives activities within a topic of study. Through investigation, students develop a series of artifacts (products) that reflect their emerging understandings.
<i>Inquiry</i>	<i>Investigation-centered.</i> The teacher supports students in defining and investigating problems, drawing conclusions, and assessing the validity of knowledge from their conclusions.
<i>Guided Inquiry</i>	<i>Learning community-centered.</i> The teacher and students participate in defining and investigating problems, determining patterns, inventing and testing explanations, and evaluating the utility and validity of their data and the adequacy of their conclusions. The teacher scaffolds students’ efforts to use the material and intellectual tools of science, toward their independent use of them.

FIGURE 6 : BUTS ET CARACTERISTIQUES ASSOCIES A DIFFERENTES « ORIENTATIONS » SELON MAGNUSSON ET AL (1999).

Des chercheurs ont proposé des modifications du modèle de Magnusson et al. (1999). Par exemple, Park & Oliver (2008) reprennent dans leur modèle les composantes de Magnusson et al. (1999) ainsi qu’une partie des sous-composantes et en ajoutent de nouvelles. La principale différence de ce modèle avec celui de Magnusson et al. (1999) se situe toutefois au niveau des

liens entre composantes (voir Figure 7). Ce n'est plus seulement la composante « orientation » qui influence les autres composantes et est influencée par elles mais ce sont les composantes toutes ensemble qui s'influencent mutuellement (même si le schéma, pour des questions de lisibilité, ne montre qu'une partie de ces liens). Un élément nouveau est également présent dans ce modèle, qui consiste en un développement des PCK selon deux processus : la réflexion sur l'action et la réflexion dans l'action. Le premier processus rend compte du développement des PCK lorsque l'enseignant réfléchit sur son enseignement (seul ou bien dans le cadre d'un groupe de travail) avant et après la classe. Le deuxième processus rend compte du développement des PCK du fait de l'ajustement constant de l'agir en classe en fonction de la situation (du comportement des élèves, par exemple).

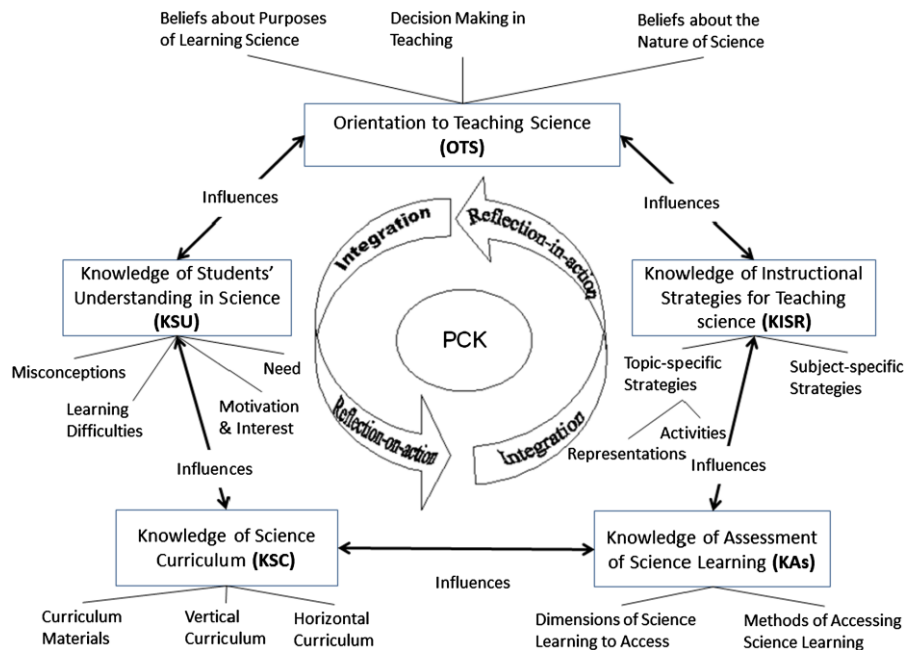


FIGURE 7: MODELE DES PCK D'APRES PARK ET OLIVER (2008).

1.1.4 COMMENTAIRES SUR LA MISE EN ŒUVRE DES MODELES DE LA PREMIERE FAMILLE

Cette première famille réunit des modèles de PCK constitués de catégories de connaissances elles-mêmes organisées en composantes et sous-composantes. Les relations entre ces catégories ou ces composantes sont variables selon les modèles. Ne sont présentés ci-dessus que les modèles qui continuent à être les plus cités dans les recherches en Science Education. Il existe néanmoins un nombre important de modèles qui proposent des variations plus ou moins importantes des modèles de Magnusson et al. (1999) et de Grossman (1990).

La mise en œuvre de ces modèles a donné lieu à de nombreux résultats. Je n'aborderai ici que les résultats touchant les catégories de connaissances SMK et PCK à travers une synthèse des résultats présentés dans la revue de littérature de Van Driel et al. (2014). Ces recherches se sont centrées sur l'étude des SMK et des PCK comme des catégories indépendantes, sur les liens entre ces catégories et enfin sur les liens entre ces catégories et les apprentissages des élèves.

Les SMK

Les études sur les SMK cherchent principalement à attribuer un score de réussite à des tests de connaissances sur le savoir disciplinaire à enseigner. Les résultats sont assez consensuels : que

l'on considère les enseignants du primaire ou du second degré, ceux-ci ont des conceptions proches de celles des élèves et des lacunes quant au savoir à enseigner. Ces résultats peuvent paraître surprenants, notamment pour des enseignants du second degré. Ils sont cependant relativement stables dans le temps et ce quel que soit le pays. Un autre résultat consensuel est que les SMK se développent avec l'expérience. Il semble donc que le fait d'enseigner permette aux enseignants d'acquérir des SMK plus solides. Cependant, ce phénomène n'a pas fait l'objet d'études permettant de proposer des modèles explicatifs dans le champ des PCK. Enfin, certaines recherches ont étudié les liens entre les SMK et certaines variables relatives aux enseignants comme par exemple le sentiment d'efficacité ou encore la confiance en son enseignement. Les liens entre les SMK et ces variables ne sont pas linéaires et semblent dépendre du contexte de l'étude et / ou du savoir disciplinaire en jeu. Les études semblent toutefois indiquer que les enseignants avec un haut niveau de SMK ont plus confiance en leur enseignement et prennent plus de risques dans les approches pédagogiques en classe. Du point de vue de la méthode d'étude, les recherches sur les SMK utilisent pour la plupart des questionnaires (« achievement tests ») et plus rarement des entretiens ou des observations en classe.

Les PCK

Les études sur la catégorie des PCK peuvent se distinguer selon deux approches : les études « normatives », qui cherchent à mesurer un score de réussite des enseignants à un test portant sur les PCK, et les études descriptives, qui cherchent à détailler les PCK des enseignants « telles qu'elles sont » (« as it is »). En ce qui concerne la première approche, il s'agit d'évaluer les connaissances des enseignants par rapport à des savoirs de références. Ces études montrent que les enseignants n'ont que peu de connaissances au sujet des difficultés d'apprentissage des élèves (par exemple s'agissant des conceptions d'élèves). Ces connaissances se développent toutefois avec l'expérience. Pour ce qui est de la seconde approche, les résultats montrent que les PCK des enseignants varient fortement d'un enseignant à un autre, y compris chez des enseignants expérimentés et y compris lorsqu'il s'agit d'enseigner le même contenu. De la même façon que pour l'approche normative, les études descriptives montrent que les PCK se développent avec l'expérience ou lors de la formation initiale ou continue. Le facteur déterminant pour le développement des PCK, dans tous les cas de figure, semble être la présence d'activités réflexives. Cependant, ces études, encore trop peu nombreuses, ne permettent pas de proposer de modèles de développement des PCK en lien avec l'agir ou des activités réflexives.

Liens entre PCK et SMK

Les résultats des études qui se sont intéressées aux liens entre PCK et SMK montrent que les SMK sont une des sources du développement des PCK. Cependant, une étude (Sanders et al., 1993) a montré que des enseignants qui enseignent un contenu en dehors de leur spécialité peuvent développer à la fois des PCK et des SMK en prenant appui sur leur PK. Il semblerait donc que les PCK puissent être développées sans que les SMK ne soient un préalable. Au vu du faible nombre d'études traitant de ces liens entre SMK et PCK (et également PK), il n'est pas possible de proposer un modèle détaillant les liens entre ces catégories de connaissances.

Liens entre catégories de connaissances et apprentissage des élèves

Les recherches visant à établir des liens entre ces deux catégories de connaissances et l'apprentissage des élèves sont relativement récentes et peu nombreuses ; elles adoptent majoritairement une approche statistique : un score de connaissances des enseignants est comparé à des variables relatives aux élèves (apprentissage ou intérêt, la plupart du temps). En ce qui concerne les SMK, les résultats sont assez consensuels et montrent qu'un gain de score

des enseignants par rapport aux SMK s'accompagne d'un gain d'apprentissage ou d'intérêt chez les élèves. Les résultats sont plus mitigés à propos des PCK, les résultats des études ne convergeant pas.

Discussion sur les résultats de la première famille de modèle

Les recherches en lien avec cette première famille de modèles se sont donc jusqu'à présent intéressées à étudier les différentes catégories de connaissances, leurs liens entre elles et, dernièrement, les liens entre PCK et apprentissages des élèves en supposant un lien relativement direct entre PCK et agir de l'enseignant. En effet, dans la revue de littérature de Van Driel et al., (2014) on peut lire en filigrane que le développement de PCK devrait permettre un enseignement plus efficace. Or, la question du lien entre agir de l'enseignant et ses connaissances est complexe (Crahay et al., 2010).

Pointons que ces recherches comprennent des orientations diverses :

- Normatives quand il s'agit de mesurer un état des connaissances d'une population d'enseignants ou d'établir des relations entre apprentissage des élèves et PCK, caractérisées par un score établi par rapport à des PCK de références. Ces études peuvent intéresser les décideurs des politiques publiques afin d'orienter la formation initiale ou continue des enseignants (Van Driel et al., 2014). Elles peuvent également intéresser les formateurs d'enseignants en leur permettant de penser leur formation en termes de « ce qui manque » aux enseignants. Reste cependant à montrer que ces « manques » ne permettent pas à l'enseignant d'être efficace en classe.
- Descriptives lorsqu'il s'agit de rendre compte de ce que les enseignants savent pour enseigner un sujet donné. Cette approche permet de donner une intelligibilité au métier (comment les enseignants s'adaptent aux contraintes du métier, par exemple) ou d'étudier ce qui constitue l'expertise d'un enseignant en comparant par exemple les PCK d'un même groupe d'enseignants au cours du temps. Cette approche permet également d'étudier le lien entre PCK et apprentissage des élèves en comparant les PCK de plusieurs enseignants dont les élèves ont des résultats différents en termes d'apprentissage ou d'intérêt (Alonzo et al., 2012).

Les résultats de ces travaux amènent à une situation qui peut sembler paradoxale : les PCK ont été pensées comme une catégorie de connaissances spécifiques au métier d'enseignant. Or, les études montrent que les enseignants n'ont que peu de connaissances sur les difficultés des élèves en lien avec les apprentissages (approche normative) et que les enseignants, même expérimentés, présentent une grande variété de PCK (approche descriptive). Les résultats de ces travaux ne proposent pas de formalisation des connaissances nécessaires ou utiles pour enseigner un sujet donné. De plus, cette littérature peine à montrer un lien entre PCK et apprentissage des élèves. Il semblerait donc qu'il soit difficile de caractériser l'expertise des enseignants par rapport à cette catégorie de connaissances en utilisant cette première famille de modèles.

Cet état de fait peut-être expliqué par des difficultés à conceptualiser les PCK. En effet, de nombreux chercheurs ont pointé que la définition des PCK, et donc des méthodes d'études, dans cette famille de modèles varient d'un chercheur à l'autre (voir par exemple Abell, 2008; Settlage, 2013 ; Van Driel et al., 2014). Cette situation est en contraste avec celle des SMK : les résultats sont consensuels et les méthodes d'étude relativement homogènes. Ceci n'a rien de surprenant

car les SMK sont constituées de connaissances par rapport à des savoirs stabilisés, partagées par une vaste communauté et sont relativement indépendantes du contexte. Il est donc possible de parler de SMK de référence qui correspondent aux savoirs scientifiques validés par les différentes communautés de scientifiques et d'établir des tests standardisés afin de mesurer un degré de connaissances par rapport à ces SMK de référence. En revanche, les PCK ne sont pas stabilisées (il n'y a pas de consensus sur ce qui fait un bon enseignement), ne sont pas partagées par de vastes communautés (que ce soit celle des enseignants ou des chercheurs en éducation) et sont fortement liées au contexte (Crahay et al., 2010). De fait, le métier d'enseignant est caractérisé par la nécessité de s'adapter en permanence à la situation (Altet, 2012; Demailly, 1997) : ce qui est efficient avec une classe peut très bien ne pas fonctionner avec une autre. Il est donc difficile d'avoir une approche normative des PCK car les PCK de référence manquent pour construire une échelle de mesure. Les approches descriptives sont, quant à elles, limitées par la faiblesse théorique du concept de PCK. En effet, il n'existe pas de modèles de PCK permettant d'expliquer les liens entre les catégories de connaissances (SMK, PCK et PK), ni le développement de celles-ci, ni encore le lien entre l'agir de l'enseignant et les PCK. Or, il s'agit là de questions qui touchent aux principales préoccupations des études sur les PCK : comment mieux former les enseignants ? Comment les rendre plus efficaces ?

Afin de dépasser ces limitations, deux nouveaux modèles de PCK ont été proposés. Il s'agit de deux modèles dit de consensus, présentés dans la sous-partie suivante.

1.2 LES MODELES DE CONSENSUS : DE CATEGORIES DE CONNAISSANCES NECESSAIRES POUR L'ENSEIGNEMENT A LA STRUCTURATION DES CONNAISSANCES DES ENSEIGNANTS

Cette partie présente deux modèles dit « de consensus » issus du travail d'un collectif de chercheurs internationaux spécialisés dans les études sur les PCK. Le premier modèle, issu d'une conférence tenue en 2012, est un modèle de type cybernétique (voir le paragraphe 2 du chapitre 2). Le deuxième modèle, lui aussi produit à l'issue d'une conférence de consensus regroupant en 2017 en grande partie les mêmes chercheurs qu'en 2012, cherche à résoudre un certain nombre de problèmes rencontrés par le modèle de 2012. Ce modèle de 2017 a été nommé par ses auteurs le « Refined Consensus Model » (RCM). Ces modèles ont été élaborés selon le même principe : il s'agit dans les deux cas, comme leur nom l'indique, de proposer des modèles qui tiennent compte de l'ensemble des points de vue des chercheurs présents et des résultats de leurs études sans que soit discutées finement les différentes épistémologies de ces recherches. En cela, la méthode d'élaboration de ces modèles se rapproche du travail de Veal & Makinster (1999) : inclure dans un même modèle un ensemble de recherches potentiellement disparates.

1.2.1 LE MODELE DE CONSENSUS DE 2012 : LA MISE EN RELATION DES PCK AVEC D'AUTRES TYPES DE CONNAISSANCES ET LE CONTEXTE

En 2012 s'est tenue la première conférence de consensus sur les PCK aux Etats-Unis, dont le but était de produire un modèle fédérateur. En effet, de nombreux chercheurs du domaine regrettent le manque de consensus au sein de la communauté sur la ou les définitions des PCK et

les méthodes mises en œuvre pour les étudier, ce qui rend difficile la comparaison des résultats⁸ (Abell, 2008). Cette conférence a réuni 24 chercheurs de 7 pays afin de discuter de la définition des PCK, des méthodes pour les étudier et des finalités des recherches employant ce concept. Le modèle produit par ces chercheurs tient compte des caractéristiques de l'ensemble des recherches présentées par les différentes équipes de chercheurs (Gess-Newsome, 2015) et a ainsi été nommé de façon informelle « 2012 Consensus Model » (CM2012, voir Figure 8).

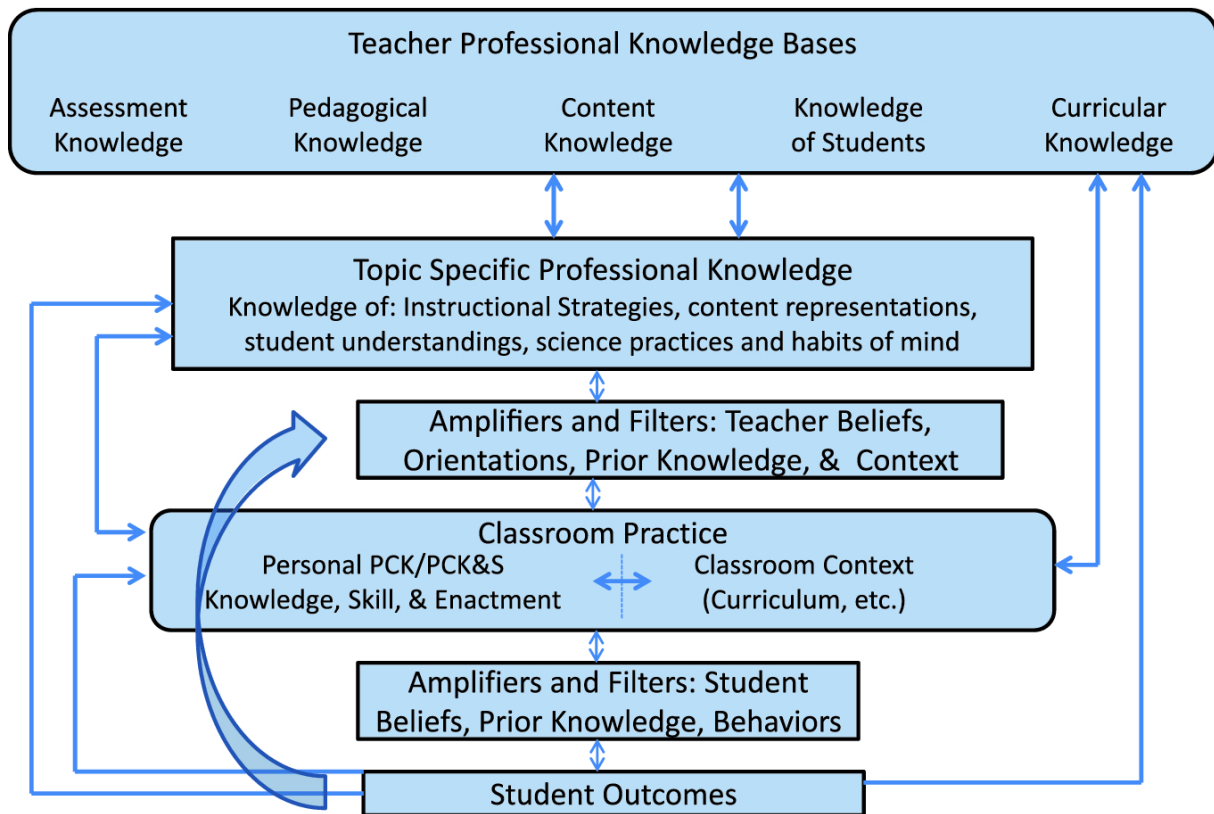


FIGURE 8 : LE MODELE DE CONSENSUS 2012. EXTRAIT DE GESS-NEWSOME (2015).

Ce modèle est constitué de plusieurs catégories de connaissances en lien les unes avec les autres⁹. Je vais en donner la description telle que présentée dans Gess-Newsome (2015).

Les « Teacher Professional Knowledge Bases », TPKB, correspondent aux connaissances générales nécessaires pour enseigner. Cette partie du modèle est directement inspirée du modèle de Shulman (1986). Les sous-catégories sont données à titre illustratif car, comme le précise Gess-Newsome, l'important n'est pas d'être exhaustif mais de comprendre la nature de ces connaissances : il s'agit des connaissances produites par les experts (dont les chercheurs en éducation) et dont les enseignants sont les « consommateurs » (« Teachers are seen as the consumers of this knowledge »). Ces connaissances ne sont pas spécifiques à un contenu

⁸ On pourrait rajouter que beaucoup des modèles manquent de clarté dans leur définition comme illustré dans la présentation de la première famille de modèle.

⁹ Il est difficile de situer précisément les PCK dans ce modèle. Le terme de « PCK » apparaît au niveau des « classroom practices » mais on peut penser que les « topic specific professional knowledge » sont également des PCK.

disciplinaire et sont normatives. On peut penser qu'elles ne correspondent pas à des PCK mais en partie à une refonte des « knowledge bases » du modèle de Grossman, (1990)¹⁰.

Les « Topic-specific Professional Knowledge », TSPK, contrairement à la catégorie des TPKB, sont spécifiques à un contenu donné et la plupart du temps à un niveau d'enseignement donné¹¹. C'est ici que l'on retrouve par exemple les connaissances liées aux conceptions des élèves ou encore les façons de présenter le savoir pour permettre un meilleur apprentissage des élèves. Ces connaissances sont reconnues par les experts (sans que l'on sache de quels experts il est question ici), relativement stables et peuvent être représentées par du texte, des diagrammes ou encore des tableaux. Ces connaissances sont produites par des experts ou à partir des « bonnes pratiques » (« best practices ») et peuvent servir à construire des instruments de mesure des connaissances des enseignants ou encore à penser des formations d'enseignants. La différence entre ces deux premières catégories de connaissances repose sur le fait que les TSPK sont spécifiques par rapport au contenu disciplinaire. Les TSPK correspondent aux connaissances *nécessaires* pour enseigner un contenu donné et sont donc à rapprocher des PCK de la première famille de modèle.

La catégorie suivante, « classroom practice », rend compte de l'aspect personnel et idiosyncratique des connaissances des enseignants. Cette catégorie est composée de connaissances mais aussi de l'agir de l'enseignant en classe :

- Les « personal PCK » représentent l'ensemble des connaissances, des raisonnements, des planifications (« the knowledge of the reasoning behind and planning for ») relatifs à l'enseignement d'un contenu donné (topic specific), suivant une certaine pratique et suivant un objectif donné ; pour un certain type d'élève, de façon à favoriser les apprentissages. Ces connaissances sont explicites et se développent lors de la réflexion sur l'action.
- Les « Personal PCK & Skills » correspondent à l'expertise déployée dans l'action d'enseigner¹² (« the act of teaching ») un contenu donné suivant une certaine pratique et suivant un objectif donné, pour un certain type d'élève, de façon à favoriser les apprentissages. Ces connaissances sont tacites ou explicites et se développent lors de la réflexion dans l'action.

Cette catégorie se distingue des TPKB et des TSPK selon plusieurs points. Premièrement, il s'agit de connaissances propres à un enseignant. En cela, elles ne sont pas forcément partagées par une communauté. Deuxièmement, elles sont fortement liées à un contexte : d'une part, elles sont spécifiques à un cas particulier (c'est pour cela qu'il est question, dans la définition, de connaissances liées à un objectif particulier pour un type d'élève particulier etc.) et, d'autre part, l'enseignement est une activité dynamique dans le sens où il s'agit de s'adapter en permanence à la situation et notamment à l'activité des élèves. Enfin, un dernier point concerne l'introduction du terme « skills », que l'on peut traduire par « compétence » ou par « habilité ». Les auteurs précisent en effet que l'introduction de ce terme permet de prendre en charge les écarts entre ce

¹⁰ « Knowledge of Subject matter » et « General Pedagogical Knowledge »

¹¹ Il n'y a pas plus de précisions concernant la spécificité des TSPK par rapport à un niveau d'enseignement donné.

¹² On peut interroger ici le fait de nommer l'action d'enseigner par le terme de PCK.

que les enseignants savent et ce qu'ils sont capables de faire. Ainsi, dans ce modèle, l'enseignant peut savoir quelque chose à propos de l'enseignement d'un sujet donné sans pour autant le mettre en œuvre dans la classe, notamment à cause des amplificateurs et des filtres.

Les amplificateurs et filtres sont définis comme un ensemble d'éléments de contexte, de croyances et d'orientations de l'enseignant pour l'enseignement des sciences (par exemple : une orientation plutôt « magistrale » ou « expérientielle »), de leur vision du rôle de l'école (former le citoyen, permettre une compréhension des concepts scientifiques, réduire les inégalités sociales). En fonction de ces amplificateurs et filtres, l'enseignant adhère plus ou moins à de nouvelles connaissances ou pratiques. En ce qui concerne les éléments de contexte, l'exemple donné est celui des enseignants qui bénéficient d'un développement professionnel de bonne qualité. Enfin, un dernier élément qui agit comme un filtre ou un amplificateur est constitué par les connaissances personnelles préalables des enseignants (« prior knowledge »)¹³, par exemple les connaissances personnelles sur le contenu. Pour les auteurs du modèle, un enseignant ayant une connaissance approfondie du contenu qu'il doit enseigner tire un bénéfice potentiellement différent d'une formation professionnelle. On voit ainsi que ces filtres et amplificateurs sont de natures différentes : il peut s'agir de variables extérieures à l'enseignant ou bien intrinsèques à celui-ci.

Par ailleurs, les auteurs reconnaissent que ce que l'enseignant fait en classe n'est pas uniquement dépendant des connaissances mais également d'un ensemble de contraintes (par exemple sur le matériel disponible). Le contexte joue donc également un rôle de façon plus directe sur les pratiques enseignantes, mais rien dans le modèle ne permet de comprendre comment ces éléments de contexte interagissent avec les connaissances des enseignants (ni si la connaissance de contraintes fait partie de l'une des catégories de connaissances proposées dans le modèle). Enfin, un dernier point qui reste flou dans ce modèle concerne les doubles flèches omniprésentes. Rien n'est dit sur la nature des relations entre les catégories de connaissances alors que l'on peut penser que la flèche qui va des « student outcomes » aux « TPKB » représente une relation qui n'est pas de même nature que la relation symbolisée par la flèche qui va des « TSPK » aux filtres et amplificateurs, par exemple. A propos des flèches, il existe dans l'ouvrage une autre représentation du CM2012 qui présente le modèle (Berry et al., 2015). En effet le chapitre de Kind (2015) présente la Figure 9, qui diffère de la Figure 8, d'une part, par l'absence de flèche entre les « student outcomes » et les filtres et amplificateurs et, d'autre part, par les flèches entre les TSPK, les filtres et amplificateurs, les « classroom practices » et les « student outcomes » (entourés en rouge dans la Figure 9) : ces dernières sont des flèches simples alors qu'il s'agit de doubles flèches dans la Figure 8. De plus la catégorie des « classroom practice » ne comprend pas les mêmes choses. Dans la Figure 9, il s'agit de « classroom ressources » et non pas de « classroom context » comme dans la Figure 8 et la notion de « skills » n'apparaît plus dans la Figure 9.

¹³ Rien n'est dit sur l'aspect « préalable » de ces connaissances ni sur la raison pour laquelle elles ne sont pas intégrées dans une des catégories proposées par le modèle (TPKB ou TSPK par exemple). Au vu des exemples donnés on peut penser que l'introduction des amplificateurs et filtres est liée à des recherches portant sur des effets de formations sur l'agir de l'enseignant (les connaissances seraient alors préalables à la formation). C'est là la limite de l'élaboration d'un modèle de consensus de PCK qui tente de prendre en compte une diversité de recherches sans discuter des fondements théoriques et méthodologiques de chacune.

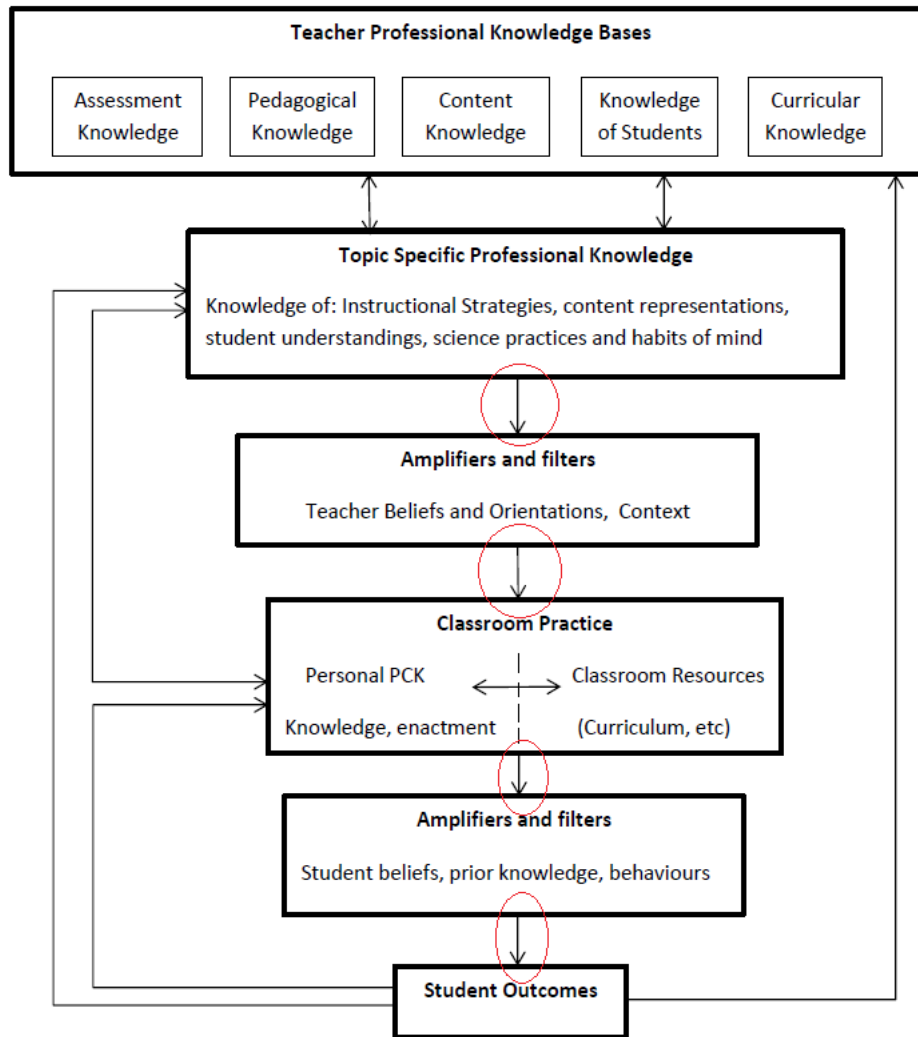


FIGURE 9 : REPRESENTATION DU CM2012 D'APRES KIND (2015).

Enfin, et pour terminer avec la présentation du CM2012, selon les auteurs, ce modèle de PCK est cohérent avec les hypothèses issues des travaux reposant sur les premiers modèles de PCK :

- les PCK peuvent être situées sur un continuum de PCK « faibles » à « fortes » (« weak and strong PCK ») sans que l'on sache ce que signifient des PCK faibles ou fortes.
- Les PCK peuvent être développées (« strengthened ») grâce à l'expérience professionnelle ou des programmes de développement professionnel sans pour autant que l'expérience professionnelle ne conduise systématiquement au développement des PCK.
- Cibler des TSPK en formation permettrait un meilleur développement des PCK&Skills favorisant ainsi une évolution des pratiques.
- Les formations devraient être spécifiques du point de vue des contenus et des types d'élèves pour garantir « l'utilisation » des connaissances et « skills ».

Ces dernières considérations me semblent correspondre à la fois à des résultats de recherche sur les PCK¹⁴ (le point 2) et d'hypothèses qui sont encore à tester (les trois autres points). Le premier point me semble introduire une idée qui n'est pas mentionnée explicitement dans le CM2012 mais qui est traitée par ailleurs, celle des « canonical PCK » (Alvarado et al., 2015) ou « indispensable PCK » (Park et al., 2018) : « PCK that is widely agreed upon and formed through research and / or collective expert wisdom of practice » (Smith & Banilower, 2015, p. 90). Cette idée introduit donc une visée normative aux recherches sur les PCK. Ce qui semble être visé, au moins d'après les points cités ci-dessus, est l'émulation de bonnes pratiques grâce à de « bonnes » connaissances. Le contexte de la classe ou les croyances des enseignants peuvent venir modifier la mise en application de ces bonnes connaissances en bonnes pratiques. Le CM2012 est ainsi à la fois un modèle des connaissances nécessaires (les TPKB et les TSPK) et un modèle de fonctionnement de l'enseignant vis-à-vis de ces bases de connaissances par rapport à son agir (les filtres et amplificateurs et les doubles flèches).

1.2.2 LE REFINED CONSENSUS MODEL : UNE SIMPLIFICATION DU CM2012

A la suite de la conférence de consensus de 2012, les chercheurs à l'origine du modèle résultant ont pointé un certain nombre de ses limitations. Une seconde conférence de consensus s'est donc tenue en 2017 afin de produire un nouveau modèle, le « refined consensus model, RCM » (Carlson et al., 2019). D'après ces chercheurs, la principale limitation du modèle de 2012 est que la notion de PCK n'est pas suffisamment précise pour permettre une opérationnalisation du modèle. Un autre problème du modèle de 2012 est que le terme de TSPK a été compris différemment par les chercheurs qui ont construit le modèle. Ainsi, l'équipe de Rollnick a défini cette catégorie de connaissances comme étant spécifiques à un sujet donné (par exemple les équilibres chimiques) en contraste avec des connaissances liées à un domaine¹⁵ (la chimie) et non pas comme des connaissances partagées par une communauté (Mavhunga, 2020; Rollnick & Mavhunga, 2014). Enfin, un autre problème soulevé est celui des connaissances sur les stratégies qu'il est difficile de classer : s'agit-il de connaissances de type Pedagogical Knowledge, TSPK ou bien PCK&S ? Contrairement au modèle de 2012, centré sur la nature des connaissances, le RCM se centre, d'après les auteurs, sur les pratiques des enseignants et trois types de PCK sont distingués (voir Figure 10) :

- les PCK partagées par une communauté de pratique, par exemple les enseignants de physique-chimie en France (collective PCK ou cPCK),
- les PCK personnelles (Personal PCK ou pPCK) qui correspondent à ce qu'un enseignant donné « sait » à propos d'un sujet d'enseignement,
- les PCK mises en œuvre (Enacted PCK ou ePCK) sont les connaissances en jeu lorsqu'un enseignant enseigne ou planifie son enseignement dans un contexte donné à destination d'un ou plusieurs élèves singuliers et dans un but donné.

¹⁴ Voir par exemple Daehler et al. (2015)

¹⁵ Il s'agit en fait des grains de PCK issus du travail de Veal & Makinster (1999)

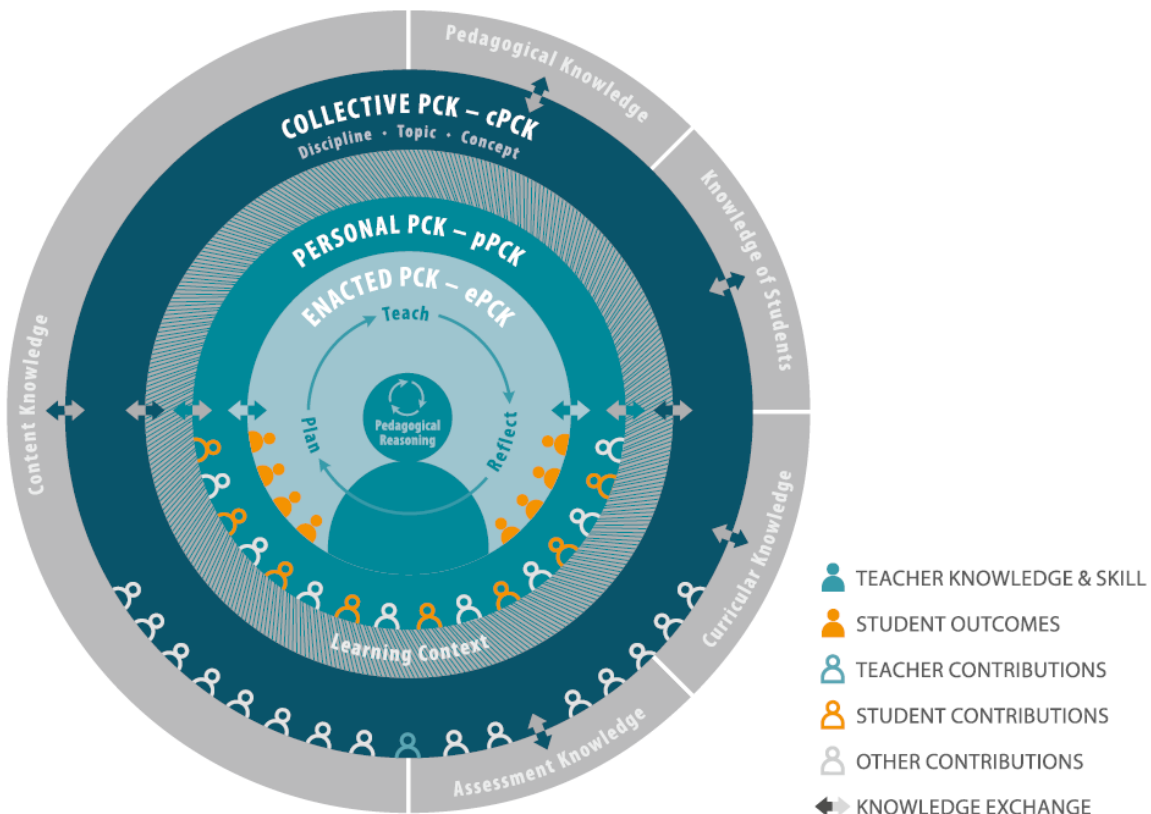


FIGURE 10 : REFINED CONSENSUS MODEL. D'APRES CARLSON ET AL. (2019).

Le modèle prend également en compte d'autres « bases de connaissances » nécessaires pour enseigner les sciences : les « pedagogical knowledge », les « knowledge of students », les « curricular knowledge », les « assesment knowledge » et enfin les « content knowledge ». La taille des représentations des différentes catégories de connaissances sur le schéma laisse penser que leur importance ou bien la « quantité » de ces connaissances n'est pas égale mais rien n'est indiqué explicitement. Les « Content Knowledge », qui occupent la moitié de l'espace dédié aux bases de connaissances, semblent ainsi être plus importantes que les autres connaissances de cette catégorie. Dans la Figure 10, les doubles flèches représentent de l'échange d'information (« Knowledge exchange » en anglais, que l'on peut difficilement traduire par échange de savoir ou de connaissance, si bien que je propose le terme d'« information »). Ces échanges entre différents domaines de connaissances sont filtrés ou amplifiés et finissent par former les pPCK. Les exemples donnés de filtres ou d'amplificateurs sont les attitudes ou croyances des enseignants par rapport aux élèves, à la nature des connaissances scientifiques ou encore au rôle de l'enseignant. Ainsi, il y a échange d'informations lorsque l'enseignant met en œuvre un enseignement dans un contexte donné entre ses pPCK et ses ePCK, cette information étant filtrée ou amplifiée. Les pPCK de l'enseignant peuvent également nourrir les cPCK lorsque l'enseignant parle avec d'autres enseignants ou encore lorsqu'il participe à un groupe de recherche et développement avec des chercheurs en éducation par exemple. Les ePCK et les pPCK sont influencées par les résultats des élèves (« student outcomes »). Notons qu'il y a aussi des « student contributions » qui influencent les connaissances des enseignants. Ce modèle est donc lui aussi à la fois un modèle des connaissances des enseignants en termes de catégories de connaissances et un modèle du fonctionnement de l'enseignant au niveau de ses connaissances

en lien avec des contributions diverses, dont celles des élèves. Le terme de « contribution » reste cependant à définir.

1.2.3 COMMENTAIRES SUR LES MODELES DE CONSENSUS ET LEUR MISE EN ŒUVRE

Ces deux modèles tentent de rendre compte de manière plus ou moins simple dans un seul et même ensemble de la diversité des approches et des objets mobilisés dans les recherches sur les PCK de la fin des années 90 au début des années 2010. Le premier modèle de consensus est complexe de par le nombre de catégories de connaissances et leurs relations multiples avec les autres catégories. De plus, les intitulés des catégories de connaissances ambiguës n'aident pas à distinguer et définir facilement celles-ci. Le second modèle propose moins de catégories et se veut une entrée par les pratiques des enseignants au lieu d'une entrée par les connaissances. Il reste cependant l'idée d'un modèle qui représente les relations entre différentes catégories de connaissances qui sont soit personnelles soit partagées et la présence, lors de l'échange d'information, de filtres ou d'amplificateurs.

Ces modèles ne sont pas directement issus de recherches empiriques (Liepertz & Borowski, 2019) même si les chercheurs impliqués ont mené des recherches empiriques sur les PCK. La réflexion semble avoir été construite au cours du temps, sur des catégories de connaissances sans arrière-plan théorique, les références étant pratiquement exclusivement liées aux travaux sur les PCK. Ces modèles n'ont donc pas été confrontés à d'autres travaux sur les connaissances des enseignants, par exemple le courant du « teacher thinking » (voir par exemple Windschitl, 2003) ou encore le courant du « Nature –ou Vision– of Science » (voir par exemple Erduran & Dagher, 2014). De nombreuses études font référence au CM2012 mais de manière superficielle et rapide (Chan & Hume, 2019). L'étude de Liepertz & Borowski (2019) est une des rares à tester le CM2012. Les résultats montrent que les TSPK n'ont pas d'influence sur l'agir en classe, et que les performances des élèves sont influencées avant tout par l'agir de l'enseignant en classe. Par ailleurs, cette étude montre qu'il y a bien une relation entre les connaissances disciplinaires et les PCK et entre les Pedagogical Knowledge et les PCK.

De manière plus générale et en prenant en compte l'ensemble des recherches sur les PCK depuis le tout début des années 2010, on constate que les objets (les différentes catégories de connaissances) et les méthodes d'étude sont variés. Cela va des tests standardisés de type « papier-crayon » pour l'étude des « canonical PCK » (Park et al., 2018) à l'étude de vidéos de situations de classe (Chan & Yung, 2018) pour l'étude des « enacted PCK » ou à des entretiens (Henze et al., 2008) pour l'étude des « personal PCK ». Ces données peuvent concerner la phase de préparation, de mise en œuvre en classe ou la phase post-enseignement. Ce foisonnement de catégories et de types de PCK rend difficile la comparaison des résultats ou l'établissement de consensus autour de ce que l'on sait à propos des PCK à l'heure actuelle.

1.3 LE MODELE DES « PCK IN CONTEXTS » : UNE PRISE EN COMPTE THEORISEE DE L'AGIR DE L'ENSEIGNANT POUR PENSER LE DEVELOPPEMENT DES CONNAISSANCES

Ce modèle, proposé par Grangeat & Hudson (2015) dans la conclusion de l'ouvrage faisant suite à deux journées d'étude à Grenoble en mars 2015 (Grangeat, 2015), tente de faire la synthèse des différentes contributions à ces journées. Ce modèle s'inspire directement du modèle CM2012 : c'est pour cela qu'il me semble intéressant de le présenter ici, même si les chercheurs impliqués sont tous européens alors que les modèles présentés ci-dessus résultent du travail de chercheurs internationaux, parmi lesquels les chercheurs états-uniens sont néanmoins

fortement représentés. La particularité de ce modèle est, d'une part, de s'inscrire dans une théorie qui permet de penser l'agir de l'enseignant en lien avec les connaissances et, d'autre part, de s'intéresser spécifiquement au développement des connaissances.

Ce modèle reprend l'idée qu'il existe plusieurs catégories de connaissances nécessaires pour enseigner les sciences (voir Figure 11) :

- Les « Content and Topic Specific Pedagogical Knowledge » qui comprennent les connaissances sur les représentations du contenu scientifique, sur la compréhension des élèves, sur les pratiques scientifiques.
- Les « General Pedagogical Knowledge » qui sont composées des connaissances sur l'évaluation et les stratégies d'enseignement.
- Les « Professional Knowledge Bases » constituées des connaissances sur le contenu à enseigner, les connaissances sur les élèves¹⁶ et les connaissances liées au curriculum.
- Les « amplifiers and filters » comprenant les orientations, les croyances, les façons de penser, les connaissances préalables, les connaissances épistémologiques et ontologiques en rapport avec la discipline à enseigner et la charge cognitive liée à la méthode d'enseignement et au contexte.

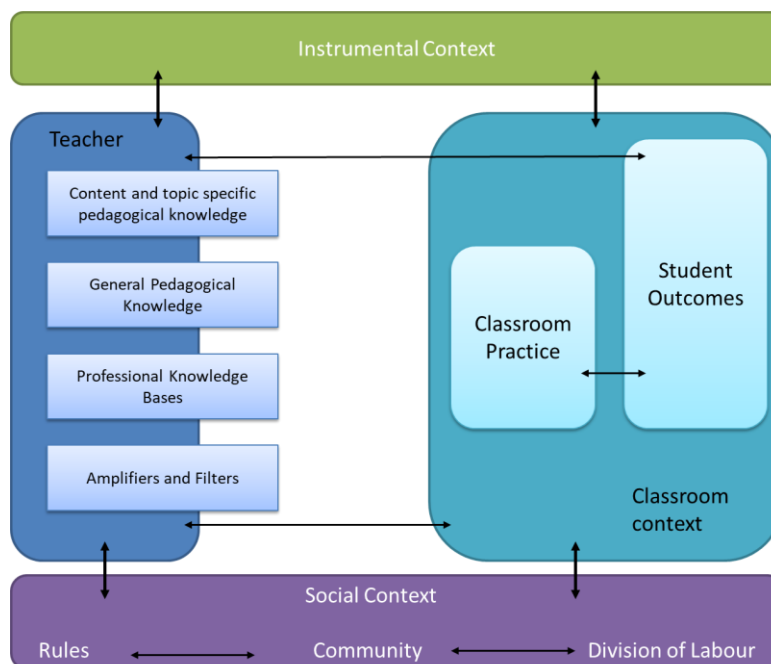


FIGURE 11 : LE MODELE DES PCK IN CONTEXTS D'APRES GRANGEAT ET HUDSON (2015).

L'ensemble de ces catégories de connaissances sont regroupées¹⁷ dans une catégorie nommée « enseignant » (Teacher). En effet, ce modèle, contrairement au CM2012, prend soin de

¹⁶ Il n'est pas évident de voir en quoi ces connaissances sur les connaissances des élèves se distinguent des connaissances sur l'apprentissage des élèves de la première catégorie. De la même façon, la distinction entre les « connaissances des pratiques scientifiques » et l'épistémologie de l'enseignant comme filtre ou amplificateur n'est pas aisée.

¹⁷ On peut penser que les PCK correspondent dans ce modèle à l'ensemble de ces catégories de connaissances, même si elles comprennent des connaissances qui ne sont pas spécifiques d'un contenu disciplinaire.

délimiter, distinguer et préciser ce qui est de l'ordre de l'enseignant et de trois contextes : instrumental, social et celui de la classe. Ces contextes ont été pensés en lien avec la théorie de l'activité telle que développée par Engestrom (2000), qui définit l'activité à l'aide d'un système comprenant un sujet, l'objet de l'activité, les instruments et les artefacts utilisés lors de cette activité, une communauté, une division du travail et des règles (voir Figure 12). Dans le cadre qui nous intéresse, le sujet peut être l'enseignant, l'objet peut être celui d'enseigner les sciences (cet objet peut être spécifié¹⁸ : enseigner la chimie, enseigner l'oxydo-réduction, etc.), la communauté peut comprendre à la fois les élèves d'une classe mais également les autres enseignants de physique-chimie, les autres enseignants de sciences ou l'ensemble des personnes travaillant dans un établissement. Les artefacts comprennent par exemple les manuels scolaires utilisés dans la classe, mais également l'ensemble des instruments liés au savoir (par exemple un graphe représentant l'évolution du pH d'une solution au cours d'un titrage). Dans la théorie de l'activité, les tensions entre les différents pôles du système d'activité sont un des moteurs du développement de l'activité : afin de réduire les tensions, il y a transformation d'un ou de plusieurs de ces pôles¹⁹. En prenant appui sur un point de vue susceptible de rendre compte de l'agir de l'enseignant et de son développement, le modèle des PCK in Contexts se distingue des autres modèles de PCK.

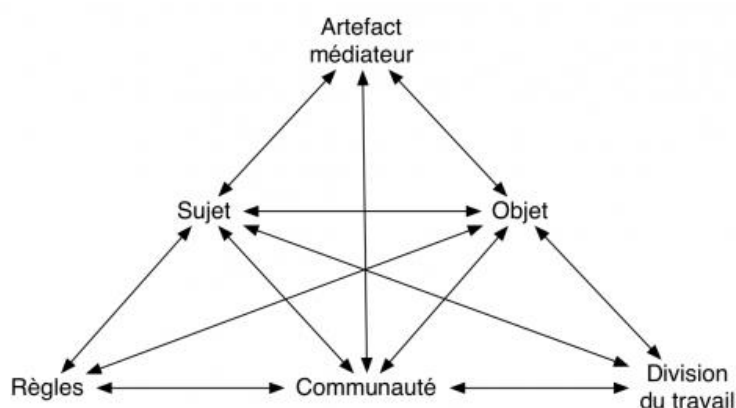


FIGURE 12 : SYSTEME D'ACTIVITE DANS LA THEORIE DE L'ACTIVITE SELON ENGESTROM (2000)

Le premier des contextes apparaissant dans le modèle des PCK in Contexts (voir Figure 11) et celui lié aux instruments (« Instrumental context »), nommés « Artefact(s) médiateur(s) » dans la Figure 12, qui comprennent les manuels scolaires, le matériel expérimental, les outils numériques mais aussi, et de manière plus surprenante, ce qui a trait à la formation des enseignants (initiale ou continue). L'argument qui est avancé par les auteurs du modèle est que la formation des enseignants propose souvent des ressources pour l'enseignement avec comme but de transformer celui-ci.

Le second contexte (« Social context ») correspond à la base du triangle du système d'activité et rend compte du caractère collectif du travail de l'enseignant. Ainsi, la communauté peut désigner, par exemple, l'ensemble des enseignants de physique-chimie ou bien les enseignants

¹⁸ La définition de l'objet du système d'activité n'est pas simple car différents systèmes d'activité peuvent être définis pour rendre compte d'une activité.

¹⁹ La transformation peut concerner le sujet, c'est-à-dire l'enseignant.

d'un établissement toutes disciplines confondues. Les règles sont définies comme les habitudes et les répertoires d'action de la communauté.

Enfin, le dernier contexte (« Classroom context ») correspond à celui de la classe et comprend les pratiques de classe ainsi que les résultats des élèves. Les résultats des élèves sont caractérisés par un ensemble d'items : connaissance sur le contenu ou les méthodes scientifiques, motivation pour les problèmes de la science, etc. Les auteurs ne précisent pas comment ce contexte est porté par la théorie de l'activité.

Dans la théorie de l'activité, les différents éléments du système interagissent entre eux (les interactions sont représentées par les flèches sur la Figure 12). Or, dans le modèle des PCK in Contexts, il n'est pas question d'interactions entre le contexte instrumental et le contexte social²⁰, alors que ce type d'interaction est envisagé dans la théorie de l'activité. Il s'agit peut-être d'un effet du changement de focus opéré dans l'adaptation de ce modèle : l'objet de l'analyse dans la théorie de l'activité est l'activité alors que le modèle des PCK in Contexts est centré sur l'enseignant avec un focus sur ses connaissances.

1.3.1 COMMENTAIRES SUR LE MODELE DES PCK IN CONTEXTS

Une partie des interactions entre éléments du modèle des PCK in Contexts est explicitée grâce au travail de Jameau & Boilevin (2015), qui modélisent le processus d'acquisition des connaissances des enseignants à l'aide d'une double boucle de régulation. Ce modèle, très ancré dans la cybernétique, postule que pour faire face à des situations imprévues, l'enseignant adapte sur le vif son enseignement de manière à atteindre son but. De cette adaptation résultent de nouvelles connaissances. Il s'agit d'une boucle courte de rétroaction car sa temporalité n'excède pas la durée d'une séance de classe. Ces adaptations sur le vif peuvent conduire à une certaine insatisfaction de la part de l'enseignant qui n'a pas pu modifier de manière tout à fait adéquate son enseignement. Cela entraîne une boucle de rétroaction longue au cours de laquelle l'enseignant va réfléchir à ce qui s'est passé pour penser à l'adaptation de son enseignement, ce qui a pour résultat l'acquisition de nouvelles connaissances. Cette boucle de régulation est dite longue car sa temporalité est plus grande que celle d'une séance. Ces deux boucles de régulation permettent d'expliquer, dans le modèle des PCK in Contexts, les interactions entre les « student outcomes » et les « classroom practices » et la manière dont ces interactions sont productrices de nouvelles connaissances. Plus généralement et comme dit plus haut, la théorie de l'activité considère les tensions au sein du système comme le moteur du développement professionnel. En effet, les tensions conduisent à des adaptations des composantes du système et de leurs relations. Parmi elles, l'enseignant peut s'adapter, ce qui peut relever de son développement professionnel ou de l'adaptation de circonstances face à des conflits en termes par exemple de règles et de division du travail etc. C'est de ce point de vue que l'on peut lire, dans le modèle des PCK in Contexts, les flèches à double sens indiquant des interactions entre le contexte instrumental, l'enseignant et le contexte de la classe et entre l'enseignant, le contexte social et le contexte de la classe. Le modèle des PCK in Contexts est donc un modèle des catégories de connaissances de l'enseignant et de leur développement. Ce modèle est ancré dans le modèle de la théorie de l'activité sans que celui-ci soit complètement exploité.

²⁰ Sauf si on considère que l'enseignant est un médiateur entre ces contextes.

Du point de vue de la méthode, une proposition des auteurs du modèle est de considérer les PCK comme composées de quatre éléments : d'un but ou de sous-buts, d'indices, de répertoire d'actions et de savoirs de référence. Cette définition des PCK fait référence aux travaux sur les savoirs-processus menés par Grangeat et Munoz (2011), qui utilisent les entretiens soit sous forme d'autoconfrontation soit avec des traces de l'activité comme support. Les relations entre cette définition des PCK et leur modélisation dans la Figure 11 restent cependant à préciser.

1.4 CONCLUSION SUR LES MODELES DE PCK EN SCIENCE EDUCATION

Pour résumer cette première partie on peut dire que les modèles de PCK, dans le champ des « Science Education » ; présentent entre eux une certaine continuité tout en manifestant un glissement des questionnements :

- Les premiers modèles ont défini *a priori* des catégories de connaissances nécessaires en posant la question de la structure de ces connaissances (comment les catégories s'organisent-elles les unes par rapport aux autres et comment sont-elles à leur tour organisées en composantes).
- Les modèles de consensus ont repris en partie ces catégories et ont défini différents types de PCK (collectives, personnelles, dans l'action). Le questionnement porte sur le « fonctionnement » de ces catégories de connaissances par rapport à l'agir de l'enseignant.
- Le modèle des PCK in Contexts reprend en partie les catégories de connaissances des deux familles précédentes de modèles et en partie le « fonctionnement » de ces catégories en ajoutant plusieurs contextes liés à son agir en lien avec un point de vue théorique sur cet agir, la théorie de l'activité. Le questionnement porte sur le développement des connaissances des enseignants.

Tous ces modèles ont en commun que leurs explicitations laissent une place importante à l'interprétation par les chercheurs. Ceci ne permet guère la comparaison de résultats pour lesquels il n'existe pas de consensus fort et susceptible de constituer une base exploitable pour la formation, notamment.

2 LES PCK EN DIDACTIQUE DES SCIENCES : LA QUESTION DU LIEN ENTRE CONNAISSANCES ET AGIR EN CLASSE

Cette partie présente la façon dont la didactique de tradition francophone s'est emparée de la notion de PCK. La particularité des approches francophones des PCK est de travailler au plan théorique le lien entre connaissances et agir de l'enseignant (Kermen & Izquierdo-Aymerich, 2017). Les recherches présentées ici articulent donc le cadre des PCK avec différents cadres de l'agir de l'enseignant. Ces travaux peuvent être regroupés en trois ensembles :

Dans le premier, les chercheurs considèrent les PCK comme un des déterminants de l'action au sein de la double approche didactique et ergonomique des pratiques (Robert & Rogalski, 2002). Ces recherches sont portées par Kermen (2015, 2018).

Dans le deuxième ensemble, les PCK sont considérées comme un élément d'un schème d'après les travaux de la didactique professionnelle (Pastré et al., 2006; Vergnaud, 2011a). Cette approche est défendue par Jameau (Jameau, 2015 ; Jameau & Boilevin, 2015).

Enfin dans le troisième ensemble, les PCK sont étudiées en lien avec les concepts de contrat et de milieu didactiques tels que définis dans la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy & Mercier, 2007). Cette approche correspond à une partie de mes travaux depuis la thèse (Cross, 2009, 2010, 2017; Cross & Lepareur, 2015) et ne sera pas présentée dans cette partie mais dans la partie 2 de cette note de synthèse, dans laquelle je fais une proposition théorique pour repenser l'étude des PCK. Cette proposition étant fortement en lien avec mes travaux, il m'a semblé plus logique de présenter ceux-ci dans la partie suivante. Ce report de la présentation de mes travaux ne modifie en rien les conclusions que je tire des travaux sur les PCK dans l'approche didactique.

2.1 LES PCK COMME DETERMINANTS DE L'AGIR DANS LE CADRE DE LA DOUBLE APPROCHE DIDACTIQUE ET ERGONOMIQUE

Les travaux de Kermen articulent les PCK avec le cadre de la double approche didactique et ergonomique des pratiques (DADE), qui s'inscrit dans la théorie de l'activité. Développée dans le cadre de la didactique des mathématiques, la DADE cherche à modéliser l'agir de l'enseignant comme celui d'un individu soumis à des déterminants multiples. Il s'agit donc d'étudier à la fois ce qui contraint l'agir mais aussi les marges de manœuvre de l'enseignant à l'intérieur de cet espace des contraintes. L'analyse consiste à repérer des invariants dans l'agir d'un enseignant ou des différences entre plusieurs enseignants ayant des contraintes similaires. Pour Kermen (2018), les PCK permettent de rendre compte, en partie, des variations individuelles au sein de l'espace des contraintes.

2.1.1 PRESENTATION DE LA DADE

L'agir de l'enseignant peut être décrit comme constitué de cinq composantes : les composantes médiative et cognitive, qui correspondent à l'activité de choix et de mise en œuvre des tâches à faire faire aux élèves, et les composantes, sociale, institutionnelle et personnelle qui influencent cette activité.

L'analyse de l'agir de l'enseignant en classe est réalisée en tenant compte les deux premières composantes, cognitive et médiative. D'après Robert & Rogalski (2002), la composante cognitive « *résulte de l'analyse de ce que l'enseignant planifie pour agir sur les connaissances mathématiques des étudiantes et étudiants. Quels savoirs vont être travaillés ? Quels itinéraires cognitifs a-t-il choisi pour ses élèves ?* » (Robert & Rogalski, 2002. p. 513). La composante cognitive est donc attachée à la planification de l'enseignant en termes de tâches pour ses élèves. La composante médiative, quant à elle, est liée à l'activité en classe du point de vue des interactions entre les acteurs de la classe. Il s'agit notamment de rendre compte de la façon dont l'enseignant organise les interactions entre les élèves, de la manière dont et du moment auquel l'enseignant répond aux questions des élèves ou apporte son aide lors des activités, de la façon dont les élèves sont mis au travail. C'est l'articulation de ces deux premières composantes qui permet de reconstruire les logiques d'action de l'enseignant.

Comme dit plus haut, la DADE ne cherche pas seulement à rendre compte de la logique d'action de l'enseignant mais à comprendre comment celle-ci s'insère dans un réseau de contraintes afin de définir la « marge de manœuvre » des enseignants. Les composantes sociale et institutionnelle rendent compte des contraintes liées au métier d'enseignant et qui pèsent de la même façon sur l'ensemble des individus. Parmi les contraintes institutionnelles, on peut citer les programmes, les examens nationaux (brevet ou baccalauréat, par exemple) ou encore l'ensemble des obligations vis-à-vis de l'institution, des parents ou de l'établissement scolaire.

En ce qui concerne la composante sociale, il s'agit de rendre compte des aspects sociaux des pratiques : l'ensemble des normes et des habitudes liées à une communauté de pratiques, la nécessité d'apparaître légitime vis-à-vis de ses collègues mais aussi de ses élèves. Cette légitimité peut avoir des conséquences sur les apprentissages en classe en facilitant, par exemple, l'enrôlement des élèves dans de nouvelles activités. Même si l'on peut envisager que les composantes sociale et institutionnelle contraignent uniformément les individus, les pratiques sont toujours singulières, en partie car chaque enseignant a une histoire, une expérience, des conceptions qui lui sont propres. La composante personnelle rend compte de ces expériences passées et de l'adaptation de l'individu face au réseau de contraintes en fonction de ses objectifs.

A partir de ces cinq composantes, la DADE cherche à rendre compte de la cohérence de l'agir de l'enseignant au-delà de ce qui semble contradictoire. En effet, une des hypothèses qui fonde ce cadre est que les pratiques sont organisées et cohérentes. Cette cohérence est à chercher à travers une analyse à plusieurs niveaux d'organisation de l'agir : microscopique, local ou global.

2.1.2 PCK ET DADE

Kermen propose d'utiliser ce cadre d'analyse de l'agir de l'enseignant afin de traiter de la question des connaissances de l'enseignant sous l'angle des PCK. Pour cela, elle propose une articulation entre le cadre des PCK et la DADE. Pour les PCK, c'est principalement aux modèles de Shulman (1986) et de Magnusson et al. (1999) qu'il est fait référence. Les connaissances sur le contenu disciplinaire à enseigner (SMK) sont distinguées des PCK et des connaissances pédagogiques (PK). Pour Kermen, l'ensemble de ces connaissances fait partie de la composante personnelle de la DADE. On comprend en effet qu'il paraît « naturel » d'inclure les PCK, les SMK et les PK dans cette composante puisque cette dernière est décrite comme ensemble des conceptions des enseignants, les conceptions dénommant les « opinions, convictions, connaissances, compétences, expériences en matière d'apprentissages passés... » (Robert & Rogalski, 2002. p. 517).

Les PK se distinguent des PCK comme connaissances qui ne sont pas spécifiques d'un contenu donné. L'exemple donné dans Kermen (2018) est celui « de faire travailler les élèves en binôme de TP²¹ » car cette connaissance s'applique aussi bien pour enseigner l'électricité que la chimie. En suivant Morine-Dershimer & Kent (1999), Kermen propose des composantes de PK :

- Les connaissances des stratégies et modèles d'enseignement (PK-stratégies).
- Les connaissances sur la gestion et l'organisation de la classe (PK-gestion).
- Les connaissances relatives à la communication et au discours de classe (PK-discours).

En termes de PCK, deux composantes-clés du modèle de Magnusson et al. sont retenues par Kermen :

- Les connaissances des difficultés et de la compréhension qu'ont les élèves du contenu étudié (PCK-élèves).
- Les connaissances des stratégies d'enseignement qui permettent aux élèves de comprendre le contenu en question ou de surmonter leurs difficultés (PCK-stratégies).

²¹ Cet exemple n'est pas formulé en termes de connaissances par Kermen, il s'agit ici d'une action de l'enseignant.

Une relation, assez directe, entre les composantes de PCK et PK et les composantes médiative et cognitive de la DADE est proposée sous forme d'hypothèse. Ainsi, les connaissances sur le contenu (SMK), la composante liée au programme des PCK (PCK-programme) et les PK-stratégies sont liées à la composante cognitive car ces connaissances sont « activées²² » lors de la préparation d'un enseignement. La mise en œuvre de la séance « sollicite » des PK-stratégies, des PCK-stratégies, des PK-discours et des PK-gestion.

Enfin, Kermen (2018) distingue les connaissances tacites des connaissances exprimées :

- Les connaissances tacites sont associées aux connaissances en acte (concepts et théorèmes en acte) de Vergnaud (2011), et l'auteure ajoute que « *les actions de l'enseignant peuvent être sous-tendues par une pensée inexprimée ou des raisons informulées* » (Kermen, 2018. p. 133).
- Au sujet des connaissances non-tacites, l'auteure ajoute : « *une analyse des commentaires de l'enseignant sur ses actions peut fournir des connaissances exprimées* » (Kermen, 2018. p. 133).

2.1.3 UN EXEMPLE DE LA MISE EN ŒUVRE DE L'ARTICULATION ENTRE DADE ET PCK

L'étude présentée par Kermen (2018) repose sur une étude de cas de deux enseignants de physique-chimie en Terminale lors d'un enseignement sur les piles : l'un est un enseignant novice à ce niveau de classe alors que l'autre a plusieurs années de pratique en Terminale à son actif. L'objectif de cette recherche est de documenter les liens entre PCK et PK, question qui n'a que très peu été étudiée d'après l'auteure. Les données sont constituées principalement par des données filmiques de situations de classe ainsi que d'entretiens d'autoconfrontation. Un premier volet de l'étude consiste en l'analyse de la pratique de ces deux enseignants selon la DADE. Cette analyse fait apparaître des logiques d'action contrastées entre les deux enseignants. L'activité de l'enseignant novice est principalement orientée vers les objectifs suivants : faire réaliser avec succès les manipulations par les élèves afin de les préparer pour l'examen et faire produire des traces écrites des résultats et manipulations. Pour cela, l'enseignant guide beaucoup les élèves au détriment de leurs modalités de raisonnement. Pour Kermen, cette mise en œuvre est le signe d'une tension entre composante institutionnelle et composante personnelle²³. L'activité de l'enseignante expérimentée vise à promouvoir le questionnement des élèves afin d'accomplir les tâches prescrites. L'expression individuelle des raisonnements d'élèves est favorisée tout en permettant la poursuite de la réflexion. L'enseignante fait part de tensions entre les composantes médiative et cognitive.

En prenant deux enseignants soumis aux mêmes contraintes sociales et institutionnelles (deux enseignants de Terminale enseignant le même sujet), Kermen peut ainsi explorer la marge de manœuvre des enseignants et en inférer des constituants de la composante personnelle. Il s'agit donc d'interpréter les différences entre les mises en œuvre de ces deux enseignants en termes de composantes de PCK et de PK. Ainsi, l'enseignante expérimentée aurait des PK plus variées

²² Les termes « activer » et « solliciter » sont ceux utilisés dans Kermen (2018). Je discute dans le chapitre 2 du choix de ces termes.

²³ Il n'est pas évident dans cette recherche de distinguer ce qui tient de la composante personnelle.

ainsi que davantage de PCK (notamment des PCK-élèves comme de prévoir des erreurs d'élèves et des PCK-stratégies comme de faire expliciter des raisonnements d'élèves) car elle met en œuvre un répertoire pédagogique plus varié. L'analyse des entretiens d'autoconfrontation amène Kermen à nuancer la relation entre l'agir en classe et les PCK puisqu'elle indique qu'il ne suffit pas de connaître des stratégies pour les mettre en œuvre, il faut également se sentir capable de les conduire et avoir la volonté d'agir.

2.2 LES PCK COMME UN ELEMENT D'UN SCHEME

Jameau (Jameau, 2015; Jameau & Boilevin, 2015) articule le cadre des PCK avec la notion de schème telle que proposée par Vergnaud (2011a). En faisant appel à la didactique professionnelle (Pastré et al., 2006), Jameau propose une focalisation sur l'activité du professeur plutôt que sur les savoirs comme cela est le cas dans les didactiques disciplinaires (Jameau, 2015). Il s'agirait ainsi, pour l'auteur, d'étudier les conditions d'accession à une connaissance pour les didactiques disciplinaires alors que pour la didactique professionnelle, l'analyse porte sur les conditions de déploiement de l'activité. Jameau note cependant que dans les deux approches, il y a des connaissances et de l'activité en jeu.

2.2.1 PRESENTATION DU MODELE DU SCHEME

Le concept central de la didactique professionnelle permettant de faire le lien entre l'agir et les connaissances est le schème, défini comme une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations données (Vergnaud, 2011a). Il est composé de quatre éléments : les buts, sous-buts et anticipations ; les règles d'action, de prises d'information et de contrôle ; les invariants opératoires (concepts et théorèmes en acte) ; les inférences.

- Les buts sont organisés hiérarchiquement en sous-buts et anticipations. Cette première composante rend compte de l'intention de l'acteur.
- Les règles d'action constituent la partie proprement générative du schème, celle qui engendre au fur et à mesure le décours temporel de l'activité ; les règles engendrent aussi bien les prises d'information et les contrôles que les actions matérielles elles-mêmes.
- Les invariants opératoires forment la partie la plus directement épistémique du schème, celle qui a pour fonction d'identifier et de reconnaître les objets, leurs propriétés, leurs relations, et leurs transformations. La fonction principale des invariants opératoires est de prélever et de sélectionner l'information pertinente et d'en inférer des conséquences utiles pour l'action, le contrôle et la prise d'information subséquente. C'est une fonction de conceptualisation et d'inférence.
- Concernant les inférences, l'activité en situation n'est jamais automatique, mais au contraire régulée par les adaptations locales, les contrôles, les ajustements progressifs. Les inférences sont présentes dans toutes les activités en situation parce qu'il n'arrive jamais qu'une action soit déclenchée par une situation-stimulus puis se déroule ensuite de manière totalement automatique, c'est-à-dire sans contrôle et sans nouvelle prise d'information.

2.2.2 L'ARTICULATION SCHEME/PCK

Pour Jameau, « *c'est dans les invariants opératoires que vont se retrouver les connaissances des enseignants* » (Jameau, 2015, non paginé). Ces connaissances des enseignants sont catégorisées grâce au cadre des PCK. Il s'agit de la première génération de modèles des PCK qui distingue les PCK, les PK (Pedagogical Knowledge), les SMK (Science Matter Knowledge, connaissances sur le

contenu à enseigner) et les KofC (Knowledge of Context, connaissances sur le contexte). Le modèle de Magnusson et al. (1999) est utilisé pour catégoriser les PCK en composantes. Enfin, Jameau précise que c'est la forme opératoire des connaissances qui est utilisée dans l'action et que celle-ci est en décalage avec la forme prédicative sans apporter plus d'informations sur les formes opératoire ou prédicative ni sur ce décalage. Il en déduit que l'étude des connaissances à partir de l'action est difficile car ces connaissances sont implicites.

L'originalité du travail de Jameau est d'étudier l'évolution des connaissances des enseignants en fonction de l'activité déployée grâce au concept de boucle de régulation. Ses questions de recherche portent sur le type de connaissances mobilisé par l'enseignant, l'évolution de ces connaissances au cours de l'activité et la manière dont les connaissances participent à l'organisation de l'activité et de sa conduite.

Pour ce qui est de la méthode, les données sont constituées d'enregistrements vidéo en classe sur deux années consécutives chez deux enseignants expérimentés, de plusieurs entretiens avec les enseignants (avant la séance et autoconfrontation) et des journaux de bords des enseignants qui recueillent des traces de leurs activités de préparation et d'analyse des séances.

2.2.3 PRINCIPAUX RESULTATS

Les résultats du travail de Jameau montrent une intrication forte entre les SMK, les KofC et les PCK dans la mise en œuvre en classe pour ces deux enseignants. D'après l'auteur, la distinction entre les PCK de type « difficultés d'élèves » et « stratégies » est difficile à faire et ce qui constitue une stratégie n'est pas clair. Au vu de ces analyses, Jameau avance l'idée de PCK qui font système, ce qui pose la question du grain de l'analyse car, pour Vergnaud (2011), ce sont les schèmes qui sont organisés et non pas les éléments du schème. Les analyses montrent également que certaines connaissances sont liées à la régulation de l'activité alors d'autres sont liées à la sélection et au prélèvement de l'information pertinente. Enfin les résultats, montrent que les boucles de régulation sont initiées par de nouvelles PCK de type « difficultés d'élèves ».

2.3 CONCLUSION SUR LES APPROCHES DIDACTIQUES DES PCK

Pour résumer, les deux approches ci-dessus articulent les cadres de Grossman (1990) et Magnusson et al. (1999) avec des théories de l'agir enseignant. Ces deux approches tentent de prendre en charge la relation entre agir et connaissances à travers le concept de schème ou de déterminant de l'agir. Les travaux plus récents sur les PCK ne sont pas mobilisés²⁴, peut-être parce qu'ils mobilisent déjà un modèle du fonctionnement de l'enseignant qui n'est pas cohérent avec la notion de schème ou le cadre de la DADE. Les méthodes reposent sur des études de cas, des enregistrements vidéo et des entretiens avec l'enseignant. Au vu du peu d'études menées et de la variété des approches, il est difficile de dégager des résultats généraux.

3 LES METHODES D'ETUDE DES PCK

Comme présenté au fil du texte des deux premières parties de ce chapitre, les méthodes d'étude des PCK sont variées. La question de savoir comment les PCK peuvent / doivent être étudiées

²⁴ Le RCM est postérieur aux travaux de Jameau et de Kermen, le CM2012 est contemporain avec les recherches de Jameau et Kermen, ce qui explique en partie pourquoi ces modèles n'ont pas été mobilisés.

reste vive dans la communauté des Science Education et celle de la didactique des sciences. Cependant, la question de la méthode est abordée presque exclusivement sous l'angle du type de données et très rarement du point de vue de leur traitement. Ainsi, après avoir présenté les types de données couramment utilisés, je montrerai comment les débats sur la méthodologie renvoient à des problèmes de définition des PCK plutôt qu'à des problèmes proprement méthodologiques.

3.1 LES TYPES DE DONNEES

Dans leur revue de littérature sur les PCK en Science Education, Chan & Hume (2019) distinguent cinq types de données qui sont utilisés dans ces recherches :

- Les questionnaires et test : questions ouvertes ou fermées, tests demandant aux enseignants de lister les difficultés d'élèves concernant un sujet, affirmations concernant l'enseignement d'un sujet avec échelle d'accord...
- Entretiens : la plupart du temps, il s'agit d'entretiens semi-structurés avec un enseignant. La plupart de ces entretiens sont structurés grâce aux catégories du modèle de Magnuson et al. (1999). Il est parfois demandé aux enseignants de décrire leur « meilleure » séance ou bien de parler d'une séance en particulier.
- Artefacts : il s'agit de documents de natures diverses comme par exemple les fiches des préparations, des productions d'élèves ou des traces écrites de réflexion des enseignants à propos de leur enseignement.
- Observations en classe : la plupart du temps, il s'agit de données filmiques.
- Autres types de données : journal de bord d'enseignant, discussions enregistrées entre enseignants (tuteur et stagiaire par exemple), enregistrements audio ou vidéo de formation d'enseignants...

Deux points de discussion sont soulevés par Chan & Hume (2019). Premièrement, une partie non négligeable des études n'utilise qu'un seul type de données, ce qui, selon les auteures, ne permet d'étudier qu'un aspect limité des PCK (sans que l'on sache exactement en quoi les données peuvent limiter l'étude des PCK). Deuxièmement, les articles étudiés ne mentionnent que rarement la manière dont les données sont utilisées pour étudier les PCK²⁵ : est-ce qu'il s'agit de fournir des éléments de contexte ou bien d'envisager une triangulation des données pour reconstruire des PCK ?

Cette revue de littérature ne prend pas en compte les approches didactiques ni le modèle des PCK in Contexts car ces études ne rentrent pas dans son périmètre. Il est difficile de parler des types de données pour le modèle des PCK in Contexts puisque celui-ci a été construit à partir d'un éventail d'études variées du point de vue des méthodes. Concernant l'articulation DADE / PCK et Schème / PCK, les données sont constituées d'enregistrements vidéo en classe et d'entretiens d'autoconfrontation.

²⁵ La discussion sur les aspects méthodologique est ainsi centrée sur le type de données mais très rarement sur le traitement de ces dernières.

3.2 DONNEES DECLARATIVES VS. TRACES DE L'AGIR POUR ETUDIER LES PCK : UN PROBLEME DE DEFINITION DES PCK

Dans l'ensemble des recherches sur les PCK, il semble exister une distinction sur la façon de prendre en compte les données d'ordre déclaratif et celle liées aux traces de l'agir de l'enseignant. Cependant, cette distinction ne répond pas aux mêmes problématiques dans les recherches en Science Education et dans les travaux relevant d'approches didactiques.

3.2.1 EN SCIENCE EDUCATION

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (voir ci-dessous), extraite du travail de Chan & Hume (2019) propose de distinguer ce que les enseignants « savent » (knowing that), ce que les enseignants « font » (knowing how + knowing when, where and how) et les raisons de faire (knowing why) et de faire correspondre ces catégories à des types de données. Deux approches sont distinguées dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** selon que l'on part de données autorapportées²⁶ (« self-reports ») ou des traces de l'agir²⁷ (« Performance in teaching tasks »).

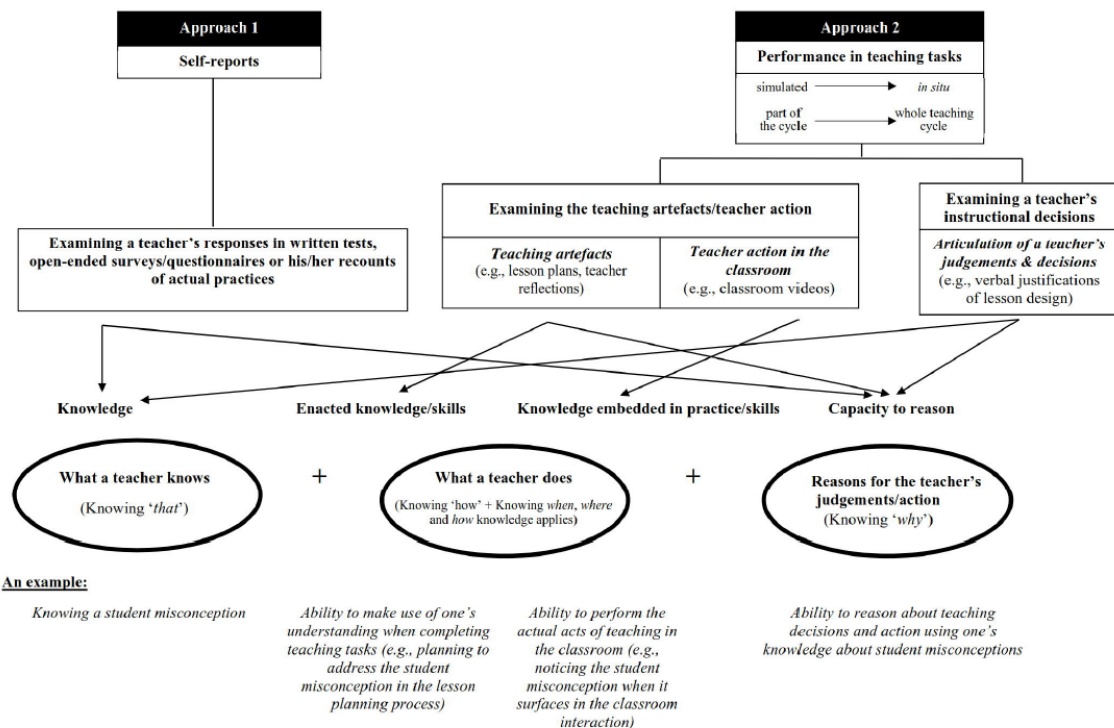


FIGURE 13 : VUE SYNTHETIQUE DES TYPES DE DONNEES RECUEILLIES DANS LES RECHERCHES SUR LES PCK D'APRES CHAN ET HUME (2019).

Certains chercheurs, notamment Baxter & Lederman (2002), avancent que l'on ne peut étudier les PCK à partir de l'agir de l'enseignant car cela ne rend pas compte de tout ce qu'il sait (il peut

²⁶ qui sont essentiellement des données déclaratives.

²⁷ Le terme de « performance » désigne en anglais aussi bien la « performance » que la « réalisation » ou encore la « prestation ». Etant donné qu'il s'agit ici de parler des données, il me semble plus judicieux de parler de traces de l'agir.

savoir des choses sans pour autant les mettre en œuvre dans une situation précise). Dans ce cas, les chercheurs privilégient les méthodes déclaratives pour le recueil de données (Cross, 2010). Alonzo et al. (2012), de leur côté, pointent le fait que seules les PCK qui sont mises en œuvre en classe ont de l'importance si l'on veut rendre compte de la relation entre connaissances des enseignants et efficacité de l'enseignement (mesurée du point de vue des apprentissages des élèves). Dans ce cas, c'est l'étude de l'agir *in situ* qui est privilégiée pour pouvoir inférer les connaissances en jeu dans une situation donnée. Les arguments avancés, que ce soit en faveur de l'un ou l'autre des points de vue ci-dessus, sont cohérents avec l'idée que l'enseignant dispose d'un répertoire de connaissances dans lequel il peut venir puiser lors de la préparation de son enseignement ou bien en classe.

Ainsi, dans les travaux en Science Education, la question méthodologique renvoie à une finalité des études sur les PCK (« what teacher knows », « what teacher does » et « reasons for the teacher's judgement/action »), ce qui peut potentiellement renvoyer à des définitions différentes des PCK : est-ce que les PCK renvoient à l'ensemble de ce que l'enseignant « connaît », de ce qu'il est capable de faire ou de ce qu'il est capable d'expliquer ou de justifier ? Ces questions seront abordées dans le chapitre suivant.

3.2.2 DANS LES RECHERCHES EN DIDACTIQUES DES SCIENCES

A propos des approches didactiques, Kermen (2018) et Jameau (2015) pointent que certaines connaissances sont « tacites » ou « implicites », ce qui rend leur étude difficile. Jameau (ibid) précise que « [le] 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 » (Jameau, 2015, non paginé).

Kermen, quant à elle, distingue les connaissances tacites des connaissances exprimées :

- Les connaissances tacites sont associées aux connaissances en acte (concepts et théorèmes en acte) de Vergnaud, et l'auteure ajoute que « les actions de l'enseignant peuvent être sous-tendues par une pensée inexprimée ou des raisons informulées » (Kermen, 2018, p ; 133).
- En ce qui concerne les connaissances non-tacites, l'auteure ajoute : « une analyse des commentaires de l'enseignant sur ses actions peut fournir des connaissances exprimées » (ibid.).

Les autoconfrontations permettent à ces chercheurs de se focaliser sur la « forme prédicative » des connaissances (Jameau) ou sur les connaissances exprimées (Kermen). Or, penser un décalage entre formes opératoire et prédicative (ou exprimée et tacite) est contradictoire avec le projet de Vergnaud (2011) et plus généralement les approches de type « activité ». En effet, pour Vergnaud, il ne s'agit pas de minimiser la part de la conceptualisation dans l'efficacité de l'action, et celle de l'action dans l'élaboration théorique. A cette fin, le concept de schème permet de faire le lien entre ce que Vergnaud appelle le versant prédicatif et le versant opératoire de la connaissance, sans les opposer (Pastré et al., 2006) :

- Le versant prédicatif ne se résume pas à être explicite ou non (même si ce versant a besoin du langage pour s'exprimer) mais concerne plutôt l'identification dans le réel des objets, des propriétés et des relations entre les objets et les propriétés.
- Le versant opératoire est à l'œuvre lorsque que l'on prélève les informations qui vont permettre une bonne adaptation de l'agir à la situation.

A ces deux versants de la connaissance sont respectivement associés deux buts : connaître pour mieux comprendre ou connaître pour mieux agir, il y a une circulation incessante entre les versants opératoire et prédicatif des connaissances. Etudier l'agir de l'enseignant nécessite ainsi, selon ce point de vue, de prendre en compte les deux versants de la connaissance, prédicatif et opératoire, l'un ne pouvant être étudié indépendamment de l'autre.

4 CONCLUSION SUR LES MODELES DE PCK

Les modèles de PCK renvoient à des définitions variées des connaissances des enseignants :

- des connaissances « canoniques »,
- des connaissances partagées par une communauté de pratiques,
- des connaissances personnelles,
- des connaissances mises en œuvre.

Plusieurs finalités peuvent également être associées aux recherches sur les PCK (Chan & Hume, 2019) :

- comprendre la structure des connaissances des enseignants (la manière dont les catégories et composantes sont organisées et leurs relations),
- comprendre l'agir de l'enseignant (hors ou en classe) du point de vue de ses connaissances,
- comprendre les décisions de l'enseignant.

Les données mobilisées sont variées : entretiens, tests type papier-crayon, vidéo en classe ou lors de préparations de classe. Enfin les travaux sur les PCK ont été fortement centrés sur les modèles et les méthodes d'étude (qui se limitent au choix des données et à leur catégorisation comme modalité de traitement), dont l'exploitation systématique en termes de résultats faisant consensus se fait attendre.

CHAPITRE 2 : DISCUSSION SUR LES DIFFERENTS MODELES

Ce chapitre discute de la multiplicité des objets dans les modèles de PCK. Certains de ces objets renvoient à une définition des PCK (savoir, connaissance ou compétence) et d'autres à la façon dont les PCK sont définies en rapport avec l'agir de l'enseignant en contexte. La dernière partie de ce chapitre pointe la nécessité d'une nouvelle approche des PCK.

1 LA PREMIERE FAMILLE DE MODELES DES PCK : ENTRE CONNAISSANCES NECESSAIRES POUR ENSEIGNER ET CONNAISSANCES PERSONNELLES DES ENSEIGNANTS

Comme indiqué dans l'introduction, le courant de recherche sur les PCK trouve son origine dans les travaux de Shulman, l'article de 1986 (Shulman, 1986) étant presque systématiquement cité dans les travaux sur les PCK. Cet article propose des catégories de connaissances professionnelles de l'enseignant afin de penser les façons dont les enseignants sont recrutés et formés. Pour Shulman, la particularité de l'enseignant est de développer une catégorie spécifique de connaissances à travers la transformation des connaissances sur le contenu disciplinaire et les connaissances pédagogiques générales : les PCK. Sur ce dernier point, Shulman précise que les PCK se développent grâce à l'expérience et représentent un « savoir-faire » spécifique de l'enseignant sans que ne soit précisé ce qui permet de favoriser le développement de ces connaissances ni leur lien à l'agir de l'enseignant en classe.

Tamir (1988) et Grossman (1990) vont reprendre et développer le modèle de Shulman pour penser des formations d'enseignants. Pour Grossman, il s'agit de comparer six enseignants d'anglais, trois diplômés d'un programme d'éducation professionnel (« graduates of a professional educational program ») et trois qui n'ont pas de formation professionnelle. Pour Tamir, il s'agit de proposer un modèle en s'appuyant sur des formations initiales d'enseignants à travers plusieurs pays, dont un programme de formation mené par l'auteur. C'est à partir des considérations sur les connaissances à proposer en formation initiale, autrement dit des connaissances nécessaires pour enseigner, que sont nées les propositions de modèles de ces deux chercheurs. Le modèle de Magnusson et al. (1999) s'inspire directement du travail de Tamir et Grossman mais, pour proposer un modèle de connaissances personnelles de l'enseignant, c'est-à-dire de ce que l'enseignant doit / peut mobiliser pour enseigner. Ces connaissances sont personnelles dans le sens où elles sont influencées et influencent « l'orientation pour l'enseignement des sciences », qui est variable selon chaque enseignant. De plus dans leur article de 1999 (Magnusson et al., 1999), les auteurs précisent : « PCK is a teacher's understanding of how to help students understand specific subject matter ».

Cette distinction entre connaissances à proposer en formation et connaissances personnelles de l'enseignant est prise en charge, dans les travaux francophones de didactique, par les notions de savoir et de connaissance. Pour Margolinas (2014), un savoir est « *une construction sociale et culturelle, qui vit dans une institution (Douglas, 2004) et qui est par nature un texte (ce qui ne veut pas dire qu'il soit toujours matériellement écrit). Le savoir est dépersonnalisé, décontextualisé, détemporalisé, il est formulé, formalisé, validé et mémorisé.* » Une connaissance est « *ce qui réalise l'équilibre entre le sujet et le milieu, ce que le sujet met en jeu quand il investit une situation* » (Margolinas, 2014, non paginé). Autrement dit, une connaissance est d'ordre personnel alors

que le savoir est collectif, est systématiquement représenté et est validé par une communauté (scientifique ou de pratique). En anglais, le terme de « knowledge » peut faire référence indistinctement à un savoir ou à une connaissance.

Pour revenir aux travaux de Shulman, ils font à la fois référence à des savoirs et à des connaissances. En effet, à propos des savoirs, Shulman s'intéresse, dans son article de 1986, aux institutions et aux éléments reconnus comme nécessaires pour enseigner en regardant les concours de recrutement des enseignants aux États-Unis en fonction des périodes. De plus l'utilisation du terme de « knowledge base » pour désigner ce sur quoi s'appuie l'enseignant et qui vient nourrir les PCK semble renforcer l'idée que l'on est bien en train de traiter de savoirs, les textes des concours faisant ressortir des catégories de savoirs (assimilées à des knowledge bases) reconnus comme valides et nécessaires pour enseigner. Cependant, selon Shulman, les PCK désignent quant à elles le produit d'une transformation de SMK et de PK à des connaissances particulières, à travers l'agir de l'enseignant. Les PCK font donc référence dans ce cas à des connaissances (personnelles à chaque enseignant, l'agir étant individuel). Il y a donc, dès le début des travaux sur les PCK une ambiguïté sur le modèle : il s'agit à la fois d'un modèle des savoirs pour exercer la profession d'enseignant et un modèle des connaissances personnelles des enseignants. Il n'est donc pas étonnant que cette ambiguïté se retrouve dans la suite des travaux sur les PCK, d'autant plus que la distinction entre savoir et connaissance n'est pas discutée dans la littérature dans la première période (des années 80 au premier modèle de consensus au début des années 2010) même si certains auteurs proposent de distinguer différents types de PCK. Par exemple, van Dijk & Kattmann (2007) proposent de définir les « Personnel PCK » comme des PCK individuelles qui sont propres à chaque enseignant (elles sont donc à rapprocher des connaissances) et les « Reference PCK » comme des PCK qui sont partagées par une communauté et font référence pour celle-ci (ce qui correspond à des savoirs). De manière générale, il y a donc une confusion dans ces travaux entre savoirs et connaissances, ce qui n'aide pas à comparer les résultats de la recherche : certaines s'intéressant à des savoirs, d'autres à des connaissances. Cette distinction est prise en charge par les deux modèles de consensus mais ceux-ci font apparaître à leur tour d'autres ambiguïtés en lien avec l'agir.

2 LES MODELES DE CONSENSUS : ENTRE MODELE DE SAVOIRS ET/OU DE CONNAISSANCES ET MODELE DE L'AGIR DE L'ENSEIGNANT

Les deux modèles de consensus²⁸ distinguent les connaissances personnelles (Personal PCK, Personal PCK&skills ou Enacted PCK) des connaissances partagées²⁹, que l'on peut qualifier de savoirs (Knowledge Base, Collective PCK, Topic Specific Professional Knowledge). En plus de distinguer savoirs et connaissances, ces modèles proposent aussi de prendre en charge le passage des savoirs à des connaissances et inversement selon une logique cybernétique. La cybernétique est issue de travaux sur l'information et la communication aux États-Unis au milieu du 20^{ème} siècle. Ces travaux avaient pour but de modéliser et de mathématiser la communication et ont conduit à penser de la même façon les machines et le vivant comme des systèmes en

²⁸ Pour ce qui est du CM2012 je m'appuie sur la seule Figure 8.

²⁹ Le modèle reste évasif sur la communauté qui partage ces connaissances : il peut s'agir d'une communauté d'enseignants ou bien de chercheurs.

équilibre avec leur environnement. Afin d'assurer cet équilibre, le système est soumis à des boucles de rétroaction. Ce qui est échangé dans ces boucles est de l'information, cette information est utilisée par le système afin de réguler son action. Le contexte est pris en compte, principalement de deux façons : d'une part, il permet les rétroactions et, d'autre part, il est susceptible de produire du bruit lors de la transmission de l'information (le milieu extérieur vient altérer le signal). Dans le CM2012, le contexte est pris en charge de plusieurs manières : dans les filtres et amplificateurs et en tant que « Classroom Context » de la catégorie « Classroom Practice³⁰ ». Le contexte en tant qu'élément des filtres et amplificateurs vient modifier l'information et expliquerait ainsi par exemple pourquoi il peut y avoir un écart entre ce que sait un enseignant (que ce soient des connaissances relevant des « Teacher's Pedagogical Knowledge Base » ou des « Teacher's Specific Pedagogical Knowledge ») et ce qu'il fait (les « Personal PCK/PCK&S »). Le milieu extérieur correspond aux « Student Outcomes », qui permettent une boucle de rétroaction venant modifier potentiellement l'ensemble des éléments du système. De manière plus surprenante, il existe dans ce modèle des boucles de rétroactions à l'intérieur même du système qui semble agir dans les deux sens (présence systématique de doubles flèches entre les catégories de connaissances). La multiplicité des doubles flèches dont le sens n'est pas explicite et la présence du contexte à plusieurs endroits du modèle rendent sa lecture et la compréhension du fonctionnement des catégories de connaissances hasardeuse.

Les auteurs du modèle présenté ici ne font pas directement référence aux travaux de la cybernétique et cependant, les termes de filtre et d'inhibiteur font référence aux concepts du traitement de l'information. De plus, l'idée d'une boucle de rétroaction en appui avec le milieu extérieur dans le modèle laisse penser que celui-ci s'inspire directement de ce courant de pensée. Toutefois, un certain nombre de questions ne sont pas traitées, indispensables pour comprendre le fonctionnement du système du point de vue cybernétique, parmi lesquelles :

- Comment l'information est-elle redistribuée à l'intérieur du système ? Il s'agit à la fois de comprendre le passage de l'information entre les différentes catégories de connaissances et / ou de savoirs du modèle mais aussi comment les informations de rétroaction informent-elles les différentes catégories de connaissances ou de savoirs ;
- Comment l'information est-elle traitée dans le système ? C'est-à-dire comment les catégories de connaissances ou de savoirs peuvent-elles s'adapter ou se transformer en fonction de l'information reçue ?
- Comment les filtres ou les amplificateurs agissent-ils ? Est-ce qu'il s'agit d'une sélection de l'information ? D'une altération de celle-ci ?
- Pourquoi le contexte de la classe (Classroom Context) fait-il partie des pratiques de classe (Classroom Practice), ce contexte étant déjà présent comme amplificateur ou filtre ? Qu'en est-il de la flèche entre le contexte et les « Personal PCK/PCK&S » ? Cet échange d'informations n'est-il pas lui aussi soumis à des filtres ou des amplificateurs ?
- Pourquoi les « Personal PCK/PCK&S » font-elles partie des pratiques ou pourquoi les autres connaissances n'en font-elles pas partie ?

Enfin, pour terminer sur les limites de ce modèle, les flèches entre les différentes catégories de connaissances ne nous informent finalement pas sur la nature des échanges entre les catégories,

³⁰ Il est d'ailleurs très étonnant de trouver le contexte comme composante d'une catégorie « pratique de classe ».

leur origine ou les mécanismes à l'œuvre. On peut en effet penser que ces échanges ne sont pas de même nature. Par exemple, les résultats d'élèves qui viennent modifier ou transformer les savoirs qui sont produits par des experts ou des chercheurs le font suivant un processus collectif de construction des savoirs. On imagine en effet mal des savoirs de référence pour l'enseignement issus de la simple confrontation d'un enseignant avec un élève ayant des difficultés à produire une réponse. Il est par contre envisageable que cette même situation puisse permettre à un enseignant d'ajuster son agir.

Pour résumer, en inscrivant au centre de ce modèle les « Classroom Practice », le CM2012 tente de modéliser les savoirs / connaissances de l'enseignant en relation avec son agir dans une perspective cybernétique. Le modèle atteint un niveau de complexité qui lui fait perdre son pouvoir heuristique car, *in fine*, tout agit sur tout selon des relations qui ne sont pas spécifiées. De manière plus problématique encore, les connaissances, les savoirs, le contexte et l'agir ne sont pas clairement identifiés ou catégorisés dans le modèle.

De la même façon, et sans rentrer dans autant de détails que pour le CM2012, le RCM reprend lui aussi l'idée d'un même modèle pour les connaissances et les savoirs et rend compte des relations entre savoirs, connaissances et l'agir de l'enseignant (voir Figure 10 page 30). Un autre point commun avec le CM2012, est qu'il y a échange de « quelque chose » entre les différentes catégories de savoirs/connaissances. Le RCM se distingue cependant du CM2012 sous trois aspects :

- Il propose une explication de la construction des Enacted PCK à travers la réflexion, la planification et la mise en œuvre en classe de connaissances.
- Il est plus difficile de repérer des boucles de régulations.
- Le RCM est construit selon une logique d'emboîtement que l'on ne retrouve pas dans le CM2012 : l'enseignant fait appel, pour enseigner dans un certain contexte, à un répertoire de connaissances (les Enacted PCK) qui ne constituent pas l'ensemble des connaissances disponibles d'un enseignant (les Personal PCK). Cette façon de définir les ePCK et les pPCK réifie en quelque sorte les connaissances comme des objets que l'on peut posséder, accumuler et organiser en collection, dont on peut prélever tout ou partie comme on le ferait avec des savoirs³¹.

3 LES MODELES DES PCK IN CONTEXT ET L'ARTICULATION PCK ET DADE : UNE VISION DE LA CONNAISSANCE ENTRE INTERNALISME ET EXTERNALISME

Les modèles des PCK in Context et l'articulation proposée par Kermen entre PCK et DADE (voir paragraphe 1.3 et 2.1 de ce chapitre) ne distinguent pas formellement les savoirs des connaissances mais, au vu de la centration du modèle sur l'activité de l'enseignant, ils semblent de toute façon ne se centrer que sur les connaissances. Ces deux recherches prennent en effet appui sur la théorie de l'activité. Dans cette théorie³², la rationalité n'est pas réduite aux seules

³¹ Ce qui est probablement vrai également pour le CM2012

³² La théorie de l'activité n'est pas la seule à adopter un point de vue externaliste de la connaissance ; citons par exemple la théorie de la cognition distribuée ou de l'action située. De manière plus générale, c'est de la question de la relation entre connaissance et action qu'il s'agit ici.

capacités mentales des individus. Autrement dit, les connaissances ne sont ni seulement « possédées » par les individus, ni seulement dans les situations mais trouvent à exister dans leur interaction. En effet, pour Vygotskij (1985), la pensée est médiée par des artefacts (dont le langage), ces artefacts étant eux-mêmes des produits historiques et culturels. Ainsi, comme le remarquent Alberio & Brassac (2013, non paginé) :

« [...] loin de se réduire au traitement rationnel et à la communication d'informations, les connaissances se développent et se transmettent d'abord dans un contexte non seulement psycho-social, en fonction des relations que les sujets entretiennent avec autrui, mais également technosémiotique en fonction des relations que les sujets entretiennent avec les instruments techniques et symboliques disponibles dans leur environnement. Ni entités abstraites détenues à titre personnel, ni individuellement forgées de manière solipsiste, tous [les] travaux depuis plus de cent ans convergent pour montrer que les connaissances sont d'abord le résultat des interactions entre humains : largement médiées par des non-humains, produits et supports d'interactions à la fois épistémiques et émotionnelles, elles constituent des réseaux denses qu'il n'est pas toujours aisé de catégoriser et de codifier. »

Une première approche, qui définit les connaissances comme une capacité ou un état mental d'un individu, est qualifiée d'internaliste alors qu'une seconde approche, qui voit les connaissances comme ce qui résulte et se manifeste dans les liens entre les individus et entre les individus et les artefacts et se construit et se transmet à l'aide des relations avec les individus et les artefacts est qualifiée d'externaliste. Or, le modèle des PCK in Context et l'articulation PCK/DADE me semblent adopter des points de vue internalistes des connaissances en contradiction avec la théorie de l'activité dont ces études se réclament, comme je vais le montrer d'abord pour le modèle des PCK in Context puis pour l'approche des PCK dans la DADE.

3.1 LES CONNAISSANCES DANS LE MODELE DES PCK IN CONTEXT

Dans le modèle des PCK in Context (Grangeat & Hudson, 2015) (voir 1.3), les connaissances nécessaires pour enseigner les sciences sont regroupées dans plusieurs catégories, elles-mêmes associées dans le bloc « Enseignant » (voir Figure 114 ci-dessous). Le modèle semble ainsi attribuer les connaissances au seul enseignant : c'est ce que l'enseignant « possède ».

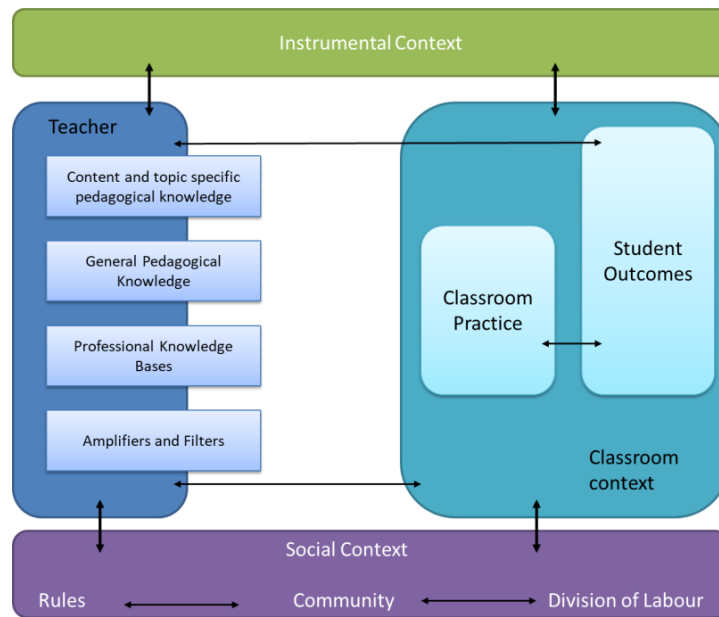


FIGURE 14 : LE MODELE DES PCK IN CONTEXTS D'APRES GRANGEAT ET HUDSON (2015).

Ces connaissances peuvent être modifiées par des interactions avec différents contextes, ce point de vue rejoignant les modèles de consensus. Cette modélisation, qui attribue par sa représentation les connaissances à l'enseignant, correspond à une approche internaliste des connaissances. Si l'on voulait être cohérent avec une approche externaliste des connaissances, celles-ci devraient être situées au niveau de la relation entre l'enseignant et les différents contextes (ou les différents éléments du système d'activité si l'on remonte à la modélisation de Engestrom (2000)). En effet, c'est dans la rencontre entre l'enseignant et certains artefacts (par exemple les programmes) dans un contexte social donné (pour un certain type d'élève, en fonction de certaines règles) que les connaissances se manifestent. On comprend que la question des connaissances devient plus difficile à gérer dans un tel modèle lorsqu'il s'agit de prendre en compte les « Knowledge Bases » comme par exemple les connaissances sur le contenu disciplinaire vu comme base des savoirs de référence. Il faudrait certainement, pour rester cohérent du point de vue théorique, penser le système d'activité (ou plusieurs systèmes d'activité en interaction) de manière à faire figurer les connaissances disciplinaires à l'interface entre l'enseignant et certains artefacts (par exemple du matériel de laboratoire utilisé dans l'enseignement : burette graduée, générateur basse fréquence...) ou certaines communautés (par exemple, la communauté des enseignants de physique-chimie). Autrement dit, pour la théorie de l'activité, les connaissances sur le contenu disciplinaire ne sont pas « dans » le sujet mais sont en jeu dans un système d'activité du fait des relations entre le sujet et les artefacts ou les communautés au regard de l'objet de l'activité. Par exemple, les notions de « règles » et de « division du travail » permettent de définir plus précisément les PCK. Par exemple, quelles connaissances entrent en ligne de compte pour mesurer un volume avec une précision donnée en toute sécurité (règles) pour effectuer une dilution, lorsque les élèves travaillent en groupe de 4 (division du travail) ? Il me semble que cet exemple fait également apparaître la nécessité de définir l'objet du système d'activité pour pouvoir définir les connaissances en jeu (par exemple, dans l'exemple donné ci-dessus, l'objet (général) pourrait être : « Faire manipuler les élèves pour qu'ils apprennent le concept de concentration en chimie »). Dans le modèle des PCK in Contexts, l'objet n'est pas précisé, on peut penser qu'un objet très général est d'enseigner les sciences de manière efficace. Cela pose la question du grain d'analyse des PCK, déjà abordée

dans la partie 1.1.2 du chapitre 1. Quoi qu'il en soit, la prise en compte des connaissances dans la théorie de l'activité ne me semble pas compatible avec l'idée de « filtres et amplificateurs » qui seraient internes à l'enseignant. Le modèle des PCK in Contexts semble donc emprunter des éléments à la théorie de l'activité afin d'organiser les contextes en catégories mais en même temps emprunter au CM2012 une vision internaliste des connaissances. Cette difficulté dans l'articulation des outils conceptuels a été pointée par ailleurs (Venturini, 2016).

3.2 LES CONNAISSANCES DANS L'ARTICULATION ENTRE PCK ET DADE

Dans son travail sur les PCK, Kermen (2015, 2018) cherche à rendre compte de l'agir de l'enseignant en mobilisant un point de vue sur les connaissances dans le cadre de la DADE (voir 2.1). Pour Kermen, les PCK et les PK (connaissances pédagogiques générales) relèvent de la composante personnelle, ce qui paraît logique étant donné que cette dernière est définie comme les « *opinions, convictions, connaissances, compétences, expériences en matière d'apprentissages passés...* » (Robert & Rogalski, 2002. p. 517). Le fait de décomposer la composante personnelle grâce aux catégories de connaissances issues du cadre des PCK a peut-être pour but de donner plus d'intelligibilité aux relations entre les connaissances et l'agir en classe. Cependant, ceci amène Kermen à faire l'hypothèse d'une correspondance entre connaissances disciplinaires (SMK), PK, PCK et leurs composantes et les composantes médiative et cognitive de la DADE. Ainsi, selon elle, les connaissances sur le contenu disciplinaire (SMK), la composante des PCK liée aux programmes (PCK-programme) et les PK-stratégies sont liées à la composante cognitive car ces connaissances sont « activées³³ » lors de la préparation d'un enseignement. La mise en œuvre de la séance « sollicite³⁴ » des PK-stratégies, des PCK-stratégies, des PK-discours et des PK-gestion. L'utilisation, par Kermen, des termes « solliciter » ou « activer » laisse penser que les connaissances existent de manière autonome, indépendamment de la situation chez l'enseignant, ce qui correspond à un point de vue internaliste.

De plus, il est intéressant de questionner l'élémentarisation des déterminants de l'agir qui résulte du découpage en catégories et composantes de connaissances là où la DADE s'intéresse aux logiques d'action et aux marges de manœuvre à partir d'une recomposition d'un ensemble des composantes. Les définitions de ces composantes sont d'ailleurs suffisamment larges pour englober tout un ensemble d'éléments sans qu'il semble pertinent de les distinguer. La composante personnelle comprend ainsi, selon Robert & Rogalski (2002), non seulement des connaissances mais aussi des croyances, des opinions, des expériences, des compétences... Les points de suspension dans l'article de Robert & Rogalski (2002) laissent d'ailleurs penser que la liste proposée n'est pas exhaustive et cherche à englober ce qui tient de l'individu, ce qui résulte de ses expériences passées sans développer de point de vue théorique sur les termes (ou s'il y en a un, il n'a pas été spécifié et reste difficile à définir). Le focus opéré par Kermen sur les connaissances (PCK et PK) dans la composante personnelle me semble devoir être questionné car il y a un risque de donner artificiellement à voir une relation relativement directe entre ces connaissances et l'agir en classe. En effet, les autres éléments qui constituent la composante personnelle (croyances, opinions, etc.) ne sont pas pris en charge dans le travail de Kermen, sauf

³³ Il s'agit du terme utilisé par Kermen.

³⁴ Idem.

à définir les PCK et les PK comme l'ensemble des éléments de la composante personnelle. Se pose alors la question de la définition des PCK et PK dans l'articulation que propose l'auteure.

Pour en revenir aux PCK et si l'on reprend la définition de Shulman (1986), elles forment une catégorie particulière de connaissances qui se construisent par la pratique à partir de connaissances sur le contenu disciplinaire et de connaissances pédagogiques générales. On pourrait alors penser que les PCK sont à l'interface de la composante personnelle (qui comprend les connaissances sur le contenu disciplinaire et les connaissances pédagogiques générales), de la composante institutionnelle et de la composante sociale (qui prennent en charge les aspects liés à la pratique dans la définition de Shulman). Autrement dit, si l'on reprend le point de vue de Shulman, les PCK ne se situent ni seulement dans le sujet (composante personnelle), ni seulement dans la situation (composante sociale et institutionnelle) mais à l'intersection du sujet et de la situation. Ce point de vue sur les liens entre PCK et composantes de la DADE serait alors cohérent avec l'approche externaliste de la théorie de l'activité, dont la DADE se réclame.

4 LES PCK COMME ELEMENT D'UN SCHEME : LA QUESTION DES CLASSES DE SITUATIONS ET DE L'ELEMENTARISATION DE LA CONNAISSANCE

Pour Vergnaud (2011), l'analyse de l'agir repose sur une modélisation en termes de schèmes et de classes de situations. Le fait de parler de classe de situations et non pas de situations permet de rendre compte de la capacité d'une personne à agir de façon experte dans une situation même si chaque situation est nouvelle. Selon ce point de vue, il est ainsi possible, en reconnaissant dans une situation nouvelle une proximité suffisante avec d'autres situations déjà rencontrées, de mobiliser les mêmes schèmes en les modifiant *a minima* si besoin. Des classes de situations sont ainsi construites, qui permettent de réinvestir les expériences passées. L'approche de Vergnaud ne distingue pas la connaissance de l'agir, l'agir et la connaissance sont intimement liés : c'est parce que l'on agit que l'on peut connaître et c'est parce que l'on connaît que l'on peut agir. La notion de schème (voir 2.2.1) rend compte de cette intrication dans un ensemble indivisible qui mêle les façons d'agir, ce qui est tenu pour pertinent et vrai, les raisons de l'agir et l'adaptation de l'agir. Les schèmes sont toujours relatifs à une classe de situations. Si l'on considère la connaissance comme étant ce qui permet à l'enseignant d'agir, alors, dans l'approche de Vergnaud, la connaissance englobe les schèmes ainsi que les classes de situations associées à ces schèmes. Cette définition de la connaissance est cohérente avec une vision externaliste des connaissances.

Si Jameau (2015), dans sa définition du schème, note bien que ceux-ci sont systématiquement associés à des classes de situations, il ne précise pas dans son étude la ou les classes dont relèvent la situation ou les situations dans laquelle ou lesquelles agissent les enseignants observés. Il y a cependant dans son travail une caractérisation de la situation du point de vue du savoir sous l'angle de la modélisation qui peut, dans une certaine mesure, tenir lieu de définition implicite de classes de situations³⁵. Ainsi, les analyses (Jameau, 2015) montrent que pour une des activités proposées chez un des enseignants (mesure du poids), la tâche élève a été modifiée

³⁵ Cependant la classe de situations ainsi définie donne lieu à une classe de situations très large correspondant potentiellement à l'ensemble des situations en physique ou chimie. Cette classe de situations est potentiellement trop large pour être opérationnelle.

entre l'année 1 (découverte du dynamomètre dans une démarche empirique) et l'année 2 (application de la définition du poids, co-construite avec l'enseignant). Or, il n'y a pas de changement dans l'organisation des schèmes de l'enseignant entre l'année 1 et l'année 2 pour cette activité. Jameau conclut qu'en ne modifiant pas son but mais en modifiant l'activité des élèves, l'enseignant atteint son but initial. Il me semble que l'on pourrait ici interroger plus avant la relation entre l'organisation des schèmes et la classe de situations en jeu. Peut-être que, pour l'enseignant, la situation (ou la classe de situations) n'a pas changé. Se pose alors la question de la définition de la classe de situations : du point de vue de l'enseignant ou bien du point de vue du chercheur. En optant pour une définition de la situation comme relevant de la classe des situations de modélisation, il est vraisemblable qu'il s'agisse du point de vue du chercheur plutôt que de l'enseignant. De manière plus générale, si, dans les modélisations des PCK, la question du contexte ou de la situation est toujours pointée comme importante, il n'est jamais précisé de quel point de vue ce contexte (ou la situation) doit être interprété : d'un point de vue extérieur à l'enseignant ou du point de vue de l'enseignant.

Un autre point qu'il me semble important de discuter est la question de l'élémentarisation des PCK. Pour Jameau, les PCK sont situées au niveau des invariants opératoires : ce qui est tenu pour pertinent et ce qui est tenu pour vrai pour une classe de situations. Le choix de situer les PCK à ce niveau est cohérent avec la définition des invariants opératoires comme la partie à proprement plus épistémique du schème, les règles d'actions étant la partie la plus opératoire. De plus, penser les PCK comme invariants opératoires permet de prendre en compte l'ancrage des PCK dans l'agir de l'enseignant en lien avec une situation. Cependant, il me semble que cette approche comporte deux limitations :

- Cela réduit les PCK à un seul des éléments non dissociables de la structure du schème, ce qui me semble contradictoire avec la littérature internationale, qui décrit les PCK comme étant complexes (Alonzo et al., 2019 ; Hashweh, 2005). En effet, comment penser la complexité des PCK si elles sont réduites à un élément d'une structure ? On pourrait plus facilement envisager la complexité des PCK en les définissant au niveau de la structure plutôt qu'au niveau d'un élément d'une structure comme illustré dans l'exemple suivant : dans mes travaux de thèse, j'avais suivi la proposition de Hashweh (2005) de décomposer les PCK en éléments plus petits : les Teachers' Pedagogical Construct (TPC). Ceci permet de penser les PCK comme une organisation d'éléments de connaissances et d'envisager la complexité des PCK du point de vue du nombre de TPC et de leur organisation en un ensemble.
- Cela ne permet pas de prendre en compte les travaux plus récents sur les PCK³⁶ (modèles de consensus) qui prennent en compte non seulement les « personal PCK » (ce qui pourrait correspondre aux invariants opératoires dans l'approche de Jameau) mais également les « enacted PCK », qui correspondraient potentiellement aux schèmes. Il y aurait alors des PCK correspondant aux schèmes et des PCK correspondant à des invariants opératoires du schème.

³⁶ Les travaux de Jameau sont contemporains, voire antérieurs aux modèles de consensus, ce qui explique qu'il n'a pu en tenir compte. Je discute ici de la pérennité de sa proposition au vu des nouveaux modèles.

5 CONCLUSION SUR LA DISCUSSION DES MODELES DES PCK

La discussion ci-dessus montre que les différents modèles sont aux prises de certaines tensions :

- *Entre connaissances nécessaires pour enseigner et connaissances personnelles* : il s'agit ici de distinguer, d'un côté, les savoirs comme produits d'une institution et, de l'autre, les connaissances comme moyen d'adaptation du sujet à un milieu. Cette distinction n'est pas prise en charge dans la première famille de modèle des PCK en Science Education. Elle est partiellement prise en charge dans les modèles de consensus par la distinction des connaissances personnelles et des connaissances partagées par une communauté. Cet aspect partagé est une caractéristique des savoirs mais il n'est pas fait mention d'autres caractéristiques des savoirs telles que la dépersonnalisation ou la décontextualisation. Dans le modèle des PCK in Contexts, de l'approche DADE/PCK et Schème/PCK il n'est pas fait mention de la distinction savoir/connaissance.
- *Entre modèles de savoirs et / ou de connaissances et modèle de l'agir de l'enseignant*. Les modèles de consensus tentent de proposer dans un même modèle : d'une part (i) une explication du fonctionnement des savoirs / connaissances en faisant figurer des processus (très peu explicités dans le modèle) de transformation entre différents types de savoirs / connaissances ; d'autre part (ii) une explication du fonctionnement de l'enseignant en classe qui fait appel à des savoirs / connaissances qui sont filtrés ou amplifiés par un ensemble de caractéristiques propres à l'individu ou au contexte. Les dimensions institutionnelles de validation et de transformation des connaissances en savoirs ne sont pas mentionnées et il est donc difficile de savoir dans ces modèles ce qui tient de processus internes à l'enseignant et ce qui tient de processus institutionnels. Le modèle des PCK in Contexts cherche à modéliser le développement des connaissances en lien avec l'agir de l'enseignant. Les approches DADE / PCK et Schème / PCK cherchent à modéliser l'agir de l'enseignant alors que la première famille de modèles en Science Education est un modèle des savoirs / connaissances.

6 NECESSITE D'UNE NOUVELLE APPROCHE

La partie 1 de cette note de synthèse avait pour but de faire un état des lieux des recherches sur les PCK développés dans les recherches en Science Education et en didactique des sciences. Cet état des lieux montre à la fois une certaine continuité des modèles et approches et une diversité des concepts et des buts associés à ces recherches.

On peut parler de continuité dans la mesure où toutes ces recherches font référence aux travaux de Shulman. Ce qui semble ainsi être commun à l'ensemble est l'idée, d'une part, de catégoriser les savoirs / connaissances des enseignants et, d'autre part, que ces connaissances sont fortement liées au contexte de l'agir de l'enseignant. Une évolution de ces catégories semble se dégager, considérant l'évolution du focus des recherches. Les premières catégories de savoirs / connaissances sont liées aux savoirs nécessaires pour enseigner issus d'une analyse au niveau institutionnel (épreuves de recrutement des enseignants et programmes de formation). Les recherches sont alors centrées sur les savoirs / connaissances. Ces catégories ont évolué pour prendre en compte, de manière de plus en plus importante, l'agir de l'enseignant. Le modèle de fonctionnement de l'enseignant semble être confondu en grande partie avec un modèle de fonctionnement des connaissances pour les modèles de consensus. Le modèle des PCK in

Contexts s'appuie sur la théorie de l'activité pour construire le modèle de fonctionnement de l'enseignant. Les approches en didactique conservent les catégories de connaissances issues de la première famille de modèles en Science Education (modèle de Grossman et Magnusson et al., principalement). Les modèles de fonctionnement de l'enseignant sont issus d'autres champs de recherche (didactique professionnelle pour les schèmes et didactique des mathématiques pour la DADE).

Ce qui semble caractériser ces recherches est la pluralité des points de vue sur les connaissances. Ainsi, le terme de PCK regroupe des savoirs et des connaissances, que celles-ci soient générales ou spécifiques à un contenu disciplinaire donné. Certains modèles cherchent à expliquer comment les connaissances peuvent circuler entre ces différentes catégories, certains s'intéressent au fonctionnement de l'enseignant, d'autres enfin au développement des connaissances.

Au vu de la diversité présentée ci-dessus, il n'est pas étonnant de rencontrer une variété de méthodes d'étude des PCK. Le débat à propos des aspects méthodologiques prend des formes différentes en Science Education et dans les approches didactiques. En Science Education, la question semble être de savoir s'il faut s'intéresser à l'ensemble des PCK à disposition des enseignants ou bien seulement aux PCK mises en œuvre en classe. On voit ici que l'utilisation d'un même terme (PCK) pour désigner potentiellement des objets différents (PCK comme ce qui est tenu pour vrai et / ou pertinent par un enseignant vs. ce qui est mis en œuvre en classe). Ceci peut susciter une orientation du débat sur des questions méthodologiques alors que celui-ci me semble avant tout théorique. Dans les approches didactiques, le débat porte sur la difficulté d'étudier des connaissances qui sont en partie implicites ou tacites. Il s'agit alors pour Kermen et Jameau de s'appuyer sur le dire de l'enseignant à propos de son agir pour se centrer sur les connaissances explicites. Or, cette distinction entre connaissances implicites et explicites, qui n'est du reste pas claire du point de vue théorique, amène à opposer le dire et le faire de l'enseignant.

Il me semble pourtant important, à propos de ces considérations méthodologiques, de résister à la tentation de séparer, voire d'opposer, le dire et le faire de l'enseignant. On trouve en effet, dans la littérature les termes de pratiques déclarées et de pratiques effectives pour gérer l'écart qui peut exister entre ce que dit l'enseignant et ce qu'il fait. Les pratiques déclarées sont ce que l'enseignant dit de sa pratique et les pratiques effectives correspondent à ce qu'il fait. Cette distinction ne me semble pas permettre de régler le problème de l'éventuel écart entre ce que disent et ce que font les enseignants. Au contraire, elle renforce l'idée que l'agir et la pensée sont distincts et distinguables ou, pour reprendre Barbier & Clerc (2008), c'est prendre le risque d'opérer une hiérarchie entre le concret (ce que les enseignants font) et l'abstrait (ce que les enseignants disent qu'ils font ou disent de ce qu'ils font). Or, pour ces auteurs, cette distinction entre le concret et l'abstrait est loin d'être évidente. Ceci est d'autant plus important dans le cas des enseignants que la distinction entre le dire et le faire est incohérente avec une vision du métier mettant en avant un enseignant réflexif capable de réfléchir à partir de son agir afin d'adapter son enseignement. Que faire en ce cas lorsque ce que dit l'enseignant ne correspond pas à ce qu'il fait ? Quel statut donner aux dires de l'enseignant par rapport à son agir en classe ?

Au vu des difficultés théoriques présentées ci-dessus, il me semble pertinent de proposer une approche théorique des PCK qui permette de clarifier le point de vue sur les connaissances, leur relation avec l'agir et avec le contexte. Pour ce qui est des aspects méthodologiques l'enjeu sera

d'articuler sans les opposer le dire et le faire de l'enseignant. Mes travaux de recherche depuis la thèse sont présentés dans la partie suivante pour montrer de quelle manière ils peuvent servir de support à cette nouvelle approche.

Partie 2 : Vers une nouvelle approche

Cette partie présente, dans un premier chapitre (chapitre 3), une partie de mes travaux, ceux portant sur les PCK. Ceux-ci ont été menés au gré des différents projets auxquels j'ai eu l'occasion de participer. Je tente dans ce chapitre de montrer, au-delà des différentes thématiques propres à chacune des recherches, comment ces travaux m'ont amené à construire une vision des PCK comme étant fortement liées à l'agir de l'enseignant et des élèves et à des spécificités de la situation. En prenant appui sur ces travaux ainsi que sur ceux présentés dans la partie précédente de cette note, je propose dans le chapitre 4 une nouvelle approche des PCK. Après avoir présenté cette nouvelle approche, je la mets à l'épreuve en revisitant une partie de mes travaux, ceux consacrés à la démarche d'investigation. Cette mise à l'épreuve permet de montrer, en partie, la pertinence de la nouvelle approche tout en illustrant les difficultés et obstacles liés à celle-ci. Le chapitre 5 présente un programme de recherche centré sur le dépassement de ces difficultés et obstacles mais également ancré dans les recherches en cours.

CHAPITRE 3 : PRESENTATION DE MES TRAVAUX SUR LES PCK

Dans ce chapitre est présentée la partie de mes travaux traitant des PCK. Au gré des projets et des données récoltées, j'ai eu l'occasion d'explorer plusieurs axes relatifs aux PCK dans des contextes variés (école primaire, collège ou lycée, en chimie, physique ou SVT) :

- Comment construire des PCK à partir de l'étude de l'agir en classe,
- Comment penser la relation entre l'agir des élèves et les PCK de l'enseignant,
- Comment étudier le lien, du point de vue des PCK, entre formation des enseignants et l'agir en classe,
- Et enfin, comment dépasser l'opposition entre le dire et le faire de l'enseignant dans l'étude des PCK.

Je présente rapidement chacune des recherches menées en termes de cadre théorique, de méthode et de principaux résultats. A la suite de chacune des présentations, une analyse critique permet de discuter des apports de chacune de ces recherches dans la construction d'une vision des PCK comme fortement liées à l'agir et à des spécificités de la situation, d'une part, et d'une méthode de formalisation des PCK, d'autre part.

1 CONSTRUCTION DES PCK A PARTIR DE L'ETUDE DE L'AGIR EN CLASSE

Ce premier axe regroupe deux recherches sur la formalisation des PCK à partir de l'étude de l'agir de l'enseignant en classe. La première à partir d'une élémentarisation des connaissances et d'une reconstruction statistique, la deuxième à partir d'une analyse de l'agir à plusieurs échelles temporelles. Ces deux études ont des approches différentes, mais potentiellement complémentaires.

1.1 CONTRIBUTION A LA FORMALISATION DES PCK PAR UNE ELEMENTARISATION DES CONNAISSANCES ET UNE RECONSTRUCTION STATISTIQUE

Cette étude, développée au cours de ma recherche doctorale (Cross, 2009, 2010 ; Cross & Le Maréchal, 2013), avait pour but de mettre au point une méthodologie *ad hoc* pour inférer des PCK à partir de l'agir de l'enseignant en classe.

1.1.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

J'ai postulé, à la suite de Hashweh (2005), que les PCK sont constituées d'éléments de connaissances plus petits, appelés Teachers' Pedagogical Construct (TPC). Pour Hashweh, les TPC présentent sept caractéristiques :

- Une PCK est constituée d'une collection de TPC.
- Les TPC sont personnelles (c'est-à-dire qu'elles ne sont pas forcément partagées par une communauté).
- Les TPC résultent de l'activité de planification de l'enseignant mais également de ce qui se passe en classe et lors des phases de réflexion sur son enseignement.

- Les TPC sont le fruit d'un processus d'adaptation alimenté par des connaissances et des croyances³⁷ de nature différente.
- Les TPC sont à la fois associées à une mémoire d'événements généralisés et à une mémoire plus contextuelle.
- Les TPC sont spécifiques à un sujet d'enseignement.
- Les TPC devraient être associées à d'autres catégories de connaissances et de croyances que les PCK.

Cette liste est construite à partir de résultats de recherche sur les PCK et sur le fonctionnement de la mémoire. Notons qu'elle n'est pas homogène car elle comporte à la fois des propriétés mais aussi, dans le dernier point, une « recommandation ».

En partant de l'idée que les PCK sont constituées de TPC, j'ai fait deux hypothèses :

1. Les TPC peuvent être catégorisés grâce au modèle de Magnusson et al. (voir partie 1.1.3 du chapitre 1). J'ai également utilisé la distinction proposée par Morge (2003) relativement au « grain » des PCK et l'ai appliquée aux TPC : une TPC liée à un élément de savoir dont le champ est restreint est qualifiée de locale alors qu'une TPC liée à un élément dont le champs est vaste est qualifiée de globale. Par exemple, une TPC liée à l'enseignement de la mesure du pH avec un pH-mètre sera qualifiée de locale puisque cet élément de savoir est mis en œuvre principalement lorsque les élèves ont à mesurer le pH d'une solution à l'aide d'un pH-mètre. Une TPC liée au concept de constante d'équilibre sera quant à elle qualifiée de globale. En effet, cette notion est mise en œuvre dans le cadre de l'enseignement sur les acides et les bases, l'oxydoréduction ou encore en chimie organique.
2. Les PCK sont constituées non seulement d'une collection de PCK mais également de règles d'utilisation de celles-ci. Les PCK sont donc plus complexes que les TPC.

Ainsi, cette élémentarisation des PCK en TPC et la caractérisation de ces dernières m'amènent à considérer deux échelles de description des connaissances : une échelle microscopique correspondant à celle des TPC, qui sont des éléments de connaissances, et une échelle macroscopique, celle des PCK, qui sont constituées d'une collection de TPC et de règles d'utilisation de ces dernières.

Pour ce qui est de la description de l'agir de l'enseignant et de l'élève, j'ai utilisé les notions de topo-, chrono- et mésogénèse telles que définies dans la Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (Sensevy & Mercier, 2007). La chronogénèse correspond au rythme d'introduction des savoirs dans la classe, la topogénèse rend compte de l'évolution dans le temps des responsabilités exercées par les acteurs de la classe au regard de l'avancée du savoir et, enfin, la mésogénèse est constituée par les objets (quelle que soit leur nature, symbolique ou matérielle) qui constituent le milieu au cours du temps, en incluant le sens que leur donne les acteurs qui les manipulent.

³⁷ Comme déjà noté dans la partie 1, dans la littérature internationale, les croyances et les connaissances sont souvent traitées conjointement. La distinction entre croyance et connaissance est difficile à établir méthodologiquement.

En complément de ces descripteurs de l'agir, j'ai également pris en compte ce que j'avais appelé, lors de l'élaboration de ce travail, l'intentionnalité de l'enseignant mais que je renommerai dans cette note l'intention didactique. En effet, pour Portugais (1999), l'intention didactique fait référence à trois objets distincts quoique fortement intriqués :

- L'intention didactique du système d'enseignement vis-à-vis des objets de savoir et du sens de ces objets de savoir,
- Ce qui met en rapport le sujet avec le monde et produit des états et des actions intentionnels : il s'agit ici de l'intention au niveau individuel (par exemple de l'enseignant),
- « la part actualisée de l'intentionnalité qui va chercher à déterminer un bon fonctionnement des problèmes à résoudre, des situations, de la dévolution et de l'institutionnalisation. Il s'agit des intentions qui sont en jeu dans une situation didactique donnée » (Portugais, 1999. sp.).

On voit ainsi que l'intention de l'enseignant est liée à l'intention du système didactique et à l'intention associée à la situation. Le terme d'intention didactique est plus à même de rendre compte de cette intrication entre les différentes dimensions.

Enfin, j'ai également cherché à caractériser le savoir en jeu. Pour cela, j'ai fait appel aux travaux sur la modélisation. En effet, la modélisation est un aspect fondamental du fonctionnement des sciences. Le rapport entre le concret et l'abstrait et l'articulation entre expérimental et théorique est au cœur de ces disciplines. La recherche en didactique s'est penchée sur cet aspect du fonctionnement des sciences (Sensevy et al., 2008 ; Tiberghien, 1994 ; Martinand, 1992) afin de proposer des séquences d'enseignement ou d'analyser des situations (Tiberghien et al., 2009). Ces travaux proposent un modèle du fonctionnement de la physique enseignée en considérant deux mondes. Le monde des objets et événements, qui correspond aux aspects observables du monde matériel, auquel fait écho le monde des théories et modèles, dans lequel se trouvent les principes, paramètres et quantités. Une adaptation de ce modèle à la chimie (Le Maréchal, 1999)³⁸ permet de prendre en compte une particularité de cette discipline (voir Figure 15) : les chimistes ont souvent recours à une explication microscopique du monde matériel et utilisent, de ce fait, des notions qui ont un statut d'objets dans un monde qui est non-perceptible (Le Maréchal & Bécu-Robinault, 2006).

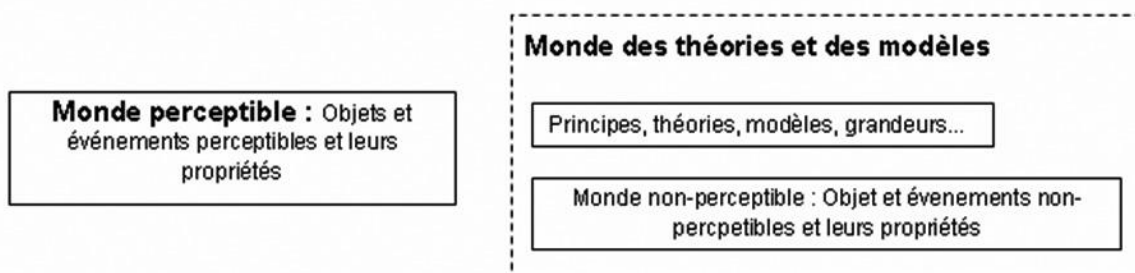


FIGURE 15 : MODELISATION DES SAVOIRS EN CHIMIE D'APRES LE MARECHAL (1999).

³⁸ Kermen (2018) propose une autre approche de la modélisation en chimie qui sont plus satisfaisantes mais n'étaient pas encore disponibles au moment de la rédaction de ma thèse.

Ainsi, le changement de couleur d'une solution est un événement du monde perceptible interprétable dans le monde non-perceptible en termes d'ions, de molécules et de chocs entre particules : une solution bleue qui devient incolore peut être interprétée comme la disparition des ions cuivre contenus dans cette solution.

Concernant la méthode, seuls certains moments que j'ai pensé être propices à l'inférence des connaissances de l'enseignante ont été analysés. Il s'agit des moments où l'enseignante répond à une question d'élève et que j'ai nommés « épisode interactionnel ». Ces épisodes sont caractérisés grâce à des descripteurs issus du cadre théorique. Je ne détaillerai pas ici l'ensemble de ces descripteurs qui sont présentés dans Cross (2010) mais seulement ceux concernant l'intention didactique.

La caractérisation des épisodes interactionnels suivant l'intention didactique repose sur une double analyse.

- La première est une analyse en thèmes pour pouvoir resituer ces épisodes dans le contexte. Le thème est une unité de découpage, à l'échelle de la dizaine de minutes et présentant une cohérence du point de vue du savoir. Le découpage en thèmes comporte une part d'implicite, comme j'avais pu le montrer avec mes collègues (Cross et al., 2009) ; cependant, les critères de découpage sont objectivables et peuvent conduire à des découpages équivalents. Cette première analyse permet de prendre en compte l'intention de la situation et de l'enseignante.
- La deuxième analyse prend en compte l'intention du système didactique et de l'enseignante. La classe étudiée était une classe de Terminale Scientifique pendant l'année 2006 / 2007 lors d'un enseignement de chimie sur les transformations non-totales. Les analyses des sujets de devoir surveillé de cette classe (Cross & Le Maréchal, 2013) ont montré que l'enseignante prépare ses élèves à la fois à l'épreuve de chimie du Baccalauréat et à la poursuite d'étude dans le supérieur. En effet, les questions posées sont très différentes d'un type de devoir à l'autre, notamment en ce qui concerne la complexité, définie du point de vue du nombre de relations à établir entre concepts pour répondre aux questions.

Cette caractérisation des épisodes interactionnels en fonction de l'intention didactique amène à traiter le corpus suivant plusieurs échelles de temps (l'échelle des épisodes interactionnels, quelques minutes voire moins d'une minute ; l'échelle des thèmes, de l'ordre de la dizaine de minutes, et l'échelle de l'année, qui prend en compte les objectifs de préparation aux épreuves du Baccalauréat et des études supérieures). Ces échelles d'analyse multiples me semblent importantes car :

- Elles permettent de prendre en compte le fait que l'agir des êtres humains se déploie toujours suivant plusieurs échelles de temps (Lemke, 2000).
- Elles permettent de comprendre ce qui se joue dans ce moment particulier, qui est celui de l'épisode interactionnel, au vu de ce qui est en jeu de façon plus globale.
- Elles permettent de passer du flux continu d'informations que représente un enregistrement vidéo à un ensemble d'unités structurées temporellement et qui sont catégorisables.

La caractérisation des épisodes interactionnels grâce aux descripteurs s'est faite de deux manières : une narration didactique qui consiste à rendre compte, sous la forme d'un texte

intégrant les descripteurs, ce qui se passe dans l'épisode interactionnel et une analyse en lien avec les descripteurs auxquels des mots-clés ont été associés, chacune des analyses se renforçant l'une l'autre. A partir de cette étape de description de l'épisode interactionnel, une ou plusieurs TPC ont été inférées. L'inférence de ces TPC repose ainsi sur la description (narrative et en termes de mots-clés) et est guidée par le modèle de Magnusson et al. (1999), qui conduit à une recherche systématique des TPC de chacune de ses catégories pour chacun des épisodes interactionnels. Des mots-clés sont par la suite affectés aux TPC ; portée locale ou globale et catégorie d'appartenance en référence au modèle de Magnusson et al. L'analyse a été effectuée grâce au logiciel d'annotation vidéo Transana³⁹.

Afin de construire des PCK et pas seulement des TPC, en suivant à la fois les définitions des TPC et mes hypothèses, il faut reconstruire des collections de TPC ainsi que des règles d'utilisation. Ces collections ont été constituées en cherchant des liens entre les TPC inférées et les descripteurs de l'agir et du savoir en jeu afin de repérer des régularités qui renvoient à des règles d'utilisation des TPC. Pour constituer des collections qui prennent en compte des régularités dans l'utilisation des TPC, je me suis appuyé sur l'analyse statistique implicite (ASI) des mots-clés (Gras et al., 2001). L'intérêt de ce type d'analyse descriptive est de mettre au jour des relations de type « *si a, alors généralement b* ». Contrairement aux analyses factorielles, l'ASI donne à voir un lien orienté ce qui donne des informations supplémentaires sur la structure du jeu de données. De plus, cette méthode étant basée sur le calcul d'un étonnement statistique, l'analyse est susceptible de faire apparaître des liens entre mots-clés mêmes si le nombre de cas permettant d'établir ce lien est faible.

1.1.2 RESULTATS

Une première série de résultats porte sur le traitement statistique des mots-clés en cherchant des implications entre les mots-clés associés aux TPC et les mots-clés associés à l'agir de l'enseignante ou au savoir en jeu. Aucun lien n'apparaît entre les mots-clés relatifs aux TPC et les mots-clés relatifs à l'action de l'enseignante. Ce résultat peut interroger car, si les PCK sont ancrées dans l'agir, pourquoi leurs composantes ne le sont-elles pas ? Plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

- Soit ces composantes sont constitutives de plusieurs PCK et il faudrait alors chercher les liens à un niveau supérieur (celui des PCK, voire celui d'une collection de PCK).
- Soit les catégories de description des TPC issues du modèle de Magnusson et al. (1999) ne sont pas à même de rendre compte de ce lien, ce modèle étant un modèle des savoirs nécessaires pour enseigner plus qu'un modèle des connaissances.

Il existe en revanche un lien entre les mots-clés relatifs aux TPC et les mots-clés relatifs à la caractérisation du savoir en jeu. Ainsi, lorsqu'une TPC « Difficultés d'élève » est mise en œuvre, le savoir en jeu est théorique. On peut alors supposer que l'enseignante ne possède que des connaissances relatives aux difficultés des élèves d'ordre théorique, ou bien qu'il est difficile d'inférer des TPC lorsque le savoir en jeu n'est pas d'ordre théorique. De plus, lorsque le savoir en jeu concerne des grandeurs, des TPC de la catégorie « Orientation pour l'enseignement des sciences » sont mis en œuvre. Ce résultat est explicable par le fait que l'enseignante fait le lien

³⁹ <https://www.transana.com/>

entre la valeur obtenue de manière théorique (c'est-à-dire par le calcul) et celle obtenue de manière expérimentale lorsqu'elle répond aux élèves à propos des grandeurs. Ces liens qu'elle fait entre théorique et expérimental sont des moments privilégiés pour construire des TPC « Orientation pour l'enseignement des sciences ». On voit ici à travers ces deux exemples l'intérêt de l'orientation de la relation statistique pour affiner la description des relations entre variables.

Afin de constituer des collections de TPC et mettre au jour leurs règles d'utilisation, j'ai mené une analyse statistique sur l'ensemble des mots-clés pour construire un arbre cohésitif (Gras 2013). Cette méthode n'a donné qu'un seul regroupement statistique de mots-clés susceptible d'être interprété en termes de PCK : lorsqu'une TPC « Curriculum » est mise en œuvre dans un épisode contenant une autre TPC, il s'agit d'une TPC « Orientation pour l'enseignement des sciences ». Pour construire la PCK, nous nous appuyons sur l'ensemble des épisodes interactionnels de ce type et tentons donc une généralisation à partir des différents cas de figure représentés par ces épisodes interactionnels :

« Le programme officiel prescrit ce que les élèves doivent savoir, mais l'enseignante est en droit de demander aux élèves de savoir certaines choses qui ne sont pas dans le programme si elle estime qu'il s'agit d'un savoir participant à l'apprentissage de la chimie ».

1.1.3 UNE PRISE EN COMPTE DE LA COMPLEXITE DES PCK EN LIEN AVEC LE SAVOIR EN JEU ET LA SITUATION

Les résultats de cette étude relatifs aux PCK sont assez décevants : une seule PCK a pu être reconstruite et elle est très peu spécifique du savoir en jeu. On peut d'ailleurs se demander s'il s'agit d'une PCK ou d'une PK. Le manque de liens statistiques entre les catégories de descriptions des TPC et de l'agir de l'enseignant amène à questionner la pertinence des catégories choisies pour décrire l'agir, le savoir et les TPC, ou qu'une PCK est constituée de TPC spécifiques à celle-ci. Cette étude présente toutefois selon moi plusieurs points intéressants au regard de la discussion de la partie 2 :

- La prise en compte du savoir du point de vue de la modélisation et de l'intention didactique permet de se rapprocher de l'agir en faisant état des caractéristiques des contenus en jeu de cet agir. En effet, il s'agit de caractériser la façon dont les acteurs de la classe font fonctionner le savoir en classe contrairement à une description du savoir qui se baserait sur un découpage tel que l'on peut le trouver dans un manuel scolaire, par exemple (savoir à enseigner), cette dernière approche étant celle que l'on retrouve dans le modèle de Veal & Makinster (1999) par exemple.
- L'élémentarisation des PCK en TPC permet de penser la complexité des PCK en termes de collection de TPC ainsi que de règles d'utilisation de celles-ci. Cependant, le corpus analysé ne permet pas d'étudier la spécificité des TPC par rapport aux PCK, c'est à dire de savoir si une TPC peut participer à plusieurs PCK différentes ou non.
- L'approche statistique permet de chercher de manière systématique un lien entre la situation et les TPC ou PCK.

1.2 CONTRIBUTION A LA FORMALISATION DES PCK LIEE A L'ECHELLE DE TEMPS ET A LA SITUATION DANS LAQUELLE ELLES S'EXERCENT

Dans un article (Cross & Grangeat, 2014), j'ai eu l'occasion d'étudier les relations entre contrat et milieu didactique dans le cadre des enseignements scientifiques fondés sur l'investigation

(ESFI), dont la démarche d'investigation est, en France, une déclinaison (voir paragraphe 2.1 du chapitre 4). J'ai utilisé une partie des données et des analyses de cette recherche, que je présenterai plus loin, pour faire une analyse secondaire en termes de PCK (Cross, 2017). Cette étude a été menée dans le cadre du projet européen ASSIST-ME et du LEA EvaCoDICE.

1.2.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

L'enseignement observé est un enseignement de SVT en classe de sixième. La séance consiste à faire émettre des hypothèses aux élèves sur les besoins nutritifs des végétaux chlorophylliens, hypothèses qui seront testées lors des séances suivantes. L'analyse du savoir en jeu (Coquide et al., 2009) montre que les élèves ne disposent pas des connaissances nécessaires pour véritablement émettre des hypothèses. Il s'agit plutôt, pour les élèves, de formuler des prévisions : la plante ne pousse pas en l'absence de lumière ou d'eau. Cette situation est abordée en termes d'isolement de variables abiotiques (lumière, eau, sels minéraux...) alors qu'il s'agit de facteurs limitants : c'est la réunion des facteurs à des niveaux favorables qui assure la nutrition de la plante. Si un facteur est en quantité ou en qualité insuffisante, c'est lui qui limite la croissance de la plante. Cette situation permet cependant aux élèves de tester de manière simple les prévisions, elle est donc favorable pour faire comprendre aux élèves la nécessité de séparer des variables.

Le cadre théorique articule les notions de contrat, de milieu et de jeu d'apprentissage⁴⁰ (Sensevy & Mercier, 2007 ; Marlot, 2009) avec le modèle des PCK de Magnusson et al. (1999). L'hypothèse de Lemke (2000) selon laquelle l'agir des êtres humains se déploie suivant différentes échelles de temps est de nouveau mobilisée.

Les données sont constituées de l'enregistrement vidéo de la séance ainsi que de l'ensemble des documents distribués aux élèves. La méthode articule trois échelles d'analyse. La première échelle est celle des jeux d'apprentissage, qui découpe la séance en unités d'environ une dizaine de minutes (les jeux d'apprentissage peuvent varier de deux ou trois minutes à plusieurs dizaines de minutes). La deuxième est celle des interactions entre l'enseignant et les élèves, constituant des unités que nous avons appelées « épisodes », lesquels sont initiés dans la majorité des cas par l'enseignant, qui pose une question aux élèves, en groupe ou bien en classe entière. Ils peuvent également être initiés par une question d'élève. Les épisodes sont plus courts que des jeux d'apprentissage et l'échelle d'analyse en épisode est donc plus petite que celle des jeux d'apprentissage. Enfin, la troisième échelle est celle de la séance. Ces trois échelles d'analyse nous permettent d'inférer des composantes du contrat de la classe, qui contribue à la formalisation des PCK.

1.2.2 RESULTATS

Les analyses ont permis de reconstruire des PCK à chacune des échelles :

- Une PCK de type « orientation pour l'enseignement des sciences » à l'échelle de la séance. Cette PCK comprend des aspects liés aux connaissances de l'enseignant sur la démarche

⁴⁰ Le jeu d'apprentissage modélise l'action de l'enseignant et de l'élève. Plus précisément, les jeux d'apprentissage sont définis par l'instauration d'un contrat didactique et d'un milieu didactique en vue de faire apprendre un savoir défini. Autrement dit, c'est l'enjeu de savoir, ainsi que ce qui est mis en œuvre par l'enseignant et par les élèves, qui permet de caractériser un jeu d'apprentissage.

d'investigation, sur sa vision des sciences et les buts et finalités d'enseigner les sciences. Cette PCK permet, en quelque sorte, de rendre compte de la tension qui existe plus particulièrement au début de la séance entre une volonté de laisser les élèves mener l'investigation et le fait de faire « deviner » le savoir aux élèves. Ceci se traduit par de nombreux échanges où l'enseignant « négocie » en quelque sorte les hypothèses que les élèves proposent de travailler. Une formulation de cette PCK peut être la suivante : « Dans le cadre d'une démarche d'investigation les élèves doivent formuler eux-mêmes les hypothèses, cependant seules certaines hypothèses peuvent / vont être testées. Il faut donc guider les élèves vers ces hypothèses de telle façon qu'ils aient l'impression de les avoir eux-mêmes formulées ».

- Une PCK de type « stratégie pour enseigner » construite à l'échelle des jeux d'apprentissage. Cette PCK se traduit par un processus de description du matériel alors que l'enseignant cherche à faire construire un protocole de test des hypothèses par les élèves, répond à un double but : d'une part, aider les élèves dans la construction du protocole, tâche difficile surtout pour des élèves de 6^{ème} et, d'autre part, maintenir une cohésion entre milieu didactique (au moins la composante matérielle de celui-ci) et contrat didactique. En effet, l'enseignant a sur la table le matériel qui sera nécessaire (il a donc prévu ce que les élèves feront comme manipulations) alors que ce sont les élèves qui sont censés proposer des protocoles à partir de leurs hypothèses. Une formulation de cette PCK peut être la suivante : « Afin de faire avancer le savoir dans la classe, la conception d'un protocole peut prendre appui sur le matériel déjà préparé par l'enseignant ». On peut d'ores et déjà noter que cette PCK est cohérente avec la précédente : il s'agit dans les deux cas de guider fortement les élèves tout en préservant l'idée qu'ils sont responsables de la mise en œuvre d'une démarche d'investigation.
- Deux PCK de type « difficultés d'élève » à l'échelle des épisodes. La première correspond plutôt à une « non mise en œuvre », face à des élèves en difficulté pour écrire leurs idées. En effet, certains élèves font des propositions pour expliquer ce qui va permettre la croissance (par exemple la chlorophylle) mais qui ne sont pas des facteurs abiotiques. L'enseignant ne semble pas comprendre que le problème n'est pas clair pour les élèves. Cette PCK est liée en partie à la dévolution du problème aux élèves : « la compréhension du problème par les élèves nécessite du temps ». La deuxième PCK se traduit par l'anticipation par l'enseignant d'une erreur : « ne faire varier qu'une seule variable à la fois. »

Remarquons que ces PCK sont liées, pour trois d'entre elles, à la démarche suivie en classe plutôt qu'à des éléments de savoir spécifique de la biologie. Cela pourrait être mis en regard avec l'analyse de la séance faite plus haut. Du point de vue épistémologique, en effet, celle-ci n'est pas vraiment consistante, mais elle est didactiquement favorable au travail sur la séparation des variables. Ce « grain » de savoir, très général, vient illustrer la catégorie « general PCK » du modèle de Veal et Makinster, (1999)(voir page15).

La présentation successive des analyses aux différentes échelles ne reflète pas le processus de construction de ces PCK. Chaque analyse vient compléter l'autre et la construction des PCK ne se fait pas de façon linéaire. L'intérêt d'analyser une séance à plusieurs échelles est de pouvoir rendre compte de la complexité de l'action d'enseigner. J'ai tenté de montrer comment cet enseignant se retrouve à gérer une situation complexe : mettre en œuvre une démarche d'investigation avec une approche de séparation des variables en une heure et demie. Les PCK

inférées reflètent les contraintes de la situation et la façon dont l'enseignant gère cette complexité : la démarche d'investigation est aménagée par une ambiguïté sur le contrat didactique au début de la séance (montrée par l'analyse au niveau de la séance) et par un changement de contrat avec l'introduction d'un jeu de description de matériel (montré par l'analyse en jeu d'apprentissage) afin de se rapprocher d'une séance de travaux pratiques plus classique. Le problème est à la charge de l'enseignant et est ramené à un problème de séparation de variables (montré par l'analyse en épisodes). On voit également une cohérence se dessiner en termes de PCK : la mise en œuvre d'une stratégie reposant sur l'aménagement du milieu didactique pour modifier la tâche des élèves en « jouant » sur un effet de contrat est en cohérence avec la tension en termes de contrat didactique liée à l'orientation pour l'enseignement des sciences de l'enseignant.

1.2.3 LES ECHELLES DE TEMPS ET LA PRISE EN COMPTE DE LA SITUATION DANS LA FORMALISATION DES PCK

Le premier intérêt, selon moi, de cette étude est d'exemplifier l'analyse des PCK à plusieurs échelles temporelles. Des PCK différentes sont reconstruites à chacune des échelles. Des études supplémentaires permettraient de chercher des liens entre ces échelles d'analyse et les types de PCK reconstruites, ce qui peut être une entrée intéressante pour comprendre la relation entre PCK et agir de l'enseignant. Une deuxième piste concerne le fait que les PCK peuvent présenter une cohérence d'ensemble au vu des contraintes de la situation, comme dans l'exemple de cette étude. Pour faire avancer les élèves et compte tenu des difficultés de ceux-ci dans un temps imparti, l'enseignant met en œuvre une stratégie de changement de conduite de la classe, présente une orientation pour l'enseignement des sciences que l'on peut qualifier d'hybride (à la fois démarche d'investigation et cours dialogué) et anticipe fortement sur la nécessité d'isoler les variables sans laisser les élèves se rendre compte par eux-mêmes de cette nécessité.

Le deuxième intérêt de cette étude est de montrer combien la formalisation des PCK mises en œuvre est intimement liée à la caractérisation de la situation, soit parce que celles-ci offrent une cohérence au regard d'enjeux ou de contraintes de la situation, soit, comme dans l'étude précédente, parce que les PCK mises en œuvre peuvent présenter un décalage par rapport à la situation analysée du point de vue du contrat et du milieu didactique. En conséquence, la question du développement des PCK ne peut se résumer à changer ou augmenter les PCK d'un enseignant sans prendre en charge la façon dont ce dernier identifie et comprend la situation, notamment la question des enjeux et des contraintes de celle-ci. L'étude suivante aborde la question du développement de PCK en lien avec les changements de l'agir de l'enseignant à la suite d'une formation.

2 CONTRIBUTION A LA FORMALISATION DES PCK EN LIEN AVEC L'AGIR DES ELEVES, LA QUESTION DE LA LECTURE DE LA SITUATION PAR L'ENSEIGNANT

Dans cette recherche (Cross & Grangeat, 2014 ; Cross & Lepareur, 2015), il s'agissait d'étudier les PCK d'une enseignante en lien avec les difficultés d'élèves dans le cadre d'une démarche d'investigation au collège. L'hypothèse de départ étant que la composante « difficultés d'élève » du modèle de Magnusson et al. (1999) est l'une des plus importantes (van Driel et al., 1998),

l'enseignant est susceptible, face aux difficultés des élèves, de mettre en œuvre des PCK. Cette étude a été menée dans le cadre du projet européen ASSIST-ME⁴¹ et du LEA EvaCoDICE⁴².

2.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

Le cadre théorique de l'étude articule les PCK avec les concepts de contrat et de milieu didactique tels que définis dans Sensevy & Mercier (2007). En termes de PCK, nous sommes partis du constat que le modèle CM2012 (voir paragraphe 1.2.1 du chapitre 1 page 24) ne distingue pas clairement ce qui relève de l'action de ce qui relève des connaissances : l'ensemble est compris dans la même catégorie des « Personal PCK and Skills ». De plus, dans ce modèle, le contexte intervient à différents niveaux (comme filtre et amplificateur mais aussi « directement » sur les PCK&S) sans que l'on sache s'il s'agit des mêmes éléments du contexte qui interviennent à plusieurs niveaux ou si, en fonction du niveau, ce sont des éléments différents qui interviennent. Nous avons donc proposé une modélisation un peu plus simple qui relie le contexte, les PCK et l'action (voir figure 16).

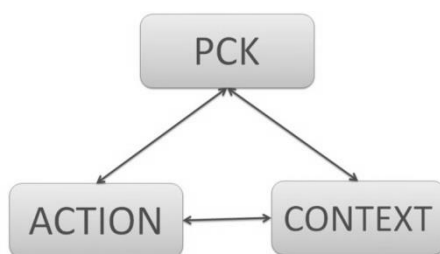


FIGURE 16 : RELATION ENTRE LE CONTEXTE, LES PCK ET L'ACTION D'APRES CROSS ET LEPAREUR (2015).

Nos données consistent en l'enregistrement, à l'aide de deux caméras, d'une séance en électricité dans une classe de quatrième. Une caméra était orientée sur l'enseignante, l'autre sur un groupe d'élève. Les élèves, en binôme, devaient effectuer un branchement électrique pour déterminer la tension aux bornes de plusieurs composants branchés dans un circuit simple en série (générateur, résistance, lampe et interrupteur). Ils ont déjà vu le branchement d'un voltmètre (en dérivation) et d'un ampèremètre (en série).

Afin de relier la mise en œuvre de PCK par l'enseignante avec des difficultés d'élèves, nous avons procédé à une première étape d'analyse consistant à étudier les processus d'autorégulation chez les élèves. Pour présenter rapidement en quoi consiste cette analyse, la mise en action s'appuie sur un point de vue cybernétique : une action est guidée par un but, le sujet mesure en permanence l'état d'avancement de la tâche dans laquelle il est engagé au regard du but de la tâche telle qu'il la perçoit. En fonction de l'écart entre son état actuel et l'état final visé, le sujet va adapter son action. Nous avons codé la vidéo⁴³ élève à l'aide des catégories suivantes :

- Les élèves font état du ou des buts à atteindre.
- Les élèves évaluent l'état de l'avancement dans la tâche.

⁴¹ <https://cordis.europa.eu/project/id/321428/reporting/fr>

⁴² <http://ife.ens-lyon.fr/lea/le-reseau/anciens-lea/evacodice>

⁴³ Le codage a été effectué en utilisant le logiciel Transana.

- Les élèves mettent en œuvre une stratégie pour réduire l'écart entre leur état d'avancement dans la tâche et le but à atteindre.

En plus de ces catégories, nous avons repéré les moments où les élèves montrent des signes de découragement face à la tâche. Puis nous avons codé la vidéo centrée sur l'enseignante selon les feedbacks fournis aux élèves suivant les catégories suivantes :

- Feedback faisant référence aux buts à atteindre.
- Feedback faisant référence à l'état d'avancement dans la tâche.
- Feedback faisant référence aux stratégies des élèves pour réduire l'écart entre l'état d'avancement et le but à atteindre.

Les codages de ces deux vidéos nous ont permis de repérer deux épisodes dans lesquels les élèves présentent des difficultés. Ces moments sont définis selon l'analyse ci-dessus :

- Les élèves sont dans l'attente d'un feedback,
- Ils se posent des questions par rapport au but à atteindre,
- Ils ne mettent pas en œuvre des stratégies de résolution.

Ces moments sont analysés à l'aide des concepts de contrat et de milieu didactique tels que définis dans la Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (Sensevy & Mercier, 2007) afin de reconstruire des PCK qui sont catégorisées à l'aide du modèle de Magnusson et al. (1999).

2.2 RESULTATS

Les moments repérés font suite à l'intervention de l'enseignante, qui demande au groupe d'élèves filmés de revoir le branchement du voltmètre. En regardant l'ensemble de la vidéo centrée sur le binôme d'élèves, on se rend compte que ceux-ci ont pris le voltmètre pour le générateur. Une explication de cette confusion vient du fait que, dans cette classe, les élèves utilisent pour la première fois le générateur de table (au lieu d'une pile, habituellement), qui est un dispositif intégré dans la paillasse et qui est invisible, si ce n'est les deux bornes de connexion apparentes sur le devant de celle-ci (changement d'un élément matériel usuel dans le milieu initial). L'enseignante a pour habitude de distribuer l'ensemble du matériel nécessaire à la réalisation de l'activité à chaque groupe dans une bassine au début de l'activité, il s'agit d'un élément pérenne du contrat didactique de cette classe. Les élèves cherchent donc dans cette bassine un générateur et concluent que c'est le voltmètre (qui est en fait un multimètre) qui fait office de générateur, celui-ci ayant une pile (qui sert à son fonctionnement). L'enseignante, en venant valider le montage dans ce groupe d'élève, leur demande de revoir le branchement du voltmètre (branché en série comme l'aurait été le générateur) mais sans donner plus d'indications aux élèves. A partir de l'analyse de ces deux épisodes, nous avons inféré les deux PCK suivantes, appartenant à la composante « connaissances sur les difficultés d'élèves » :

- 1- Les élèves n'ont pas de difficultés à reconnaître un générateur,
- 2- Les élèves ont des difficultés à brancher correctement un voltmètre : au lieu de le brancher en dérivation, ils le branchent en série.

Notons que la mise en œuvre de ces PCK dans cette situation précise ne correspond pas à un bon diagnostic de la difficulté des élèves. Ces PCK ont par la suite été étayées par l'analyse de la vidéo centrée sur l'enseignante, qui montre l'interaction de celle-ci avec d'autres groupes d'élèves. Nous avons ensuite mené un entretien avec l'enseignante et constaté qu'elle avait conscience

que les générateurs de table peuvent être sources de difficultés pour les élèves mais pas pour cette classe et que le branchement du multimètre reste difficile pour les élèves. Les conclusions de cet article étaient que la mise en œuvre de certaines PCK dans certains contextes peut être contre-productive du point de vue des apprentissages des élèves.

2.3 LECTURE DE LA SITUATION PAR L'ENSEIGNANT AU REGARD DES DIFFICULTES DES ELEVES

Cette étude met en évidence des PCK mises en œuvre par l'enseignante à partir des difficultés d'élèves. L'utilisation de la catégorisation de Magnusson et al. (1999) sert de « point de départ » à l'étude en ce qu'elle permet de faire l'hypothèse que les moments où les élèves éprouvent des difficultés sont propices à l'étude de PCK mises en œuvre tout en guidant fortement le regard : les deux PCK reconstruites sont, sans surprise, des PCK de type « difficultés d'élèves ». La PCK 2 (les élèves ont des difficultés à brancher correctement un voltmètre, au lieu de le brancher en dérivation, ils le branchent en série) est en décalage avec la difficulté réelle des élèves. Cette PCK semble être une PCK souvent énoncée par les enseignants. Ainsi, dans le cadre de ce projet, nous avons montré une partie de la vidéo élèves à d'autres enseignants de 4^{ème}, qui ont tout de suite noté que les élèves mettaient le voltmètre en série et précisé qu'il s'agissait d'une erreur commune à ce niveau d'enseignement. On peut ainsi faire l'hypothèse que cette PCK est souvent mise en œuvre par les enseignants pour expliquer des productions d'élèves non conformes à ce qui est attendu. Or, dans ce cas, l'enseignante ne semble pas prendre en compte les spécificités de la situation : première utilisation du générateur de table, changement dans les habitudes de la classe par rapport au matériel (tout le matériel n'est pas dans la bassine bleue, cette fois-ci), passation des consignes en même temps que la distribution du matériel, ce qui fait que certains groupes, dont le groupe d'élèves observé, ont tout de suite commencé à manipuler, sans attendre la fin des consignes, utilisation d'un multimètre contenant une pile pour les mesures de tension. Tout se passe comme si l'enseignante était dans une situation très générale de mesure de tension d'un circuit alors que les élèves sont, tout au moins au début de l'activité, dans une situation de recherche de la manière de réaliser le circuit avec le matériel disponible dans la bassine.

Cette étude montre donc l'importance de la prise en compte de la lecture de la situation par l'enseignant, qui constitue un facteur important pour l'étude de la mise en œuvre des PCK.

3 LA FORMALISATION DES PCK POUR RENDRE COMPTE DU LIEN ENTRE FORMATION ET L'AGIR DES ENSEIGNANTS

L'étude FORMSCIENCES⁴⁴ a été menée dans le cadre de l'Agence nationale de la recherche (ANR) (Munier et al., 2021) et son but était d'évaluer l'impact d'une formation longue à la démarche d'investigation sur l'agir des enseignants et les apprentissages des élèves. L'objectif de l'étude présentée ici et à laquelle j'ai contribué (Chesnais et al., 2017) était d'étudier les effets d'une formation sur l'agir d'enseignants à l'aide des PCK. Le projet FORMSCIENCES est décrit dans la partie suivante, avant une présentation plus précisée de l'étude à laquelle il a donné lieu.

⁴⁴ <https://anr.fr/Projet-ANR-13-APPR-0004>

3.1 PRESENTATION DE L'ETUDE FORMSCIENCES

Le projet de recherche interdisciplinaire FORMSCIENCES (2014-2018) associe des chercheurs en didactique des sciences, en psychologie des apprentissages et en économie de l'éducation. Il vise à évaluer l'impact d'un parcours de formation continue sur les pratiques des enseignants du primaire et, *in fine*, sur les apprentissages des élèves, leur motivation pour les sciences et leur vision des sciences. Le parcours de formation étudié vise à former les enseignants à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation, préconisé à l'école élémentaire et dans l'enseignement secondaire en France comme dans de nombreux pays depuis une vingtaine d'année (Boilevin, 2013 ; Calmettes, 2012 ; Coquide et al., 2009). Il a été conçu et mis en œuvre par les « Maisons pour la science », liées à la fondation *La main à la Pâte*. Ces Maisons sont implantées régionalement au sein des universités et mettent en œuvre des formations continues à destination des enseignants de l'école primaire et du collège. Ces formations sont pour la plupart relativement courtes (de quelques heures à une semaine). La fondation *La main à la pâte* a souhaité, en 2014, mettre en place un parcours plus long de développement professionnel et a sollicité un suivi de ses effets par la recherche, suivi qui fait l'objet du projet FORMSCIENCES. Les chercheurs impliqués dans l'étude de l'impact du parcours ne l'ont donc pas été dans son élaboration. Ce parcours a été mis en œuvre pour la première fois dans les Maisons pour la science d'Auvergne, de Lorraine et du Midi-Pyrénées, implantées dans les universités de Clermont-Ferrand, de Lorraine et de Toulouse à partir de 2015. L'étude a porté sur la première mise en œuvre du parcours dans ces trois Maisons. Il est depuis déployé plus largement dans d'autres Maisons.

Le parcours étudié comprend 80 heures de formation réparties sur deux ans. Il est adressé aux enseignants de l'école primaire de cycle 3 (élèves de 9 à 11 ans). À l'instar des autres formations des Maisons pour la science, il entend faire évoluer durablement les pratiques d'enseignement en mettant l'accent sur une vision cohérente des sciences expérimentales. La stratégie préconisée consiste à mettre les enseignants en « contact direct » avec la science et les chercheurs. Cela se traduit par le fait que les actions de développement professionnel des Maisons sont construites et conduites par des intervenants issus du monde éducatif et du monde scientifique ou technique. Le parcours est composé de plusieurs modules thématiques d'une ou deux journées et d'un dernier module dédié à la démarche d'investigation (DI). Ces modules de formation sont pris en charge selon les cas par des formateurs ESPE⁴⁵, des enseignants chercheurs en sciences dites « dures » (biologie, physique, mécanique, etc.), des enseignants de l'école élémentaire ou du collège ou des responsables de centres ressources. À la suite de certains modules, les enseignants sont accompagnés pour mettre en œuvre dans leurs classes des séquences sur les thématiques travaillées (par exemple, les machines simples, l'astronomie et le bois), soit par le ou les formateurs ayant animé les modules, soit par des étudiants en sciences dans le cadre du dispositif ASTEP⁴⁶. Ils peuvent également interagir à distance via un forum. La plupart des modules de formation comprennent des temps d'apports scientifiques sur les notions en jeu (par exemple : biodiversité, mécanique, astronomie), puis des temps lors desquels les enseignants sont mis en situation de vivre des activités proches de celles qui

⁴⁵ Ecole Supérieure du Professorat et de l'Éducation, en charge de la formation initiale des enseignants en France.

⁴⁶ Accompagnement en Science et Technologie à l'Ecole Primaire, dispositif visant à faire participer ponctuellement des étudiants en filière scientifique à l'enseignement scientifique à l'école primaire.

pourraient être proposées aux élèves. Ils disposent ensuite d'un temps plus ou moins long selon les modules pour travailler sur l'adaptation de ces activités à la classe, pouvant aller de quelques minutes à plus d'une heure.

L'étude comprend deux volets, le premier centré sur les élèves, le second sur les enseignants. Elle croise une étude qualitative, reposant sur le suivi de quelques enseignants, avec une étude quantitative. Cette dernière repose sur la comparaison statistique d'un groupe test et d'un groupe témoin. Dans deux Maisons, le parcours a été déployé en 2015-2016 et 2016-2017 (cohorte 1), dans la troisième, la mise en place a été décalée d'un an (cohorte 2). L'étude s'est déroulée sur 3 ans afin d'étudier le dispositif de formation et ses effets à court terme et une année après la fin du parcours. L'étude quantitative concerne les élèves et les enseignants des trois Maisons pour la science concernées. 134 enseignants de CE2, CM1 et CM2, volontaires pour participer au projet, ont été répartis par tirage au sort en deux groupes : un groupe test, qui a suivi la formation, et un groupe témoin, qui ne l'a pas suivie. Les deux groupes d'enseignants et leurs élèves (2 500 environ chaque année) ont été interrogés en début et en fin d'année pendant deux ans, par le biais de questionnaires développés dans le cadre du projet. Ils comprennent uniquement des questions fermées pour les questionnaires élèves et une majorité de questions fermées et quelques questions ouvertes pour les questionnaires enseignants. Des enquêteurs, recrutés dans le cadre du projet et munis de tablettes, ont testé les élèves sur leurs connaissances et capacités en sciences, leur motivation pour les sciences et leur vision des sciences (VOS). Les enseignants ont été interrogés sur leur formation initiale et leur carrière (questionnaire Q0), leurs pratiques d'enseignement des sciences, leurs connaissances sur l'enseignement des sciences et leur VOS. Le questionnaire Q0 a été passé en ligne avant le début de la formation, les autres questionnaires sur tablettes numériques pendant les passations des tests élèves. L'étude qualitative est centrée sur les enseignants. Elle a été menée dans deux Maisons. Les formations y ont été filmées intégralement et quatre enseignants ont été suivis dans chaque Maison. Des séquences de sciences ont été filmées dans leurs classes avant la formation, à plusieurs reprises en cours de formation et l'année suivant la fin de la formation. Le corpus pour cette étude qualitative comprend plus de 150 heures de vidéos. Des entretiens complémentaires ont également été menés avec trois enseignants à l'issue de la formation. L'étude présentée ci-dessous s'inscrit dans la partie qualitative du projet et est centrée sur les effets d'une formation (les machines) dans une Maison à partir de la mise en regard de la formation et de l'agir de trois enseignantes l'ayant suivi.

3.2 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

Pour étudier les effets de la formation sur l'agir des enseignants, nous avons été amenés à mettre en regard les traces des connaissances mobilisées par les enseignants dans leurs pratiques et les connaissances travaillées dans la formation. Nous entendons ici à la fois les PCK selon le modèle de Magnusson et al. (1999) et les connaissances disciplinaires (SMK). Mais, au-delà du constat, la question est également de chercher ce qui, dans la formation a pu favoriser ou non la mobilisation, dans l'agir, de connaissances qui y ont été travaillées. Cela suppose de s'intéresser aux conditions dans lesquelles elles ont été travaillées et à celles dans lesquelles elles sont ou non mobilisées.

Pour cela, nous nous inspirons d'un modèle constructiviste de l'apprentissage, en calquant notre approche sur celle que l'on peut avoir des effets des pratiques sur les apprentissages disciplinaires des élèves. Nous proposons donc de chercher comment les connaissances visées

sont introduites dans la formation : sont-elles uniquement énoncées par le formateur ou un enseignant ? Sont-elles l'enjeu d'une situation pensée pour les faire construire ?

Nous avons choisi trois entrées pour notre étude :

- La première entrée consiste à identifier des connaissances visées par la formation et en chercher des traces dans les pratiques des enseignants.
- Notre deuxième entrée consiste à étudier une situation, mise en œuvre en classe par trois enseignantes ayant suivi la formation, et qui est issue d'une situation travaillée en formation. Nous mettons alors en regard les PCK en jeu dans la formation autour de cette situation et celles que l'on peut inférer à partir des choix des enseignantes en tentant de répondre à ces questions : les PCK mobilisées par les enseignantes dans leurs séquences font-elles partie de ce qui était visé par les formateurs et/ou a été travaillé dans la formation ? A l'inverse, que reste-t-il dans les choix des enseignantes des PCK visées dans la formation à propos de cette situation ?
- Enfin, notre troisième entrée consiste à choisir un élément dont notre arrière-plan didactique permet de dire qu'il est déterminant dans les apprentissages des élèves (ici, l'émission d'hypothèses dans une démarche d'investigation) et qui, compte tenu des objectifs de la formation, pourrait / devrait faire partie de ce qui est visé, et nous tentons de mettre en relation ce qui est fait dans les séquences et ce qui a été travaillé en formation sur ce point.

Concrètement, nous avons filmé l'ensemble de la formation et transcrit la vidéo. Celle-ci a ensuite été codée à l'aide du logiciel Transana, de façon à repérer des extraits dans lesquels des PCK étaient explicitement en jeu et formulées, que nous qualifions de « moments de PCK ». Notons que seuls les moments de travail collectif ont été analysés, ce qui exclut en particulier tous les temps consacrés à la résolution des situations par les formés (c'est-à-dire lorsque les enseignants sont placés en situations d'élèves). La durée de ces extraits varie de plus de 10 minutes à quelques secondes. Nous avons ensuite catégorisé ces PCK selon leur type. Par exemple, nous avons repéré certaines PCK-Curriculum et PCK-Stratégie autour du thème des grandeurs et mesures : « le programme incite à introduire d'abord la grandeur et ensuite sa mesure » (PCK-Curriculum) et « on peut d'abord comparer des grandeurs à l'aide d'un étalon quelconque avant d'utiliser un étalon normé dans une situation à distance » (PCK-Stratégie). Nous avons aussi tenté de repérer l'articulation des différentes PCK entre elles. Par exemple, nous considérons comme articulées des PCK qui mettraient en relation des PCK-Elèves, des PCK-Curriculum et des PCK-Stratégie.

Du côté des enseignants, nous inférons, à partir de ce que les enseignantes ont proposé dans leurs classes, des PCK associées, c'est-à-dire que nous interprétons les décisions des enseignantes comme effet de la mobilisation de telle ou telle PCK ou, au contraire, lorsqu'une décision semble contradictoire avec une PCK travaillée en formation, nous inférons la non-mobilisation de cette PCK. A cette fin, les séances menées en classe par trois enseignantes ayant suivi la formation ont été filmées et transcrites et des données complémentaires ont été recueillies : documents élèves, documents de préparation, traces écrites. Nous avons ensuite analysé ces séances : nous y avons reconstitué chacune des tâches proposées aux élèves et avons analysé la mise en œuvre en classe, notamment les échanges oraux entre enseignant et élèves.

Enfin, concernant les effets de la formation, nous cherchons à identifier s'il existe un lien entre les PCK en jeu dans la formation et les PCK mobilisées ou non par les enseignantes. Les effets sont évalués selon deux points de vue. Premièrement, du point de vue interne : on conclura à un effet « positif » de la formation si les PCK visées par celle-ci sont effectivement mobilisées par les enseignantes pour peu que cela ait du sens dans la situation ou si des PCK mobilisées par les enseignantes peuvent être mises en relation avec ce qui a été travaillé dans la formation. On conclura à une absence d'effet dans le cas contraire. Deuxièmement, du point de vue externe : on conclura à un effet « positif » si des PCK visées dans la formation sont mobilisées dans des choix potentiellement porteurs en termes d'apprentissages pour les élèves ou si, dans des choix potentiellement porteurs en termes d'apprentissages et faits par les enseignantes, on peut identifier la mobilisation de PCK qui ont été travaillées dans la formation.

Pour dépasser le simple constat d'effet positif ou non et proposer des hypothèses explicatives, nous avons cherché à identifier la manière dont les PCK étaient travaillées dans la formation : selon qu'elles étaient amenées par le formateur ou par les formés, en réponse à des questions des formés, de manière « magistrale » ou en réponse à un problème, si les conditions de leur utilisation étaient abordées ou non etc.

3.3 RESULTATS

Nous avons pu identifier qu'au moins certaines connaissances qui constituaient des objectifs de la formation étaient mobilisées par les enseignants dans leurs séquences. Tout d'abord, on retrouve comme connaissances visées par les séquences des enseignantes certaines des SMK visées par les situations mises en œuvre par les formateurs. Cependant, si l'on considère certaines connaissances disciplinaires de plus haut niveau (comme la modélisation vectorielle des forces mais aussi la distinction masse / poids), l'étude des séquences mises en œuvre par les enseignantes révèle une grande variabilité dans la manière dont ces connaissances ont été mobilisées : objet d'apprentissage ou seulement outil pour l'enseignant, utilisées parfois de manière incorrecte. On peut supposer que, ces connaissances ayant été travaillées en formation en étant peu associées à des PCK explicites tandis que celles-ci étaient peu organisées, le caractère aléatoire des effets de la formation est lié au fait que les enseignantes les ont traitées avec leurs propres PCK, probablement insuffisantes dans certains cas pour garantir une mise en œuvre potentiellement porteuse en termes d'apprentissages pour les élèves.

Si l'on considère maintenant les PCK, certaines semblent partagées par les trois enseignantes à l'issue de la formation : par exemple la pertinence de l'usage des élastiques ou des ressorts pour la comparaison de forces. Il nous semble également que le fait que les trois enseignantes utilisent des situations proposées en formation peut être interprété par le fait qu'une PCK mise en œuvre serait que ces situations, organisées dans cet ordre, sont pertinentes pour enseigner le thème des machines en cycle 3, même si cela n'a pas explicitement été énoncé lors de la formation. Quant aux PCK explicitement visées par la formation, on constate qu'un certain nombre d'entre elles ne sont pas mises en œuvre par toutes les enseignantes et qu'il peut même exister une certaine « distorsion » par rapport à ce qui a été proposé en formation (par exemple à propos de la modélisation vectorielle des forces), éventuellement au détriment de la cohérence des situations et de la séquence, donc potentiellement des apprentissages des élèves. Les effets de la formation sur l'agir des enseignantes apparaissent ainsi comme relativement limités et en tout cas aléatoires.

La mise en regard de ces effets et des PCK travaillées dans la formation nous amène à émettre des hypothèses sur ce qui favorise ou fait obstacle, éventuellement selon les enseignantes, à la mise en œuvre de ces PCK. D'une part, l'analyse de la formation montre que les PCK sont relativement peu nombreuses et qu'elles ne sont présentées que comme des « commentaires », apparaissant peu en tant que réponses à un problème d'enseignement ou d'apprentissage. Nos résultats semblent ainsi indiquer que, si des PCK ne sont pas travaillées explicitement en formation, il y a peu de chance qu'elles soient mises en œuvre par les formés. D'autre part, elles sont peu articulées à la fois entre elles et avec les PCK existantes des enseignantes, ce qui laisse penser que cette articulation ne peut pas non plus se faire de façon positive pour les apprentissages des élèves si elle n'est pas prise en charge dans la formation.

Enfin, un autre résultat qui nous semble important est le fait que des PCK travaillées plus localement, en lien avec des situations précises que les enseignantes envisagent de mettre en œuvre dans leurs classes (notamment lors de l'accompagnement), articulées avec d'autres et / ou en lien avec des préoccupations exprimées par les formés, semblent laisser davantage de traces dans les pratiques que les PCK énoncées de manière isolée (moins contextualisée). Par exemple, la PCK-Elève concernant la modélisation vectorielle des forces : « on ne peut pas aller dans le détail » n'est pas articulée avec d'autres PCK alors que cela pourrait permettre de comprendre la logique de la séquence proposée par le formateur. Notons tout de même qu'il convient de rester prudent sur ce résultat compte tenu du nombre réduit d'observations sur lequel nous nous appuyons.

Or, tout se passe comme si la formation était sous-tendue par l'idée que vivre les situations en tant qu'élève – le formateur endossant le rôle de l'enseignant – et ajouter ponctuellement des PCK en commentaires, devait suffire à garantir la mise en œuvre conforme et efficace des mêmes situations dans les classes. Ce dispositif peut ainsi être considéré comme un dispositif de formation par *homologie* (Houdement et Kuzniak, 1996), que nous qualifierions même d'*homologie stricte*, dans la mesure où les tâches prescrites aux formés se limitent à la résolution des situations, avec peu d'apports supplémentaires. Trois hypothèses de modèle sous-jacent à la formation sont alors à notre sens plausibles : soit le formateur considère que ces connaissances supplémentaires ne sont pas nécessaires ; soit il considère que les enseignants les maîtrisent déjà (rappelons que les enseignants sont expérimentés) et que celles ajoutées s'insèrent naturellement et sans conflit dans celles déjà existantes ; soit enfin, il considère qu'elles se construisent et s'articulent automatiquement dans l'action en tant que sujet de ces situations et dans l'observation du formateur / enseignant, sans nécessité de les expliciter, et qu'elles sont automatiquement mises en œuvre ensuite par l'enseignant de manière pertinente. Nos analyses ne nous permettent pas d'identifier une structuration de la formation en termes de PCK identifiées *a priori*, puisque la plupart d'entre elles semblent apparaître de façon « opportuniste », essentiellement sans support de formalisation (sauf pour quelques-unes — comme sur les étapes de construction des grandeurs et mesures — pour lesquelles les formateurs ont anticipé des supports de présentation). Compte tenu de nos données, il nous est difficile de trancher entre ces hypothèses. Toutefois, pour certaines connaissances au moins (comme les difficultés des élèves, par exemple), il semblerait que la formation soit conçue de telle façon que vivre les situations est prévu pour que les enseignants les rencontrent.

3.4 LA QUESTION DU DEVELOPPEMENT DES PCK EN FORMATION ET DE LEUR SPECIFICITE DU POINT DE VUE DE LA SITUATION SUPPORT A LEUR DEVELOPPEMENT

Cette étude présente selon moi l'intérêt de montrer comment une formalisation des PCK en formation puis dans l'agir des enseignants permet de penser les effets d'une formation sur l'agir de l'enseignant. Cependant, elle en pointe également des limites : malgré la formalisation de certaines PCK en formation, il reste difficile d'expliquer la variété dans l'agir des enseignants ayant suivi la formation. Dans cette étude, nous avons retenu quelques descripteurs pour dépasser le simple constat d'une présence ou non de PCK en formation (selon qu'elles étaient amenées par le formateur ou par les formés, en réponse à des questions des formés, de manière « magistrale » ou en réponse à un problème, si les conditions de leur utilisation étaient abordées ou non). Cependant cette formalisation et cette caractérisation des PCK en formation mériteraient de prendre appui sur un point de vue théorique de leur développement et plus généralement sur la question du développement professionnel des enseignants.

En rapport avec le lien entre PCK et situations, évoqué en discussion des précédentes études, cette recherche montre que la formation n'est pas pensée en termes de PCK spécifiques à la situation, et que les situations ne sont pas travaillées du point de vue de leurs enjeux ou des contraintes qui leurs sont liées (par exemple, du point de vue de l'intention didactique ou des spécificités liées aux savoirs en jeu). Au-delà de la question de l'explicitation, qui semble nécessaire, des PCK ou des spécificités et enjeux des situations étudiées se pose celle de la généralisation possible des PCK ou des situations associées aux PCK à partir de ce type de formation. Plus généralement, comment est-il possible d'apprendre à gérer des situations idiosyncratiques et sans cesse nouvelles si les PCK sont fortement liées à des situations particulières sans pour autant penser un modèle de l'enseignant comme sujet disposant d'un nombre très important de PCK spécifiques à chaque situation ? Une des pistes pour répondre à cette question est la question du langage. En effet, pour Vergnaud (1991) un des rôles du langage est de « contribuer à la transformation du statut des connaissances, en favorisant l'élaboration d'objets de niveau de plus en plus élevé » (Vergnaud, 1991, p. 85). Dans ce texte, Vergnaud fait référence à l'apprentissage des mathématiques mais on peut penser qu'il est possible d'appliquer ce principe à toute forme de connaissances. Ainsi, grâce au langage, le statut des PCK est transformé via l'élaboration d'objets de niveaux de plus en plus élevés. Pour reprendre les exemples présentés dans les trois recherches ci-dessus, il pourrait s'agir de l'objet « démarche d'investigation ». En demandant aux enseignants de mettre des mots sur leur façon de gérer ces démarches (à partir d'un ensemble de situations particulières), on peut faire l'hypothèse qu'ils vont élaborer un objet de niveau plus élevé, ce qui va en retour transformer leurs PCK associées à ces situations particulières. Or, comme je l'ai indiqué dans la partie 1, les études sur les PCK ont, jusqu'à présent, opposé le dire et le faire des enseignants. Les études présentées dans la partie suivante visent à apporter des éléments pour penser le dire et le faire autrement qu'en termes d'opposition.

4 UNE APPROCHE DISCURSIVE POUR DEPASSER L'OPPOSITION ENTRE LE DIRE ET LE FAIRE DE L'ENSEIGNANT DANS L'ETUDE DES PCK

J'avais pointé dans mon travail de thèse (Cross, 2009) que le statut des propos tenus par les enseignants lors des études sur les PCK n'étaient que peu théorisé (en tant que discours adressé, sous couvert d'une institution de recherche donnée, dans un dispositif spécifié, etc.). La discussion en partie 2 (voir page 42) montre que les données issues du dire de l'enseignant sont

soit opposées aux données issues des traces de l'agir soit traitées sans lien avec l'agir de l'enseignant. Or, il me semble qu'en théorisant les propos de l'enseignant et en adoptant une méthode d'analyse *ad hoc*, il est possible de dépasser l'opposition entre le dire et le faire. Afin d'exemplifier cela, je vais m'appuyer sur deux exemples issus de mes recherches. J'ai eu l'occasion d'utiliser des questionnaires à destination d'enseignants dans le cadre du projet FORMSCIENCES, ce qui a donné lieu à deux publications (Bächtold et al., 2019 ; Cross et al., 2019) permettant de discuter d'aspects méthodologiques quant à l'utilisation de données déclaratives et de la façon dont on peut envisager le dire de l'enseignant sans l'opposer à l'agir.

4.1 D'UNE RECHERCHE SUR LES PCK PAR QUESTIONNAIRE A L'ANALYSE DU DISCOURS D'UN GROUPE D'ENSEIGNANTS

Avec l'aide de collègues didacticiens et d'un chercheur en linguistique, j'avais proposé une étude exploratoire sur la question de l'utilisation de questionnaires pour étudier les pratiques et PCK des enseignants (Cross et al., 2019). Dans le cadre du projet FORMSCIENCES, nous avons fait passer à 130 enseignants du premier degré un questionnaire dont une partie concernait leurs PCK, l'autre partie leurs pratiques. Le choix de la méthode d'enquête (questionnaire à questions fermées et ouvertes) était guidé par le nombre important d'enseignants participant à l'étude et non pas par une réflexion théorique sur les objets. Après leur exploitation dans le cadre du projet, nous avons voulu revenir sur les données récoltées en essayant de théoriser leur nature et redéfinir l'objet de cette étude en nous focalisant sur un groupe de trois questions à propos des conceptions des élèves :

- Q1 : Quel est l'intérêt, selon vous, de faire émerger les conceptions des élèves ?
- Q2 : Quel est l'intérêt, selon vous, de travailler les conceptions des élèves lors de la séquence ?
- Q3 : Pouvez-vous citer une ou deux conceptions erronées d'élèves qui vous paraissent particulièrement difficiles à dépasser ?

4.1.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

La participation du collègue linguiste nous a permis de penser les réponses non pas tout de suite en termes de PCK (principalement des PCK-Elèves dans le modèle de Magnusson et al., 1999) mais dans un premier temps en termes de discours d'enseignants. Nous sommes ainsi partis de la définition du discours comme une « activité de sujets inscrits dans des contextes déterminés produisant des énoncés d'un autre ordre que celui de la phrase » (Maingueneau, 2009). Plus précisément, nous avons considéré, avec Charaudeau et al. (2002), que notre corpus de réponses aux questions de l'enquête relevait du discours en tant qu'il :

- suppose une organisation transphrastique : il s'agit ici d'un certain type de discours, normé, produit dans un cadre socialement déterminé d'enquête scientifique : le lien entre les différents éléments du discours (questions / réponses, par exemple), est donc structuré selon des critères qui dépassent le cadre de la phrase isolée ;
- est orienté, et ce à double titre : il correspond à une visée du locuteur (répondre à une question posée) et se déroule dans le temps (il participe d'un dialogue avec les chercheurs) ;
- est une forme d'action : ici, les enseignants, par leur réponse, assument, voire postulent une certaine manière de se comporter en situation professionnelle ;

- est interactif : les réponses apportées correspondent à une interaction avec les chercheurs sur l'objet d'étude, interaction qui peut se caractériser par exemple par une prise en charge, une opposition, un aménagement de la démarche d'investigation ;
- est contextualisé : ici, le contexte est celui dans lequel des enseignants répondent à des chercheurs, ce qui peut induire certains comportements, soit de défiance, soit de collaboration, parfois l'intention de montrer sa connaissance de l'objet analysé. De même, la situation de production, l'enquête, est une donnée contextuelle essentielle à la compréhension des réponses apportées ;
- est pris en charge : les enseignants, par leurs réponses, assument être à leur origine et adoptent des postures différentes, également assumées. Nous partons également du principe que la prise en charge, par les enseignants, de leurs réponses, suppose qu'ils sont sincères et que, donc, leurs réponses correspondent à ce qu'ils considèrent comme pertinent au moment de répondre au questionnaire ;
- est régi par des normes : les normes les plus évidentes sont ici celles qui régissent la place de chaque participant dans le cadre d'une enquête, particulièrement, ici, d'un questionnaire. Une autre norme en vigueur ici, du moins selon notre hypothèse, est celle du respect des maximes conversationnelles de pertinence, de quantité et de qualité (on dit ce que l'on pense être pertinent en réponse à la question, en étant attentif à être suffisamment précis et à apporter une réponse de qualité) ;
- est pris dans un interdiscours : les questions et les réponses se comprennent en référence aux notions de démarche d'investigation et de conceptions. En apportant leurs réponses personnelles, en outre, les enseignants construisent, dans l'interaction, une certaine représentation des éléments évoqués dans la situation (conceptions, élaboration d'une séquence, etc.).

Ce positionnement des réponses comme un discours nous a ainsi amenés à utiliser des outils linguistiques développés pour analyser le discours. Sans rentrer dans les détails de cette étude, les analyses ont permis de construire des patterns de réponses des enseignants correspondant à des représentations collectives du rôle que peuvent jouer les conceptions dans un enseignement scientifique. Nous écrivons au sujet de ces représentations et de notre méthode que nous ne lisons pas les réponses des enseignants comme les énoncés d'individus précis mais comme les émanations d'individus appartenant à une communauté. On ne peut pas en effet inférer les représentations d'un enseignant d'une simple réponse. La réponse n'est pas forcément une image fidèle d'une représentation ou d'une pratique et il est important de ne pas céder à la tentation de catégoriser un enseignant individuel sur la base de celle-ci, fût-elle incluse dans une analyse plus large. Notre analyse ne porte donc pas sur l'individu spécifique, son grain est celui du groupe, dans lequel des représentations sont plus ou moins communément partagées. Nous sommes à la recherche de représentations professionnelles typiques, que l'on peut repérer parmi les enseignants. En ce sens, nous assimilons les représentations professionnelles étudiées dans cette recherche à des PCK.

4.1.2 RESULTATS

Les résultats montrent l'existence de deux patterns de réponse stables (les conceptions pour aider les élèves à apprendre et les conceptions pour adapter son enseignement) pour une partie des répondants, renvoyant potentiellement à un éventail large de pratiques, ainsi qu'une possible réification de la notion de conception qui hérite à la fois de traits définitoires issus du champ de la didactique et de l'agir de l'enseignant. Nous faisons en effet l'hypothèse que c'est à

travers son agir en classe que l'enseignant est amené à redéfinir, en partie, la notion de conception. Ainsi, la nécessité pour l'enseignant de gérer le « vrai et le faux » en science, le temps limité accordé aux sciences à l'école primaire, le statut de l'erreur à l'école sont des particularités de l'agir en classe qui peuvent, potentiellement, expliquer les patterns de réponses que nous avons obtenus.

4.1.3 LE DIRE DE L'ENSEIGNANT COMME UN AGIR DANS UNE SITUATION PARTICULIERE

Cette collaboration entre didacticiens et linguiste nous a amenés à accorder une importance ontologique à nos données : ce que nous avons obtenu en demandant à des enseignants de remplir un questionnaire est avant tout un texte. Ce texte correspond à un discours d'un ensemble d'enseignants à propos des conceptions, produit sous certaines contraintes. Ainsi, nos questions 1 et 2 sous-entendent qu'il y a un intérêt à faire émerger ou travailler les conceptions des élèves. Aucun enseignant ne nous a répondu : « il n'y a aucun intérêt à faire émerger les conceptions d'élèves en classe ». Ici, les chercheurs amènent donc quelque peu les enseignants à jouer un jeu de savoir dans lequel ils doivent montrer qu'ils sont détenteurs de « connaissances didactiques ». Il faut alors penser les réponses des enseignants, et donc les PCK reconstruites dans cette étude, également en lien avec une fonction justificatrice auprès de chercheurs en éducation. On voit ainsi apparaître en filigrane des patterns obtenus, un agir de l'enseignant qui n'est pas seulement celui de l'agir en classe mais également un agir en relation avec d'autres interlocuteurs dont le but est de rendre compte de l'agir en classe. Autrement dit, l'agir de l'enseignant ne se résume pas à la préparation des séances et à la mise en œuvre en classe. On peut penser ainsi à plusieurs situations où l'enseignant agit principalement en parlant de son agir en classe : lorsqu'il s'entretient avec des parents d'élèves, avec des collègues, avec sa hiérarchie, etc. Etre capable de parler de, de mettre des mots sur son agir nécessite des connaissances particulières en lien avec la situation dans laquelle on se trouve.

4.2 LA VISION DES SCIENCES DES ENSEIGNANTS : D'UNE DEMARCHE DESCENDANTE A UNE RECONSTRUCTION A PARTIR DES PRATIQUES EN CLASSE

Tout un courant de recherche s'intéresse à la vision des sciences des enseignants (appelée en anglais Vision of Science, VOS ou encore Nature of Science, NOS), le postulat étant que cette vision des sciences a un impact sur l'agir en classe des enseignants et qu'une VOS experte chez l'enseignant peut participer à un meilleur apprentissage chez les élèves. Il est possible de rapprocher les VOS des PCK : soit comme éléments participant à la composante « orientation pour l'enseignement des sciences » du modèle de Magnusson et al. (1999) soit comme filtres ou amplificateurs dans les modèles de consensus.

4.2.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

Dans le cadre du projet FORMSCIENCES, nous avons cherché à mesurer l'évolution de la VOS chez les enseignants au cours d'une formation. Pour cela, nous avons fait passer un questionnaire construit en référence à des points d'épistémologie qui font consensus dans la littérature. Notons que l'approche la plus répandue dans la littérature sur les VOS consiste à catégoriser les VOS des enseignants par rapport à une épistémologie experte pour ensuite construire des profils épistémologiques d'enseignants. On peut qualifier cette démarche de descendante (ou de normative) dans la mesure où elle cherche à appliquer des critères établis à partir de l'analyse de l'activité scientifique à des « visions » d'enseignants. Cela amène ainsi certains chercheurs à identifier des enseignants « inductivistes », « relativistes » ou encore

« instrumentalistes ». L'originalité de notre approche était de ne pas chercher à catégoriser les visions des enseignants par rapport à des profils établis *a priori* mais à construire des profils à l'aide d'outils statistiques. De plus, nous avons cherché à étudier plusieurs points constitutifs d'épistémologies diverses dans des contextes différents. Ainsi, pour établir la distinction entre le modèle et la réalité, nous avons utilisé deux contextes : la « découverte » des atomes au 19^{ème} siècle et le passage d'un modèle géocentrique à un modèle héliocentrique au 15^{ème} siècle. Chaque réponse au questionnaire était codée selon un degré d'expertise épistémologique⁴⁷. Nous avons ensuite utilisé des méthodes multivariées d'analyse statistiques, à savoir l'analyse implicative et l'analyse factorielle des correspondances multiples.

4.2.2 RESULTATS

Nos résultats montrent que les profils de vision des sciences des enseignants ainsi reconstruits ne correspondent pas aux profils identifiés à partir de l'analyse de l'activité scientifique. Une analyse en cluster⁴⁸ permet de confirmer que les profils reconstruits ne présentent pas de cohérence du point de vue purement épistémologique. Ainsi, un enseignant peut être expert dans certains domaines de l'épistémologie des sciences sans pour autant être expert dans d'autres domaines de l'épistémologie.

4.2.3 DISCUSSION

L'interprétation des résultats que nous avons proposée était que les visions des sciences des enseignants sont au moins en partie le fruit de la sédimentation de l'agir en classe. La vision des sciences des enseignants et l'agir en classe entretiennent ainsi une relation dialectique, comme le notent Pélissier et Venturini (2016) :

« des travaux plus récents prennent le parti de soutenir la complexité d'un modèle dans lequel les pratiques des enseignants entretiennent une relation d'influence réciproque avec un système imbriqué de points de vue sur la nature de la science, sur l'enseignement des sciences et l'apprentissage (Porlan & al., 1998 ; Tsai, 2002 ; Richoux & Beaufile, 2005 ; Water-Adams, 2006), dans lequel les uns sont nichés dans les autres (« nested epistemologies », selon Tsai). (Pélissier & Venturini, 2016, p. 67)

La cohérence dans les profils d'enseignants ne peut se trouver que du seul point de vue épistémologique, elle est à chercher également depuis la perspective de l'agir, par exemple au niveau de la transposition didactique des savoirs, du matériel disponible pour enseigner, des stratégies mises en place par les enseignants etc. De la même façon que les catégories de connaissances, les profils épistémologiques gagneraient sûrement à être redéfinis en association avec l'étude de l'agir en classe.

Cette étude montre l'importance de ne pas isoler le dire de l'enseignant de son agir ni du contexte de son agir en classe, mais à chercher au contraire une articulation entre les deux types de données.

⁴⁷ Ce degré d'expertise épistémologique a été construit sur la base des réponses au questionnaire de personnes jugées expertes du point de vue de l'épistémologie (didacticiens des sciences, historiens des sciences et épistémologues).

⁴⁸ Il s'agit d'une classification hiérarchique sur composante principale menée sur R avec le package FactomineR.

4.3 LE DIRE DES ENSEIGNANT, UN AGIR DANS UNE SITUATION PARTICULIERE

Les deux exemples ci-dessus illustrent qu'on ne peut pas essentialiser la relation entre le type de données et les objets que l'on étudie comme le proposent dans une certaine mesure Chan et Hume (2019). En théorisant comme un discours des réponses à un questionnaire, nous avons en effet été capables de mettre en évidence que le terme de conception tel qu'utilisé en discours par les enseignants renvoie à la fois à des traits définitoires issus de la didactique mais aussi à l'agir en classe de l'enseignant (conception juste ou fausse par exemple, ce qui renvoie au statut de l'erreur en classe). En adoptant une approche empiriste pour reconstruire des profils épistémologiques, nous avons remis en question l'idée que les enseignants présentent une cohérence épistémologique donnée *a priori* pour rechercher celle-ci du côté de l'agir en classe. Ces approches de l'analyse du questionnaire laissent transparaître les caractéristiques de l'agir en classe des enseignants à travers leur dire : la nécessité de gérer le vrai et le faux en classe pour les enseignants, une épistémologie liée aux thématiques enseignées, au matériel disponible, à ce qui est faisable en classe dans une durée contrainte, etc. Autrement dit, ces deux approches permettent de dépasser l'opposition entre le dire et l'agir de l'enseignant en supposant que le dire de l'enseignant est un agir dans une situation particulière, celle de répondre à un chercheur, qui a des caractéristiques propres. Il n'est, de ce point de vue, pas pertinent de comparer cette situation à la situation d'agir en classe avec les élèves. Cependant, il existe une relation entre l'agir de l'enseignant dans une situation d'interaction avec le chercheur et l'agir de l'enseignant en classe. Cette relation peut être mise en évidence, plus ou moins, en fonction du choix du traitement des données.

5 DISCUSSION SUR CET ENSEMBLE DE TRAVAUX

5.1 SPECIFICITES DE MES TRAVAUX SUR LES PCK

Comme annoncé dans l'introduction de ce chapitre, cette partie de mes recherches sur les PCK m'a permis d'explorer plusieurs axes au gré des projets auxquels j'ai participé et des collaborations que j'ai nouées :

- Comment construire des PCK à partir de l'étude de l'agir en classe ?
- Comment penser la relation entre l'agir des élèves et les PCK de l'enseignant ?
- Comment étudier le lien du point de vue des PCK entre formation des enseignants et l'agir en classe ?
- Et enfin comment dépasser l'opposition entre le dire et le faire de l'enseignant dans l'étude des PCK ?

Les résultats sont à l'image de nombreuses recherches sur les PCK : des études de cas qu'il est difficile de généraliser, des méthodes d'étude variées, ce qui ne facilite pas la comparaison des résultats et n'autorise finalement que peu d'intelligibilité sur les processus d'enseignement-apprentissage en référence aux connaissances des enseignants ou sur le développement des PCK. Cependant, au cœur de ces travaux se trouve la question du lien entre l'agir de l'enseignant, les PCK et la situation. Pour cela, différents cadres d'analyse de l'agir ont été mobilisés ainsi que des méthodes d'analyse reposant principalement sur les données filmiques en classe. Pour Kermen & Izquierdo-Aymerich (2017), cette importance accordée à l'étude de l'agir de l'enseignant dans les recherches sur les PCK constitue une particularité des recherches françaises. Settlage (2013) critique d'ailleurs les recherches internationales sur ce thème en pointant que le modèle de l'agir de l'enseignant (et plus généralement du processus

d'enseignement-apprentissage) est implicite et naïf⁴⁹ dans la plupart des recherches. La variété des axes explorés au gré des projets conjoncturels divers n'a pas permis un réel approfondissement de chacun d'entre eux ou de l'un d'entre eux ce qui est sûrement dommage. Néanmoins, ces axes offrent une complémentarité (formation des enseignants, agir de l'enseignant en classe, relation avec les élèves, et méthode d'étude pour formaliser les PCK) Cette complémentarité m'a permis, peu à peu de faire l'hypothèse d'un lien complexe entre l'agir, les PCK et la situation. Mes recherches présentent de ce fait un certain nombre de caractéristiques :

- La prise en compte de la situation à travers certaines caractéristiques du savoir en jeu (du point de vue de la modélisation principalement) et à travers l'intention didactique : préparer les élèves aux études supérieures ou au Baccalauréat (Cross, 2010 ; Cross & Le Maréchal, 2013), faire faire une démarche d'investigation aux élèves dans un temps restreint (Cross, 2017 ; Cross & Lepareur, 2015).
- La prise en compte de différentes échelles temporelles pour étudier les PCK en partant du principe selon lequel, l'agir de l'enseignant étant organisé suivant plusieurs échelles de temps et les PCK liées à l'agir de l'enseignant, alors les PCK sont également organisées selon plusieurs échelles temporelles (Cross, 2010, 2017).
- Une construction des PCK à partir d'éléments issus : 1) de l'analyse de l'agir en classe (Cross, 2010) ; 2) de l'analyse linguistique de réponses à une question ouverte dans un questionnaire sur l'agir des enseignants (Cross et al., 2019) ; 3) de l'analyse des réponses à un questionnaire sur la vision des sciences⁵⁰ (Bächtold et al., 2019). La construction des PCK à partir d'éléments fait appel à des outils statistiques afin de repérer des régularités chez un même enseignant ou bien des profils dans un ensemble d'enseignants sans *a priori* du chercheur.
- Un point de vue sur le développement professionnel des enseignants qui ne peut se limiter à un accroissement de PCK mais doit prendre en compte non seulement les situations dans lesquelles les PCK sont mises en œuvre mais aussi la manière dont elles sont lues par les enseignants.

5.2 LES VIDEOS COMME DONNEES PRINCIPALES POUR L'ETUDE DES PCK

L'utilisation quasi-systématique de données vidéo de situation de classe donne une certaine coloration à mes travaux sur les PCK. En effet les données vidéo présentent un certain nombre de caractéristiques (Tiberghien & Sensevy, 2012) parmi lesquelles de rendre compte de la temporalité des événements. Dans mes recherches, cette caractéristique a été prise en compte dans les analyses grâce à l'utilisation systématique du logiciel Transana. Celui-ci permet, de fait, de représenter la temporalité des événements (que ce soit la séquentialité des événements, ou la durée de ceux-ci) sous forme de graphes. Ces graphes ont été le support des analyses et un moyen de représenter les résultats. Ainsi par exemple dans mon travail de thèse (Cross, 2009), il est possible, grâce à ces graphes, de repérer temporellement chacune des TPC reconstruites. Dans le travail sur la mise en relation de PCK et des difficultés d'élèves (Cross & Lepareur, 2015),

⁴⁹ Le modèle implicite reconstruit par Settlage à partir de différentes publications est de type « réservoir vide » : la tête des élèves comme un réservoir vide, précisément, que l'enseignant se contente de remplir avec le savoir à enseigner.

⁵⁰ On peut supposer qu'à ces différentes situations correspondent différents types de PCK.

c'est une analyse de graphes Transana représentant l'agir des élèves (codé en fonction des catégories correspondant à l'autorégulation des élèves) qui nous a permis de repérer des moments correspondant à des difficultés d'élèves. Mes recherches sur les PCK prennent ainsi en compte des aspects temporels des processus d'enseignement-apprentissage. Les résultats de ces recherches ne peuvent donc se présenter sous forme d'une liste de PCK mises en œuvre mais prennent le plus souvent la forme d'une narration didactique articulant l'enjeu de la situation au vu du déroulement de la séance et les PCK mise en œuvre par l'enseignant.

5.3 UN POINT DE VUE EPISTEMOLOGIQUE SUR LE SAVOIR

Mes travaux adoptent un point de vue sur le savoir qui n'est pas seulement disciplinaire mais aussi épistémologique. Cette approche me semble correspondre à une autre particularité des approches françaises sur les PCK puisque Kermen (2018) et Jameau (2015) font eux aussi référence à la modélisation dans leurs travaux. La prise en compte du savoir du point de vue épistémologique permet de penser différemment la question difficile du découpage du savoir pour spécifier les PCK. La taxonomie de Veal & Makinster (1999) présentée page 15 et qui s'appuie sur un découpage en disciplines scolaires pose en effet plus de problèmes qu'elle n'en résout. Les disciplines scolaires sont de fait dépendantes d'institutions qui ne sont pas universelles. Une approche qui prend en compte non seulement les contenus, tels qu'enseignés dans la classe, mais aussi la façon dont les acteurs font fonctionner le savoir me paraît plus à même de rendre compte des PCK mises en œuvre en classe. Dans mes travaux, en plus du point de vue épistémologique, le caractère local ou global des PCK est également pris en compte. Ce caractère est défini par le nombre de situations dans lesquelles la PCK est mise en œuvre (PCK locale ou globale selon Morge, 2003). Cette double caractérisation des situations dans lesquelles les PCK sont mises en œuvre (par le savoir et par leurs étendue) peut être qualifiée de pragmatique car elle fait référence à la manière dont les sujets font fonctionner le savoir dans une institution.

5.4 UNE IMPORTANCE ONTOLOGIQUE DES DONNEES

Le caractère pragmatique de mes recherches peut d'ailleurs être étendu, au-delà de la caractérisation des PCK, à la façon d'analyser les données. En ce qui concerne les données vidéo, celles-ci sont traitées grâce au logiciel Transana qui, au-delà de prendre en compte les aspects temporels, permet de créer des unités d'analyse sous forme de clips vidéo. L'unité d'analyse reste donc de la vidéo ce qui permet de s'appuyer sur l'ensemble des caractéristiques des données vidéo (par exemple la densité d'information, le caractère analogique des données par rapport à la situation réelle, la temporalité des événements, etc.). En conservant certaines caractéristiques des données vidéo tout au long de l'analyse, il s'agit de rester au plus près de ce qui est donné à voir en limitant autant que faire se peut les surinterprétations. En effet, il est toujours délicat de gérer le saut d'inférence entre les données et l'interprétation en termes de PCK car celles-ci ne sont jamais accessibles directement (à moins de considérer que de demander directement aux enseignants ce qu'ils savent suffit à étudier les PCK). Ainsi les PCK sont construites en prenant en compte les aspects temporels, les gestes, les intonations, etc.

Cette importance accordée aux données et à leur nature dans mes recherches est également illustrée au-delà des données vidéo. En pensant comme un discours les réponses des enseignants à un questionnaire (Cross et al., 2019), nous avons pu nous appuyer sur les caractéristiques de celui-ci afin de penser une méthode d'analyse et interpréter nos résultats. Ainsi, les réponses des enseignants ne « sont » pas des PCK mais participent d'un discours. C'est

l'analyse du discours qui nous a permis de reconstruire des PCK liées à une situation particulière, celle dans laquelle l'enseignant est amené à parler de conceptions, de sa manière de les prendre en compte, à un chercheur. De la même façon dans notre étude de la vision des sciences des enseignants, la méthode d'analyse permet de considérer les données comme des réponses à un questionnaire (et donc comme étant dépendant d'un contexte) et non pas comme l'expression d'un profil épistémologique relevant d'un seul des grands courants épistémologiques, profils qui seraient donc identifiés à priori. Les résultats montrent d'ailleurs qu'il est sûrement plus pertinent de penser la VOS des enseignants comme très dépendante du contexte. De manière générale, mon approche cherche donc à donner une importance ontologique aux données, c'est-à-dire de travailler en prenant en compte les caractéristiques des données en utilisant des méthodes d'analyses et de représentations des données ad hoc : graphes, outils statistiques, logiciel d'annotation vidéo etc.

CHAPITRE 4 : UNE PROPOSITION THEORIQUE POUR REPENSER LES PCK

Dans ce chapitre je propose, à partir des discussions de mes travaux et des approches présentées dans la partie précédente, une nouvelle approche des PCK. Je montre ensuite, en revisitant mes travaux concernant la démarche d'investigation, la pertinence d'une telle approche pour étudier les PCK tout en illustrant les difficultés et obstacles liées à celle-ci. Cette mise à l'épreuve de la proposition théorique permet de penser de nouvelles questions concernant les PCK.

1 BILAN DE L'ETAT DES LIEUX ET DE MES TRAVAUX

Dans la discussion de la partie 2 (voir p. 54), j'ai montré que les recherches sur les PCK se heurtent à un certain nombre de difficultés d'ordre théorique. En effet, en fonction des approches, le terme de PCK regroupe des savoirs ou des connaissances voire des connaissances mises en œuvre (enacted PCK), ces savoirs ou connaissances peuvent être généraux ou spécifiques à un contenu disciplinaire donné. Certains modèles cherchent à expliquer comment les savoirs ou connaissances peuvent circuler entre ces différentes catégories, certains s'intéressent au « fonctionnement cognitif » de l'enseignant, d'autres enfin au développement des connaissances.

Cette polysémie du terme de PCK a pour conséquence des problèmes d'ordre méthodologique. Dans les recherches en Science Education, la question semble être de savoir s'il faut s'intéresser à ce que l'enseignant tient pour vrai et pertinent et donc privilégier les données issues de questionnaires ou entretiens avec l'enseignant, ou bien à ce que l'enseignant met en œuvre en classe et donc privilégier les données issues d'observations en classe. Dans les approches didactiques, le débat porte sur la difficulté d'étudier des connaissances qui sont en partie implicites ou tacites. Cette distinction entre connaissances implicites et explicites amène à privilégier le point de vue de l'acteur sur les données d'observation et opposer le dire et le faire de l'enseignant.

La présentation de mes recherches sur les PCK dans le chapitre précédent a montré que celles-ci font face aux mêmes difficultés que celles rencontrées par l'ensemble des recherches sur les PCK, à savoir une difficulté à généraliser les résultats obtenus, les PCK étant liées à des situations particulières. Cependant, quelques pistes, illustrées par mes travaux, me semblent intéressantes pour penser une nouvelle approche des PCK :

- Les PCK comme intimement liées à l'agir de l'enseignant et à la situation dans laquelle il agit.
- La caractérisation de la situation du point de vue de l'intention didactique et du savoir en jeu.
- Une caractérisation du savoir en jeu qui repose sur la manière dont celui-ci est mis en œuvre en classe. Le savoir est ainsi analysé en prenant en compte un découpage à plusieurs échelles temporelles (thème, épisodes interactionnels, etc.). Le savoir en jeu en lui-même est caractérisé par des aspects épistémologiques (notamment sous l'angle de la modélisation).
- Le dire comme un discours et donc une forme d'agir de l'enseignant. La relation entre l'agir en classe et « l'agir discours » reste cependant à préciser.

- Une temporalité de l'agir qui conduit à une certaine organisation des PCK.
- Le développement des PCK comme lié au développement de la capacité à lire des situations

2 LES PCK COMME DES SCHEMES, UNE PROPOSITION THEORIQUE SUSCEPTIBLE DE FAVORISER LA FORMALISATION DES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES

Le concept de schème tel qu'utilisé dans l'approche de la didactique professionnelle (Pastré et al., 2006 ; Vergnaud, 2011a) me semble à même de prendre en charge, au moins en partie, les points ci-dessus tout en permettant de penser à la fois le fonctionnement des PCK en classe et leur développement. Jameau (2015) a déjà proposé ce rapprochement entre PCK et schème, mais en associant les PCK aux invariants opératoires. J'avais toutefois fait remarquer (voir partie 4 du chapitre 2) que cette approche ne prend en charge que partiellement le couplage situation / PCK et qu'elle renvoie à une définition des PCK limitée aux « personal PCK » des modèles de consensus sans prendre en charge les « enacted PCK ». L'intérêt de définir les PCK comme des schèmes est :

- de permettre de penser les PCK comme des connaissances intimement liées à l'agir. En effet, les schèmes présentent un versant épistémique, les invariants opératoires, et un versant actionnel, les règles d'action, d'inférence et de contrôle.
- De prendre en compte de manière systématique l'intention didactique, le schème étant lié à un but ou des sous-buts.
- De prendre en compte la complexité des PCK. Les schèmes ne sont pas réductibles à un de leur composant. C'est le système composé des buts, des règles d'actions, des invariants opératoires et des possibilités d'inférences qui forme un ensemble dynamique en lien avec une classe de situations. L'hypothèse formulée lors de mon travail de thèse, à savoir que les PCK sont formées d'une collection de TPC (pouvant être envisagés comme des invariants opératoires) et de leurs règles d'utilisation (pouvant être envisagés comme des règles d'action) se trouve ici formalisée et dépassée avec l'adjonction des buts et des inférences.
- De rendre compte du couplage entre PCK et la classe de situations. En effet, un schème est systématiquement associé à une ou plusieurs classes de situations. La notion de classe de situations permet de penser la généralisation des résultats sur les PCK.

Les conséquences de ce point de vue théorique sont multiples :

- Premièrement, cela permet d'expliquer la difficulté à établir un lien direct entre PCK et efficacité des enseignements (voir partie 1.1.4 du chapitre 1). En effet :
 - pour Vergnaud (2011), d'une part, ce qui est invariant dans l'agir, ce sont les schèmes. Il faut donc étudier non seulement le versant épistémique du schème (par exemple les « personal PCK » des modèles de consensus voir paragraphe 1.2 du chapitre 1) mais également les autres éléments constituant le schème.
 - pour Vergnaud (ibid), toujours, d'autre part, l'organisation des schèmes est invariante pour une classe de situations. Il s'agit donc de définir la classe de situations correspondant aux PCK étudiées. Je montrerai dans la suite de ce chapitre dans quelle mesure une partie de mes travaux consacrée à la démarche

d'investigation peut être relue en termes de classe de situations ainsi que les difficultés et obstacles que rencontre cette démarche.

- Deuxièmement, du point de vue du développement professionnel, cela permet de penser la manière dont un enseignant s'adapte à de nouvelles situations. Pour Vergnaud (2011), l'adaptation à de nouvelles situations fait appel à des schèmes déjà développés pour gérer des situations proches. Ces schèmes doivent être suffisamment efficaces pour gérer la nouvelle situation et suffisamment peu, en revanche, pour permettre leur propre adaptation. Autrement dit, le développement professionnel est le résultat de l'adaptation de schèmes utilisés dans des situations proches. Cette modification des schèmes s'accompagne d'une capacité à reconnaître de nouvelles classes de situations pertinentes.
- Troisièmement, cette centration sur la situation et les schèmes associés a des conséquences sur le « découpage » des connaissances : dans cette approche, la distinction entre PCK et PK ne tient pas tant à la nature des connaissances qu'à celle des situations auxquelles sont associées les connaissances : les PCK et les PK sont respectivement associées à des classes de situations dans lesquelles les spécificités du savoir disciplinaire sont prises en compte (des situations didactiques⁵¹) et des classes de situations dans lesquelles les spécificités des savoirs ne le sont.
- Quatrièmement, cette nouvelle approche interroge les catégories de composantes du modèle de Magnusson et al. (1999). En effet, on peut s'interroger sur la pertinence d'un découpage des schèmes en ces composantes étant donné que le schème forme un ensemble fonctionnel. Les invariants opératoires pourraient éventuellement être catégorisés en suivant le modèle de Magnusson et al. (ibid) (voir les travaux de Jameau p. 39). Ceci revient à réduire les PCK à la dimension purement épistémique du schème (les « personal PCK » du Refined Consensus Model) et à les caractériser suivant une catégorisation de « savoirs nécessaires » et non pas de connaissances développées par l'enseignant à partir de son agir.

Cette proposition théorique reprend deux points de l'approche PCK telle que pensée par Shulman (1986), lesquels me semblent essentiels :

- Le fait que les PCK soient fortement liées à l'agir, d'une part car elles se développent à partir de l'agir et, d'autre part, car elles sont au cœur de l'agir de l'enseignant.
- Le fait que les situations rencontrées par les enseignants sont généralement des situations dans lesquelles les spécificités du savoir disciplinaire sont en jeu. Ces situations sont liées à des schèmes spécifiques au métier d'enseignant d'une discipline particulière : les PCK.

⁵¹ Il ne s'agit pas ici de situations didactiques au sens de Brousseau (1998) mais de situations professionnelles dans lesquelles le savoir en jeu joue un rôle important.

3 UNE PREMIERE PROPOSITION DE CLASSE DE SITUATIONS ETUDIEE : LES DEMARCHES D'INVESTIGATION

Dans cette partie, je précise de quelle manière mes travaux en lien avec les démarches d'investigation peuvent être relus en considérant les situations correspondantes comme relevant d'une classe de situations. L'objectif de cette partie est de montrer le pouvoir heuristique et la pertinence de la notion de classe de situations associée aux schèmes pour étudier les PCK. Mes travaux sur la démarche d'investigation n'ont pas été menés dans une approche « classe de situations-schèmes ». Les données ne sont donc pas entièrement adaptées à ce type d'étude (il s'agit principalement de données d'observation en classe, le « dire » de l'enseignant n'étant que très peu sollicité). Cependant, cette relecture de mes travaux en termes de classe de situations-schème permet de montrer les difficultés et obstacles que présente cette approche afin de dessiner un projet de recherche. Dans la suite de cette partie, lorsque je mentionnerai les schèmes, il faudra entendre les « schèmes PCK », c'est-à-dire ceux qui prennent en compte des spécificités du savoir.

Afin de caractériser la classe de situations « démarche d'investigation », il est nécessaire de tenir compte de ce qui se passe en classe. Pour, cela des points de repère issus de définitions institutionnelles ou académiques sont nécessaires. En effet, nous avons vu que les PCK sont intimement liées à l'agir et à la situation dans laquelle les enseignants agissent. Etudier l'agir de l'enseignant lorsqu'il met en œuvre une démarche d'investigation permet ainsi de caractériser la classe de situations « démarche d'investigation » et les schèmes associés (quelles sont les contraintes associées à cette classe de situations, comment les enseignants comprennent-ils et interprètent-ils les recommandations officielles ?). Cette caractérisation de la classe de situations s'accompagne d'une formalisation des schèmes qui lui sont associés afin de rendre compte de la façon dont les enseignants s'adaptent à ces contraintes.

Dans une première partie, je présente la démarche d'investigation du point de vue des recommandations officielles et du point de vue de la recherche, ce qui permet une première caractérisation, incomplète, de la classe de situations « démarche d'investigation » (DI). Je présente ensuite une série de travaux auxquels j'ai participé, portant sur la mise en œuvre de la DI en classe par les enseignants. Ces travaux adoptent une entrée par le savoir et mobilisent presque systématiquement à cette fin les notions de contrat et de milieu didactique. Ils contribuent ainsi, en complément à l'étude des recommandations officielles et des résultats de la recherche, à définir la classe de situation « DI ». Du point de vue de la méthode, mes travaux portent sur des comparaisons entre des enseignants experts et novices (Cross, 2013 ; Cross & Grangeat, 2014) ou bien sur l'étude des caractéristiques d'un enseignement dont l'efficacité est avérée (Tiberghien et al., 2014, 2018). Ces travaux ont été menés dans le cadre des projets européens Mind the gap⁵², S-TEAM⁵³ puis ASSIST-ME⁵⁴.

⁵² <https://cordis.europa.eu/project/id/217725/fr>

⁵³ <https://cordis.europa.eu/project/id/234870/fr>

⁵⁴ <https://cordis.europa.eu/project/id/321428/fr>

2.1 LA DEMARCHE D'INVESTIGATION : POINT DE VUE DES INSTRUCTIONS OFFICIELLES ET DE LA RECHERCHE

L'ambition des démarches d'investigation est de permettre aux élèves de « faire des sciences ». Cette ambition est sous-tendue par deux objectifs, comme le montre la revue de questions menée par Boilevin (2013) : « *l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation doit permettre une meilleure compréhension de la science et un apprentissage de connaissances scientifiques par les élèves* » (p. 30). D'une part, il s'agit de faire évoluer l'image que les élèves se font des sciences en montrant une science qui se construit en suivant des procédures, des façons de faire spécifiques. Cette idée se retrouve déclinée sous diverses dénominations : image plus riche et diversifiée des démarches scientifiques (Meheut, 2006), idées sur la nature de la science et de la communauté scientifique (Hofstein & Lunetta, 2004), démarches intellectuelles (Delfosse, 1999). D'autre part, il s'agit de favoriser l'apprentissage des connaissances scientifiques en mettant les élèves au centre des apprentissages, en les amenant « à faire », à participer à l'élaboration des connaissances qui sont l'objet de l'enseignement. Cette double visée amène à des définitions contrastées. Par exemple, pour les projets européens *Mind The Gap* et S-TEAM (Jorde & Olsen Moberg, 2010), les démarches d'investigation sont caractérisées de manière assez large mais comportent toujours au moins :

- des situations authentiques et basées sur des problèmes. Ces situations peuvent ne pas avoir de réponse satisfaisante ;
- des procédures expérimentales, des expériences, comprenant également de la recherche d'information ;
- une attention au développement de l'autonomie de l'élève et aux apprentissages autorégulés ;
- des activités d'argumentation et de communication entre les élèves.

Dans le programme français du collège de 2005, la démarche d'investigation est présentée sous la forme d'un « canevas » composé de sept moments. Mathé (2010) montre que la démarche d'investigation, telle que présentée dans le programme, prend appui sur une situation-problème et qu'elle repose sur un raisonnement hypothético-déductif : des hypothèses sont formulées en accord avec les données, ce qui permet d'en déduire des conséquences vérifiables expérimentalement. Les résultats des expériences permettent soit de réfuter les hypothèses, soit de les valider. En effet, l'introduction de programme commune aux sciences, mathématiques et technologie propose un canevas d'une séquence d'investigation, comprenant plusieurs séances. Les différentes étapes de cette séquence sont les suivantes :

- Le choix d'une situation problème : à partir des conceptions et erreurs des élèves, et en fonction des savoirs et objectifs visés, l'enseignant choisit un scénario d'enseignement.
- L'appropriation du problème par les élèves : les élèves proposent, à l'aide de l'enseignant, des éléments de solution qui doivent leur permettre de surmonter leurs difficultés.
- La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles : les élèves proposent des hypothèses, et éventuellement des expériences destinées à tester ces hypothèses, et les communiquent à l'ensemble de la classe.
- L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves : contrôle des paramètres de l'expérience par les élèves et réalisation de l'expérience, confrontation des résultats et de la méthode avec les hypothèses.

- L'échange argumenté autour des propositions élaborées : communication avec la classe des résultats obtenus, confrontation des propositions, recherche d'arguments.
- L'acquisition et la structuration des connaissances : mise en évidence, avec l'aide du professeur, de nouveaux éléments de savoirs utilisés lors de la résolution du problème. Reformulation écrite, par les élèves, à l'aide du professeur, des connaissances nouvelles acquises.
- La mobilisation des connaissances : Exercices permettant d'automatiser des procédures, de mettre en œuvre les connaissances acquises dans de nouveaux contextes. Évaluation des connaissances.

Le programme précise qu'il ne s'agit pas d'un déroulement chronologique et que des allers-retours entre ces différents moments sont vivement souhaitables en fonction du sujet abordés. Le programme précise également que la gestion du regroupement des élèves selon l'activité et les objectifs visés doit favoriser l'expression sous toutes ses formes. La définition des démarches d'investigation du programme français est donc bien plus spécifique que celle de projets européens comme S-TEAM.

Cette variation dans la définition de ce qu'est une démarche d'investigation pourrait expliquer une diversité de positions au sein de la communauté des chercheurs à propos de l'efficacité de ces démarches. D'un côté, pour certains auteurs (Kirschner et al., 2006 ; Klahr & Nigam, 2004), l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation est moins efficace qu'un enseignement dit « traditionnel ». A l'inverse, le travail de synthèse de Colburn (2000), réalisé sur un corpus d'articles allant des années soixante aux années quatre-vingt-dix, tend à montrer que l'apprentissage dans le cas des démarches d'investigation est meilleur ou égal à celui réalisé dans le cadre d'un enseignement « traditionnel ». Ces différences, pour Blanchard et al. (2010), tiennent à la manière dont les chercheurs définissent ce qu'est l'enseignement « traditionnel » et ce qu'est une démarche d'investigation et ce notamment en termes d'autonomie confiée à l'élève et donc de guidage de l'enseignant. De fait, les études de Klahr et Nigam (2004) et de Kirschner et al., (2006) se centrent sur des situations où l'autonomie de l'élève est très importante. Les démarches d'investigation sont donc réduites à cette seule caractéristique et ce qui est évalué est l'apprentissage d'élèves en situation d'autonomie élevée par opposition à des situations fortement guidées par l'enseignant.

Pour résumer, la démarche d'investigation se décline différemment dans les instructions officielles françaises et du point de vue de la recherche. La question du guidage par l'enseignant dans les DI semble être centrale pour comprendre leurs effets sur les apprentissages. L'enseignant expert est donc susceptible de développer des schèmes spécifiques à cette question. Dans la suite de ce chapitre, je montre de quelle manière mes travaux sur la DI contribuent à caractériser la classe de situation DI en prenant en compte à la fois les instructions officielles et la mise en œuvre en classe. Une attention particulière sera portée aux schèmes de l'enseignant liés au guidage.

2.2 UNE PREMIERE CARACTERISATION DE LA CLASSE DE SITUATION DI AU REGARD DES PROGRAMMES DE COLLEGES

Cette recherche (Cross, 2013) a été menée dans le cadre du projet S-TEAM. Le but de l'étude était de comparer l'agir d'enseignants experts et novices dans la mise en œuvre de DI au collège. Cette étude illustre la façon dont les instructions officielles permettent une première caractérisation, incomplète, de la classe de situation DI. Elle montre également dans quelle

mesure, du point de vue de la méthode, une comparaison entre enseignants novices et experts semble propice à la caractérisation de cette classe de situations.

2.2.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

Le but de cette recherche était d'analyser la mise en œuvre de la DI de plusieurs enseignants de sciences (SVT et Physique-chimie) et de mathématiques au collège afin de déterminer si les caractéristiques des séances de démarche d'investigation mises en évidence par l'analyse de sa définition dans les programmes par Mathé (2010) se retrouvent dans les mises en œuvre en classe des enseignants.

Du point de vue de la méthode, onze enseignants de sciences et de mathématiques (quatre enseignants de mathématiques, trois enseignants de SVT et quatre enseignants de physique-chimie) de collège ont été filmés dans leur classe lors d'une séance considérée par eux comme relevant de la démarche d'investigation. Cinq enseignants parmi les onze observés étaient des enseignants débutants en formation initiale, les autres enseignants étant considérés comme experts du fait qu'ils participaient à des groupes chargés de la formation continue de leurs collègues. L'élaboration de cette séance et son déroulement était entièrement à la charge de l'enseignant.

Les données vidéo ont ensuite été analysées en termes de phases didactiques (Seck, 2008) et d'organisation de la classe. Les phases didactiques reflètent l'organisation fonctionnelle de la classe en termes de type d'activité et permettent de distinguer différents types de jeux d'apprentissage. Ces phases sont les suivantes :

- introduction
- présentation du problème
- formulation de questions
- proposition d'hypothèses
- mise au point d'un protocole
- manipulation
- correction
- conclusion

Ces phases didactiques se fondent sur des traits de surface des pratiques de classe (Fischer et al., 2005), ce qui signifie qu'une même phase de correction, par exemple, peut présenter de grandes différences d'une classe à l'autre. Cependant, le découpage en phases rend compte du déroulement d'une séance à un niveau d'analyse « méso » (c'est à dire avec des unités d'analyse de l'ordre de la dizaine de minutes) permettant de comparer un nombre relativement important de classes. De plus, ces phases didactiques font écho aux étapes du canevas proposé par le programme :

- L'appropriation du problème par les élèves est à rapprocher de la phase d'introduction, de présentation du problème et de formulation de questions.
- La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles correspond aux phases de proposition d'hypothèses et de mise au point d'un protocole.
- L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves correspond à la phase de manipulation.
- L'échange argumenté autour des propositions élaborées peut être rapproché de la phase de correction en fonction de la façon dont celle-ci est menée.

- L'acquisition et la structuration des connaissances est à rapprocher de la phase de conclusion.

L'analyse en phases didactiques permet donc de prendre en compte la structuration d'une séance par le professeur vis-à-vis du canevas du programme. A ce découpage en phases didactiques s'ajoute une analyse en termes d'organisation sociale de la classe. Il s'agit de rendre compte de la manière dont le travail s'effectue pour les élèves : ces derniers travaillent-ils seuls (travail individuel), en petits groupes ou en classe entière ?

2.2.2 RESULTATS

Ne sont présentés ici que les résultats concernant les enseignants de sciences (SVT et Physique-Chimie) :

- Les séances de SVT et de physique-chimie présentent une grande variété du point de vue de la structure en phases didactiques.
- Alors que les résultats de Mathé (2010) se trouvent en partie confirmés pour ce qui est de l'absence de phase de conception de protocole (cette phase n'est pas présente dans toutes les séances), la phase de formulation d'hypothèses est présente dans six des sept séances observées.
- La manipulation par les élèves occupe une place centrale, quelle que soit la discipline, dans la plupart des séances.
- Nous n'avons pas observé de moment correspondant à la structuration des connaissances ou à la mobilisation de celles-ci. Cependant, nous n'avons observé qu'une seule séance pour chaque enseignant, alors que la séquence d'investigation se prolonge dans la majorité des cas lors de la séance suivante. Notons toutefois que la majorité des séances ne contiennent pas de phase de conclusion.

Les séances de sciences expérimentales suivent donc une structure partiellement proche de celle proposée par le programme. Cependant, le déroulement de ces séances est très linéaire : la séance est clairement découpée en différents moments (ce qui a d'ailleurs permis de distinguer les phases didactiques) et les allers-retours entre ces différents moments, préconisés par les programmes, n'ont pas été observés. Darley (1996) note que ce déroulement narratif contribue à donner une image déformée du fonctionnement de la science.

En ce qui concerne les différences entre enseignants experts et enseignants novices, et sans rentrer dans les détails qui sont donnés dans Cross (2013), nous pouvons noter deux points :

- la présence systématique, pour les enseignants experts, d'une phase d'introduction, alors qu'elle n'est présente que chez un seul enseignant novice. Lors de cette phase, les enseignants experts expliquent aux élèves le déroulement de la séance (les différentes étapes, les consignes, les règles du jeu, etc.).
- L'importance de la phase de manipulation chez les enseignants novices.

Ces résultats nous amènent à penser que, malgré la présence d'une phase de formulation d'hypothèses dans un peu plus de la moitié des séances observées, celles-ci restent très semblables à une séance de travaux pratiques classique du fait de l'absence de phase de conception de protocole. Ceci implique que la phase de manipulation se réduit, pour les élèves, à suivre le protocole de l'enseignant. En ce qui concerne l'organisation de la classe, l'ensemble des séances est caractérisé par un travail en groupes alternant avec un travail en classe entière.

Ainsi, la recommandation du programme visant à favoriser « l'expression sous toutes ses formes » se traduit par une alternance de travail en groupes, typiquement la phase de manipulation, et de travail en classe entière, typiquement les phases de présentation du problème, de formulation de questions et de correction. Il est à noter que la partie du programme dédiée spécifiquement à la démarche d'investigation ne fait aucune référence à la qualité des échanges à favoriser (notamment par une référence à l'argumentation), ce qui n'est pas le cas des documents d'accompagnement, ou d'autres ressources pour les enseignants (sites web, par exemple). Les enseignants semblent donc vouloir suivre les recommandations du programme en termes d'organisation de la classe et de structuration des activités. Cependant, il semble qu'un déroulement de séance de travaux pratiques plus classique reste visible en arrière-plan, notamment en ce qui concerne le déroulement de la phase de manipulation. L'analyse en phases didactiques et en termes d'organisation de la classe nous a permis d'étudier les traits de surface de ces séances. Pour autant, cette analyse ne nous renseigne pas sur la façon dont se déroulent plus précisément ces séances du point de vue du savoir.

2.2.3 DISCUSSION ET INTERPRETATION EN TERMES DE SCHEMES ET DE CLASSE DE SITUATIONS

Cette recherche permet de montrer que :

- il y a une différence entre les enseignants experts et novices : les experts passent moins de temps sur la manipulation et plus de temps sur la présentation du problème et sur les tâches à effectuer. Les résultats de cette recherche ne permettent pas de savoir si cela conduit à de meilleurs résultats chez les élèves des enseignants experts. On peut toutefois penser que cette différence entre experts et novices correspond à une adaptation à des contraintes de la situation (dont on peut supposer qu'elles comprennent la question des apprentissages des élèves).
- les enseignants adoptent des traits de surfaces permettant de qualifier leur enseignement comme relevant de la DI mais que les séances observées restent tout de même proches, plus ou moins en fonction des séances, de séances plus classiques lors desquelles les élèves appliquent un protocole pensé par l'enseignant et dans lequel il s'agit de retrouver les « bonnes valeurs ».

Du point de vue des schèmes (PCK) et de la classe de situations, cette étude peut être interprétée de la façon suivante :

- Les différences de mise en œuvre de la DI rendent compte de différences dans les schèmes entre experts et novices.
- Ces schèmes ont été construits en fonction des contraintes de la situation et des schèmes préexistants.
- La proximité entre ces séances de type DI et un enseignement plus traditionnel peut être vue comme une conséquence du processus de développement de schèmes spécifiques à la DI à partir de schèmes déjà développés par les enseignants. Deux explications peuvent être proposées. La première est que les enseignants ne reconnaissent pas les spécificités de la classe de situations de type DI par rapport aux situations traditionnelles et ne développent que partiellement des schèmes spécifiques ; inversement, le manque de schèmes spécifiques à la DI ne permet pas aux enseignants de reconnaître les spécificités des situations de types DI. La deuxième est que les enseignants reconnaissent les spécificités de la classe de situations mais ne savent pas les gérer au vu des contraintes

(manque de temps, notamment). Ils n'ont donc pas développé les schèmes spécifiques leur permettant de gérer ces situations et utilisent plutôt des schèmes liés à des enseignements plus traditionnels.

- Cette étude permet de rendre compte de quelques règles d'action⁵⁵ communes à ces enseignants (faire formuler des hypothèses, alterner le travail de groupe et en classe entière) mais pas de spécifier les buts, les invariants opératoires ou les inférences car l'étude centrée sur les phases didactiques des séances observées ne prend en compte que des traits de surface de l'agir des enseignants.

Dans cette étude, la classe de situations DI a été caractérisée par rapport au contenu des programmes de collège. En comparant les instructions et les mises en œuvre en classe, certaines contraintes qui pèsent sur les enseignants ont pu être mise à jour. Néanmoins, cette étude ne prend en compte qu'une seule échelle temporelle (celle de la phase didactique) et ne permet donc pas de rendre compte de l'organisation des schèmes à plusieurs échelles. De plus, le choix des unités d'analyse (phases didactiques) ne permet pas de formaliser finement les schèmes, ces unités d'analyse étant peu spécifiques au savoir en jeu. La question du guidage et de schèmes spécifiques au guidage dans les DI n'apparaît donc pas dans les résultats de cette étude. Enfin, du point de vue de la méthode, la comparaison d'enseignants novices et experts permet de contraster les mises en œuvre et donc les schèmes correspondants.

2.3 UNE ETUDE DU DEROULEMENT DE SEANCES DE TYPE DI AU COLLEGE DU POINT DE VUE DU SAVOIR POUR CARACTERISER LA CLASSE DE SITUATIONS

Afin de prolonger la recherche en traits de surface présentée ci-dessus, Grangeat et moi-même avons proposé, dans le cadre du projet S-TEAM, une étude sur les relations entre contrat et milieu didactique dans le cadre de la mise en œuvre des démarches d'investigation (Cross & Grangeat, 2014). L'objectif de l'étude était de rendre compte du déroulement de séances de type DI du point de vue du savoir, ce qui devait contribuer à caractériser la classe de situations DI. Ce n'est donc plus (seulement) au regard des instructions officielles qu'est analysé le déroulement des séances. Comme précédemment, la méthode consiste en une comparaison entre enseignants novices et experts.

2.3.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

Le cadre théorique de cette étude mobilise les notions de contrat et de milieu didactiques ainsi que la notion de jeu d'apprentissage générique et spécifique (Marlot, 2009). Les jeux d'apprentissage sont dits spécifiques lorsque les savoirs en jeu concernent directement les apprentissages visés par la séance. Ils sont génériques lorsque les savoirs en jeu sont mobilisables et mobilisés dans de nombreuses situations et reposent ainsi sur des habitudes d'action dans la classe (Marlot, 2009). Les jeux d'apprentissage n'existent pas en tant que tels dans la classe, il s'agit d'une construction du chercheur qui permet de « voir comme » afin

⁵⁵ Je fais le choix de ne formuler ici que des règles d'action (« la partie générative du schème, celle qui est le plus immédiatement responsable du déroulement temporel de la conduite et de l'activité » (Vergnaud, 2011b, non paginé)) pour rendre compte des observations des enseignants. En effet, il est délicat, en s'appuyant uniquement sur des données d'observation en classe et au vu des analyses faites, de formaliser des invariants opératoires, des buts ou des inférences. Je reviens dans la partie 13 du chapitre 4 sur cet aspect de formalisation des schèmes.

d'étudier l'enjeu de la transaction entre l'élève et l'enseignant ainsi que les règles de cette transaction ; ce qui est apparaît, c'est la succession des tâches dans lesquelles sont engagés élèves et enseignants. De même, le gradient de généricité n'est pas donné *a priori* au chercheur, il résulte d'une analyse des enjeux de savoir des différents jeux et de leur cohérence.

Au niveau de la méthode, nous nous plaçons en situation d'observation de classes ordinaires. Nous avons observé quatre enseignants de sciences de collège aux profils contrastés. Deux de ces enseignants (enseignants 1 et 2) sont considérés par leur institution comme experts en matière de démarche d'investigation. Ces deux enseignants sont intégrés dans des réseaux de formation du rectorat, dans lesquels ils sont responsables de formation sur la démarche d'investigation. Les deux autres (enseignants 3 et 4) ne sont pas reconnus comme experts : l'enseignant 3 n'a pas reçu de formation récente sur les démarches d'investigation ; l'enseignant 4 exerce pour la première année. Nos données sont constituées d'enregistrements vidéographiques d'une séance pour chacun des enseignants (en classe de sixième, élèves de 11-12 ans, pour l'enseignant 1 ; en classe de cinquième, élèves de 12-13 ans pour les trois autres enseignants).

Notre méthode consiste à comparer deux types d'analyse : la séance telle qu'elle peut être prévue ou anticipée par le chercheur et la séance telle qu'elle s'est effectivement déroulée dans la classe. L'analyse *a priori* de la séance telle qu'elle peut être prévue repose sur l'étude des documents distribués aux élèves et de l'entretien avec chaque enseignant ainsi que sur l'étude des consignes données en début de séance aux élèves par l'enseignant. Nous utilisons également la typologie des démarches d'investigation proposée par Morge & Boilevin (2007), qui nous permet de reconstruire une logique de déroulement de la séance en termes d'enchaînement de tâches.

2.3.2 RESULTATS

Je ne rentre pas ici dans les détails des résultats mais me concentre sur les différences entre les enseignants experts et novices. Ce qui distingue les séances analysées est de l'ordre de la cohérence entre le contrat et le milieu didactiques afin de maintenir des jeux d'apprentissage spécifiques. Elle est forte dans les séances des enseignants 1 et 2 (experts) et comporte des points de rupture pour les enseignants 3 et 4 (novices). Ces ruptures entraînent un glissement de jeux d'apprentissage spécifiques à des jeux d'apprentissage génériques. Cette distinction entre enseignants experts et novices tient, pour nous, de deux éléments : le choix de la situation de départ et la capacité de l'enseignant à maintenir cette cohérence. Le choix d'une situation bien maîtrisée et connue permet, en effet, de limiter les ruptures de cohérence : l'enseignant 1 demande aux élèves de proposer un protocole à partir du matériel qui a déjà été prévu (et qui est présent sur la paillasse de l'enseignant) et qui est connu par les élèves alors que l'enseignant 2 fait mobiliser en début de séance par les élèves les connaissances dont ils auront besoin pour formuler leurs hypothèses et concevoir leur protocole. A l'inverse, l'enseignant 3 demande aux élèves de mettre en œuvre une stratégie alors que le milieu ne leur donne aucune rétroaction leur permettant de la mettre au point et l'enseignant 4 impose aux élèves un protocole qui ne leur permet pas de tester leurs hypothèses. Les situations des enseignants 1 et 2 sont des situations « classiques » des démarches d'investigation (on retrouve ces situations sur des sites

Internet proposant des ressources pour les enseignants) alors que la situation de l'enseignant 3 semble être construite par lui et que la situation de l'enseignant 4 est une situation qu'il a étudiée lors de sa formation à l'IUFM⁵⁶ mais qu'il a très fortement adaptée.

2.3.3 INTERPRETATION EN TERMES DE CLASSE DE SITUATIONS ET DE SCHEMES

Cette recherche, en prolongement de la précédente, montre que les enseignants experts ne gèrent pas les DI de la même façon que les novices, ce qui peut s'interpréter en termes de développement de schèmes spécifiques à la classe de situations « démarche d'investigation ». Ces distinctions entre schèmes des enseignants novices et experts doivent toutefois faire l'objet d'études plus approfondies.

En termes de classe de situations, cette étude permet de déterminer que :

- La situation⁵⁷ de départ doit être robuste afin de maintenir la cohérence entre contrat et milieu didactiques.
- Les situations de démarche d'investigation présentent une forte densité épistémique.

A ces caractéristiques correspondent des schèmes spécifiques développés par les enseignants experts. Dans le cas de la première caractéristique de la classe de situations, les enseignants experts mettent en œuvre un schème dont la règle d'action consiste à choisir des situations de départ robustes. Ce schème est à l'œuvre lors de la phase de préparation du cours sur laquelle nous n'avons pas de données. Il est donc difficile de préciser les buts, invariants opératoires et inférences constituant ce schème.

Au niveau de la deuxième caractéristique, les schèmes des deux enseignants sont identiques par leurs buts (réduire la difficulté pour les élèves face à une trop grande densité épistémique) mais se distinguent par les trois autres composantes du schème⁵⁸.

Pour l'enseignant 1 (Besoin des végétaux chlorophylliens⁵⁹) :

- Invariants opératoires : Les élèves savent que le protocole proposé doit tenir compte du matériel disponible dans la classe. Il est difficile de proposer un protocole sans une bonne connaissance du matériel.
- Règle d'action : Fournir seulement le matériel qui sera utile pour tester les hypothèses. Si l'élève remarque le matériel présent sur le bureau, lui demander de le décrire.
- Inférence : Si les élèves ne trouvent pas rapidement le bon protocole il faut les aider.

Pour l'enseignant 2 (Optique géométrique) :

- Invariants opératoires : La notion de rayon lumineux est difficile à comprendre pour les élèves. Les élèves savent que les rappels en début de séance sont en lien avec l'activité qui va suivre.

⁵⁶ Institut Universitaire de Formation des Maîtres

⁵⁷ *Situation* au sens de l'ensemble des conditions dans lesquelles sont placés les élèves. Pour éviter les confusions, je précise systématiquement « situation de départ ».

⁵⁸ Cette formalisation des éléments du schème s'appuie sur les seules données d'observation en classe. Des données issues d'entretiens avec les enseignants permettraient d'étayer cette formalisation.

⁵⁹ Pour une description de la situation d'enseignement, voir p. 63.

- Règle d'action : Faire des rappels en début de cours sur des notions nécessaires pour la suite. Repérer les notions difficiles pour les élèves
- Inférence : Si l'enseignant fait des rappels en début de séance, alors les élèves comprendront qu'il faut mobiliser ces éléments de savoir lors de l'investigation.

Par rapport à la précédente, cette étude permet de formaliser des schèmes grâce à l'analyse en termes de déroulement des séances du point de vue du savoir mis en œuvre. Ainsi, au-delà de l'interprétation des instructions officielles par les enseignants (objet de la précédente étude), cette étude permet de montrer la façon dont les enseignants s'adaptent à des contraintes. La comparaison entre enseignants novices et experts est de ce point de vue éclairante : pour faire face à la densité épistémique et aux contraintes de temps, les enseignants experts mettent en œuvre des stratégies de guidage implicites à destination des élèves. Comme nous l'avons expliqué dans la partie 2.1 du chapitre 3, la question du guidage est centrale lorsqu'il s'agit d'évaluer l'efficacité des DI, ce qui laisse penser que les stratégies développées par les enseignants experts pourraient avoir un effet sur les apprentissages des élèves. Reste cependant à évaluer les liens entre les schèmes liés à cette adaptation et l'agir des élèves.

Cette étude présente toutefois des limites : il est ainsi difficile, à partir d'une seule observation de ces deux enseignants experts, de savoir à quel niveau de généralisation exprimer leurs schèmes. Il est en effet possible de généraliser le schème en formulant de manière beaucoup plus générale l'invariant opératoire. Pour l'enseignant 1, par exemple :

« Les élèves cherchent des indices de la bonne réponse et s'appuient pour cela sur les habitudes de la classe ».

On pourrait au contraire spécifier l'invariant opératoire du schème :

« Les élèves ne connaissent pas suffisamment le matériel nécessaire aux expériences liées aux besoins des végétaux chlorophylliens. Il leur est difficile de penser un protocole mettant en œuvre des sels minéraux parce qu'ils ne savent pas sous quelle forme ils se présentent. »

Pour pouvoir évaluer le niveau de généralisation ou de spécification des schèmes des enseignants, il est nécessaire de faire plusieurs observations d'un même enseignant (ou de plusieurs enseignants⁶⁰) dans des situations appartenant à la même classe. L'étude suivante présente une étude portant sur un même enseignant au cours de plusieurs séances d'une même séquence.

2.4 ETUDE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA DI LORS D'UNE SEQUENCE AU LYCEE PAR UN ENSEIGNANT EXPERT

Cette recherche (Tiberghien et al., 2014) menée dans le cadre des projets Mind the Gap et S-TEAM visait à rendre compte de l'évolution du savoir dans une classe de physique en seconde du point de vue de la certitude ou de l'incertitude liée au savoir. Le but de cette étude était de rendre compte de l'avancée du savoir dans une classe où les élèves sont régulièrement mis en activité pour résoudre des problèmes.

⁶⁰ Voir le programme de recherche p. 101

Cette étude, contrairement aux deux précédentes, ne repose pas sur une comparaison d'enseignants novice / expert mais sur l'observation sur un temps plus long d'une séquence entière d'un enseignant expert. L'étude de la situation repose sur des caractéristiques du savoir mis en œuvre en classe.

2.4.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

Les concepts de contrat et de milieu didactiques ont été mobilisés, ainsi que la notion de certitude et d'incertitude épistémique. Wittgenstein (1969) distingue la certitude basée sur l'évidence partagée (il prend l'exemple de l'affirmation suivante : « ceci est ma main » en regardant sa main) de la certitude épistémique qui repose sur un savoir (par exemple, pour un objet en équilibre : « je sais qu'il existe des forces de directions opposées qui s'appliquent sur cet objet »). Cette certitude est encore différente de la certitude reposant sur l'autorité (« je suis sûr de quelque chose car telle personne le dit »). La certitude épistémique est une certitude rationnelle qui peut amener à une incertitude épistémique (« pour un objet en équilibre, je sais que des forces de directions opposées s'appliquent sur cet objet mais je ne sais pas si les intensités de ces forces sont égales »). La certitude ou l'incertitude épistémique permet de rendre compte de l'évolution du savoir dans une classe. En effet, en fonction de l'avancement du savoir, ce qui est incertain pour tout ou partie de la classe à un moment donné devient (ou doit devenir) certain pour l'ensemble de la classe ultérieurement. Le changement de statut de certains objets de savoir, d'incertain à certain, permet de rendre incertain le statut de nouveaux objets de savoir.

En termes de méthode, nous disposons des enregistrements vidéo d'une classe de seconde sur la partie mécanique. Ces enregistrements avaient été effectués dans le cadre d'un projet impliquant neuf autres classes de seconde. Des pré- et post-test passés dans l'ensemble des classes permettaient de situer la classe en question parmi celles ayant eu le plus de gain en termes d'apprentissage des élèves.

Pour les analyses, nous nous sommes basés sur une première approche en termes d'évolution du savoir et nous avons observé celui-ci à l'aide de trois échelles : macro-, méso- et microscopique. Je ne rentre pas ici dans le détail de ces analyses préalables, mais celle-ci nous ont permis de sélectionner deux objets de savoir qu'il était pertinent de regarder du point de vue de la certitude ou de l'incertitude liée au savoir : « la distinction Terre-sol » et « le principe d'inertie ».

En nous appuyant sur la première étape d'analyse, nous avons reconstruit l'histoire de ces deux objets de savoir dans la classe, ce qui nous a permis de sélectionner des épisodes (de l'ordre de la minute jusqu'à environ 10 minutes) lors desquels ces objets étaient traités. Une analyse fine de chacun de ces épisodes nous a ensuite conduits à rendre compte du statut de ceux-ci du point de vue de la certitude / incertitude.

2.4.2 RESULTATS

Nos résultats montrent que l'émergence de l'incertitude épistémique, qui donnera par la suite aux élèves l'accès à une certitude épistémique, est rendue possible par :

- au niveau macroscopique, l'existence d'une composante quasi-pérenne du contrat didactique incitant les élèves à argumenter leurs propositions soit lors du travail en groupe soit lors des discussions en classe entière⁶¹. Au niveau du milieu didactique, la continuité des savoirs est favorisée par des liens entre les éléments de savoirs déjà rencontrés et les nouveaux.
- au niveau mésoscopique, un milieu structuré par des éléments de savoir qui sont accessibles aux élèves au vu de leurs connaissances préalables.
- au niveau microscopique, un contrat et un milieu favorisant les interactions entre les élèves à propos du savoir en jeu sans les limiter au savoir scientifiquement valide. Ceci est une condition pour l'émergence d'une incertitude épistémique.

Dans nos données, nous avons vu que ces conditions n'étaient pas toujours réunies. Lors de l'introduction du principe d'inertie, les élèves n'ont pas à leur disposition les connaissances nécessaires pour comprendre que la situation d'un objet au repos est équivalente à celle d'un objet en mouvement rectiligne uniforme. L'incertitude épistémique peut également être introduite par l'enseignant car la situation n'apparaît pas aux élèves comme problématique ; c'est le cas dans nos données pour l'introduction de l'incertitude concernant l'intensité des forces qui s'appliquent sur un objet au repos : pour la majorité des élèves, il est « évident » que la force de tension du fil s'appliquant sur une pierre suspendue est de même intensité que le poids de la pierre. C'est l'enseignante qui fait remarquer que pour l'instant, ils n'ont pas de quoi être sûrs et qu'il s'agit, pour l'instant, d'une hypothèse.

2.4.3 INTERPRETATION EN TERMES DE SCHEMES ET DE CLASSE DE SITUATIONS

Cette étude contribue à décrire une caractéristique de la classe de situations DI de la manière suivante : le statut du savoir du point de vue de la certitude / incertitude caractérise l'avancée du savoir dans ce type de situation. Ceci rend les situations de DI complexes à gérer par l'enseignant. Des schèmes spécifiques sont associés à cette caractéristique.

En ce qui concerne les schèmes, nous pouvons en identifier deux types :

- Les schèmes associés à l'émergence, de manière anticipée, d'une incertitude ou d'une certitude épistémique par l'enseignant. Nous en avons identifié à différentes échelles temporelles.
- Les schèmes associés à l'émergence d'une certitude ou d'une incertitude épistémique qui n'a pas été anticipée par l'enseignant.

Pour ce qui est des schèmes associés à l'émergence, de manière anticipée, d'une incertitude ou d'une certitude épistémique par l'enseignant au niveau macroscopique :

- But : Aider les élèves à argumenter (en groupe ou en classe entière).
- Invariant opératoire : Le lien entre les éléments de savoirs nouveaux et connus aide les élèves à argumenter.
- Règle d'action : Faire explicitement les liens en classe avec les élèves.

⁶¹ Je situe cette composante du contrat au niveau macroscopique car, même si elle a un champ d'application dans des épisodes relativement courts (de l'ordre de quelques minutes) elle participe à l'organisation de la séquence. L'enseignante organise en effet sans cesse des moments de parole et d'échange entre et avec les élèves.

- Inférence : Si des liens explicites sont établis entre éléments de savoir connus et nouveaux, alors les élèves les comprendront.

Au niveau mésoscopique :

- But : Rendre les activités accessibles aux élèves.
- Invariant opératoire : Les élèves comprennent et interprètent les nouveaux éléments de savoirs au vu de leurs connaissances préalables.
- Règle d'action : Concevoir des activités permettant de faire aisément des liens entre éléments de savoirs connus et nouveaux.
- Inférences : Si les activités sont pensées en termes de liens entre éléments de savoir connus et nouveaux, alors les élèves percevront ces liens.

Au niveau microscopique :

- But : Favoriser les interactions entre élèves à propos du savoir en jeu.
- Invariant opératoire : Les interactions entre élèves à propos du savoir en jeu, qu'il soit scientifiquement valide ou non, favorisent l'émergence de moments d'incertitude épistémique. L'émergence des moments d'incertitude épistémique est nécessaire à l'émergence de moments de certitude épistémique.
- Règle d'action : laisser les élèves interagir à propos d'un savoir non valide scientifiquement. Reprendre les arguments des élèves, qu'ils soient scientifiquement valides ou non.
- Inférence : Si les élèves interagissent, alors il y a des chances que cela soit productif du point de vue des savoirs.

Enfin, il nous reste à traiter les moments d'émergence de la certitude ou de l'incertitude épistémique non nécessairement anticipés par l'enseignante. Pour cela, nous pouvons formaliser le schème suivant :

- But : Rendre incertains les savoirs de la situation étudiée auprès des élèves.
- Invariants opératoires : Les élèves ne sont pas capables de reconnaître qu'un objet au repos est équivalent à un objet en mouvement rectiligne uniforme avant d'avoir vu le principe d'inertie.
- Règle d'action : Faire remarquer aux élèves qu'ils ne peuvent pas justifier que les forces opposées sont de même intensité : il s'agit donc d'une hypothèse.
- Inférence : Si les élèves ne discutent pas de la longueur des flèches, il en ressort que la situation n'est pas incertaine pour eux.

Cette étude permet de rendre compte de l'organisation des schèmes à plusieurs échelles de temps du fait de l'observation d'un enseignant sur un temps plus long. Le guidage met en œuvre différentes stratégies correspondant à plusieurs schèmes : aider les élèves à faire des liens entre savoirs nouveaux et savoirs déjà vus, favoriser les interactions entre élèves à propos du savoir en jeu, rendre problématique une situation qui ne l'est pas pour les élèves. Ces stratégies de guidage présentent une certaine cohérence, qui consiste à faire émerger la nécessité du savoir chez les élèves. Ces stratégies sont différentes de celles observées chez les enseignants experts au collège. La formalisation des schèmes permet de rendre compte des enjeux potentiels liés à la classe de situation DI : aménager des temps de discussion productifs entre les élèves et gérer l'avancée du savoir. Ces enjeux sont liés à des moments distincts et délimités de la mise en

œuvre des DI. L'étude suivante cherche à identifier des moments caractéristiques de la classe de situation DI et à étudier les schèmes associés.

Les limites de la recherche présentée ci-dessus tiennent au fait qu'elle se concentre sur un seul enseignant, ne permet pas de cerner les contraintes qui pèsent sur la mise en œuvre des DI ni la manière dont l'enseignant s'y adapte.

2.5 DES MOMENTS CONSTITUTIFS DE LA CLASSE DE SITUATION DI

Cette recherche, à laquelle j'ai contribué (Tiberghien et al., 2018), prend appui sur la précédente et tente de rendre compte de ce qui peut favoriser, lors d'une DI, l'autonomie intellectuelle⁶² des élèves. Il s'agit non seulement d'une autonomie relative aux actions à entreprendre mais également d'une autonomie par rapport à l'avancée du savoir dans la classe. Cette recherche a permis de mettre au jour différents moments lors desquels l'enseignant met en œuvre des schèmes différents.

2.5.1 CADRE THEORIQUE ET METHODE DE L'ETUDE

Le cadre théorique et la méthode s'appuie en très grande partie sur l'étude précédente :

- Du point de vue théorique, cette étude mobilise les notions de contrat et milieu didactiques en lien avec la certitude ou l'incertitude épistémiques.
- Du point de vue de la méthode, il s'agit de rendre compte de l'avancement du savoir dans la classe à différentes échelles temporelles pour identifier des moments favorables à la mise en place d'un contrat et d'un milieu didactiques propices à l'apprentissage des élèves en lien avec une autonomie intellectuelle.

2.5.2 RESULTATS

Quatre types de moments favorables à l'autonomie intellectuelle des élèves ont été identifiés :

- Des moments de partage des connaissances (ou de savoirs) et du vocabulaire significatif dans la classe.
- Des moments d'émergence de l'incertitude épistémique.
- Des moments d'institutionnalisation.
- Des moments de différenciation entre le temps d'enseignement et le temps d'apprentissage.

A ces moments ont été associées des caractéristiques de l'action de l'enseignant résumées dans le

Tableau 1.

⁶² Il s'agit ici d'être capable, pour un élève, d'agir dans une situation de manière adéquate par rapport au savoir en jeu. Pour ce faire, l'élève doit être responsable par rapport à ce savoir.

Situations d'enseignement	Action de l'enseignant	
	Planification	En classe
Partager du savoir en commun et du vocabulaire significatif	Choisir les éléments de savoir, dont les représentations associées	Aider les élèves à prendre conscience des éléments de savoir essentiels et les aider à exprimer leurs idées lorsqu'ils travaillent en groupe
	Concevoir des activités en classe qui impliquent ces éléments de savoir	En classe entière, s'assurer d' l'intervention d'élèves présentant des points de vue différents et favoriser les discussions
Gérer des moments où l'incertitude épistémique peut émerger	Concevoir des activités en classe où les éléments de savoir peuvent être questionnés	Aider les élèves à clarifier et débattre de leurs propositions lorsqu'ils travaillent en groupe
		En classe entière, rendre publiques certaines propositions d'élèves ayant des points de vue différents afin de les mettre en débat et faire émerger des arguments qui peuvent, ou non, être acceptés.
Gérer des moments d'institutionnalisation	Prévoir un texte et des représentations qui rendent compte du savoir nouveau	En classe entière, proposer le texte et les représentations en les reliant aux éléments de savoir utilisés au préalable dans la classe (y compris les arguments)
Différencier le temps d'apprentissage et le temps d'enseignement	Concevoir des activités lors desquelles les éléments de savoirs déjà introduits sont réutilisés	Admettre et reconnaître que certains élèves n'ont toujours pas compris certains éléments de savoir déjà introduits
		Utiliser des arguments similaires à ceux déjà utilisés dans la classe
		Aider les élèves à faire le lien entre les éléments de savoirs nouveaux et ceux déjà utilisés en classe

TABLEAU 1 : MOMENTS DE LA DI FAVORISANT LA MISE EN PLACE D'UN CONTRAT ET D'UN MILIEU DIDACTIQUES PERMETTANT L'AUTONOMIE INTELLECTUELLE DES ELEVES ET ACTIONS DE L'ENSEIGNANT LORS DE LA PREPARATION ET EN CLASSE (ISSU DE TIBERGHIE ET AL., 2018).

2.5.3 INTERPRETATION EN TERMES DE SCHEMES ET DE CLASSE DE SITUATIONS

Cette recherche conduit à identifier des moments distincts au sein des DI permettant de définir des caractéristiques de cette classe de situations. Des schèmes peuvent être associés à ces moments en reformulant et en complétant le tableau 1.

Ainsi, par exemple, pour le moment « Gérer des moments où l'incertitude épistémique peut émerger », il est possible de formaliser trois schèmes :

- Un schème lié à la planification de l'enseignant :

- But : Prévoir des moments où l'incertitude épistémique peut émerger.
- Invariant opératoire : Pour faire émerger l'incertitude épistémique, il faut que les éléments de savoir puissent être questionnés par les élèves.
- Règle d'action : Concevoir des activités en classe où les éléments de savoirs peuvent être questionnés.
- Inférence : Si les élèves questionnent les éléments de savoir, alors l'incertitude épistémique émergera en classe.

- Un schème lié à la mise en œuvre en classe lors du travail de groupe :
 - But : Favoriser l'apparition des moments où l'incertitude épistémique peut émerger lors du travail de groupe.
 - Invariant opératoire : L'apparition des moments où l'incertitude épistémique peut émerger est favorisée par des débats entre élèves.
 - Règle d'action : Aider les élèves à clarifier et débattre de leurs propositions lorsqu'ils travaillent en groupe.
 - Inférence : Si les élèves ne débattent pas entre eux, alors leurs propositions ne sont pas claires.
- Un schème, enfin, lié à la mise en œuvre en classe lors du travail en classe entière :
 - But : Favoriser l'apparition des moments où l'incertitude épistémique peut émerger en classe entière.
 - Invariant opératoire : L'apparition des moments d'incertitude épistémique est favorisée par l'émergence d'arguments à partir de points de vue différents.
 - Règle d'action : Rendre publiques certaines propositions d'élèves ayant des points de vue différents afin de les mettre en débat et faire émerger des arguments qui peuvent, ou non, être acceptés.
 - Inférence : Si l'enseignant ne rend pas publiques les propositions des élèves alors les élèves ont du mal à construire des arguments.

Cette étude introduit ainsi différents types de schèmes : les schèmes liés à la planification, ceux liés à la mise en œuvre en classe en groupe lors de l'interprétation d'un phénomène et ceux liés à la mise en œuvre en classe entière lors de la modélisation d'un phénomène. Au vu de la variété des schèmes et des moments identifiés, la classe de situations DI semble donc très large. De façon plus générale, c'est de la question de la granularité de la classe de situations DI qu'il est question ici et donc de la question de savoir quel est l'empan temporel le plus pertinent pour définir une classe de situations. L'étude présentée ici permet une première proposition de définition de classes de situations à empan temporel plus réduit correspondant aux quatre moments identifiés. Si la distinction entre le travail de préparation et la mise en œuvre en classe semble évidente, cette étude montre qu'il pourrait être important de distinguer les moments de travail en classe entière et les moments de travail de groupe. Du point de vue du guidage, les schèmes formalisés ci-dessus⁶³ prennent des formes variées, que ce soit en termes de buts, d'invariants opératoires, de règles d'action ou d'inférences, et qu'ils se déploient sur plusieurs empans temporels.

2.6 LA DI COMME CLASSE DE SITUATIONS

La présentation des études ci-dessus avait pour objectif d'illustrer les obstacles et difficultés rencontrés lors de l'étude d'une classe de situations et des schèmes associés, de permettre de discuter de la méthode d'étude des classes de situations et plus généralement de la manière de

⁶³ Comme pour l'ensemble de mes études portant sur la DI, la méthode conduisant à la formalisation des schèmes (et donc les schèmes formalisés) est à discuter notamment car les données ne sont que partielles.

définir une classe de situation. Plus spécifiquement, la question du guidage a été pointée dans ces études sous la forme de schèmes d'enseignants experts.

2.6.1 UNE VARIETE DE SCHEMES ASSOCIES AU GUIDAGE DES ENSEIGNANTS EXPERTS

La formalisation des schèmes a permis de mettre au jour une variété des formes de guidage chez les enseignants experts⁶⁴ qui peuvent être des réponses à différentes caractéristiques de la classe de situations DI. Au collège, le guidage repose sur des stratégies implicites et répond au double besoin d'aider les élèves à faire face à la densité épistémique forte de ces situations et à la nécessité de faire tenir une DI dans un temps court. Au lycée, le guidage repose sur l'aménagement de situations permettant aux élèves de débattre entre eux ainsi que sur l'explicitation du statut du savoir du point de vue de la certitude / incertitude. Il n'est pas possible de conclure, à partir de ces études, si ces différences constatées viennent des institutions (collège / lycée) ou bien des enseignants observés ou encore d'autres variables (niveau des élèves, notamment⁶⁵). Si ces stratégies de guidage sont le fruit d'enseignants experts, rien ne permet de conclure qu'elles sont pour autant efficaces⁶⁶. On peut d'ailleurs questionner les stratégies des enseignants de collège qui semblent comporter une grande part d'implicite, les travaux de Bautier et Goigoux (2004) ayant montré les effets différenciateurs des implicites en classe. La question des effets de ces schèmes sur les élèves reste donc à traiter.

2.6.2 DU POINT DE VUE DE LA METHODE D'ETUDE DE LA CLASSE DE SITUATIONS ET DES SCHEMES

La présentation des travaux ci-dessus permet d'étudier la classe de situations « démarche d'investigation » et les schèmes associés de deux façons :

- en comparant les enseignants experts et novices, en faisant l'hypothèse que ce qui distingue ces deux populations d'enseignants est un développement plus important de schèmes spécifiques à cette classe de situation chez les experts. Cette comparaison a lieu à partir de l'observation d'une seule séance par enseignant et tend à gommer certaines spécificités des schèmes par rapport aux savoirs en jeu car, d'une séance étudiée à l'autre, les enjeux de savoirs sont différents.
- en étudiant un même enseignant sur un temps plus long (cinq séances sur un même thème). Cette approche permet de rendre compte plus finement des spécifications des schèmes en fonction du savoir en jeu. De plus, en repérant des régularités, il est plus facile de gérer le degré de généralité de la formalisation des schèmes. En revanche, l'absence de comparaison avec d'autres enseignants ne permet pas de montrer les différentes adaptations possibles, en termes de schèmes, pour une même situation.

⁶⁴ L'expertise des enseignants est définie de manière différente en fonction des études : les enseignants de l'étude 1 et 2 (collège) sont reconnus comme experts par leur hiérarchie alors que l'enseignante des études 3 et 4 (lycée) est reconnue comme experte au vu des résultats de ses élèves. Cette dernière façon de définir l'expertise me semble la plus pertinente pour une approche didactique.

⁶⁵ Des études plus approfondies sur le lien entre guidage de l'enseignant et les effets sur les élèves pourraient amener à spécifier des classes de situations DI en fonction des élèves.

⁶⁶ *Efficace* peut ici être entendu comme *favorisant les interactions des élèves au regard du savoir par exemple*.

Une approche croisant les deux méthodes, c'est-à-dire des comparaisons entre enseignants sur un enseignement long à propos d'un même contenu, permettrait de bénéficier des avantages de chacune.

Par ailleurs, et au-delà de la question de la généralisation de la formalisation des schèmes mentionnée ci-dessus, l'identification des composantes du schème est loin d'être évidente pour un chercheur seul. J'ai proposé des formalisations pour quelques schèmes à partir de mes travaux sur la DI qui mériteraient d'être discutées (cette formalisation avait pour but de tester ma proposition plus que de parvenir à une formalisation totalement aboutie et définitive). Des données complémentaires (comme des entretiens avec les enseignants, des auto-confrontations, etc.) ou bien un regard croisé avec plusieurs chercheurs sont des pistes à explorer afin de construire une méthode plus robuste pour formaliser des schèmes, notamment en matière d'invariants opératoires et d'inférences.

2.6.3 A PROPOS DE LA CLASSE DE SITUATION « DEMARCHE D'INVESTIGATION »

Les résultats des études présentées ci-dessus montrent que les schèmes mis en œuvre lors de l'enseignement par démarche d'investigation sont variés. Les enseignants experts mettent en effet en œuvre des schèmes qui se distinguent tant du point de vue des buts (par exemple : « Réduire la difficulté pour les élèves face à une trop grande densité épistémique » ; « Favoriser l'apparition des moments où l'incertitude épistémique peut émerger en classe entière ») que des invariants opératoires ou des règles d'action. Lorsque le but est commun (« Réduire la difficulté pour les élèves face à une trop grande densité épistémique »), les enseignants peuvent mettre en œuvre des schèmes qui se distinguent par les trois autres composantes du schème, correspondant à des stratégies différentes.

Cette variété des schèmes, notamment au niveau des buts, interroge la classe de situation « démarche d'investigation ». Plusieurs points peuvent expliquer cette variété :

- Une classe de situations qui recouvre une variété de situations très différentes, même si elles ont en commun de mettre l'élève en situation d'investigation. Ce qui est présenté comme un ensemble de situations homogènes par les instructions officielles recouvre en fin de compte des situations variées. La recherche pointe d'ailleurs que les démarches d'investigation peuvent faire référence à des démarches distinctes de par leur épistémologie (voir par exemple la classification proposée dans Morge & Boilevin, 2007).
- Des interprétations des instructions officielles variées d'un enseignant à l'autre. Ce deuxième point n'est pas indépendant du premier, la variété des situations qui constituent les démarches d'investigation suscitant de multiples interprétations. Cela peut également être le signe d'un manque de schèmes spécifiques à cette classe de situations chez les enseignants. Les enseignants sont alors amenés à développer de nouveaux schèmes en adaptant ceux liés à des situations qu'ils estiment être proches de celle de la DI. En fonction de la façon dont ils « lisent » les situations de DI, les enseignants sont amenés à développer des schèmes différents.
- La difficulté à définir l'expertise d'un enseignant. Comme mentionné plus haut, les enseignants participant à mes études ne sont pas considérés comme experts selon les mêmes critères (reconnaissance par l'institution pour les enseignants de collège, mesure d'une efficacité pour l'enseignante de lycée).

La relecture de mes travaux de recherche sur la DI en termes de classe de situations et de schèmes ouvre à des interprétations du point de vue de la compréhension de la situation par l'enseignant et des contraintes qui pèsent sur elle en vue de rendre compte de stratégies de guidage des enseignants (sous la forme des invariants opératoires, règles d'action et de contrôle et inférences). Le terme de « stratégie » prend ici une signification différente de celle que l'on peut trouver dans le modèle de Magnusson et al. (1999). Pour ces dernières, en effet, il s'agit d'une composante des PCK. Or, Jameau (2015) pointe la difficulté à définir ce que peuvent être des stratégies en termes de connaissances (ou de composante de connaissances). Dans ma thèse (Cross, 2009), j'avais également pointé cette difficulté et proposé de penser les stratégies comme des mises en œuvre de TPC appartenant à plusieurs composantes du modèle de Magnusson et al. (1999). Dans la modélisation des PCK en termes de schèmes, les stratégies correspondent à ce que l'enseignant met en œuvre en fonction des contraintes et des possibilités de la situation et sont formalisées sous la forme des invariants opératoires, règles d'actions et inférences.

2.6.4 DEFINITION D'UNE CLASSE DE SITUATION

Cette première tentative de caractérisation de classes de situations repose à la fois sur la prise en compte des instructions officielles et sur l'analyse de l'agir en classe, ce qui permet de rendre compte de l'interprétation des instructions officielles par les enseignants mais également de leurs adaptations à des contraintes. La définition précise de la classe de situations DI reste à formaliser, ce qui n'est pas évident. En effet, comme nous l'avons vu, celle-ci est vraisemblablement composée de sous-classes de situations très variées. On peut alors se demander comment le chercheur en didactique peut « découper » la classe de situation DI en de nouvelles classes de situations. Plusieurs pistes peuvent être proposées :

- En partant du fonctionnement du savoir en classe. Il s'agit ainsi par exemple de définir des classes de situations liées à la modélisation : « Distinguer le modèle du réel », « Modéliser le réel », « Utiliser un modèle pour prévoir expliquer, etc. ». Un autre exemple pourrait être de définir les classes de situation par rapport à la problématisation (Orange, 2005). Ces façons de définir des classes de situations ont pour avantages de concerner beaucoup de moments d'enseignement de la physique et de la chimie ainsi que de prendre en compte les spécificités du savoir en jeu.
- En redécoupant la classe de situations « démarche d'investigation » en situations à des échelles temporelles plus petites, par exemple les moments de travail de groupe pour concevoir un protocole ou encore des « étapes » de la DI. Reste à déterminer quel peut être l'empan temporel le plus petit pour définir une classe de situations qui ait encore du sens du point de vue didactique (comme celle correspondant à la mise en œuvre d'une tâche épistémique (Ohlsson, 1996)).
- En définissant des classes de situations en fonction des buts des schèmes (par exemple « Favoriser l'apparition des moments où l'incertitude épistémique peut émerger lors du travail de groupe »).

Quoi qu'il en soit, cette question de la définition des classes de situations est centrale si l'on veut étudier les schèmes des enseignants et aborder des problématiques de formation des enseignants. En effet, les schèmes et la classe de situations sont dans une relation dialectique : c'est parce que l'enseignant a développé certains schèmes qu'il est capable de reconnaître une classe de situations et, inversement, c'est parce que l'enseignant reconnaît une classe de situations (et ses spécificités) qu'il développe des schèmes spécifiques à celle-ci. Considérer les PCK comme des schèmes amène donc à penser la formation des enseignants autant en termes de

schèmes qu'il est nécessaire de développer que de classes de situations qu'il faut apprendre à identifier et gérer. Il reste toutefois à penser comment il est possible organiser les formations dans cette perspective⁶⁷.

⁶⁷ Voir les premières propositions faites dans la partie suivante.

CHAPITRE 5 : LES PCK COMME DES SCHEMES LIES A DES SITUATIONS DIDACTIQUES : UN PROGRAMME DE RECHERCHE

Ce chapitre illustre de quelle manière la nouvelle approche des PCK proposée dans le chapitre précédent me permet de penser un programme de recherche en lien avec les études auxquelles je participe actuellement.

Le chapitre précédent a montré l'intérêt heuristique d'utiliser le couple schème-classe de situations pour étudier les PCK des enseignants et revisiter en conséquence puis dépasser mes travaux sur la DI tout en soulevant des difficultés et des limites :

1. Les difficultés liées à la caractérisation d'une classe de situations trop vaste, ce qui pose problème pour identifier des schèmes qui lui sont spécifiques.
2. La comparaison d'enseignants novices / experts sur un temps court, qui ne permet pas de tenir suffisamment finement compte des caractéristiques du savoir en jeu.
3. L'observation d'un seul enseignant sur un temps long, qui ne permet pas d'étudier les contraintes de la situation et les adaptations de ce dernier.
4. Le manque de mise à l'épreuve de liens entre les schèmes des enseignants et l'agir des élèves. Plus généralement, il est ici question de l'expertise « didactique » des enseignants.
5. Le manque de données relatives au développement des schèmes des enseignants et plus généralement la question de leur formation.
6. La difficulté à formaliser des schèmes.
7. Les liens entre schèmes et échelles de temps de l'agir de l'enseignant, qui restent à préciser.

Dans un premier temps, je propose deux projets de recherche susceptibles de répondre à certaines difficultés et limites mentionnées ci-dessus : le projet 1 pour les points 1 à 4, le projet 2 pour les points 2 et 3 mais aussi, en partie, le point 5. Dans un deuxième temps, j'esquisse des pistes quant au traitement des autres points. L'ensemble de ces projets repose sur l'utilisation des données vidéo de classe comme données principales.

1 DEFINIR UNE CLASSE DE SITUATIONS LIEE AU TRAVAIL DE GROUPE ET EVALUER LA PERTINENCE DE CERTAINS SCHEMES

Cet axe de recherche vise à dépasser les limites méthodologiques pointées à partir de mes travaux sur les démarches d'investigation en étudiant deux enseignants experts lors de la mise en œuvre d'un enseignement sur un même thème (points 2 et 3 ci-dessus). Il vise également à étudier ce qui pourrait constituer une classe de situations liée au travail de groupe des élèves lors de l'interprétation de phénomènes périodiques (point 1 ci-dessus). Cet axe de recherche prend appui sur un travail engagé depuis bientôt quatre ans dans le cadre de financements de projets par l'ESPE de Montpellier (projet « Implicites et différenciation scolaire : analyse didactique et linguistique du travail d'élèves en groupe en classe de physique »), puis l'INSPE de

Montpellier (projet Inter2EGrES : Analyse des interactions enseignant-élèves lors du travail en groupe dans le cadre des enseignements scientifiques). Je suis le porteur de ces deux projets qui associent des collègues didacticiens de la physique du LIRDEF, d'ICAR et d'EFTS, ainsi que des linguistes et un spécialiste de l'analyse de l'activité.

Par « travail en groupe », nous entendons une organisation du travail de la classe qui implique deux élèves ou plus avec, comme visée, un même objectif d'apprentissage. Cette modalité d'organisation du travail offre des avantages sous les aspects cognitifs, métacognitifs, émotionnels, motivationnels et sociaux (Johnson & Johnson, 2009). De plus, du point de vue des apprentissages, plusieurs méta-analyses montrent les effets bénéfiques du travail de groupe (Kyndt et al., 2013). Si les interactions entre élèves sont favorisées lors de cette modalité de travail, le rôle de l'enseignant ne doit cependant pas être minimisé. En effet, plusieurs travaux montrent que les interventions de l'enseignant restent déterminantes pour permettre aux activités des élèves de servir véritablement de support à des apprentissages (van Leeuwen & Janssen, 2019). Or, peu d'études ont été réalisées sur les interactions des enseignants avec les élèves lors du travail de groupe dans le cadre des enseignements scientifiques. Ces enseignements offrent pourtant de nombreuses occasions de faire travailler les élèves en groupe autour d'objectifs variés, comme en témoignent notamment les activités expérimentales en physique-chimie, souvent réalisées en binôme. Une typologie des interventions des enseignants a en outre été proposée et leurs effets étudiés (Hofmann & Mercer, 2016), illustrant le rôle central de l'enseignant dans la construction des connaissances par les élèves. De la même façon que le guidage pour la classe de situations DI, les interventions de l'enseignant dans les groupes semble donc offrir un point d'entrée fécond pour l'étude des schèmes des enseignants.

Un autre aspect déterminant des interventions de l'enseignant est la prise en charge des effets différenciateurs du travail en groupe du point de vue des apprentissages. En effet, les premiers résultats du projet « Implicites et différenciation scolaire : analyse didactique et linguistique du travail d'élèves en groupe en classe de physique » montrent que, dans une même classe, les groupes d'élèves se saisissent des consignes et des ressources disponibles de manière très contrastée, dont découlent des apprentissages potentiellement différents. La question porte donc sur la façon dont l'enseignant gère ses interventions dans les différents groupes alors qu'il doit s'adapter à chaque fois à l'activité spécifique du groupe tout en amenant les élèves à apprendre des savoirs communs à toute la classe. L'hypothèse est donc qu'un enseignant efficace doit avoir développé des schèmes spécifiques à la gestion des interventions dans les groupes.

La classe de situations liée aux interventions de l'enseignant dans les groupes d'élèves ne prend pas en compte les spécificités des savoirs en jeu. On peut donc faire l'hypothèse que ce sont des schèmes de type « Pedagogical Knowledge » qui sont en jeu ici. Afin de définir une classe de situations où ce sont des « schèmes PCK » qui sont en jeu, nous avons choisi des moments particuliers et pris appui sur les travaux présentés dans le chapitre précédent (des classes de situations à empan temporel relativement petit). Il s'agit des moments où les élèves doivent interpréter des phénomènes périodiques soit à l'aide d'un modèle (un phénomène est périodique s'il est constitué d'un motif qui se répète) soit à l'aide de mesures (de la période ou de la fréquence). Il s'agit d'étudier non seulement les interventions de l'enseignant dans

plusieurs groupes, mais également le travail de ces élèves en vue de relier leurs apprentissages avec l'agir de l'enseignant. L'objectif est d'étudier la pertinence des schèmes développés par les enseignants au vu des apprentissages possibles (point 4). La formalisation des schèmes prendra appui sur les données d'observation en classe mais également sur des entretiens avec les enseignants.

La formalisation d'une classe de situations liée au travail de groupe lorsque les élèves sont amenés à interpréter un phénomène, d'une part, la formalisation de certains schèmes « efficaces », d'autre part, peuvent donner le point de départ d'une formation sur la gestion des interventions dans les groupes. La formation, en cohérence avec l'approche classe de situations-schèmes, n'aurait pas pour but de transmettre les schèmes efficaces mais d'amener, dans un premier temps, les enseignants à caractériser différentes classes de situations liées au travail de groupe⁶⁸ pour, dans un deuxième temps, expérimenter différentes façons d'intervenir dans les groupes en fonction des caractéristiques des classes de situations et des contraintes. Ce projet prend ainsi en compte la limite constatée sur l'empan trop grand de la classe de situations DI (point 1).

2 DEVELOPPEMENT DE SCHEMES DANS UN CADRE DE TRAVAIL COLLABORATIF AVEC DES ENSEIGNANTS : LE CAS DE LA MODELISATION EN CHIMIE DANS UN CONTEXTE D'EDUCATION AU DEVELOPPEMENT DURABLE

Le deuxième axe de recherche que je propose de développer est celui de l'étude du développement de schèmes spécifiques à une classe de situations conjointement à la reconnaissance de cette classe de situations par les enseignants. Cette recherche est menée dans le cas de l'enseignement de la chimie dans un contexte d'éducation au développement durable (EDD) et s'inscrit dans le cadre de la co-direction de la thèse de Marie Sudriès (co-direction avec Florence Ligozat à l'UNIGE).

2.1 LA CLASSE DE SITUATIONS « ENSEIGNER LES TRANSFORMATIONS CHIMIQUES DANS UN CONTEXTE D'EDD »

2.1.1 LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

La transformation chimique est un concept central des programmes de chimie au collège et au lycée en France et dans de nombreux pays. De ce fait, l'enseignement et l'apprentissage de la transformation chimique fait l'objet de nombreuses recherches en didactique depuis les années 1980, à commencer par l'étude des conceptions des élèves (Méheut, Saltier & Tiberghien, 1984 ; Chomat et al., 1988 ; Larcher, Chomat & Méheut, 2000). D'autres travaux s'intéressent spécifiquement à l'équation de réaction (Laugier & Dumon, 2004). Enfin, certains considèrent les

⁶⁸ Il s'agit en quelque sorte d'amener les enseignants à réorganiser la classe de situations « faire travailler les élèves en groupe », trop large, en sous-classes de situations.

aspects langagiers associés à l'enseignement-apprentissage du concept (Canac & Kermen, 2016 ; Khanfour-Armale & Le Maréchal, 2009 ; Kermen, 2018). Le modèle de Kermen (2018) modélise les savoirs relatifs à la transformation chimique en distinguant deux niveaux, le niveau expérimental et le niveau du modèle. Chacun de ces niveaux est à son tour constitué de deux sous-niveaux : ceux de la réalité perçue et de la réalité idéalisée pour le premier niveau ; ceux du modèle macroscopique et du modèle microscopique pour le second. Dans le cadre de ce modèle, enseigner / apprendre la transformation chimique consiste à savoir la décrire et l'interpréter à chacun de ces niveaux et sous-niveaux et faire des liens entre ces derniers.

2.1.2 LE CONTEXTE DE L'EDD

En France comme dans d'autres pays, les objectifs assignés à l'enseignement scientifique sont de former les citoyens de demain, aux prises avec des questions complexes, notamment celles relatives au développement durable. Il ne s'agit donc plus (seulement) de former de futurs scientifiques mais de transmettre une culture scientifique et technique (CST). A cette fin, les programmes français précisent que l'enseignement des sciences doit permettre à l'élève « de vivre et préparer une citoyenneté responsable, en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement : en construisant sa relation au monde, à l'autre, à son propre corps ; en intégrant les évolutions économiques et technologiques, pour assumer en citoyen les responsabilités sociales et éthiques qui en découlent » (MEN, novembre 2018, p. 106).

Du point de vue de la recherche en didactique, la question de l'éducation scientifique au service de la formation du citoyen est prise en charge par plusieurs domaines dont celui des « éducations à » (Barthes et al., 2017 ; Girault & Sauvé, 2008) et l'introduction de questions socialement vives (QSV) à l'école. Simonneaux et Simonneaux (2014) voient dans ces nouvelles formes d'éducation une façon de permettre aux élèves de développer des opinions éclairées à propos de controverses impliquant sciences et société afin d'être en mesure d'en débattre.

La chimie comme discipline scolaire est à même de contribuer à la CST des élèves au même titre que la physique, la biologie ou la géologie. Si, dans ces dernières sciences, des propositions ont été faites concernant des séquences en lien avec l'éducation au développement durable (EDD), il n'y en a pas (à ma connaissance) concernant la chimie en France. Cette dernière est pourtant au cœur des questions liées à l'EDD :

- car elle est une technique qui permet de produire des objets qui constituent le quotidien des êtres humains. L'activité de synthèse de nouvelles molécules et de nouvelles matières qui prend son essor à la fin du XIXème siècle va amplifier le schisme entre « naturel » et « chimique » déjà présent dans l'alchimie du moyen-âge (Bensaude-Vincent & Stengers, 2001). Or, cette vision du chimiste « pollueur » occulte le contexte socio-économique d'expansion de la discipline, à savoir : production de masse et société de consommation. Il s'agit donc de penser le « chimique » comme une réponse à des besoins techniques dans un contexte de production de masse et de société de consommation.

- car les concepts de la chimie permettent de comprendre certains enjeux liés à l'EDD. Ainsi, le concept de transformation chimique permet de comprendre les transformations de la matière à l'œuvre aussi bien dans le laboratoire que dans la Nature⁶⁹. La combustion du charbon peut ainsi être modélisée grâce au concept de transformation chimique pour comprendre quelles sont les substances qui disparaissent et apparaissent et en quelle quantité. Cette transformation chimique est au cœur du débat public concernant la production de CO₂ et donc les problèmes liés à l'effet de serre et au changement climatique qui en résulte.

C'est ce deuxième point (les concepts de la chimie pour l'EDD) que nous avons choisi de retenir pour penser une séquence en chimie en lien avec l'EDD. Nous proposons ainsi d'introduire une « classe de situations potentielle » auprès de quelques enseignants, que l'on peut nommer « modélisation de la transformation chimique dans un contexte d'EDD ». Cette classe de situations est « potentielle » car, d'une part, pour être définie et caractérisée, elle doit 'avoir été mise en œuvre en classe⁷⁰ et, d'autre part, elle correspond à un empan temporel très grand. La transformation de « classes de situations potentielle » en « classes de situations » est un processus que l'on se propose de suivre.

2.2 UN DISPOSITIF PERMETTANT D'ETUDIER LE DEVELOPPEMENT PROFESSIONNEL DES ENSEIGNANTS

Afin d'étudier le développement des schèmes chez les enseignants et la construction de la classe de situations « modélisation de la transformation chimique dans un contexte d'EDD », nous nous plaçons dans un dispositif de travail collaboratif de conception et de mise en œuvre d'une séquence d'enseignement. L'étude implique plusieurs enseignants suivis pendant plusieurs séances (points 2 et 3). En récoltant des données relatives aux réunions de travail entre enseignants et chercheurs et la mise en œuvre en classe de la séquence co-construite, il sera possible de traiter plusieurs questions relatives au point 5 :

- Quels sont les apports respectifs des chercheurs et des enseignants dans la co-construction et la mise en œuvre de la séquence ? Comment cela se traduit-il en termes de développement de schèmes au vu des schèmes déjà construits par les enseignants ? On peut par exemple penser que les chercheurs sont plus à même « d'apporter » des invariants opératoires (comme ceux liés à la modélisation des savoirs en chimie) et les enseignants des règles d'actions ou les inférences. Les buts, quant à eux, pourraient être l'objet d'une négociation entre chercheurs et enseignants.
- Quelle dynamique de développement des schèmes ? L'entrée « par la situation » ne veut pas forcément dire que celle-ci est première. La compréhension des intentions

⁶⁹ J'utilise ici une conception naïve de la Nature comme ce qui se produit sans l'intervention de l'être humain

⁷⁰ Cette classe de situations potentielle peut cependant être définie *a minima* au vu de ce qui est présenté, dans cette partie, du point de vue des enjeux de savoirs.

didactiques et des enjeux de savoirs de la situation nécessite des schèmes spécifiques qui peuvent provenir de l'adaptation de schèmes associées à des situations proches.

- Quels « signifiés communs » sont-ils construits par le groupe ? On peut faire l'hypothèse que le groupe aura besoin pour fonctionner de signifiés communs qui peuvent être des invariants opératoires mais aussi (voire surtout) des situations de références communes (des situations de référence qui sont typiques de la classe de situations en construction). Ces situations de références peuvent être, en partie, issues de l'expérience des enseignants.

Cette étude s'intéresse à une classe de situations à empan plus large que la précédente. Cette diversité des empans temporels contribue à l'étude des liens entre échelles temporelles et schèmes. Une autre différence avec l'étude précédente est que la classe de situations étudiée n'est pas définie *a posteriori* par le chercheur mais se co-construit avec les enseignants. De la même façon que pour l'étude précédente, la formalisation des schèmes s'appuie sur des données d'observations mais également sur le « dire » des enseignants mais avec, toutefois, une différence : dans le projet 2, les enseignants sont en situation de co-conception d'une ressource en présence de chercheurs et d'autres enseignants et non plus dans une situation d'entretien avec un chercheur.

3 PERSPECTIVES CONCERNANT LA FORMALISATION DES SCHEMES ET LES EFFETS DES SCHEMES SUR LES ELEVES

Je propose ici, en complément des deux projets de recherche ci-dessus, des pistes correspondant aux points qu'il reste à traiter en rapport avec l'approche situations-schémes pour étudier les PCK des enseignants.

3.1 FORMALISATION DES SCHEMES

Un point important qu'il reste à traiter est celui de la formalisation des schèmes. En effet, la mise à l'épreuve de la proposition théorique au chapitre 4 a montré la difficulté de passer de l'observation et de l'analyse de l'agir de l'enseignant à la mise en mots des quatre composantes du schème. Il faut non seulement gérer le degré de généralité de la formalisation comme discuté p. 103, mais également arriver à distinguer ce qui relève d'une règle d'action, d'un invariant opératoire et d'une inférence, ce qui n'est pas toujours évident. Ce travail peut être réalisé dans le cadre d'une thèse, dans laquelle il s'agirait de mettre au point une méthode pour formaliser des schèmes pour une classe de situations donnée. Au vu des résultats présentés page 104, la classe de situations doit être choisie comme n'étant pas trop large (par exemple, la classe de situations sur le travail en groupe des élèves proposée ci-dessus). La méthode doit viser à établir les variables de la situation qui participent à l'inférence, qui peut être formalisée sous la forme « si X, alors Y, alors Z... », X, Y et Z étant des variables de la situation. A cette fin, une piste envisageable est de penser les élèves comme variable de la situation à prendre en compte dans les possibilités d'inférence. Assurément, une méthode de raffinement progressif d'hypothèses impliquant plusieurs chercheurs pourrait être fructueuse. La question des données complémentaires aux données vidéo est également à envisager dans un tel projet. Une prise en

compte du contexte d'énonciation des enseignants me semble une piste importante à explorer. Par exemple, les deux projets présentés ci-dessus sont susceptibles de mobiliser le « dire » de l'enseignant dans deux contextes : dans le premier projet, il s'agit d'entretiens entre le chercheur et l'enseignant alors que, dans le deuxième projet, il s'agit de moments de co-construction d'une séquence avec des chercheurs et plusieurs enseignants. Des analyses linguistiques de ces discours permettraient d'alimenter la réflexion sur l'articulation de ce type de données et les données d'observation en classe.

3.2 LIENS ENTRE SCHEMES DE L'ENSEIGNANT ET L'AGIR DES ELEVES

L'étude des liens entre schèmes de l'enseignant et agir des élèves correspond à un projet qui me semble de plus grande ampleur. En effet, le nombre de variables potentiellement en jeu est important : celles liées à l'enseignant, à la situation et aux élèves. Un projet impliquant plusieurs collègues didacticiens permettrait d'étudier une classe de situations relativement large, qui pourrait être découpée en « sous-classes ». L'avantage de travailler sur une classe de situations relativement large est de pouvoir traiter de la question des échelles de temps de l'agir de l'enseignant en lien avec ses schèmes. Ce projet nécessite d'avoir à disposition une méthode fiable pour formaliser les schèmes des enseignants. Il nécessite également de construire des indicateurs relatifs à l'agir de l'élève (par exemple des indicateurs liés à la qualité des interactions entre les élèves). Du point de vue de la méthode, le suivi de plusieurs enseignants lors de la mise en œuvre d'une séquence nouvelle (qui implique une nouvelle classe de situations et donc le développement de nouveaux schèmes) me paraît une piste intéressante :

- Observer plusieurs enseignants permet de généraliser les résultats et, par contraste, de formaliser plus facilement les schèmes des enseignants.
- Observer les enseignants en train d'agir dans une nouvelle classe de situations permet de contraster l'effet des schèmes (anciens et nouveaux) sur les élèves.

Une classe de situations potentielle est celle correspondant à l'enseignement de la notion de quantité de matière en seconde. En effet dans le cadre d'un groupe de l'IREM⁷¹ de Montpellier, nous avons travaillé à l'élaboration d'une séquence sur cette notion : cette séquence repose sur la modélisation et elle se fixe pour objectif de montrer la « nécessité » de cette grandeur pour traiter de certaines questions en chimie. Cette séquence peut ainsi être le support d'un dispositif de recherche itératif lors duquel des moments de discussion entre les enseignants et des chercheurs (à propos de la séquence et de sa mise en œuvre) alternent avec des moments de mise en œuvre de la séquence. Les données recueillies lors de ces différents moments permettront, par ailleurs, d'étudier le développement des schèmes des enseignants.

⁷¹ Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques

4 CONCLUSION

La proposition théorique qui consiste à considérer les PCK selon le couple schèmes-classe de situations me semble à même de dépasser certaines difficultés rencontrées à l'heure actuelle dans les études sur les PCK. Deux points importants restent toutefois à traiter : la formalisation des schèmes et la définition des classes de situations. Le programme de recherche que j'ai esquissé ci-dessus est ainsi ambitieux de par le nombre de cas important et des données de nature variées qu'il faut traiter. Cette note de synthèse permet de penser les aspects théoriques liés à de telles études, la méthode de traitement de ces données reste, cependant, à mettre au point. Si le chemin qui reste à parcourir pour rendre totalement opérationnel ce type de proposition alternative à des fins d'étude des connaissances professionnelles des enseignants est long et quelque peu difficile, il me semble toutefois être à la hauteur de l'importance du sujet puisqu'il s'agit non seulement de tenter de comprendre, à l'aide d'un même cadre théorique, l'expertise des enseignants en formalisant un corpus de connaissances mais également de penser des formations initiales ou continues.

BIBLIOGRAPHIE

- Abell, S. K. (2008). Twenty Years Later : Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416. <https://doi.org/10.1080/09500690802187041>
- Albero, B., & Brassac, C. (2013). Une approche praxéologique de la connaissance dans le domaine de la formation. Éléments pour un cadre théorique. *Revue française de pédagogie*, 184, 105-119. <https://doi.org/10.4000/rfp.4253>
- Alvarado, C., Cañada, F., Garritz, A., & Mellado, V. (2015). Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid-base chemistry at high school. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 603-618. <https://doi.org/10.1039/C4RP00125G>
- Bächtold, M., Cross, D., & Munier, V. (2019). How to Assess and Categorize Teachers' Views of Science? Two Methodological Issues. *Research in Science Education*. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09904-x>
- Barthes, A., Lange, J.-M., & Tutiaux-Guillon, N. (Éds.). (2017). *Dictionnaire critique des enjeux et concepts des « éducations à »*. L'Harmattan.
- Bautier, É., & Goigoux, R. (2004). Difficultés d'apprentissage, processus de secondarisation et pratiques enseignantes : Une hypothèse relationnelle. *Revue française de pédagogie*, 148, 89-100. JSTOR.
- Bensaude-Vincent, B., & Stengers, I. (2001). *Histoire de la chimie: La Découverte*. <https://doi.org/10.3917/dec.bensa.2001.01>
- Berry, A., Friedrichsen, P. J., & Loughran, J. (Éds.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. Routledge.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? : A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction : Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants : Regards didactiques*. De Boeck.
- Bourdoncle, R. (2000). « Professionnalisation, formes et dispositifs ». *Recherche & Formation*, 35(1), 117-132. <https://doi.org/10.3406/refor.2000.1674>
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Editions La pensée sauvage.
- Calmettes, B. (Éd.). (2012). *Didactique des sciences et démarches d'investigation : Références, représentations, pratiques et formation*. L'Harmattan.
- Canac, S., & Kermen, I. (2016). Exploring the mastery of French students in using basic notions of the language of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(3), 452-473. <https://doi.org/10.1039/C6RP00023A>
- Carlsen, W. (1999). Domains of Teacher Knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman, *Examining pedagogical content knowledge the construct and its implications for science education*. Kluwer Academic.

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=69635>

- Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Kam Ho Chan, K., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepertz, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P., ... Wilson, C. D. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Éds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 77-94). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Chan, K. K. H., & Hume, A. (2019). Towards a Consensus Model: Literature Review of How Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Is Investigated in Empirical Studies. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Éds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 3-76). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_1
- Chan, K. K. H., & Yung, B. H. W. (2018). Developing Pedagogical Content Knowledge for Teaching a New Topic: More Than Teaching Experience and Subject Matter Knowledge. *Research in Science Education*, 48(2), 233-265. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9567-1>
- Charaudeau, P., Maingueneau, D., & Adam, J.-M. (2002). *Dictionnaire d'analyse du discours*. Seuil.
- 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, 97-130. <https://doi.org/10.4000/rdst.1496>
- Chomat, A., Larcher, C., & Meheut, M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, 7. <https://doi.org/10.4267/2042/9222>
- Colburn A. (2000). What teacher educators need to know about inquiry-based instruction. *Annual meeting of the Association for the education of Teachers in Science*, Akron.
- Coquide, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation: Fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, 49. <https://doi.org/10.4267/2042/31129>
- Crahay, M., Wanlin, P., Issaieva, É. & Laduron, I. (2010). Fonctions, structuration et évolution des croyances (et connaissances) des enseignants. *Revue française de pédagogie*, 172, 85-129. <https://doi.org/10.4000/rfp.2296>
- Cross, D. (2009). *Les connaissances professionnelles de l'enseignant: Reconstruction à partir d'un corpus vidéo de situations de classe de chimie*. Université Lumière Lyon 2.
- Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Éducation et didactique*, 4(3), 39-60. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.850>
- Cross, D. (2013). Démarches d'investigation: Analyse de pratiques de classe au collège en mathématiques, physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre, impliquées dans un travail collectif. In M. Grangeat (Éd.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation: Des formations et des pratiques de classe*. Presses universitaires de Grenoble.
- Cross, D. (2017). Les connaissances d'un enseignant à plusieurs échelles Étude de cas chez un enseignant de SVT au collège. In M. Bächtold, J.-M. Boilevin, & B. Calmettes (Éds.), *La pratique de l'enseignant en sciences: Comment l'analyser et la modéliser?* (PUL).

- Cross, D., Farge, S., Lepareur, C., & Munier, V. (2019). Approcher les représentations socio-professionnelles des enseignants sur la notion de conception à partir de questions ouvertes : Apport de la linguistique et implications méthodologiques. *RDST*, 20, 61-85. <https://doi.org/10.4000/rdst.2681>
- Cross, D., & Grangeat, M. (2014). Démarches d'investigation : Analyse des relations entre contrat et milieu didactiques. *RDST*, 10, 155-182. <https://doi.org/10.4000/rdst.946>
- Cross, D., & Le Maréchal, J.-F. (2013). Analyse de sujets de devoirs en chimie en classe de terminale : Point de vue de la charge cognitive. *RDST*, 7, 169-192. <https://doi.org/10.4000/rdst.725>
- Cross, D., & Lepareur, C. (2015). PCK at Stake in Teacher – Student Interaction in Relation to Students' Difficulties. In M. Grangeat (Éd.), *Understanding Science Teachers' Professional Knowledge Growth* (p. 47-61). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-313-1_4
- Cross, D., Veillard, L., Le Maréchal, J.-F., & Tiberghien, A. (2009). Analyse de corpus vidéo d'une série de situations d'enseignement : Le découpage en thèmes. In C. Cohen-Azria & N. Sayac (Éds.), *Questionner l'implicite* (p. 101-109). Presses universitaires du Septentrion. <https://doi.org/10.4000/books.septentrion.14665>
- Daehler, K. R., Heller, J., & Wong, N. (2015). Supporting growth of pedagogical content knowledge in science. In A. Berry, P. J. Friedrichsen, & J. Loughran (Éds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. Routledge.
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia*, 9. <https://doi.org/10.4267/2042/23786>
- Delfosse P. (1999). *Une demarche pour l'apprentissage des sciences*. Bruxelles : ministere de la Communauté française de Belgique.
- Engestrom, Y. (2000). Activity theory as a framework for analyzing and redesigning work. *Ergonomics*, 43(7), 960-974. <https://doi.org/10.1080/001401300409143>
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education : Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories* (1st ed. 2014). Springer Netherlands : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4>
- Fischer, H., Duit, R., & Labudde, P. (2005). Video-studies on the Practice of Lower Secondary Physics Instruction in Germany and Switzerland – Design, Theoretical Frameworks, and a Summary of Major Findings. In R. Pintò & D. Couso (Eds.), *Proceedings of the fifth international ESERA conference on contributions of research to enhancing students' interest in learning science* (pp. 830-834). Barcelona, Spain.
- Friedrichsen, P., Driel, J. H. V., & Abell, S. K. (2011). Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376. <https://doi.org/10.1002/sce.20428>
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK : Results of the thinking from the PCK Summit. In *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. <https://doi.org/10.4324/9781315735665-8>
- Girault, Y., & Sauvé, L. (2008). L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable. Croisements, enjeux et mouvances. *Aster*, 46(46, p. 231). <https://doi.org/10.4267/2042/20028>

- Grangeat, M. (Éd.). (2015). *Understanding Science Teachers' Professional Knowledge Growth*. SensePublishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-6300-313-1>
- Grangeat, M. & Munoz, G. (2011). Des savoirs enseignants : des savoirs-processus en prise avec les acteurs, les dispositifs et les théories. In P. Maubant & S. Martineau (Dir.). *Fondements des pratiques professionnelles des enseignants* (p. 143-164). Ottawa: Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Grangeat, M., & Hudson, B. (2015). A New Model for understanding the Growth of Science Teacher Professional Knowledge. In M. Grangeat (Éd.), *Understanding Science Teachers' Professional Knowledge Growth* (p. 205-228). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-313-1_12
- Gras, R. (2013). *L'analyse statistique implicative : Méthode exploratoire et confirmatoire à la recherche de causalités*. Cépaduès éd.
- Gras, R., Kuntz, P., & Briand, H. (2001). Les fondements de l'analyse statistique implicative et quelques prolongements pour la fouille de données. *Mathématiques et sciences humaines*, 154. <https://doi.org/10.4000/msh.2849>
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. Teachers College Press.
- Hashweh, M. (2013). Pedagogical Content Knowledge : Twenty-Five Years Later. In C. J. Craig, P. C. Meijer, & J. Broeckmans (Éds.), *Advances in Research on Teaching* (Vol. 19, p. 115-140). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1108/S1479-3687\(2013\)0000019009](https://doi.org/10.1108/S1479-3687(2013)0000019009)
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions : A reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching*, 11(3), 273-292. <https://doi.org/10.1080/13450600500105502>
- Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2008). Development of Experienced Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Models of the Solar System and the Universe. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1321-1342. <https://doi.org/10.1080/09500690802187017>
- Hofmann, R., & Mercer, N. (2016). Teacher interventions in small group work in secondary mathematics and science lessons. *Language and Education*, 30(5), 400-416. <https://doi.org/10.1080/09500782.2015.1125363>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education : Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Houdement C. & Kuzniack A. (1996). Autour des stratégies utilisées pour former les maîtres du premier degré en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 16, no 3, p. 289-322.
- Jameau, A. (2015). Les connaissances professionnelles des enseignants et leur évolution à travers une analyse de l'activité. Une étude de cas en physique au collège. *Éducation et didactique*, 9(1), 9-31. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.2140>
- Jameau, A., & Boilevin, J.-M. (2015). The Double Loop of Science Teachers' Professional Knowledge Acquisition. In M. Grangeat (Éd.), *Understanding Science Teachers'*

- Professional Knowledge Growth* (p. 27-45). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-313-1_3
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An Educational Psychology Success Story: Social Interdependence Theory and Cooperative Learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365-379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Jorde D. & Olsen Mboberg A. (2010). Preliminary report (delivvable WP2a). Trondheim : S-TEAM/NTNU.
- 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 Teachers' Professional Knowledge Growth* (p. 89-115). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-313-1_6
- Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée : Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. PUR.
- Kermen, I. (2018). Comment le caractère dual, macroscopique-microscopique, de la chimie s'incarne-t-il dans son enseignement ? Réflexions autour des modèles et du langage. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique Chimie*, 112(1000), 95-108.
- Kermen, I., & Izquierdo-Aymerich, M. (2017). Connaissances professionnelles didactiques des enseignants de sciences : Un thème de recherche encore récent dans les recherches francophones. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 15, 9-32.
- Khanfour-Armale, R., & Le Marechal, J.-F. (2009). Représentations moléculaires et systèmes sémiotiques. *Aster*, 48. <https://doi.org/10.4267/2042/30421>
- Kind, V. (2015). On the beauty of knowing then not knowing : Pinning down the elusive qualities of PCK. In *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. <https://doi.org/10.4324/9781315735665-19>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction : Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. *Psychological Science*, 15(10), 661-667. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x>
- Kyndt, E., Raes, E., Lismont, B., Timmers, F., Cascallar, E., & Dochy, F. (2013). A meta-analysis of the effects of face-to-face cooperative learning. Do recent studies falsify or verify earlier findings? *Educational Research Review*, 10, 133-149. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.02.002>
- Lantheaume, F. (2008). De la professionnalisation à l'activité : Nouveaux regards sur le travail enseignant. *Recherche & formation*, 57, 9-22. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.800>
- Larcher, C., Chomat, A. & Meheut, M. (2000). Modélisation de la matière en cycle central au collège, construction de modèles par la production et la discussion de dessins, en référence à des observations communes. *Le Bulletin de l'Union des Physiciens*, 94(826), 1341-1365.

- Laugier, A., & Dumon, A. (2004). THE EQUATION OF REACTION : A CLUSTER OF OBSTACLES WHICH ARE DIFFICULT TO OVERCOME. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 5(3), 327-342. <https://doi.org/10.1039/B4RP90030H>
- Le Maréchal, J. F. (1999). Modelling student's cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education. In J. Leach & A. C. Paulsen (Eds.), *Practical work in science education*. Dordrecht : Kluwer Academic Publisher. (pp. 195-209).
- Le Maréchal, J.-F., & Bécu-Robinault, K. (2006). La simulation en chimie au sein du projet Microméga®. *Aster*, 43(43, p. 7). <https://doi.org/10.4267/2042/16803>
- Lemke, J. L. (2000). Across the Scales of Time : Artifacts, Activities, and Meanings in Ecosocial Systems. *Mind, Culture, and Activity*, 7(4), 273-290. https://doi.org/10.1207/S15327884MCA0704_03
- Liepertz, S., & Borowski, A. (2019). Testing the Consensus Model : Relationships among physics teachers' professional knowledge, interconnectedness of content structure and student achievement. *International Journal of Science Education*, 41(7), 890-910. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1478165>
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Éds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (Vol. 6, p. 95-132). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47217-1_4
- Maingueneau, D. (2009). *Les termes clés de l'analyse du discours* (Nouv. éd. revue et augmentée). Édition du Seuil.
- Margolinas, C. (2014). Connaissance et savoir. Concepts didactiques et perspectives sociologiques ? *Revue française de pédagogie*, 188, 13-22. <https://doi.org/10.4000/rfp.4530>
- Marks, R. (1990). Pedagogical Content Knowledge : From a Mathematical Case to a Modified Conception. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 3-11.
- Marlot, C. (2009). Glissement de jeux d'apprentissage scientifiques et épistémologie pratique de professeurs au CP. *Aster*, 49. <https://doi.org/10.4267/2042/31131>
- Martinand, J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation*. Paris: INRP.
- Mathé S. (2010). La « démarche d'investigation » dans les collèges français. Elaboration d'un dispositif de formation et étude de l'appropriation de cette nouvelle méthode d'enseignement par les enseignants. Thèse de doctorat, Paris : Université Paris 7.
- Mavhunga, E. (2020). Revealing the Structural Complexity of Component Interactions of Topic-Specific PCK when Planning to Teach. *Research in Science Education*, 50(3), 965-986. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9719-6>
- Méheut, M. (2006). Recherche en didactique et formation des enseignants de sciences. In Eurydice, *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*, (55-76). Bruxelles : Commission Européenne, Direction Générale de l'Éducation et de la Culture.
- Méheut, M., Saltier, E. & Tiberghien, A. (1984). A propos de l'enseignement des combustions en classe de sixième. *Le Bulletin de l'Union des Physiciens*, (666), 1303-1313.

- Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (Novembre 2018). Programme du cycle 4, en vigueur à compter de la rentrée de l'année scolaire 2018-2019. http://cache.media.eduscol.education.fr/file/programmes_2018/20/4/Cycle_4_programme_consolide_1038204.pdf
- Morge, L. (2003). Les connaissances professionnelles locales : Le cas d'une séance sur le modèle particulaire. *Didaskalia*, 23. <https://doi.org/10.4267/2042/23928>
- Morge, L., & Boilevin, J.-M. (2007). *Séquences d'investigation : Physique-chimie au collège et au lycée*. SCEREN-CRDP Auvergne.
- Morine-Dersheimer, G., & Kent, T. (1999). The Complex Nature and Sources of Teachers' Pedagogical Knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Éds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (Vol. 6, p. 21-50). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47217-1_2
- Munier, V., Bächtold, M., Cross, D., Chesnais, A., Lepareur, C., Molvinger, K., Gurgand, M., & Tricot, A. (2021). Étude didactique de l'impact d'un dispositif de formation continue à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation. *RDST*, 23, 109-136. <https://doi.org/10.4000/rdst.3730>
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40(40, p. 225). <https://doi.org/10.4267/2042/8853>
- Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand: A lesson and a challenge for cognitive modeling. In P. Reiman & H. Spada (Eds.), *Learning in Humans and Machine*, 37-62. Oxford: Pergamon Elsevier Science
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK) : PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>
- Park, S., Suh, J., & Seo, K. (2018). Development and Validation of Measures of Secondary Science Teachers' PCK for Teaching Photosynthesis. *Research in Science Education*, 48(3), 549-573. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9578-y>
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, 154, 145-198. <https://doi.org/10.4000/rfp.157>
- Pélissier, L., & Venturini, P. (2016). Analyse praxéologique de l'enseignement de l'épistémologie de la physique : Le cas de la notion de modèle. *Éducation et didactique*, 10(2), 63-90. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.2502>
- Portugais, J. (1999). L'Intentionnalité et le cognitif. In G. Lemoyne & F. Conne (Éds.), *Le cognitif en didactique des mathématiques* (p. 71-102). Presses de l'Université de Montréal. <https://doi.org/10.4000/books.pum.14676>
- Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505-528. <https://doi.org/10.1080/14926150209556538>
- Rollnick, M., & Mavhunga, E. (2014). PCK of teaching electrochemistry in chemistry teachers : A case in Johannesburg, Gauteng Province, South Africa. *Educación Química*, 25(3), 354-362. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70551-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70551-8)

- Sanders, L. R., Borko, H., & Lockard, J. D. (1993). Secondary science teachers' knowledge base when teaching science courses in and out of their area of certification. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 723-736. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300710>
- Seck, M. (2008). Analyse de la « vie » du savoir en classe de physique. Cas de l'énergie en 1re S. *Didaskalia*, 33. <https://doi.org/10.4267/2042/28854>
- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Presses Univ. de Rennes.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S., & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446. <https://doi.org/10.1002/sce.20268>
- Settlage, J. (2013). On Acknowledging PCK's Shortcomings. *Journal of Science Teacher Education*, 24(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9332-x>
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Shulman, L.S., & Sykes, G. (1986). *A national board for teaching? In search of a bold standard. Paper commissioned by the Task Force on Teaching as a Profession, Carnegie Forum on Education and the Economy*
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Simonneaux, L., & Simonneaux, J. (2014). The emergence of recent science education research and its affiliations in France. *Perspectives in Science*, 2(1-4), 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2014.07.002>
- Tamir, P. (1988). Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 4(2), 99-110. [https://doi.org/10.1016/0742-051X\(88\)90011-X](https://doi.org/10.1016/0742-051X(88)90011-X)
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1), 71-87. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90019-1)
- Tiberghien, A., Badreddine, Z., & Cross, D. (2018). Designing Teacher Education and Professional Development Activities for Science Learning. In O. E. Tsivitanidou, P. Gray, E. Rybska, L. Louca, & C. P. Constantinou (Éds.), *Professional Development for Inquiry-Based Science Teaching and Learning* (Vol. 5, p. 245-259). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0_13
- Tiberghien, A., Cross, D., & Sensevy, G. (2014). The evolution of classroom physics knowledge in relation to certainty and uncertainty: The Evolution of Classroom Physics Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(7), 930-961. <https://doi.org/10.1002/tea.21152>
- Tiberghien, A., & Sensevy, G. (2012). The Nature of Video Studies in Science Education. In D. Jorde & J. Dillon, *Science education research and practice in Europe: Retrospective and prospective*. SensePublishers.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314. <https://doi.org/10.1080/09500690902874894>

- van Dijk, E. M., & Kattmann, U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 23(6), 885-897. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.05.002>
- van Driel, J. H., Berry, A., & Meirink, J. (2014). Research on Science Teacher Knowledge. In *Handbook of Research on Science Education, Volume II*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch42>
- van Driel, J., Verloop, N., & de Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6).
- van Leeuwen, A., & Janssen, J. (2019). A systematic review of teacher guidance during collaborative learning in primary and secondary education. *Educational Research Review*, 27, 71-89. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.02.001>
- Veal, W., & Makinster, J. (1999). Pedagogical Content Knowledge Taxonomies. *Electronic Journal of Science Education*, 3.
- Venturini, P. (2016). Grangeat, M., Understanding Science Teachers' Professional knowledge Growth : Rotterdam : Sense Publisher. *Questions vives recherches en éducation*, N° 25. <https://doi.org/10.4000/questionsvives.1953>
- Vergnaud, G. (1991). Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques. *Revue française de pédagogie*, 96(1), 79-86. <https://doi.org/10.3406/rfp.1991.1350>
- Vergnaud, G. (2011a). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.-M. Barbier, *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (p. 275). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.barbi.2011.01.0275>
- Vergnaud, G. (2011b). La pensée est un geste Comment analyser la forme opératoire de la connaissance. *Enfance*, 2011(01), 37. <https://doi.org/10.4074/S0013754511001042>
- Vygotskij, L. S. (1985). *Pensée et langage*. Messidor Éd. sociales.
- 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. <https://doi.org/10.1002/sce.10044>
- Wittgenstein, L. (1969). *On certainty*. Harper & Row.
- Wittorski, R. (2008). La professionnalisation. *Savoirs*, 17(2), 9. <https://doi.org/10.3917/savo.017.0009>

