

Université de Montréal

**Étude des pratiques enseignantes pour la transformation
de savoirs scientifiques et leur enseignement en vue d'un
changement des conceptions des étudiants**

par

Christine Marquis

Département de psychopédagogie et d'andragogie

Faculté des sciences de l'éducation

Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'éducation
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (PhD)
en sciences de l'éducation
option psychopédagogie

Avril 2019

© Christine Marquis, 2019

Université de Montréal
Département de psychopédagogie et d'andragogie
Faculté des sciences de l'éducation

Cette thèse intitulée

**Étude des pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques et leur
enseignement en vue d'un changement des conceptions des étudiants**

Présentée par
Christine Marquis

A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes

Normand Roy
Président-rapporteur

Thierry Karsenti
Directeur de recherche

Cecilia Borges
Membre du jury

Marie Alexandre
Examineur externe

Résumé

L'enseignement des sciences dans le contexte de l'approche par compétences comporte des défis pédagogiques et didactiques. Les enseignants ont, entre autres, à faire des choix relativement à l'étendue des contenus enseignés et à favoriser des méthodes d'enseignement qui favoriseront le développement des compétences ciblées dans les cours de sciences. Par ailleurs, la chimie est une discipline complexe que certains étudiants ont de la difficulté à appréhender. Cela s'explique par le fait que les savoirs qu'elle sous-tend sont abstraits, souvent invisibles à l'œil nu et qu'ils s'incarnent dans plusieurs niveaux de représentation (microscopique, macroscopique et symbolique). Ces particularités justifient la nécessité que les enseignants transforment les savoirs de cette discipline en des formes plus faciles à apprendre par les étudiants.

Notre étude s'est penchée sur l'enseignement d'un thème précis soit l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome, modèle qui stipule que les électrons sont retrouvés dans des orbitales décrivant des régions de l'atome où la probabilité de trouver un électron est élevée, puisqu'il est reconnu dans la littérature qu'il présente des obstacles à l'apprentissage particuliers. Certaines études ont montré que les difficultés sont notamment dues au fait que les apprentissages réalisés au secondaire sur les modèles atomiques précédents semblent persister et nuire aux nouveaux apprentissages ou qu'elles sont liées à la nature abstraite des concepts relatifs à la mécanique ondulatoire.

Notre recherche vise à mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation des savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome durant la planification ainsi que les pratiques d'enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants dans le cadre du cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature.

Le processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987) issu des travaux portant sur le *pedagogical content knowledge* a été utilisé pour l'étude des pratiques enseignantes de transformation des savoirs. Pour l'étude des pratiques effectives lors de la phase interactive de l'enseignement, les concepts de réflexion dans l'action

et de réflexion sur l'action issus des travaux de Schön (1994) et un modèle intégré de pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012) sont mobilisés. Les savoirs appris par les étudiants ont été abordés en lien avec le concept de conceptions (aussi nommé représentations) décrivant ces idées, ces connaissances que les étudiants ont déjà au moment d'apprendre. Nous avons fait le choix d'interpréter ces conceptions et le changement de celles-ci avec la notion de niveaux de formulation.

Une étude multicas a été réalisée auprès de six enseignants de chimie expérimentés en ayant recours à des entrevues semi-dirigées et des entrevues de rappel stimulé, ce qui a permis de comparer les pratiques déclarées et effectives. Des schémas contenant des explications écrites ont été réalisés par leurs 163 étudiants avant et après l'enseignement de la séquence et nous ont permis de mettre en évidence les changements dans leur façon de concevoir la structure de l'atome. Enfin, des entrevues ont été réalisées avec 10 étudiants afin de mettre en évidence certaines pratiques ayant contribué au changement de leurs conceptions. Une analyse qualitative a été réalisée sur les données recueillies.

Les résultats montrent une diversité dans les pratiques enseignantes de transformation des savoirs, bien que plusieurs de celles-ci soient partagées par plusieurs enseignants. Pour la préparation de la leçon et le choix des contenus essentiels, les enseignants consultent essentiellement les mêmes sources (manuel, documents du programme, collègues) alors que critères sur lesquels ils se basent pour le choix des contenus essentiels diffèrent. Différentes formes de représentation des contenus sont utilisées dans le but, principalement, de susciter l'intérêt des étudiants ou d'expliquer ou d'illustrer certains concepts. Même si l'exposé magistral demeure largement utilisé, les enseignants planifient des activités d'apprentissage où les étudiants sont plus actifs dans le but de faire pratiquer les étudiants, de leur permettre de faire eux-mêmes certains liens, de leur faire découvrir certains concepts par eux-mêmes en s'entraînant et afin de vérifier leur compréhension. Enfin, les enseignants adaptent davantage leur planification aux caractéristiques cognitives de leurs étudiants, aux connaissances antérieures qu'ils possèdent sur les modèles atomiques dans le cas qui nous concerne et les stratégies prévues diffèrent selon les enseignants.

Les pratiques effectives observées en classe correspondent généralement à ce qui a été planifié pour la majorité des enseignants. Toutefois, ceux-ci sont appelés à prendre des décisions dans l'action qui les conduisent, dans certains cas, à apporter des modifications à leur plan sur le vif. Ces décisions émergent d'une réflexion dans l'action initiée par des indices perçus principalement chez les étudiants. Nous avons aussi observé certaines réflexions sur l'action alors que les enseignants ont émis, a posteriori, des commentaires critiques sur leur enseignement. Ces diverses réflexions amènent les enseignants à apporter des modifications à leur plan au fil des années, celui-ci devenant toujours mieux adapté aux contraintes de la situation. Cela peut expliquer que nous ayons observé peu de différences entre les pratiques planifiées déclarées et celles effectivement observées.

Enfin, la recherche nous a permis de mettre en évidence certaines pratiques enseignantes visant à changer les conceptions des étudiants. La grande majorité des étudiants conçoivent la structure de l'atome à la manière du modèle « Rutherford-Bohr », le dernier modèle enseigné au secondaire, en arrivant à leur premier cours de chimie au cégep¹. Des recherches ont montré que cette conception est difficile à changer pour différentes raisons. Nos résultats montrent que les enseignants sont conscients de ce fait et que certaines pratiques semblent avoir contribué au changement observé dans la façon de concevoir l'atome. On pense par exemple, à l'utilisation de formes de représentation des contenus visuelles ainsi que la mise en œuvre de certaines activités d'apprentissage en classe. Nous avons observé qu'à la fin de la session, la majorité des étudiants avaient vu leurs conceptions évoluer de manière importante en se représentant l'atome selon les concepts entourant le modèle probabiliste même si leurs représentations pouvaient contenir plusieurs erreurs.

Mots-clés : Pratiques enseignantes, transformation des savoirs, enseignement des sciences, étude de cas, modèles atomiques

¹ Au Québec, le cégep (Collège d'enseignement général et professionnel ou le collégial) consiste en un ordre d'enseignement postsecondaire situé entre le secondaire et l'université.

Abstract

Science education in the context of the competency-based approach presents pedagogical and didactic challenges. Among other things, teachers have to choose relevant content and teaching methods that will promote the development of targeted skills in science courses. Chemistry is also a complex discipline that some students have difficulty understanding. This is explained by the fact that the knowledge underlying it is abstract, often invisible to the naked eye and embodied in several levels of representation (microscopic, macroscopic and symbolic). These particularities justify the need for teachers to transform the knowledge of this discipline into forms that are easier for students to learn.

Our research has focused on the teaching of a specific theme, namely the teaching of the probabilistic model of the atom, which stipulates that electrons are found in orbitals describing regions of the atom where the probability of finding an electron is high, since it is recognized in the literature that it presents particular obstacles to learning. Some studies have shown that the difficulties are in particular due to the fact that the learning carried out in secondary school on previous atomic models seems to persist and interfere with new learning or that it is linked to the abstract nature of concepts relating to quantum mechanics.

Our research aims to better understand the teaching practices of knowledge transformation related to the probabilistic model of the atom during the planning phase as well as teaching practices related to the knowledge learned by students in the "General chemistry" course that is part of the Natural Sciences Program.

The transformation process that is part of Shulman's model of reasoning and pedagogical action (1987), that emerged from his work on pedagogical content knowledge, was used to study knowledge transformation teaching practices. For the study of effective practices in the interactive phase of teaching, the concepts of reflection in action and reflection on action from Schön's work (1994) and an integrated model of interactive teacher thinking (Wanlin and Crahay, 2012) are mobilized. The knowledge learned by the students was addressed in relation to the concept of conceptions (also called representations) describing these ideas, this

knowledge that the students already have at the time of learning. We have chosen to interpret these conceptions and the change of these with the notion of levels of formulation.

A multicase study was conducted with six chemistry teachers using semi-structured and stimulated recall interviews, which compared reported and actual practices. Explained diagrams made by their 163 students before and after the teaching of the sequence made it possible to highlight the changes in their way of conceiving the structure of the atom. Finally, interviews were conducted with 10 students to highlight some of the practices that have contributed to the change in their conceptions. A qualitative analysis was performed on the data collected.

The results show a diversity in knowledge transformation teaching practices, although many of these are shared by several teachers. For the preparation of the lesson and the choice of the essential contents, teachers consult essentially the same sources (course manual, curriculum documents, colleagues) while the criteria on which they base their choice of essential content differ. Different forms of content representation are used primarily for the purpose of arousing student interest or explaining or illustrating certain concepts. Although the lecture remains widely used, teachers plan more active learning activities in order for students to practice, to allow them to make connections themselves, to introduce them to concepts by helping each other and to verify their understanding. Finally, teachers adapt their planning closely to the cognitive characteristics of their students, to their previous knowledge of atomic models, and the planned strategies differ from one teacher to another.

Actual practices observed in the classroom generally correspond to what was planned for the majority of teachers. However, they come to take decisions in the action that lead them, in some cases, to make changes to their plan on the fly. These decisions emerge mainly from a reflection in action initiated by indices they perceive from students. We also observed some reflections on action as teachers made critical comments about their teaching after the event. These various reflections lead teachers to make changes to their plans over the years, the latter becoming better adapted to the constraints of the situation. This may explain why we observed few differences between reported planned practices and those actually observed.

Finally, the research allowed us to highlight some teaching practices aimed at changing students' conceptions. The majority of students conceive the structure of the atom in the manner of the model "Rutherford-Bohr", the latest model taught in high school, when they arrive at their first CEGEP chemistry course. Research has shown that this conception is difficult to change for various reasons. Our results show that teachers are aware of this fact and that some practices seem to have contributed to actual changes in the way students conceive the atom. Examples include the use of forms of visual content representation and the implementation of certain classroom learning activities. We observed that at the end of the session, the majority of students had seen their conceptions evolve significantly by representing the atom according to the concepts related to the probabilistic model even if their representations could contain some errors.

Keywords : Teaching Practices, Knowledge Transformation, Science Education, Case Studies, Atomic Models

Table des matières

Résumé	i
Abstract.....	v
Table des matières.....	ix
Liste des tableaux.....	xv
Liste des figures	xvii
Liste des sigles et abréviations	xix
Remerciements	xxiii
Introduction	1
1 Problématique	5
1.1 Les défis de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences.....	5
1.1.1 Un désintérêt pour les sciences.....	5
1.1.2 Des concepts abstraits difficiles à appréhender.....	6
1.1.3 Les obstacles épistémologiques et les conceptions alternatives.....	7
1.1.4 Les obstacles didactiques ou quand les pratiques des enseignants deviennent problématiques	9
1.2 Les défis de l'enseignement dans le contexte de l'approche par compétences (APC) 11	
1.2.1 Le défi de choisir des contenus pertinents.....	16
1.2.2 Le défi de choisir des méthodes d'enseignement qui favorisent le développement de compétences.....	16
1.3 Les défis de l'enseignement et de l'apprentissage de la chimie et du modèle probabiliste de l'atome	18
1.3.1 Les particularités de l'enseignement et de l'apprentissage de la chimie.....	18
1.3.2 Le modèle probabiliste de l'atome : un objet difficile à apprendre.....	19
1.4 L'objectif général de la recherche et la pertinence du projet	22
1.4.1 L'objectif général de la recherche	22

1.4.2	La pertinence du projet de recherche.....	23
2	Cadre théorique	27
2.1	Les pratiques enseignantes	28
2.1.1	Une définition pour les pratiques enseignantes	28
2.1.2	Les bases théoriques supportant la recherche sur les pratiques enseignantes ...	30
2.2	La transformation des savoirs.....	36
2.2.1	La didactique des sciences et la transposition didactique.....	36
2.2.2	Le <i>pedagogical content knowledge</i> (PCK) et la transformation.....	44
2.3	L'enseignement des savoirs scientifiques	56
2.3.1	Réflexion dans l'action et réflexion sur l'action	56
2.3.2	La pensée des enseignants durant l'interaction	57
2.4	Les savoirs appris par les étudiants	61
2.5	Une synthèse du cadre théorique	65
2.6	Les objectifs spécifiques de la recherche	67
3	Méthodologie	69
3.1	Le type de recherche.....	69
3.2	La sélection des participants.....	70
3.3	Les outils de collecte de données	72
3.3.1	Entrevues individuelles semi-dirigées réalisées avec les enseignants (entrevues de planification) et des étudiants	73
3.3.2	Enregistrements vidéo de la séquence de cours et entrevues de rappel stimulé réalisées avec les enseignants	76
3.3.3	Cueillette du matériel didactique élaboré par les enseignants.....	77
3.3.4	Schémas expliqués réalisés par les étudiants.....	78
3.4	Analyse des données.....	79
3.4.1	Analyse qualitative des entrevues	79
3.4.2	Analyse qualitative des schémas réalisés par les étudiants	81
3.5	Les forces et les limites de la méthodologie.....	83
3.6	Les critères de rigueur	84
3.7	Les aspects éthiques	84

4	La présentation des articles.....	87
5	Le premier article de la thèse.....	91
5.1	Résumé	91
5.2	Mots-clés	91
5.3	Introduction	92
5.4	Cadre théorique	93
5.5	Méthodologie.....	97
5.6	Résultats	100
5.6.1	Le cas d'Yvan.....	102
5.6.2	Le cas d'Antoine.....	104
5.6.3	Le cas de Paul.....	105
5.6.4	Le cas de Geneviève.....	107
5.6.5	Le cas d'Évelyne	109
5.6.6	Le cas de Philippe.....	111
5.7	Analyse transversale des cas et discussion.....	112
5.7.1	Une préparation des contenus qui demande de faire des choix.....	112
5.7.2	Des formes de représentation choisies pour expliquer ou pour susciter l'intérêt 116	
5.7.3	Le choix de la stratégie d'enseignement : des activités d'enseignement et d'apprentissage centrées sur l'enseignant et sur l'étudiant	120
5.7.4	Une adaptation aux caractéristiques cognitives des étudiants.....	123
5.8	Conclusion.....	125
5.9	Références	126
6	Le deuxième article de la thèse.....	135
6.1	Résumé	135
6.2	Introduction	136
6.3	Cadre théorique	137
6.3.1	Des moments de réflexion dans l'action et des moments de réflexion sur l'action 139	
6.3.2	Une réflexion dans l'action impliquant la prise de nombreuses décisions.....	139

6.4	Méthodologie.....	141
6.4.1	Type de recherche.....	141
6.4.2	Participants	142
6.4.3	Outils de collecte de données et analyse des données	145
6.5	Résultats	147
6.5.1	Des moments de réflexion dans l'action impliquant de prendre des décisions 148	
6.5.2	Des moments de réflexion sur l'action	154
6.6	Discussion et conclusion	155
6.6.1	Des pratiques effectives fortement influencées par le plan	156
6.6.2	Le développement d'habiletés permettant de percevoir des indices dans la classe 156	
6.6.3	Le développement d'habiletés permettant de réfléchir et de réagir adéquatement dans la classe	157
6.7	Références	161
7	Le troisième article de la thèse	169
7.1	Résumé	169
7.2	Mots-clés	169
7.3	Introduction	170
7.4	Cadre théorique	171
7.4.1	Les conceptions des étudiants	172
7.4.2	La prise en compte des conceptions des étudiants par les enseignants	174
7.5	Méthodologie.....	176
7.5.1	Type de recherche.....	177
7.5.2	Participants	177
7.5.3	Outils de collecte de données et analyse	177
7.6	Résultats	179
7.6.1	Des étudiants qui ont déjà leur propre idée de la structure de l'atome avant de suivre le cours.....	180

7.6.2	Différents types de changements observés dans la façon de s'imaginer la structure de l'atome	182
7.6.3	Des pratiques favorisant un changement dans la façon dont les étudiants s'imaginent l'atome	188
7.7	Discussion et conclusion	193
7.7.1	Des idées déjà-là, mais qui tendent à changer	193
7.7.2	Des pratiques visant à favoriser ce changement.....	195
7.8	Références	197
8	Discussion générale	201
8.1	Des pratiques enseignantes visant transformer les savoirs pour qu'ils soient plus faciles à apprendre par les étudiants	202
8.1.1	Ce qu'en dit la littérature	202
8.1.2	Ce qu'en disent nos résultats	204
8.2	Des pratiques d'enseignement effectives qui peuvent différer des pratiques déclarées : la place accordée au plan	208
8.2.1	Ce qu'en dit la littérature	208
8.2.2	Ce qu'en disent nos résultats	210
8.3	Un lien à faire entre les pratiques enseignantes et le changement des conceptions des étudiants.....	215
8.3.1	Ce qu'en dit la littérature	215
8.3.2	Ce qu'en disent nos résultats	217
8.4	Des liens à faire entre les articles	220

9	Conclusion.....	223
10	Bibliographie	229
	Annexe 1 : Grille d’entrevue semi-dirigée - enseignant	253
	Annexe 2 : Guide pour l’entrevue de rappel stimulé.....	256
	Annexe 3 : Schémas expliqués à réaliser par les élèves.....	257
	Annexe 4 : Grille d’entrevue semi-dirigée - étudiant	259

Liste des tableaux

Tableau 1 Paradigmes de référence renvoyant à l’ancrage des travaux sur l’analyse des pratiques (Adapté de Marcel et ses collaborateurs, 2002)	32
Tableau 2 Niveaux de formulation de la structure atomique.....	64
Tableau 3 Outils de collecte de données utilisés pour les différentes variables de la recherche	73
Tableau 4 Revues ciblées pour les articles de la thèse	88
Tableau 5 Fréquences d’apparition des thèmes utilisés lors de l’analyse qualitative des pratiques de transformation des savoirs relatifs au modèle probabiliste de l’atome.....	101
Tableau 6 Éléments des pratiques effectives pris en compte pour l’analyse des données	148
Tableau 7 Niveaux de formulation de la structure atomique par les étudiants, adapté de Park et coll. (2009)	173
Tableau 8 Nombres de schémas correspondant à chacun des niveaux de formulation pour la mise en relation du niveau de formulation du schéma 1 avec le niveau de formulation du schéma 2	184
Tableau 9 Synthèse des pratiques de transformation des savoirs des enseignants.....	189
Tableau 10 Pourcentages des schémas des étudiants selon le type de changement observé dans les groupes des 6 enseignants ayant participé à la recherche	191
Tableau 11 Pratiques ayant contribué au changement dans la façon de concevoir selon le point de vue d’étudiants.....	192

Liste des figures

Figure 1. Les trois niveaux de représentation des concepts scientifiques. Adapté de Johnstone (1991).	7
Figure 2. Les derniers modèles scientifiques décrivant la structure atomique enseignés.	20
Figure 3. Éléments problématiques à la base de l’objectif général de la recherche.	23
Figure 4. Concepts et modèles qui seront exposés dans le cadre théorique de notre thèse	28
Figure 5. Le système didactique (Reuter et coll., 2013).....	37
Figure 6. La transposition didactique de Chevallard (1991).	38
Figure 7. La transposition didactique après Chevallard.	41
Figure 8. Modèle consensuel des connaissances professionnelles de l’enseignant (incluant le PCK) (Gess-Newsome, 2015).	46
Figure 9. Représentation du Modèle Consensuel Raffiné du PCK (Refined Consensus Model (RCM)) (Carlson et Daehler, 2019).....	47
Figure 10. Modèle de raisonnement et d’action pédagogique de Shulman (1987).	49
Adapté de (Malo, 2000).....	49
Figure 11. Processus de transformation du modèle de raisonnement et d’action pédagogique de Shulman (1987). Adapté de Malo (2000).....	50
Figure 12. Les phases du processus de transformation. Adapté de Shulman (1987).	55
Figure 13. Un modèle intégré de la pensée interactive des enseignants. Adapté de Wanlin et Crahay (2012).....	59
Figure 14. Critères de sélection pour le choix des enseignants qui participeront à la recherche	71
Figure 15. Codage fait dans QDA Miner sur les schémas réalisés par les étudiants.....	82
Figure 16. Modèle de raisonnement et d’action pédagogique de Shulman (1987)	95
Figure 17. Les phases du processus de transformation (Shulman, 1987)	96
Figure 18. Caractéristiques des six enseignants participants.....	98
Figure 19. Éléments du contexte pour les six enseignants participants	99
Figure 20. Le modèle intégré de la pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012).	141
Figure 21. Caractéristiques des six enseignants participants.....	143

Figure 22. Éléments du contexte pour les six enseignants participants.	144
Figure 23. Outils utilisés afin de collecter les données liées aux pratiques déclarées de transformation des savoirs et aux pratiques effectives observées lors de l’enseignement.	146
Figure 24. Processus de transformation du modèle de raisonnement et d’action pédagogique de Shulman (1987).	174
Figure 25. Codage fait dans QDA Miner sur les schémas réalisés par les étudiants.....	179
Figure 26. Exemples de schémas réalisés par les étudiants en début de session.....	181
Figure 27. Fréquence des niveaux de formulation observés dans les deux schémas expliqués élaborés par les étudiants.	183
Figure 28. Un exemple représentant un changement négatif vers un modèle moins complexe.	186
Figure 29. Un exemple où l’on observe une absence de changement.	187
Figure 30. Un exemple où l’on observe un changement positif vers un modèle plus complexe.	188
Figure 31. Synthèse des résultats obtenus reliés aux pratiques de transformation des savoirs des six enseignants participants.	204
Figure 32. Synthèse des résultats obtenus reliés aux réflexions dans l’action et sur l’action en regard des pratiques d’enseignement des six enseignants participants.	211

Liste des sigles et abréviations

APC : Approche par compétences

CEEC : Commission d'évaluation de l'enseignement collégial

PCK : *Pedagogical content knowledge*

Pour Amélia

*En espérant que tu rencontres des enseignants inspirants
tout au long de ton parcours scolaire.*

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur de recherche M. Thierry Karsenti pour son encadrement et ses rétroactions toujours constructives. Merci aussi pour cette motivation que tu as su générer chez moi tant lors de ton encadrement que durant ton enseignement, motivation qui a joué un rôle significatif relativement à ma persévérance dans ce projet.

Aussi, je tiens à remercier les enseignants et enseignantes de chimie ont participé à ma recherche. Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir partagé le fruit de votre travail et vos innombrables connaissances. Sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible... Je remercie aussi les étudiants participants d'avoir pris le temps de me partager leurs idées à propos de la structure de l'atome.

Je remercie les enseignants du département de chimie du Cégep de Saint-Jérôme pour l'aide apportée ainsi que pour les encouragements fournis. Des remerciements, aussi, aux membres de la direction du Cégep de Saint-Jérôme pour le soutien offert tout au long de ma recherche.

Je veux aussi remercier les membres du jury pour leurs commentaires qui ont assurément amélioré ma thèse. Un merci tout spécial à Mme Alexandre qui m'a beaucoup inspiré au début de mon projet avec sa propre thèse et qui a contribué à mettre la touche finale à la mienne.

Enfin, je te remercie mon cher Bruno de m'avoir épaulé tout au long de cette aventure. Tes conseils, tes encouragements et ta présence m'ont certainement permis de mener à terme ce projet.

Introduction

Notre recherche porte sur les pratiques enseignantes de transformation et d'enseignement des savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome dans le cadre du premier cours de chimie du programme collégial Sciences de la nature et sur l'apprentissage de ces savoirs.

La chimie est une discipline qui explique la structure de la matière, ses propriétés et ses transformations. Compte tenu de la nature de ses concepts, son enseignement et son apprentissage ne se font pas sans difficulté. L'étude du modèle probabiliste de l'atome, mettant en jeu le concept d'orbitale, figure parmi l'un de ces objets difficiles à enseigner et à apprendre.

Dans ce contexte, il nous apparaît pertinent d'étudier les pratiques d'enseignants expérimentés pour la transformation des savoirs relatifs à ces contenus dans le but de faciliter l'apprentissage de ces derniers par les étudiants et pour l'enseignement de ces savoirs.

Dans la problématique, nous exposerons comment, dans le contexte de l'enseignement collégial, l'approche par compétences amène des défis qui ont trait, entre autres, au choix de contenus pertinents et à leur étendue ainsi qu'à la sélection de méthodes d'enseignement qui favoriseront le développement de compétences chez les apprenants. En effet, les enseignants ont à choisir, organiser et transformer les savoirs à enseigner dans l'objectif de favoriser l'apprentissage de ceux-ci. Nous expliquerons, ensuite comment, dans le contexte particulier de l'enseignement des sciences et de celui de l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome, différents obstacles à l'apprentissage tels que l'existence de conceptions alternatives chez les étudiants et d'éventuels problèmes de transposition didactique viennent s'ajouter à ces défis.

Considérant ces éléments problématiques, notre projet vise à mieux comprendre les pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques lors de la planification et pour leur enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Le cadre théorique portera, dans la première partie, sur les pratiques enseignantes. Nous tenterons de les définir et de voir les assises théoriques des recherches habituellement retenues

pour les analyser. Ensuite, nous tenterons de montrer comment le processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987), issu des travaux portant sur le *pedagogical content knowledge*, et la transposition didactique de Chevallard (1991), issue des travaux de la didactique des sciences, forment, selon nous, un cadre théorique pertinent pour l'étude des pratiques enseignantes pour la transformation des savoirs à enseigner. Dans l'optique où nous souhaitons aussi étudier les pratiques lors de la phase interactive de l'enseignement, nous présenterons aussi les concepts de réflexion dans l'action et de réflexion sur l'action issus des travaux de Schön (1994) et un modèle intégré de pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012). Enfin, nous exposerons comment les savoirs appris (du modèle de la transposition didactique) peuvent être étudiés en lien avec la notion de niveaux de formulation.

Dans le quatrième chapitre, nous exposerons les différents choix méthodologiques que nous avons faits et la justification de ceux-ci en lien avec les objectifs de la recherche. Nous expliquerons donc pourquoi nous avons opté pour une recherche qualitative de type étude multicas et nous justifierons ensuite les choix faits pour la sélection des participants, pour les outils de collecte de données ainsi que ceux faits pour l'analyse des données recueillies. Nous discuterons enfin des forces et limites de la méthodologie, des critères de rigueur et des mesures prises pour le respect des normes éthiques.

Considérant notre choix de présenter une thèse par articles, une présentation de ces articles en lien avec les objectifs de la recherche sera retrouvée dans le quatrième chapitre.

Les chapitres 5 à 7 seront constitués des 3 articles de la thèse. Le premier article (chapitre 5) traitera des pratiques enseignantes de transformation de savoirs scientifiques en vue de faciliter les apprentissages des étudiants (objectif spécifique 1). Le deuxième article (chapitre 6) abordera les pratiques d'enseignement effectives (objectif spécifique 2). Enfin, le dernier article (chapitre 7) portera sur le lien entre le changement des conceptions des étudiants et certaines pratiques enseignantes (objectif spécifique 3).

Les chapitres 8 et 9 présenteront respectivement une discussion générale ainsi qu'une conclusion pour la thèse. Les résultats mis en évidence dans les trois articles seront mis en lien entre eux et avec ce qui est retrouvé dans la littérature. La conclusion contiendra une synthèse

des résultats, les forces et les limites de la recherche ainsi que des recommandations et des pistes de recherches futures.

1 Problématique

Dans ce premier chapitre, nous montrerons que les enseignants doivent relever certains défis pour l'enseignement des sciences et, plus spécifiquement au Québec, dans le contexte de l'approche par compétences. Nous évoquerons ensuite différents défis auxquels sont confrontés les enseignants lors de l'enseignement de la chimie et, plus spécifiquement du modèle probabiliste de l'atome. Enfin, nous dévoilerons l'objectif général de la recherche et justifierons la pertinence scientifique et sociale du projet de recherche.

1.1 Les défis de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences

Les sciences et les technologies sont omniprésentes dans notre société contemporaine (Conseil de la science et de la technologie, 2004; Kober, 1993; OCDE, 2016). Dans ce contexte, l'enseignement des sciences et des technologies devient un enjeu de société important. Il est nécessaire, en effet, de former de futurs travailleurs qui vont œuvrer dans les domaines scientifiques et technologiques, mais aussi de faire en sorte que les citoyens possèdent une culture scientifique de base (« scientific literacy ») qui leur permettra de prendre part aux différents débats de société (Allum et coll., 2018; Conseil de la science et de la technologie, 2004; Espinosa, 2005; Kwok, 2018; Lévy-Leblond, 2014). Or, différents enjeux et défis se posent pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences. Tout au long de cette section, nous ferons état de la baisse d'intérêt des étudiants pour les sciences, de la nature abstraite de certains concepts scientifiques, de la présence de conceptions alternatives entravant l'apprentissage de nouveaux concepts ainsi que du fait que les pratiques actuelles des enseignants semblent devoir être améliorées pour mieux faire apprendre les sciences.

1.1.1 Un désintérêt pour les sciences

D'abord, les chercheurs s'entendent sur l'idée que l'intérêt des étudiants pour les sciences et la technologie est en déclin, et ce, à travers le monde (Potvin et Hasni, 2014). Le désintérêt des jeunes pour la science constitue ainsi un enjeu important pour l'enseignement des sciences. Dans plusieurs pays, les inscriptions dans les programmes de sciences et technologies

sont en baisse ou n'augmentent pas autant que prévu (Sjøberg, 2002). L'intérêt pour la science diminuerait au fur et à mesure que les élèves progresseraient dans le système scolaire (Kober, 1993; Potvin et Hasni, 2014). Les raisons expliquant ce désintérêt pour les sciences sont diverses et complexes (Akram, Ijaz et Ikram, 2017; Krapp et Prenzel, 2011; van Griethuijsen et coll., 2015).

Outre le désintérêt pour les sciences avec lesquels les enseignants doivent composer, la nature même des concepts scientifiques occasionne des défis pour l'apprentissage.

1.1.2 Des concepts abstraits difficiles à appréhender

Différentes recherches ont tenté d'expliquer pourquoi les disciplines scientifiques telles que la physique, la chimie et la biologie étaient difficiles à appréhender par les étudiants (Atagana et Engida, 2014; Çimer, 2012; Ornek, Robinson et Haugan, 2008). La nature abstraite et théorique des concepts scientifiques expliquerait, en partie, pourquoi la science occasionne des difficultés lors de l'apprentissage (Johnstone, 1991; Legendre, 1994; Taber, 2014). En effet, plusieurs de ces concepts ne sont pas nécessairement compréhensibles à l'aide des sens. On ne peut, par exemple, distinguer un élément d'un composé à l'œil nu, mais plutôt en appliquant certaines définitions. Ainsi, plusieurs concepts scientifiques doivent être compris à l'aide de définitions (Johnstone, 1991). Or, selon Taber (2001), les définitions des concepts fondamentaux en chimie (éléments, molécules, composés, ions, etc.) sont problématiques. Elles sont souvent trop brèves, trop détaillées, imprécises ou même erronées et, donc, n'offrent pas une explication utile pour l'apprenant. Le vocabulaire utilisé, qui contient plusieurs mots techniques peu connus peut, par ailleurs, causer certaines difficultés aux étudiants (Johnstone, 1991).

Selon Johnstone (1991), l'apprentissage des disciplines scientifiques serait difficile à cause de la nature des concepts scientifiques et de leur organisation en trois niveaux (sous-microscopique, macroscopique et symbolique). En effet, comme illustré dans la Figure 1, les connaissances scientifiques peuvent être apprises selon les niveaux sous-microscopique, macroscopique et symbolique et les liens entre ces niveaux devraient être explicitement enseignés (Johnstone, 1991; Gabel, 1992; Harrison and Treagust, 2000; Ebenezer, 2001;

Ravialo, 2001; Treagust et coll., 2003, cités dans Sirhan, 2007). Alors que Johnstone (1991) utilise l'expression « levels of thought » pour décrire ces niveaux, Cormier (2014b) utilise plutôt l'appellation « domaines multiples du savoir » pour les désigner. Les étudiants éprouveraient souvent de la difficulté à intégrer les différentes connaissances en lien avec les différents domaines du fait que les enseignants passent souvent très rapidement d'un domaine à l'autre en enseignant (Johnstone, 1991).

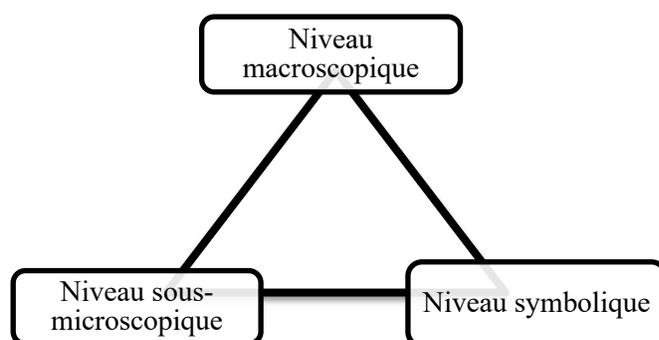


Figure 1. Les trois niveaux de représentation des concepts scientifiques. Adapté de Johnstone (1991).

Pour certains auteurs, les difficultés vécues par les étudiants lors de l'apprentissage des concepts scientifiques s'expliquent en termes d'obstacles. En didactique, les obstacles consisteraient en « des structures et des modes de pensée qui font résistance dans l'enseignement et dans les apprentissages » (Reuter, Cohen-Azra, Daunay, Delambre et Lahanier-Reuter, 2013, p. 148).

1.1.3 Les obstacles épistémologiques et les conceptions alternatives

En 1938, Bachelard proposa le concept d'obstacles épistémologiques pour décrire « les causes d'inertie, de dérive ou d'erreur dans la démarche de construction des savoirs scientifiques » (Reuter et coll., 2013, p. 147). De la même façon, selon Brousseau (1998), des obstacles d'origine ontogénique, didactique ou épistémologique peuvent être rencontrés dans le système didactique. Selon lui, les obstacles d'origine ontogéniques réfèrent au niveau de développement cognitif de l'apprenant et sont ainsi causés par des limitations, par exemple de

type neurophysiologique, qui viennent faire en sorte qu'il apprend selon ses capacités alors que les obstacles d'origine didactique résultent d'un choix ou d'un projet éducatif. C'est donc dire que l'enseignement ou l'école sont à la base de ce type d'obstacle. Enfin, les obstacles d'origine épistémologiques sont inhérents à la connaissance à apprendre et on les retrouve dans l'histoire des concepts.

Selon Astolfi et Peterfaivi (1993), l'idée d'obstacle entretient certaines relations avec l'idée de représentation (ou de conception²) très importante en didactique des sciences. En effet, ces conceptions partageraient un lien de parenté avec les obstacles épistémologiques rencontrés dans l'histoire des sciences.

Nous savons que « les élèves disposent de conceptions préalables aujourd'hui bien identifiées par de nombreuses recherches, et que ces conceptions tendent à perdurer, de façon quasi inchangée, jusqu'au niveau de l'enseignement supérieur inclus, malgré une importante pression d'enseignement », et ce, pour les différents domaines du savoir enseigné (Astolfi et Peterfaivi, 1993, p. 105). Depuis la fin des années soixante-dix, la recherche a démontré l'existence de conceptions très bien ancrées dans l'esprit des élèves et souvent en désaccord avec la théorie scientifique, afin d'expliquer différents phénomènes scientifiques (Driver et Easley, 1978; Duit, 1991; Duit, Treagust et Widodo, 2008; Gabel, 1999; Gilbert et Watts, 1983; Taber, 2001, 2017). Ces conceptions sont désignées par différents termes tels que *misconceptions*, conceptions erronées, conceptions alternatives, etc. selon les auteurs (Cormier, 2014b). Différentes visions et perspectives sont partagées par les chercheurs pour parler de ces conceptions entretenues par les étudiants (Duit, 1991). Selon plusieurs auteurs, ces conceptions ne seraient pas une série d'idées isolées, mais relèveraient en fait de « cadres conceptuels » (*conceptual framework*) ou de « cadres alternatifs » (*alternative framework*) élaborés par les

² Bien que le terme représentation a longtemps été utilisé en didactique des sciences pour désigner ces idées déjà-là au moment de l'enseignement et influençant l'apprentissage, nous préférons, comme Giordan le suggère, le terme conception (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 2008).

étudiants (Duit, 1991). Ces conceptions sont problématiques en ce sens qu'elles sont très difficiles à faire évoluer, et ce, particulièrement avec les méthodes d'enseignement traditionnelles (Ausubel, 1968; Klopfer, Champagne et Gunstone, 1983). Selon Duit (1991), il a été démontré que l'enseignement de la science avait un succès mitigé puisqu'il échouait dans son objectif d'aider les étudiants à changer leurs cadres conceptuels « alternatifs » pour ceux acceptés dans la communauté scientifique, et ce, partout à travers le monde.

Alors que selon Duit (1991), les conceptions alternatives peuvent être issues des expériences de la vie de tous les jours et de l'enseignement lui-même, Taber (2001) précise qu'en chimie, suivant la perspective constructiviste, elles doivent être abordées relativement à comment les étudiants assimilent les nouvelles notions enseignées compte tenu de ce qu'ils savent déjà.

1.1.4 Les obstacles didactiques ou quand les pratiques des enseignants deviennent problématiques

Les contextes dans lesquels les savoirs scientifiques sont produits et sont transmis à l'école sont très différents. Par exemple, le contexte social dans lequel la science est produite diffère du contexte individuel dans lequel la science a longtemps été enseignée et apprise (Legendre, 1994). Outre cette différence, il s'avère que les savoirs d'origine, les savoirs savants, ne peuvent être enseignés tels quels. Ils doivent être transformés selon les objectifs de formation (Lapierre, 2008; Legendre, 1994). Alors que cette transformation, appelée la transposition didactique par Chevallard (1991), devrait faciliter les apprentissages, il semble qu'elle puisse aussi être la cause de certaines problématiques comme le souligne Legendre (1994).

Si cette dernière (*la transposition didactique*) vise à faciliter l'appropriation de connaissances par l'élève, elle contribue par ailleurs à créer un écart et parfois même certaines contradictions entre les deux types de savoir. Elle transforme la nature de ce savoir en déplaçant les questions qu'il permet de résoudre et en modifiant le réseau relationnel qu'il entretient avec les autres concepts (p. 662).

La transposition didactique peut ainsi être à l'origine de problèmes lors de l'enseignement et l'apprentissage des concepts scientifiques. Reuter et ses collaborateurs (2013) soulignent que « les choix pédagogiques et les découpages dans les savoirs peuvent, eux aussi,

générer des obstacles concernant les enseignements ultérieurs » (p. 149). Pour Taber (2005), il est nécessaire que les enseignants soient capables de simplifier suffisamment les concepts pour que ceux-ci puissent être facilement appris par les étudiants, mais qu'ils évitent de trop simplifier puisque cela peut entraîner des obstacles à l'apprentissage par la suite. Cormier (2014b) rapporte un exemple de problème de transposition didactique lors de l'enseignement des composés au secondaire où, dans un souci de simplification, on utilise le terme molécule pour traiter indistinctement des composés moléculaires et des composés ioniques. Or, la chercheuse souligne, à la lumière des résultats d'une vaste étude portant sur les conceptions alternatives en géométrie moléculaire d'étudiants du collégial, que cette simplification souvent faite au secondaire où l'on considère que tout regroupement d'atomes est une molécule devient une difficulté conceptuelle très répandue au collégial.

En plus d'être reliées à la nature de la connaissance, les difficultés vécues lors de l'apprentissage des sciences seraient aussi attribuables aux méthodes habituellement utilisées pour leur enseignement, méthodes qui ne tiennent pas compte de ce que les étudiants savent déjà sur le sujet (Duit, 1991; Johnstone, 1991).

L'identification des obstacles mentionnés plus haut a amené les didacticiens à réfléchir sur les conditions pouvant favoriser leur franchissement (Reuter et coll., 2013). Selon Astolfi et Peterfaivi (1993), les enseignants de sciences ne prendraient pas assez en considération ces obstacles (Astolfi et Peterfaivi, 1993; Duit, 1991; Johnstone, 1991; Taber, 2018).

Les pratiques d'enseignement scientifique ne prennent pas suffisamment en compte le fait que la construction des concepts vient interférer avec l'existence préalable de conceptions dont les élèves disposent déjà, et dont on sait qu'elles tendent à se maintenir, d'une façon diachronique à la scolarité (Astolfi et Peterfaivi, 1993, p. 104).

Par ailleurs, l'approche « traditionnelle » serait, en effet, utilisée de façon prédominante pour enseigner les sciences (Freeman et coll., 2014; Kober, 1993; Rosenfield et coll., 2005). Or, les méthodes d'enseignement choisies par l'enseignant auraient un effet sur la qualité des apprentissages des étudiants. Une recherche réalisée par Trigwell, Prosser et Waterhouse (2007) avec 46 enseignants et 3956 étudiants de 48 classes de physique et de chimie de première année d'université a montré que dans les classes où les enseignants décrivent leur

approche comme centrée sur l'enseignant et sur la transmission de connaissances, les étudiants disent adopter, le plus souvent, une méthode d'apprentissage en surface. À l'inverse, même si le lien est plus faible, dans les classes où les étudiants ont rapporté utiliser des méthodes d'apprentissage plus en profondeur, les enseignants avaient mentionné utiliser des méthodes plus orientées vers les étudiants et le changement de leurs conceptions.

Bien que plusieurs aient remis en question les approches traditionnelles expositives prédominant en pédagogie universitaire, il semble que celles-ci demeurent encore bien présentes (Duguet, 2018). Au Québec, on peut lire dans une étude réalisée par (Rosenfield et coll., 2005) que près de la moitié des enseignants interrogés (de collègues anglophones) disent utiliser des méthodes d'enseignement associées à la transmission du savoir. Il semble que les approches constructivistes où les étudiants sont actifs ne sont pas très répandues dans les cégeps et qu'elles le sont encore moins dans les programmes scientifiques (Rosenfield et coll., 2005). Par ailleurs, l'étude montrait qu'un des facteurs déterminants pour la persévérance des étudiants était les caractéristiques de « l'environnement d'apprentissage ». En effet, un contexte favorisant la participation des étudiants favorisait davantage, selon eux, la persévérance dans les programmes scientifiques.

1.2 Les défis de l'enseignement dans le contexte de l'approche par compétences (APC)

Les différents programmes d'études furent révisés selon l'approche par compétences lors du Renouveau de l'enseignement collégial dans les années quatre-vingt-dix. Cette approche de développement de curriculum est utilisée aux États-Unis, en Australie et dans plusieurs autres pays depuis le début des années soixante pour réduire la distance entre les programmes de formation et le marché du travail (Takahashi, Waddell, Kennedy et Hodges, 2011). L'approche par compétences est ainsi venue remplacer l'approche par objectifs dans les programmes de formation au collégial.

Pour bien comprendre l'essence de l'approche par compétences, il nous apparaît important de d'abord clarifier la notion de compétence. Bien qu'elle soit utilisée depuis longtemps et que les définitions abondent, la notion de compétence demeure floue et aucune

définition consensuelle n'existe en éducation. En effet, selon Chauvigné et Coulet (2010), « la polysémie du concept de compétence [...] conduit le plus souvent les auteurs à en donner leur propre définition » (p. 22). Les différentes définitions peuvent prendre assise, selon les auteurs, dans les paradigmes béhavioriste, constructiviste et socioconstructiviste (Boutin, 2004). Dans le domaine de l'éducation, la notion de compétence sera davantage abordée selon une perspective socioconstructiviste (Jonnaert, 2009). Aujourd'hui encore, on conteste et remet en cause la notion de compétence quant à son cadrage théorique ainsi qu'à son application empirique (Jonnaert, 2017). Nous présenterons quelques définitions fréquemment utilisées dans le contexte de l'approche par compétences au collégial.

Selon Perrenoud (1995), la notion de compétence renvoie à des « savoir-faire de haut niveau, qui exigent l'intégration de multiples ressources cognitives dans le traitement de situations complexes » (p. 21). L'auteur précise que les savoirs scolaires doivent être transférables et que pour que ce transfert puisse avoir lieu, il importe qu'ils soient intégrés à des compétences de réflexion, de décision et d'action. Il faut donc considérer les connaissances comme des ressources cognitives essentielles au développement des compétences.

Le Pôle de l'Est (1996), un groupe de travail formé dès les débuts de l'implantation de l'approche par compétences au collégial, a défini une compétence comme une

cible de formation centrée sur le développement de la capacité de l'élève, de façon autonome, d'identifier et de résoudre efficacement des problèmes propres à une famille de situations sur la base de connaissances conceptuelles et procédurales, intégrées et pertinentes (p. 15).

La définition de Lasnier (2001), pour sa part, ne se limite pas à la mobilisation de connaissances, mais ajoute les dimensions d'intégration et de mobilisation de capacités et d'habiletés. Selon lui,

une compétence est un savoir-agir complexe qui fait suite à l'intégration, à la mobilisation et à l'agencement d'un ensemble de capacités et d'habiletés (pouvant être d'ordre cognitif, affectif, psychomoteur ou social) et de connaissances (connaissances déclaratives) utilisées efficacement, dans des situations ayant un caractère commun (p. 30).

Tardif (2003) définit une compétence comme « un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et l'utilisation efficace d'une variété de ressources ». Aussi présent dans la définition de Lasnier (2001), le terme savoir-agir indique qu'une compétence se déploie dans l'action. De plus, la précision indiquant qu'une compétence prend appui sur la mobilisation et l'utilisation efficace de ressources nous informe du fait que le savoir-agir doit être flexible et adaptable à différentes situations plutôt que de n'être constitué que d'un ensemble d'actions mémorisées et pratiquées. Enfin, l'auteur précise que les ressources auxquelles réfère la définition incluent les connaissances, mais ne s'y limitent pas. En effet, ces ressources sont aussi des attitudes et des conduites.

Le Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2008) définit la notion de compétence dans les programmes d'études comme :

le pouvoir d'agir, de réussir et de progresser qui permet de réaliser adéquatement des tâches, des activités de vie professionnelle ou personnelle, et qui se fonde sur un ensemble organisé de savoirs : connaissances et habiletés de divers domaines, stratégies, perceptions, attitudes, etc. (p. 3).

Le Boterf (2010) différencie le fait d'avoir des compétences de celui d'être compétent en appuyant sur l'importance de combiner ses ressources.

Être compétent, c'est être capable d'agir et de réussir avec pertinence et compétence dans une situation de travail (activité à réaliser, événement auquel il faut faire face, problème à résoudre, projet à réaliser...) C'est mettre en œuvre une pratique professionnelle pertinente tout en mobilisant une combinatoire appropriée de ressources (connaissances, savoir-faire, comportement, modes de raisonnement...) (p. 21).

Selon Jonnaert (2017), une compétence devrait être considérée dans toute sa complexité autant qu'à travers le dynamisme qui la caractérise. Alors que selon lui, la signification de la notion de compétence ne fait pas consensus en éducation, il propose cette ébauche de définition socioconstructiviste :

Une compétence se construit par des *personnes en situation*. Une compétence

caractérise dès lors *un moment particulier*, celui de l'harmonie entre ces personnes et ces situations, le moment qui leur permet d'affirmer que leurs actions dans ces situations sont *viabiles* à cet instant (p. 12).

Cette définition met en évidence les situations qui intègrent les personnes en action ainsi que le contexte dans lequel se déploie l'action. Elle fait aussi référence, avec l'expression « moment particulier » à la temporalité dans laquelle une compétence se développe. Enfin, selon cette définition, au moment où la compétence est construite, les actions de la personne en situation sont adaptées.

Nous observons plusieurs points de convergence dans ces définitions. D'abord, la notion de réalisation dans l'action revient dans toutes les définitions bien qu'elle s'incarne dans des termes différents :

- savoir-**faire** (Perrenoud, 1995),
- savoir-**agir** (Lasnier, 2001, Tardif, 2003),
- agir et réussir avec pertinence (Le Boterf, 2010),
- actions viables (Jonnaert, 2017).
- pouvoir d'agir, de réussir et de progresser (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, 2008).

Ensuite, les auteurs font référence aux situations dans lesquelles les compétences doivent se développer avec, par exemple, les expressions

- situations complexes (Perrenoud, 1995),
- famille de situations (Pôle de l'Est, 1996),
- situation de travail (activité à réaliser, événement auquel il faut faire face, problème à résoudre, projet à réaliser...) (Le Boterf, 2010),
- en situations (Jonnaert, 2017).

Enfin, les définitions font aussi référence aux ressources nécessaires pour le développement d'une compétence qui sont indiquées par les

- ressources cognitives (Perrenoud, 1995),

- connaissances conceptuelles et procédurales intégrées et pertinentes (Pôle de l'Est, 1996),
- capacités, habiletés et connaissances (Lasnier, 2001),
- ressources (Tardif, 2003),
- ressources (connaissances, savoir-faire, comportement, modes de raisonnement...)(Le Boterf, 2010),
- ensemble organisé de savoirs : connaissances et habiletés de divers domaines, stratégies, perceptions, attitudes, etc. (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, 2008).

Bien que le terme ressource ne soit pas explicitement dans la définition de Jonnaert (2017), il fait référence au « faisceau des ressources », ressources qui viennent faciliter ou inhiber les actions des personnes. C'est donc au niveau des ressources que l'on peut faire le lien entre connaissances et compétences, en considérant que les connaissances ne devraient pas être évacuées avec l'approche par compétence, mais devraient plutôt figurer parmi les ressources desquelles un étudiant peut développer une compétence.

Nous retenons donc de ces définitions qu'une compétence se développe dans l'action à l'intérieur de situations nécessitant la mobilisation et l'intégration de ressources telles que des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles, mais aussi d'autres capacités et habiletés d'ordre affectif, psychomoteur ou social.

L'APC amène de nombreux changements en éducation relativement au rôle de l'étudiant qui devient un apprenant placé au centre de son apprentissage, au rôle de l'enseignant qui devient un facilitateur qui favorise la construction des compétences des apprenants et à la conception de l'apprentissage vue davantage comme le développement de compétences que comme l'acquisition de connaissances (Boutin, 2004). Ainsi, l'APC a des implications sur la gestion des programmes, mais aussi sur les différentes étapes du processus d'enseignement, soit la planification, l'organisation, l'intervention et l'évaluation (Tremblay, 1999).

Selon Boisvert, Lacoursière, et Lallier (2006), l'APC est « centrée sur l'élève, sur l'acquisition par ce dernier des connaissances, habiletés, attitudes et comportements généraux

qui le rendent capable d'exercer une activité professionnelle ou de poursuivre des études supérieures » (p. 73).

Dans ce contexte, plusieurs défis tant pédagogiques que didactiques se posent aux enseignants pour favoriser le développement de compétences chez les étudiants. Nous argumenterons que, depuis l'implantation de cette approche, les enseignants du collégial ont, entre autres, à prendre de nombreuses décisions pour délimiter les contenus traités dans les programmes et dans les cours et à planifier des stratégies d'enseignement qui miseront davantage sur les approches relevant des pédagogies actives.

1.2.1 Le défi de choisir des contenus pertinents

Avant la réforme, les cours composant les programmes d'études étaient établis par le ministère et consistaient en une liste de contenus plus ou moins intégrés (Boisvert et coll., 2006). En effet, les cahiers de l'enseignement collégial consistaient en un répertoire comprenant, entre autres, la liste des différents cours composant chaque programme ainsi qu'une description des objectifs et une liste des contenus se rapportant à chaque cours (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, 2018).

Avec le Renouveau de l'enseignement collégial, les programmes furent élaborés par compétences dans la perspective d'une approche-programme et seulement quelques précisions furent apportées relativement aux contenus à traiter dans les cours. L'approche par compétences invite donc les enseignants à prendre différentes décisions relativement au choix et à l'organisation des contenus d'enseignement tant à l'échelle des programmes que des cours (Lapierre, 2008). Il semble, par ailleurs, que bien que ces tâches soient très importantes, plusieurs enseignants ne soient pas conscients des références qu'ils utilisent pour effectuer ces choix (Bizier, 2008).

1.2.2 Le défi de choisir des méthodes d'enseignement qui favorisent le développement de compétences

L'approche par compétences suggère aussi une diversification des méthodes d'enseignement en invitant les enseignants à utiliser des méthodes d'enseignement où les

étudiants sont plus actifs, selon la prémisse qu'une compétence s'acquiert dans l'action (Chauvigné et Coulet, 2010; Perrenoud, 1995; Tremblay, 1999).

Or, il apparaît que le choix de méthodes d'enseignement appropriées à l'APC demeure un défi, et ce, particulièrement dans le domaine de l'enseignement des sciences. Dans un rapport synthèse publié en 2008 par la Commission d'évaluation de l'enseignement collégial (CEEC), on pouvait lire que les collèges avaient bien relevé le défi du Renouveau de l'enseignement collégial, notamment en ce qui avait trait à leurs nouvelles responsabilités liées à l'élaboration et à la gestion des programmes. Toutefois, on rapportait que les méthodes pédagogiques devaient évoluer dans de nombreux programmes, notamment en sciences, puisqu'elles n'étaient pas suffisamment adaptées au développement de compétences.

Quant à elles, les méthodes pédagogiques utilisées dans les cours ont amené la Commission à considérer que près d'une vingtaine de programmes évalués présentaient, dans plusieurs cours, des méthodes pédagogiques peu ou pas adaptées aux objectifs du programme, en général, et à l'approche par compétences, en particulier ; dans quinze cas, il s'agissait du programme Sciences de la nature. Elle a engagé les collèges à faire évoluer les méthodes pédagogiques pour soutenir le développement des compétences chez les élèves (Commission d'évaluation de l'enseignement collégial, 2008).

De plus, on peut lire dans une étude de Rosenfield et ses collaborateurs (2005) portant sur les facteurs influençant la réussite et la rétention en sciences que près de la moitié des enseignants interrogés (de collèges anglophones québécois) disent utiliser des méthodes d'enseignement associées à la transmission du savoir. Il semble ainsi que les approches constructivistes où les étudiants sont actifs ne sont pas très répandues dans les cégeps et qu'elles le sont encore moins dans les programmes scientifiques malgré que l'étude montrait qu'un contexte favorisant la participation des étudiants favorisait davantage la persévérance dans les programmes scientifiques (Rosenfield et coll., 2005).

Hormis ces défis inhérents à l'approche par compétences, les enseignants en sciences et, plus spécifiquement, en chimie, doivent tenir compte de l'existence de certains obstacles à l'apprentissage. Nous exposerons ces différents obstacles dans la prochaine section.

1.3 Les défis de l'enseignement et de l'apprentissage de la chimie et du modèle probabiliste de l'atome

La chimie est une branche de la science très importante, car elle nous permet de comprendre le monde qui nous entoure (Sirhan, 2007). Elle étudie la matière, ses propriétés et les changements qu'elle peut subir (Emmerson, 2015). L'apprentissage de cette discipline particulièrement complexe cause des difficultés à plusieurs étudiants (Emmerson, 2015; Kousa, Kavonius et Aksela, 2018; Sirhan, 2007; Taber, 2001, 2016; Treagust, Duit et Nieswandt, 2000). Bien que les enseignants de chimie aient à relever les différents défis explicités dans la section portant sur l'enseignement des sciences, cette discipline amène aussi son lot de particularités.

1.3.1 Les particularités de l'enseignement et de l'apprentissage de la chimie

Bien que la chimie ait toujours été considérée comme une discipline, elle est constituée de plusieurs approches. Ainsi, sa proximité avec la physique est telle que la grande majorité de ses concepts dépendent de concepts de physique. Cette proximité fait en sorte que les étudiants doivent maîtriser plusieurs concepts issus de la physique afin de pouvoir comprendre des notions de chimie. Cela devient alors un obstacle à l'apprentissage puisque les étudiants ont tendance à compartimenter les apprentissages de physique et de chimie et de ne pas faire de liens entre les deux (Taber, 2001).

Ensuite, comme nous l'avons expliqué plus tôt, les concepts scientifiques peuvent être représentés selon 3 niveaux : sous-microscopique, macroscopique et symbolique (Johnstone, 1991). En chimie, ces niveaux, désignés par le « chemistry triplet », ont fait l'objet de plusieurs interprétations par les auteurs (Stojanovska, M. Petruševski et Šoptrajanov, 2017; Talanquer, 2011). Ainsi, en chimie, la matière peut être observée et étudiée au niveau macroscopique (ce qui est visible à l'œil nu), mais peut aussi être mieux expliquée au niveau sous-microscopique (ce qui est trop petit pour être observé, les atomes et les molécules par exemple). Qui plus est, les chimistes utilisent des symboles chimiques et différentes formules et équations (niveau symbolique) afin de représenter les niveaux macroscopique et sous-microscopique, ce qui vient encore complexifier les choses (Gabel, 1999). Selon Johnstone (1991), la majorité des

enseignements en chimie se situeraient au niveau symbolique, le niveau le plus abstrait du modèle. Par ailleurs, toujours selon cet auteur, les enseignants passent souvent rapidement d'un niveau à l'autre en enseignant, ce qui fait que les étudiants éprouvent souvent de la difficulté à intégrer les différentes connaissances en lien avec les différents niveaux.

Une particularité liée à l'apprentissage de la chimie concerne les différents modèles utilisés à l'intérieur de la discipline (Taber, 2001). Selon Gabel (1999), plusieurs des concepts étudiés en chimie sont abstraits et ne peuvent être expliqués sans l'utilisation d'analogies ou de modèles. Il est, en effet, très fréquent d'utiliser des modèles afin de représenter des structures et des réactions se produisant à l'échelle atomique ou moléculaire. Parmi les différents modèles qui peuvent être utilisés, les « modèles scientifiques » sont souvent les seuls outils qui permettent de représenter des concepts abstraits. Or, comme ces modèles font consensus dans la communauté scientifique, ils sont souvent enseignés comme des faits, comme c'est le cas, par exemple, pour les modèles atomiques (Treagust, Chittleborough et Mamiala, 2002). Une recherche réalisée par ces chercheurs a permis de mettre en évidence, entre autres, que 43% des étudiants croyaient que les modèles étaient des répliques exactes de la réalité et que près de la moitié des étudiants n'avaient pas idée de l'utilité des modèles utilisés. L'utilisation de modèles semble donc causer des difficultés d'apprentissage en chimie. Certaines recherches suggèrent, par ailleurs, que les enseignants démontrent une grande variabilité dans le degré de sophistication de leur compréhension de l'importance et de la nature des modèles qu'ils enseignent ou avec lesquels ils enseignent (Jong, Van Driel et Verloop, 2005; Justi et Gilbert, 2002). De telles observations sont transférables, selon nous, aux modèles utilisés dans l'enseignement des sciences au collégial tels que les différents modèles atomiques.

1.3.2 Le modèle probabiliste de l'atome : un objet difficile à apprendre

Différents modèles atomiques sont enseignés au secondaire et au collégial. Souvent enseigné suivant une perspective historique, le dernier modèle abordé au secondaire est appelé le « modèle atomique de Rutherford-Bohr » alors qu'au cégep, on enseigne explicitement le modèle de Bohr et le modèle probabiliste. Les derniers modèles scientifiques décrivant la structure de l'atome enseignés se retrouvent à la Figure 2.

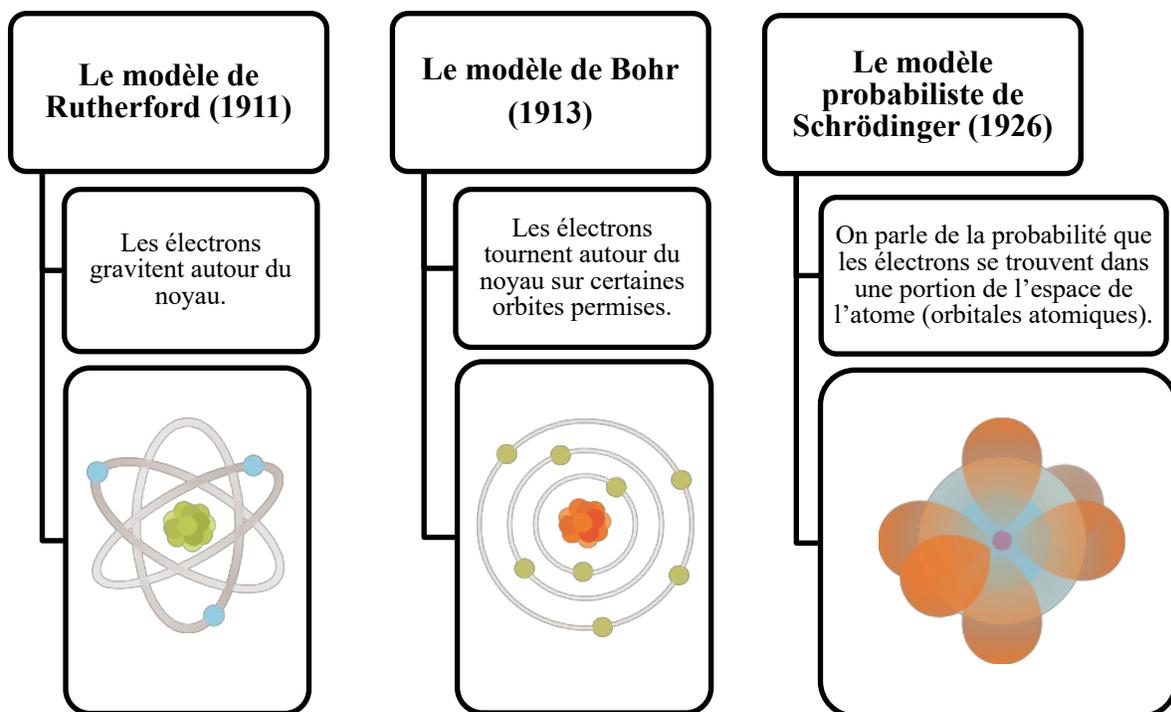


Figure 2. Les derniers modèles scientifiques décrivant la structure atomique enseignés.

Dans le dernier modèle enseigné au secondaire est appelé le modèle de Rutherford-Bohr, un hybride entre les modèles de Rutherford et de Bohr, les électrons sont localisés sur des couches électroniques autour du noyau de l'atome. Le modèle probabiliste de l'atome (ou le modèle de l'atome basé sur la mécanique ondulatoire) enseigné au cégep, stipule que les électrons ont une probabilité de se retrouver dans des orbitales (ayant une taille, une forme ainsi qu'une orientation spécifique) et implique habituellement l'enseignement des concepts suivants : orbitales atomiques, nombres quantiques (et règles pour le remplissage des orbitales), nomenclature s, p, d, f pour la dénomination des orbitales (orbitale 3p, par exemple), niveaux d'énergie des orbitales et spin de l'électron.

Dans cette recherche, nous nous interrogeons sur les obstacles à l'apprentissage d'un objet d'enseignement précis, soit le modèle probabiliste de l'atome et sur les moyens mis en œuvre par les enseignants afin de favoriser le franchissement de ces obstacles. Le choix de cet objet d'enseignement se justifie par le fait que plusieurs études reconnaissent que l'apprentissage des différents concepts qui sont reliés au modèle probabiliste de l'atome est

problématique (Cervellati et Perugini, 1981; Cros et coll., 1986; Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman et van Joolingen, 2017; Mashhadi, 1995; Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Shiland, 1997; Stefani et Tsaparlis, 2009; Taber, 2002; Tsaparlis, 1997, 2013; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis, 2017).

Certaines recherches réalisées dans le cadre de cours préuniversitaires (Cros et coll., 1986; Mashhadi, 1995; Petri et Niedderer, 1998; Taber, 2002) montrent que les étudiants du collège et de l'université conceptualisent souvent la structure de l'atome avec un modèle appris dans le passé où les électrons gravitent sur des orbites de type planétaire même si des modèles plus élaborés leur ont été enseignés par la suite. Stefani et Tsaparlis (2009) expliquent comment les modèles atomiques appris antérieurement se rapprochent des conceptions alternatives.

Strictly speaking, the models and concepts of the old quantum “theories” are not misconceptions but represent earlier models, which in many ways are still useful today even in actual scientific practice. These concepts and models, to which students have been exposed during high school, form deep theoretical constructs that are difficult to change, and can impede the interpretation of scientific information. [...] the old models very often constitute a learning impediment for the desired transition from deterministic to probabilistic models, and, as such, they are operationally equivalent to alternative conceptions (p. 522).

Il semble donc que le fait d'avoir appris la structure électronique des atomes en termes de couches électroniques entrave les apprentissages relatifs au modèle probabiliste de l'atome. D'autres recherches plus récentes (Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis, 2017) ont visé à décrire comment différents étudiants se représentaient la structure de l'atome selon le modèle basé sur la mécanique ondulatoire.

Bien que nous ne voulions pas procéder au diagnostic des différentes conceptions alternatives entretenues par les étudiants à l'égard de la structure de l'atome, il nous apparaît clair que de telles conceptions peuvent être à l'origine de certaines des difficultés vécues par les étudiants du collégial lors de l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome. Il y a alors lieu de se questionner sur ce qui est fait par les enseignants pour favoriser l'apprentissage de cet objet d'enseignement.

1.4 L'objectif général de la recherche et la pertinence du projet

Dans ce premier chapitre, nous avons montré que les enseignants doivent relever certains défis pour l'enseignement des sciences. En effet, les enseignants ont à négocier avec une baisse d'intérêt pour les sciences, et ce, à travers le monde. Ils ont, par ailleurs, à enseigner des concepts abstraits, invisibles à l'œil qui peuvent être compris à travers différents niveaux de représentation soit les niveaux microscopique, macroscopique et symbolique. À ces défis s'ajoute l'existence de conceptions alternatives (ou erronées), conceptions fortement ancrées dans l'esprit des étudiants, mais souvent en désaccord avec les théories scientifiques. Enfin, un défi se pose relativement aux pratiques d'enseignement qui, selon certains auteurs, sont très traditionnelles et centrées sur l'enseignement et ne tiennent pas compte des conceptions qu'entretiennent les étudiants à l'égard des savoirs.

Nous avons aussi expliqué que, dans un contexte tel que celui de l'approche par compétences qui prévaut dans les cégeps du Québec depuis le milieu des années 90, d'autres défis s'ajoutent tels que, par exemple, le choix de contenus essentiels et pertinents ainsi que le choix de méthodes d'enseignement qui favorisent le développement de compétences.

Enfin, nous avons évoqué que différentes difficultés se présentaient lors de l'apprentissage de la chimie, difficultés qui peuvent être attribuables à certaines particularités de cette discipline. Nous avons par la suite justifié le choix du modèle probabiliste de l'atome comme objet d'enseignement pour la présente recherche en évoquant les différents travaux qui expliquent pourquoi cet objet est problématique.

1.4.1 L'objectif général de la recherche

Les différents éléments rapportés dans la section problématique (Figure 3) nous ont amenés à formuler l'objectif général de la recherche.

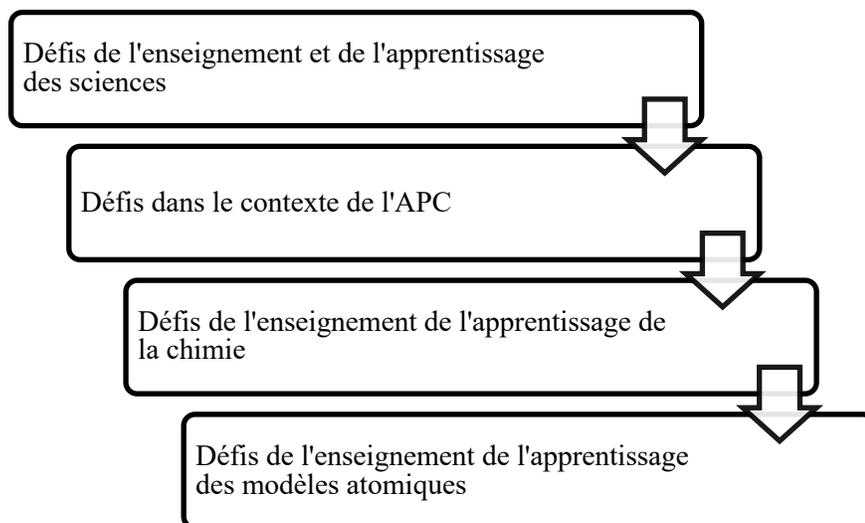


Figure 3. Éléments problématiques à la base de l'objectif général de la recherche.

L'objectif général de la recherche consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques lors de la planification et pour leur enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants de sciences du collégial.

1.4.2 La pertinence du projet de recherche

Il nous semble pertinent de se questionner sur les actions mises en œuvre par les enseignants pour relever ces différents défis décrits dans la problématique découlant de l'enseignement et de l'apprentissage dans le contexte de l'approche par compétences ainsi que ces défis liés aux obstacles à l'apprentissage que peuvent engendrer certains savoirs à enseigner.

Plusieurs recherches ont montré que le modèle de l'atome basé sur la mécanique ondulatoire comporte plusieurs obstacles pour l'apprentissage. Celles-ci font état de difficultés d'apprentissage et/ou de conceptions alternatives entretenues par les étudiants. Toutefois, il n'existe pas de recherches fondées sur les pratiques favorisant le changement des conceptions en chimie dans le contexte de l'enseignement collégial québécois mis à part Cormier (2013, 2014b) qui a plutôt fait une recension des conceptions alternatives en géométrie moléculaire qu'une étude sur les manières de les contrer. Plusieurs études portent sur les connaissances des enseignants de sciences, mais pas vraiment sur leurs pratiques pédagogiques pour l'enseignement d'objets spécifiques tels que la structure de l'atome.

Le manque de connaissances concernant les pratiques des enseignants de chimie du collégial pour la transformation des savoirs pour l'enseignement et l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome dans l'optique de favoriser le changement des conceptions des étudiants justifie donc, en partie, le bien-fondé de notre recherche.

Il nous semble, par ailleurs, très pertinent d'étudier les pratiques des enseignants pour la transformation des savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome puisque ce modèle constitue un moment charnière dans la séquence didactique du cours « chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature. En effet, la compréhension de la structure atomique permet, dans le cadre de ce cours, de procéder à l'analyse des propriétés périodiques des éléments et de s'approprier la structure des molécules pour, par la suite, être en mesure d'expliquer les transformations de la matière. On peut ainsi dire que la compréhension des concepts du modèle probabiliste de l'atome est nécessaire pour le développement de la compétence 00UL du programme Sciences de la nature décrite par l'énoncé « analyser les transformations chimiques et physiques de la matière à partir des notions liées à la structure des atomes et des molécules ». Selon De Jong et Taber (2007), les connaissances liées à la structure de l'atome sont préalables à une bonne compréhension du concept de liaison chimique, un concept-clé au niveau « high school senior » puisqu'il permet aux étudiants de faire des prédictions ou d'expliquer les propriétés physiques et chimiques des substances. Ces notions sont aussi préalables, selon nous, à la compréhension d'autres notions qui seront enseignées dans d'autres cours de chimie du programme. Nous croyons aussi que les pratiques relevées par la recherche pourront être transférables aux enseignants d'autres cours et d'autres disciplines.

Bien que notre recherche pourrait avoir un effet sur la réussite du cours par les étudiants, elle cherche d'abord à étudier la compréhension que se font les étudiants de certains concepts abstraits. Dans un article intitulé « Au-delà de la réussite scolaire, les étudiants de sciences comprennent-ils vraiment la chimie », Cormier (2014a) démontre que bien que les difficultés vécues par les étudiants ne les empêchent pas nécessairement de réussir leurs cours de chimie, il semble que plusieurs concepts de la discipline demeurent mal compris par les étudiants.

Enfin, rappelons que les sciences et les technologies sont omniprésentes dans le monde d'aujourd'hui (Conseil de la science et de la technologie, 2004; Kober, 1993; OCDE, 2016). Il importe ainsi que les jeunes aient un minimum de culture scientifique (*scientific literacy*) afin d'être en mesure de prendre position dans plusieurs débats de société controversés (Allum et coll., 2018; Conseil de la science et de la technologie, 2004; Espinosa, 2005; Kwok, 2018; Lévy-Leblond, 2014). L'enseignement des sciences et des technologies devrait ainsi favoriser le développement de cette culture scientifique de base. Ainsi, il nous semble pertinent de nous pencher sur un objet d'enseignement du programme Sciences de la nature dans la perspective où les étudiants de ce programme formeront les scientifiques de demain qui amélioreront notre qualité de vie en préparant nos médicaments et travaillant au développement d'énergies plus propres, par exemple.

2 Cadre théorique

Rappelons d'abord que l'objectif général de la recherche consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes pour la transformation des savoirs pour l'enseignement de contenus scientifiques en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Dans ce chapitre, nous définirons les pratiques enseignantes et nous exposerons deux modèles théoriques traitant des transformations que subissent les savoirs, soit la transposition didactique (Chevallard, 1991) et la transformation, un processus issu du modèle d'action et de raisonnement pédagogique de Shulman (1987), afin de montrer comment ils peuvent pour nous aider à mieux comprendre certaines pratiques pédagogiques et didactiques des enseignants. Nous avons fait le choix de présenter ces deux modèles puisque, comme rapporté par Amade-Escot (2000) et Rollnick et Mavhunga (2016), les différents travaux portant sur les transformations qui sont faites sur les savoirs (ou que les savoirs subissent) mobilisent principalement l'un ou l'autre de ces modèles issus de ces deux courants. Nous exposerons, ensuite, les concepts de réflexion dans l'action et sur l'action (Schön, 1994) et le modèle intégré de la pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012), un modèle qui s'intéresse aux processus cognitifs ayant cours lors de l'enseignement. Nous avons fait le choix de présenter ces deux modèles du fait qu'ils se rapprochent de la perspective théorique cognitiviste servant d'ancrage à notre recherche. Nous traiterons enfin des savoirs appris par les étudiants en lien avec les notions de conception et de niveaux de formulation. En lien avec l'objectif de la recherche, ces concepts nous serviront à tenter de décrire les façons dont les étudiants s'imaginent la structure atomique. La Figure 4 illustre les différents modèles auxquels nous nous référerons en lien avec l'objectif général de la recherche.

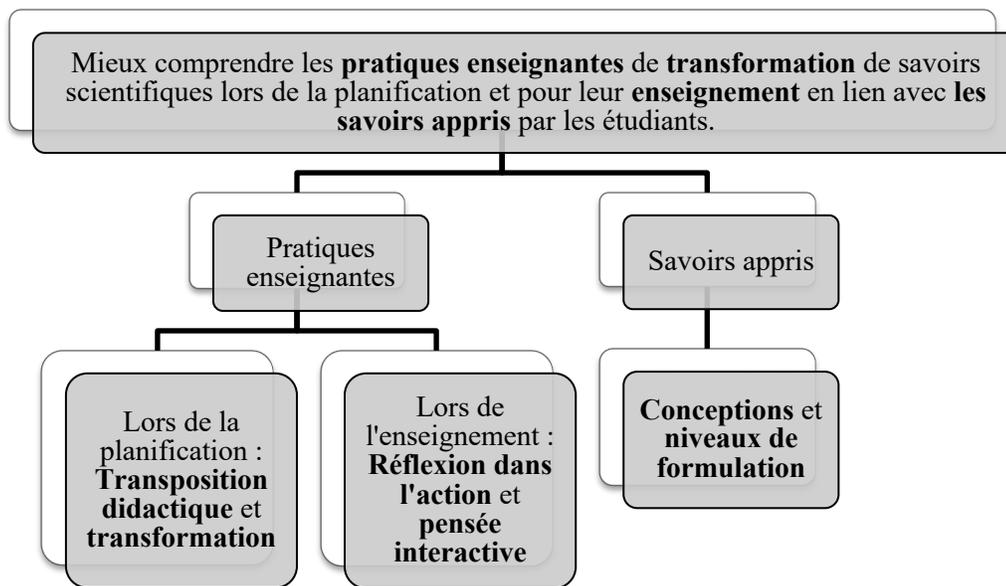


Figure 4. Concepts et modèles qui seront exposés dans le cadre théorique de notre thèse

2.1 Les pratiques enseignantes

Dans cette section, nous définirons les pratiques enseignantes avant de discuter des différents paradigmes ayant servi d’ancrage théorique aux recherches sur ces pratiques.

2.1.1 Une définition pour les pratiques enseignantes

Avant de s’intéresser spécifiquement aux pratiques enseignantes, il nous apparaît pertinent de définir le terme pratique. Selon Reuter (2013), une pratique est définie comme

une activité en tant qu’elle est située institutionnellement, spatialement et temporellement, qu’elle est structurée par de multiples dimensions en interaction, qu’elle est formatée par des dispositifs, des outils des supports, qu’elle est inscrite dans des histoires, sociales, familiales, individuelles (p. 13).

Cette définition permet d’apprécier le caractère complexe des pratiques ainsi que l’importance du contexte dans lequel elles s’inscrivent. Ainsi, elle aide à mieux comprendre qu’une activité telle que la préparation d’un cours, par exemple, est influencée par des facteurs sociaux, culturels et personnels.

Selon Altet (2003), plusieurs définitions peuvent s'appliquer au concept de pratiques enseignantes dépendamment des cadres de référence adoptés, des problématiques et des visées de recherche. Pour sa part, elle définit les pratiques enseignantes par « ce que font les enseignants dans la classe lorsqu'ils sont en présence des élèves » (p. 36). Elle élargit toutefois le concept de pratiques enseignantes aux interactions se produisant dans la classe en incluant d'autres activités telles que

les pratiques de préparation d'un cours, les pratiques de présentation d'un cours (orale, audio-visuelle, multimédia), les pratiques d'organisation matérielle de la classe, les pratiques de maintien de l'ordre dans la classe, les pratiques d'encadrement des travaux des élèves, les pratiques d'évaluation, les pratiques de travail en équipe pédagogique, les pratiques de réunions avec les parents d'élèves...» (Altet, 2003, p. 36-37).

On remarque que trois phases délimitent les pratiques enseignantes, soit la phase préactive (planification de l'enseignement), la phase interactive (avec les élèves en classe) et la phase postactive (activités d'évaluation et de retour sur l'action) (Bressoux et Dessus, 2003). Dans un autre article, Altet (2002) définit la pratique enseignante comme « la manière de faire singulière d'une personne, sa façon réelle, propre, d'exécuter une activité professionnelle : l'enseignement » (p. 86). Elle précise alors que « la pratique, ce n'est pas seulement l'ensemble des actes observables, actions, réactions, mais cela comporte les procédés de mise en œuvre de l'activité dans une situation donnée par une personne, les choix, les prises de décision » (Altet, 2002, p. 86). De la même façon, selon Bächtold, Boilevin et Calmettes (2017) qui s'intéressent aux pratiques des enseignants de sciences, les pratiques enseignantes se composent simultanément « d'une activité observable, comme celle associée aux interactions langagières, et d'une activité mentale qui guide et accompagne l'activité observable » (p. 6).

Nous retenons de ces définitions que les pratiques enseignantes sont multidimensionnelles et qu'elles sont influencées par le contexte dans lequel elles s'inscrivent, qu'elles concernent les actions des enseignants autant dans la classe que hors de la classe et qu'elles englobent aussi les processus cognitifs à l'origine de ces activités.

Pour la recherche sur les pratiques enseignantes, on distingue les pratiques déclarées qui concernent ce que disent faire les sujets (recueillies par le biais de questionnaires ou

d'entrevues) des pratiques constatées ou effectives qui désignent ce que le chercheur observe de l'activité déployée en situation de classe (recueillies grâce à des observations souvent précédées ou suivies d'entrevues) (Altet et Mhereb, 2017). Alors que plusieurs des recherches sur les pratiques ont porté sur le discours des enseignants dans le passé (Maubant et coll., 2005), plusieurs soulignent l'importance de tenter d'accéder aussi aux pratiques réelles ou effectives des enseignants par l'observation de celles-ci (Bressoux, 2001; Bru, 2002; Clanet et Talbot, 2012). En effet, ces pratiques, aussi qualifiées de constatées (Clanet et Talbot, 2012) parce que les pratiques effectives ne sont jamais totalement accessibles au chercheur, sont différentes des pratiques déclarées (Bru, 2002; Maubant et coll., 2005).

Les prescriptions relatives aux pratiques enseignantes ont beaucoup évolué passant d'une approche très magistrocentrée dans laquelle l'enseignant est le « maître du jeu » à une approche centrée sur les étudiants (Altet, Bru et Blanchard-Laville, 2011; Altet et Mhereb, 2017), ce qui a eu pour effet d'inverser le point d'entrée de la réflexion de sorte qu'il faut d'abord comprendre comment les élèves apprennent pour savoir comment il faut enseigner. Avec le développement de la recherche en éducation dans les années 70-80 des chercheurs se sont intéressés aux pratiques enseignantes, celles-ci figurant comme « l'un de ces objets de recherche complexe, un objet carrefour spécifique aux sciences de l'éducation, qui relève d'une pluralité d'approches disciplinaires : psychologique, sociologique, pédagogique, didactique, épistémologique » (Altet et Mhereb, 2017, p. 1200).

2.1.2 Les bases théoriques supportant la recherche sur les pratiques enseignantes

Différents objectifs peuvent motiver les recherches sur les pratiques enseignantes. Certaines recherches viseront à décrire les pratiques les plus efficaces alors que d'autres chercheront à étudier les pratiques afin de les modifier, s'inscriront dans une perspective de formation ou serviront simplement à décrire les pratiques dans le but de mieux les comprendre (Bru, 2002).

Notre recherche s'inscrit dans la dernière catégorie, soit les recherches à visée heuristique qui veulent rendre compte, décrire, expliquer et comprendre les pratiques. Selon Bru (2002), de telles recherches s'avèrent tout à fait pertinentes.

C'est sur la nécessité de constituer un corps structuré de connaissances relatives aux pratiques enseignantes que nous voulons insister ici. Nous ne possédons pas aujourd'hui de larges corpus qui permettraient de rendre compte de la façon dont on enseigne à l'école, au collège, au lycée ou à l'université. Dans cette perspective, la mission de la recherche reste de rassembler et de confronter des éléments de description, de compréhension et d'explication relatifs aux pratiques enseignantes. (p. 67).

Dans ce contexte, nous présenterons les bases théoriques sur lesquelles s'appuient les recherches sur les pratiques enseignantes.

2.1.2.1 Les paradigmes de référence pour l'analyse des pratiques selon Marcel, Olry, Rothier-bautzer et Sonntag (2002)

Considérant l'intérêt grandissant pour l'étude des pratiques enseignantes Marcel, Olry, Rothier-bautzer et Sonntag (2002) se sont intéressés aux ancrages théoriques à la base des différents dispositifs utilisés pour l'analyse de ces pratiques. À cet effet, ils ont identifié six paradigmes de référence. À leurs yeux, le terme paradigme désigne un « ensemble de principes théoriques et de démarches pratiques fondateurs qui se retrouvent dans divers dispositifs particuliers d'analyse de pratiques et constituent en quelque sorte le cœur des courants de pensée » (Marcel et coll., 2002, p. 140).

Le Tableau 1 illustre les différents paradigmes servant d'ancrage théorique aux analyses faites sur les pratiques enseignantes et donne quelques exemples de recherches inspirées de ces paradigmes tels qu'on les retrouve dans l'article de Marcel et ses collaborateurs (2002).

Tableau 1

Paradigmes de référence renvoyant à l'ancrage des travaux sur l'analyse des pratiques (Adapté de Marcel et ses collaborateurs, 2002)

Paradigme	Explication
Historico-culturel	On privilégie le repérage des filiations d'idées et du contexte d'émergence avec une préoccupation pour les valeurs et les idéologies.
Psychanalytique	Approche clinique qui s'intéresse à l'enseignant et à son inconscient en s'attardant aux failles qui affectent les pratiques.
Expérimental	Logique positiviste où les pratiques sont analysées en suivant la méthode scientifique (assertions vérifiées par l'expérience, neutralité de l'observateur, etc.)
Cognitiviste	Modèle qui rend compte de l'action en appuyant sur la délibération, sur le discours sur l'action.
De l'action et de la cognition situées	Selon ce paradigme, l'action se situe dans « la transaction » entre organisme et environnement.
Socioconstructiviste	Le paradigme constructiviste admet que l'interaction permanente entre l'individu et les objets de son environnement permet de construire les connaissances. Pour les pratiques professionnelles, notamment des enseignants, analyse d'une situation professionnelle, en groupe, visant à améliorer des schèmes professionnels via le conflit cognitif.
Systémique	Analyse qui considère les pratiques comme un système et les étudie dans leur globalité.

2.1.2.2 Les paradigmes qui ont influencé la recherche sur les pratiques enseignantes selon Altet (2002)

Selon Altet (2002), trois grands paradigmes ont influencé les travaux de recherche sur les pratiques enseignantes. En premier lieu, plusieurs recherches sur les pratiques enseignantes

se sont inscrites dans le paradigme « processus-produit ». Ces recherches visaient à étudier l'enseignant efficace en vérifiant l'effet de différents comportements de l'enseignant (les processus) sur les apprentissages des étudiants (les produits).

Par la suite, au début des années quatre-vingt, les pratiques enseignantes ont été étudiées selon un courant cognitiviste appelé *teacher thinking* (traduit plus tard par « pensée des enseignants ») (Tochon, 2000). Les recherches issues de ce courant étudient les cognitions des enseignants en s'intéressant particulièrement à la planification et aux prises de décisions (Shavelson et Stern, 1981; Tochon, 1993).

Enfin, elle distingue les modèles plus récents, dits « écologiques », modèles interactionnistes et intégrateurs qui prennent en compte plusieurs types de variables liées à l'enseignant, l'apprenant et la situation. Les travaux de Altet qui portent, entre autres sur l'analyse plurielle des pratiques enseignantes, s'inscrivent dans ce courant en considérant l'enseignement comme un processus interactif, interpersonnel, intentionnel, finalisé par l'apprentissage des élèves » (Altet, 2002, p. 85).

Ce dernier courant s'apparente au paradigme systémique décrit par (Marcel et coll., 2002). En effet, les analyses sont davantage conduites en prenant les pratiques enseignantes dans leur globalité, plutôt que de tenter d'en étudier seulement certains aspects précis.

Dans un article plus récent, la même auteur (2017) fait référence à la succession des paradigmes behavioriste « processus-produit », cognitiviste, écologique et interactionniste comme lunettes pour la modélisation dans les travaux portant sur l'enseignement et l'apprentissage.

2.1.2.3 Les épistémologies du bon enseignement selon Tochon (1992)

Pour sa part, Tochon (1992) montre comment les « manières de voir » l'enseignant (ou ce qu'il appelle les épistémologies) influencent les courants de recherche sur l'enseignement. Il distingue trois épistémologies appartenant à des courants de recherche contemporains pour définir le bon enseignement.

Le paradigme processus/produit définit l'enseignement en termes d'efficacité, alors

que l'étude cognitive de l'enseignement isole les paramètres d'une « expertise » enseignante et que la recherche sur la connaissance de l'enseignant situe l'enseignement dans la capacité de transformer la connaissance (p. 181).

On retrouve donc le paradigme processus-produit qui vise à étudier l'effet de comportements spécifiques d'un enseignant sur le rendement des étudiants afin de décrire l'enseignant efficace. On peut penser que le paradigme processus-produit tel que décrit par Altet et Tochon réfère au paradigme expérimental de Marcel et coll. (2002) puisque les recherches de type processus-produit nécessitent d'identifier des comportements d'enseignants et de vérifier mathématiquement leurs effets sur les résultats des étudiants.

L'étude cognitive de l'enseignement réfère, pour sa part, au paradigme cognitiviste décrit par Marcel et coll. (2002) et au courant du *teacher thinking* rapporté par Altet (2002). Selon Tochon (1992), ces recherches sur la pensée des enseignants ont permis de déterminer certaines caractéristiques de l'enseignant expert.

L'enseignant planifie ses cours et fait usage du matériel en ayant une large connaissance de sa matière; il entre ensuite dans une relation interactive impliquant une adaptation contextuelle; son intériorisation de connaissances contextuelles lui permet d'improviser sur la base de routines organisées à partir de modèles d'action. (Tochon, 1992, p. 185).

Alors que les deux premiers courants tentaient d'étudier l'enseignant « efficace » et l'enseignant « expert », le troisième courant décrit par Tochon (1992) s'intéresse davantage à la connaissance de l'enseignant et au développement de la compétence. Ce dernier courant de la connaissance se situe dans le prolongement du courant de l'expertise et s'intéresse aux composantes transformationnelles de l'enseignement (transposition didactique et transformation pédagogique), composantes qui font l'objet de notre étude. Il fait référence à la base de connaissances pour l'enseignement et au « *pedagogical content knowledge* » que nous décrivons dans les prochaines sections.

Le bon enseignant tient moins compte de paradigmes d'efficacité ou d'expertise que d'une relation humaine, personnelle et profonde avec l'élève. Sa connaissance de la matière est suffisamment étendue pour pouvoir à tout moment se libérer du contenu et adapter la matière à l'élève en un processus constant de transformation de la connaissance dont il est partie prenante (Tochon, 1992, p. 182).

2.1.2.4 Le paradigme à la base de notre recherche sur les pratiques enseignantes

Notre recherche s'ancre principalement dans le paradigme cognitiviste et, plus précisément, dans le courant du *teacher thinking*. En effet, les cognitions des enseignants lors de la planification d'une leçon et lors de la prestation de celle-ci occuperont une très grande place dans le corpus de données de notre recherche. Pour atteindre l'objectif général de notre recherche qui est de mieux comprendre les pratiques pour la transformation des savoirs liés au modèle quantique de l'atome et leur enseignement, nous avons fait des choix théoriques et méthodologiques qui permettront de mettre en évidence les réflexions, les délibérations des enseignants, et ce, pour tout le processus d'enseignement. Dans le contexte de l'enseignement des sciences au collégial, nous considérons qu'une part du travail de l'enseignant réside dans la planification de son enseignement et c'est dans cette perspective que se justifie le choix de notre ancrage théorique. Dans l'optique où « le courant de l'action située va plus loin en montrant que l'activité de l'enseignant peut difficilement être planifiée, car elle émerge de l'activité en classe » (Bressoux et Dessus, 2003), nous croyons que celui-ci ne peut nous permettre d'atteindre notre objectif qui consiste à mieux comprendre les pratiques pour la transformation de savoirs lors de la planification. Nous avons tout de même, tout au long de la recherche, pris en considération les différentes variables de la situation telles que celles relatives aux personnes (enseignant et étudiants) et au contexte.

Du fait que notre recherche vise à mieux comprendre les pratiques pour la transformation de savoirs scientifiques et pour leur enseignement, elle se situe aussi dans le dernier courant décrit par Tochon (1992), le courant de recherche portant sur la connaissance de l'enseignant qui, rappelons-le, situe l'enseignant dans sa capacité de transformer la connaissance.

Maintenant que nous avons expliqué les bases théoriques sur lesquels nos choix ont été faits pour étudier les pratiques enseignantes qui nous intéressent, nous discuterons de deux modèles théoriques que nous jugeons très appropriés pour l'étude des pratiques pédagogiques et didactiques des enseignants pour la transformation de savoirs spécifiques en vue de leur enseignement.

2.2 La transformation des savoirs

Les chercheurs en didactique et en pédagogie ont développé différentes approches pour l'observation, l'analyse et la compréhension de l'activité enseignante (Bächtold et coll., 2017). Bien qu'il existe différents modèles de planification de l'enseignement, tels que les modèles d'*instructional design* (Dessus, 2006), nous avons choisi de décrire les modèles de la transposition didactique et de la transformation puisque ceux-ci portent spécifiquement sur les transformations que subissent les savoirs durant le processus d'enseignement-apprentissage.

2.2.1 La didactique des sciences et la transposition didactique

Dans la prochaine section, nous définirons la didactique des sciences, courant duquel est issu le modèle de la transposition didactique. La didactique des sciences fait partie de qu'on appelle communément la didactique ou « les didactiques ».

2.2.1.1 La didactique des sciences

La didactique est la discipline de recherche qui s'intéresse aux contenus comme des objets d'enseignement et d'apprentissage, et comme des matières scolaires (Reuter et coll., 2013). Elle s'intéresse au choix des contenus d'enseignement et à leur transformation dans différents contextes (Dolz et Gagnon, 2016). En fait, on parlera plutôt des didactiques puisqu'elles sont fréquemment associées à des disciplines spécifiques (didactique des sciences, didactique des mathématiques, didactique de l'histoire, didactique du français, etc.).

La didactique est souvent illustrée par le système didactique (ou triangle didactique) représentant le système de relations existant entre le contenu d'enseignement, l'apprenant et l'enseignant (Figure 5).

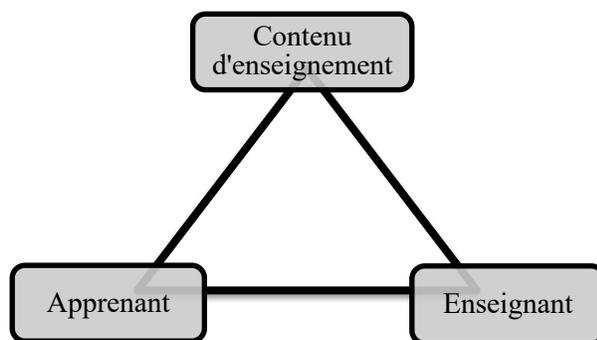


Figure 5. Le système didactique (Reuter et coll., 2013).

La didactique des sciences est, pour sa part, un champ de recherches plutôt récent qui aurait vu le jour au début des années quatre-vingt (Astolfi et Develay, 2002). Il vise « à préciser les objectifs de l’enseignement scientifique, à en renouveler les méthodologies, à en améliorer les conditions d’apprentissage pour les élèves. » (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 2008, p. 5). La didactique des sciences cherche donc à se pencher sur les difficultés d’appropriation qui sont intrinsèques aux savoirs afin de favoriser la réussite des élèves (Astolfi et coll., 2008).

2.2.1.2 La transposition didactique

Nous présenterons dans cette section le modèle de la transposition didactique issu de la didactique des mathématiques et généralisé dans la didactique des sciences tel que décrit par Chevallard (1991) ainsi que les apports qui ont été faits au modèle par d’autres auteurs.

2.2.1.2.1 Le modèle de la transposition didactique de Chevallard

Le concept de transposition didactique semble avoir fait son apparition en 1975 dans un ouvrage intitulé *Le temps des études* du sociologue Michel Verret. Ce concept a par la suite été formalisé en didactique des mathématiques par Chevallard (1991) dans l’ouvrage *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*.

L’extrait suggère que les savoirs d’origine (appelés savoirs savants) donnent lieu à des savoirs à enseigner qui, à leur tour, donnent lieu à des savoirs enseignés (objets d’enseignement).

Les contenus de savoirs désignés comme étant à enseigner (explicitement : dans les programmes ; implicitement : par le truchement de la tradition, évolutive, de l'interprétation des programmes), en général préexistent au mouvement qui les marque comme tels. [...]

Un contenu de savoir ayant été désigné comme savoir à enseigner subit dès lors un ensemble de transformations adaptatives qui vont le rendre apte à prendre place parmi les objets d'enseignement. Le « travail » qui, d'un objet de savoir à enseigner, fait un objet d'enseignement est appelé la transposition didactique (Chevallard, 1991, p.39)

La Figure 6 illustre ces étapes de la transposition didactique selon Chevallard.

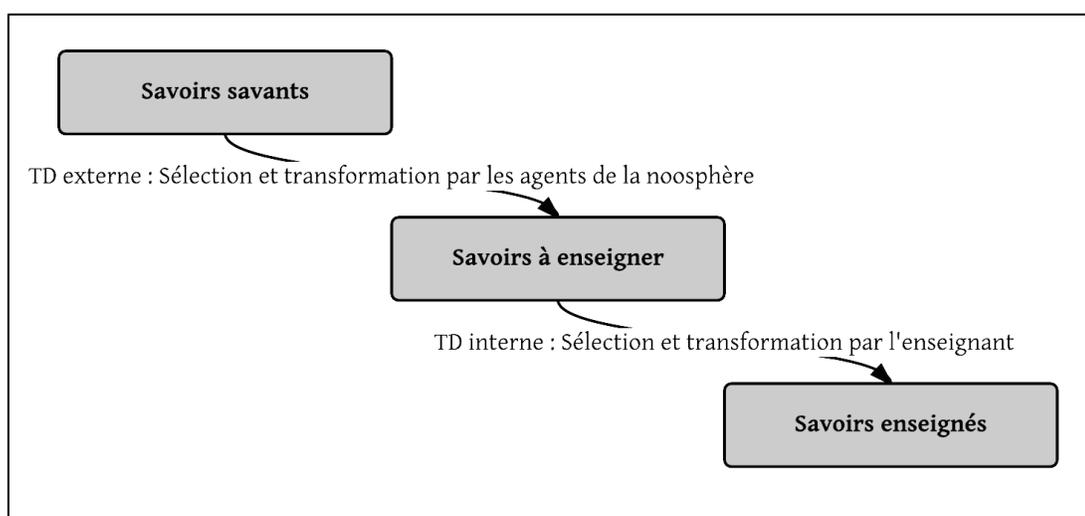


Figure 6. La transposition didactique de Chevallard (1991).

La transposition didactique réfère ainsi aux « transformations qui s'opèrent, à la distance qui s'instaure, entre les savoirs savants d'un côté, les savoirs sélectionnés pour l'enseignement et les savoirs effectivement enseignés d'un autre côté » (Bronckart et Plazaola Giger, 1998, p. 38).

Les savoirs produits par les institutions scientifiques sont le point de départ de la transposition didactique. Ces savoirs savants doivent être transposés en savoirs à enseigner dans les textes pédagogiques ou textes du savoir dans ce qui est appelé la transposition didactique externe. Selon Chevallard (1991), cette transposition est réalisée par les agents de la noosphère

qu'il définit comme la sphère où l'on pense : les représentants des systèmes d'enseignement et les représentants de la société). Il remet en question d'ailleurs la sélection des contenus qui est faite à ce moment et les objectifs qui sont poursuivis. Les textes du savoir sont, pour leur part, les différents documents (curriculum, programmes, devis, manuels d'enseignement, fiches, etc.) où les savoirs sont délimités et organisés en prévision de leur enseignement (Bronckart, Plazaola Giger, 1998; Paun, 2006).

Bien que Chevallard mette davantage l'accent sur la transposition du savoir savant en savoir à enseigner, il spécifie que le savoir à enseigner est par la suite transposé en savoir enseigné. Cette transposition, qualifiée de « transposition didactique interne », est alors dépendante des processus d'enseignement et d'apprentissage mis en place dans la classe par l'enseignant (Paun, 2006).

La chronogenèse et la topogenèse sont des concepts introduits par Chevallard en lien avec la transposition didactique interne. La chronogenèse concerne l'avancement des savoirs dans le temps, avancement qui est coordonné par l'enseignant. Ainsi, l'enseignant doit réaffirmer l'équilibre ancien/nouveau des savoirs en introduisant constamment de nouveaux savoirs apprêtés pour l'enseignement. La topogenèse concerne les places et rôles respectifs de l'enseignant et des étudiants par rapport au savoir en construction. Chevallard (1991) y aborde le pouvoir de l'enseignant qui ne doit pas être vu comme un pouvoir autocratique incarné dans une relation Maître-élève, mais plutôt un pouvoir fondé sur la capacité de susciter la bonne réponse de l'étudiant à une question. Ce pouvoir qui doit toujours se réaffirmer par des actes sur des contenus de savoir spécifique et par la capacité de l'enseignant d'étonner. Ainsi, l'enseignant et les étudiants auront leurs rôles et leurs tâches respectifs, ceux-ci étant inscrits dans le contrat didactique.

Ainsi, à partir de l'interprétation qu'ils font des informations contenues dans les textes du savoir, les enseignants élaborent leurs séquences d'enseignement de façon à favoriser les apprentissages de leurs étudiants en prenant en compte les contraintes du système d'enseignement telles que l'évaluation des apprentissages. Ils prévoient alors la chronologie didactique du savoir dans le temps (chronogenèse) ainsi que le rôle de chacun par rapport aux

savoirs (topogénèse). Ils planifient leurs leçons et préparent des exercices en prenant en compte les questions des élèves et leur niveau de compréhension (Tavignot, 1995).

Alors que Chevallard (1991) parlera de l'enseignant qui doit étonner lors de la transposition didactique interne, Perrenoud (1998b) soulignera que celle-ci relève de la marge d'interprétation, voire de création des enseignants.

Donc, suivant ce modèle, le savoir savant est davantage l'apanage des chercheurs, le savoir à enseigner est plutôt celui des concepteurs de programmes et de manuels alors que le savoir enseigné est celui des enseignants. Malgré cela, il importe de préciser qu'à l'enseignement collégial, depuis la Réforme de l'enseignement collégial de 1994, certains enseignants ont à choisir les contenus intégrés dans les programmes lors de leur élaboration et de leur révision. Ils sont, par ailleurs, appelés à rédiger du matériel didactique. Dans ces cas, les enseignants du collégial agissent non seulement comme les acteurs principaux du savoir enseigné, mais aussi du savoir à enseigner comme agents de la noosphère. Ils ont ainsi à intervenir dans la transposition didactique interne et dans la transposition didactique externe. Dans ce contexte, les tâches telles que la présentation de connaissances actuelles et la transformation des savoirs par la préparation d'activités ou d'exercices pour l'enseignement et l'apprentissage seront non seulement exercées par les concepteurs de programmes et de matériel didactique, mais aussi par les enseignants du collégial. C'est donc dire qu'au collégial, à cause de sa réalité particulière, les rôles de chacun des intervenants ne sont pas si bien délimités que ne le propose le modèle.

2.2.1.2.2 Les critiques du modèle et les adaptations faites

Suite aux tentatives d'étendre le modèle de la transposition didactique des mathématiques de Chevallard aux autres disciplines scolaires, les critiques faites étaient principalement liées aux savoirs savants (Bronckart et Plazaola Giger, 1998; Schneuwly, 2008). Certaines disciplines telles que le français, la musique ou les arts visent davantage l'apprentissage de savoir-faire (Schneuwly, 2008). Comme les savoirs impliqués dans les différents programmes d'études ne relevaient pas nécessairement tous de savoirs scientifiques, les savoirs d'experts, les savoirs scolaires et les savoirs du sens commun et les pratiques sociales

de référence (Martinand, 1986) se sont ajoutés aux savoirs savants comme sources pour les savoirs à enseigner (Bronckart et Plazaola Giger, 1998).

Les étapes du « mouvement transpositionnel » ont aussi été précisées après Chevallard par la distinction des savoirs à enseigner, des savoirs effectivement enseignés, des savoirs tels qu'ils sont appris par les élèves et des contenus d'apprentissages tels qu'ils sont évalués (Bronckart et Plazaola Giger, 1998). La figure 7 illustre le modèle de la transposition didactique prenant en compte les différents ajouts que nous avons explicités.

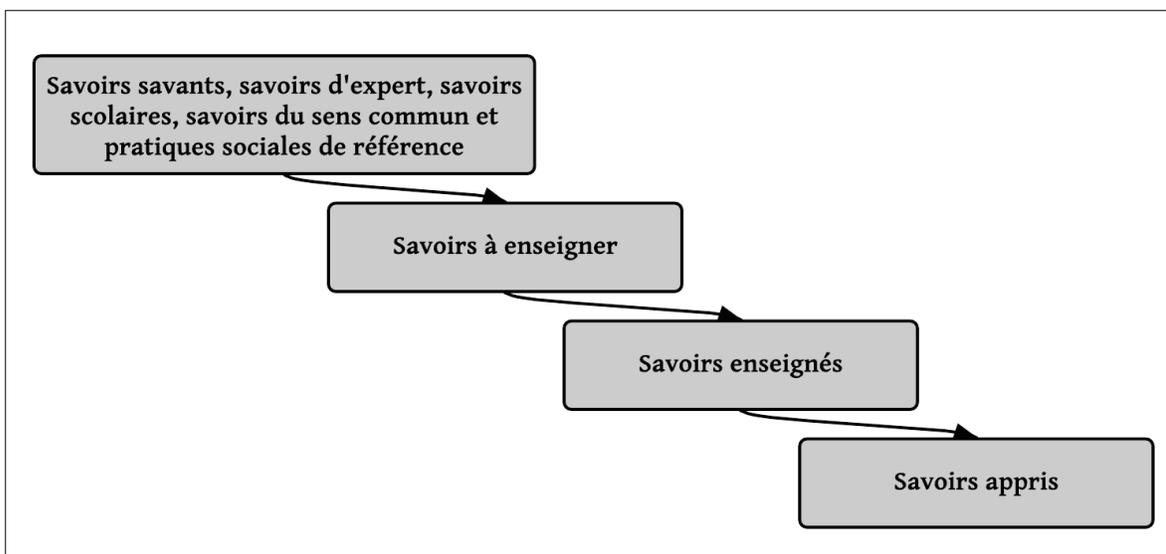


Figure 7. La transposition didactique après Chevallard.

2.2.1.2.3 Les recherches en didactique des sciences touchant la transposition didactique

Dans la prochaine section, nous présenterons quelques recherches effectuées visant à étudier la transposition didactique en tout ou en partie.

Les premiers travaux portant sur la transposition didactique ont consisté en des analyses de la transposition didactique d'objets précis en mathématiques d'abord, et dans les autres disciplines scientifiques ensuite. On fait ici référence, entre autres, à l'exemple d'analyse de la transposition didactique de la notion de distance de Chevallard et Johsua (Chevallard, 1991) où cette notion est examinée de sa production jusqu'à son entrée dans l'enseignement. D'autres travaux ont ensuite porté sur les conditions d'évolution des circuits électriques comme

objet d'enseignement (Johsua, 1992, cité dans Johsua et Dupin, 1993) et sur la transposition de la notion de respiration (Grosbois, Ricco et Sirota, 1992). Ces recherches visaient spécifiquement à comprendre comment certains savoirs savants étaient devenus des savoirs à enseigner à l'exception de la recherche de Grosbois et ses collaborateurs).

En effet, dans cette dernière recherche, les auteurs ont étudié la transposition didactique du concept de respiration en faisant d'abord une analyse historique et scientifique du concept, en analysant ensuite comment celui-ci est présenté dans les manuels scolaires afin de faire état des savoirs enseignés, en examinant les prescriptions du cursus universitaire et, enfin, en vérifiant les représentations des étudiants par le biais d'un questionnaire (Grosbois, Ricco et Sirota, 1992, cités dans Johsua et Dupin, 1993). Les résultats montrent, entre autres, que tandis que l'essentiel des savoirs savants liés à la respiration est maintenant emprunté à la sphère de la biochimie, on n'en retrouve à peu près rien dans les manuels d'enseignement. De plus, l'étude des connaissances des étudiants montre, entre autres, que seules des connaissances de surface semblent intégrées et que la respiration semble être conceptualisée simultanément en tant que combustion et transport d'énergie.

D'autres travaux traitants de la transposition didactique d'un concept spécifique ont suivi et, ce, pour les disciplines scientifiques, mais aussi pour d'autres disciplines telles que l'éducation physique, la musique et le français. Nous présenterons quelques-uns de ceux-ci en mettant l'accent sur les méthodes utilisées pour étudier la transposition didactique.

Ravel (2003) a procédé à l'étude de la transposition didactique interne de l'arithmétique en Terminale S. Pour ce faire, une analyse des programmes d'arithmétique (de 1886 à 2002), une analyse des manuels d'enseignement (de 1971 à 2002) et une analyse du « savoir apprêté » par les enseignants (par le biais de questionnaires) ont été faites. L'apprêt du savoir, qui s'ajoute aux étapes de la transposition didactique, réfère selon Ravel au travail fait par l'enseignant pour que le savoir à enseigner devienne le savoir enseigné. Pour cela, les pratiques en classe ont été analysées avec l'observation de deux enseignantes afin de voir l'arithmétique qui était effectivement enseignée. Les résultats de cette recherche montrent, entre autres, que bien que les programmes stipulent que l'arithmétique ait pour fonction de permettre un travail sur les démarches algorithmiques, cette volonté se retrouve peu dans les manuels d'enseignement et

dans les planifications de cours des enseignants. Ils montrent aussi que le savoir apprêté, étudié à la suite de l'observation des deux enseignantes, présente plusieurs différences entre les enseignants.

Enfin, la recherche réalisée par Raymond (2014) visait pour sa part à étudier les pratiques effectives de transposition didactique pour l'enseignement de la danse à l'école primaire québécoise en tenant compte des savoirs prescrits dans le programme de danse. Pour ce faire, différentes techniques de collecte de données ont été utilisées auprès de cinq enseignantes en danse soit la collecte de documents curriculaires et didactiques, l'entretien biographique visant à saisir les rapports aux savoirs des enseignantes, l'entretien d'explicitation permettant d'interroger le vécu d'action didactique et l'observation des pratiques d'enseignement (Raymond, 2014) permettant de produire des données relatives aux interactions entre les enseignantes et les élèves. Alors que la notion de transposition didactique de Chevallard constituait la base conceptuelle de cette recherche, l'analyse des données a permis de cerner des phénomènes transpositifs de diverses natures (procédurales, temporelles et procédurales), de décrire des dispositifs didactiques favorisant les apprentissages artistiques (A), esthétiques (E) et culturels (C) et de développer un modèle théorique complémentaire.

La présentation non exhaustive de ces quelques recherches évoque différents dispositifs méthodologiques pouvant être pertinents pour l'étude des pratiques pour la transposition didactique de savoirs spécifiques à savoir l'observation en classe et l'entretien d'explicitation telle qu'utilisée dans la recherche de Raymond (2014). Bien que seulement Grosbois, Ricco et Sirota (1992) se soient intéressés aux représentations des étudiants, une telle collecte de données nous semble très pertinente considérant le fait que les savoirs appris par les étudiants sont la dernière étape de la transposition didactique de l'après-Chevallard.

Maintenant que le concept de la transposition didactique issu de la didactique des sciences a été présenté, nous ferons une présentation du *pedagogical content knowledge* et du concept de transformation.

2.2.2 Le *pedagogical content knowledge* (PCK) et la transformation

Dans la prochaine section processus de transformation, nous présenterons le courant de recherches appelé *pedagogical content knowledge*. Ensuite, nous présenterons le modèle de la transformation de Shulman (1987), modèle issu des travaux portant sur le PCK.

2.2.2.1 Le PCK

Les travaux de Shulman (1986, 1987) sont à l'origine du concept de *pedagogical content knowledge*. Depuis ce temps, une multitude d'écrits et de recherches en lien avec le PCK ont été publiés. Une requête réalisée en mars 2019 avec Google Scholar en utilisant les descripteurs « pedagogical content knowledge » et en filtrant les écrits publiés après 2018 a donné plus de 18000 résultats.

Shulman (1987) distinguait, à l'époque, trois catégories de connaissances afin de décrire les savoirs développés par les enseignants relativement aux contenus d'enseignement : a) la connaissance disciplinaire du contenu (*subject matter content knowledge*), b) la connaissance pédagogique du contenu³ (*pedagogical content knowledge*), et c) la connaissance du curriculum (*curricular knowledge*) (Shulman, 1986).

La connaissance pédagogique du contenu, qui présente un intérêt particulier, inclut, selon Shulman, (1987), les connaissances des représentations utiles pour l'enseignement d'un contenu spécifique et celles de ce qui rend facile ou difficile l'apprentissage d'un certain contenu par les étudiants.

Depuis ce temps, plusieurs autres chercheurs ont tenté de définir ce type particulier de connaissance et d'en déterminer ses composantes (Abell, 2007; Berry, Friedrichsen et

³ Bien que plusieurs expressions telles que « connaissance des contenus pédagogiques » (Amade-Escot, 2000), « savoir pédagogique de la matière » (Malo, 2000) et « savoir didactique » (Alexandre, 2013) aient aussi été utilisées pour traduire le concept de « *pedagogical content knowledge* », nous avons fait le choix d'utiliser « connaissance pédagogique du contenu » pour le désigner.

Loughran, 2015; Gess-Newsome, 2015; Grossman, 1990; Magnusson, Krajcik et Borko, 1999; Neumann, Kind et Harms, 2018; Park et Oliver, 2008). Bien que les auteurs n'incluent pas exactement les mêmes types de connaissances dans le PCK, la majorité d'entre eux s'entendent pour y inclure deux types de connaissances, soit les connaissances relatives aux stratégies d'enseignement et les connaissances relatives aux compréhensions des étudiants (*student understanding*) (Park et Oliver, 2008).

À la suite d'une rencontre tenue en 2012 réunissant de nombreux chercheurs internationaux s'intéressant au PCK, une définition ainsi qu'un modèle consensuel ont été élaborés pour situer le concept de PCK. Dans cette nouvelle définition, le PCK inclut non seulement les connaissances pour la planification de l'enseignement d'un sujet particulier à des étudiants particuliers avec des objectifs particuliers, mais est aussi impliqué lors de l'enseignement lui-même.

- La connaissance, et les raisonnements qui la sous-tendent, ainsi que la planification nécessaire à l'enseignement d'un sujet particulier d'une manière particulière en vue d'un objectif particulier pour des étudiants particuliers afin que ceux-ci obtiennent de meilleurs résultats d'apprentissage (Réflexion sur l'action, explicite) ;
- L'acte d'enseigner un sujet particulier d'une manière particulière en vue d'un objectif particulier pour des étudiants particuliers afin que ceux-ci obtiennent de meilleurs résultats d'apprentissage (Réflexion dans l'action, tacite ou explicite) (Gess-Newsome, 2015, p. 36, traduction libre).

Ce modèle élaboré pour expliquer le PCK (Figure 8), qui prend en compte les modèles précédents, inclut des connaissances professionnelles pour l'enseignant qui sont influencées et qui influencent d'autres connaissances professionnelles liées à un contenu disciplinaire spécifique (les connaissances liées aux stratégies pédagogiques et aux formes de représentation du contenu, par exemple). Ces connaissances passeraient à travers certains filtres ou amplificateurs tels que les croyances des enseignants avant d'être transformées lors de la pratique en classe influencée par son contexte (où le PCK entre en jeu). Enfin, d'autres filtres et amplificateurs liés aux étudiants agiteraient sur les résultats des étudiants.

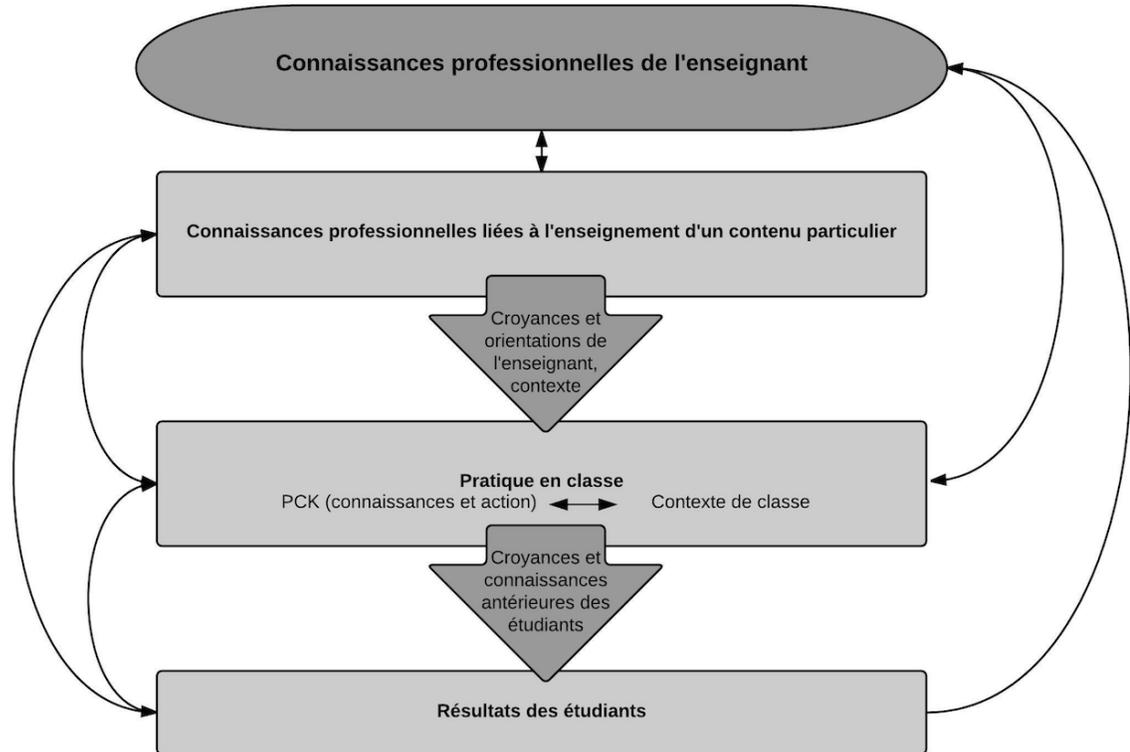


Figure 8. Modèle consensuel des connaissances professionnelles de l'enseignant (incluant le PCK) (Gess-Newsome, 2015).

Ce modèle consensuel a été retravaillé lors d'une deuxième rencontre tenue en 2016 réunissant des spécialistes du PCK (Carlson et Daehler, 2019). Ce dernier modèle, illustré à la Figure 9, décrit les « couches » complexes de connaissances et d'expériences qui façonnent les pratiques des enseignants de sciences et qui, par le fait même, ont un impact sur l'apprentissage des étudiants. Dans ce modèle, on identifie trois domaines distincts de la connaissance pédagogique du contenu : la PCK collective (*collective PCK*, cPCK), la PCK personnelle (*personal PCK*, pPCK) et la PCK dans l'action (*enacted PCK*, ePCK). La PCK collective correspond aux connaissances professionnelles spécialisées pour l'enseignement des sciences partagées par un ensemble de personnes (enseignants, chercheurs et autres professionnels de l'éducation) dans un domaine donné. La PCK personnelle correspond aux connaissances professionnelles personnelles détenues par un enseignant seul. Enfin, la PCK dans l'action est le sous-ensemble unique de connaissances sur lequel l'enseignant s'appuie pour engager un raisonnement pédagogique lors de la planification, de l'enseignement et de la réflexion sur son

action. Les contributions de plusieurs personnes (enseignants, étudiants, pairs et autres) sont nécessaires au développement de ces couches de PCK. Ces ensembles de connaissances sont mobilisés dans les pratiques et ont de l'impact sur les résultats des étudiants. Le modèle reconnaît que la base de connaissances professionnelles plus large (par exemple, la connaissance des contenus, les connaissances pédagogiques) est fondamentale pour les enseignants de sciences et que le contexte (par exemple, les programmes, les valeurs de la communauté et les caractéristiques de l'élève) influence l'enseignement et l'apprentissage. Enfin, des échanges de connaissances bidirectionnels ont lieu entre les divers cercles du modèle tout au long du parcours professionnel des enseignants.

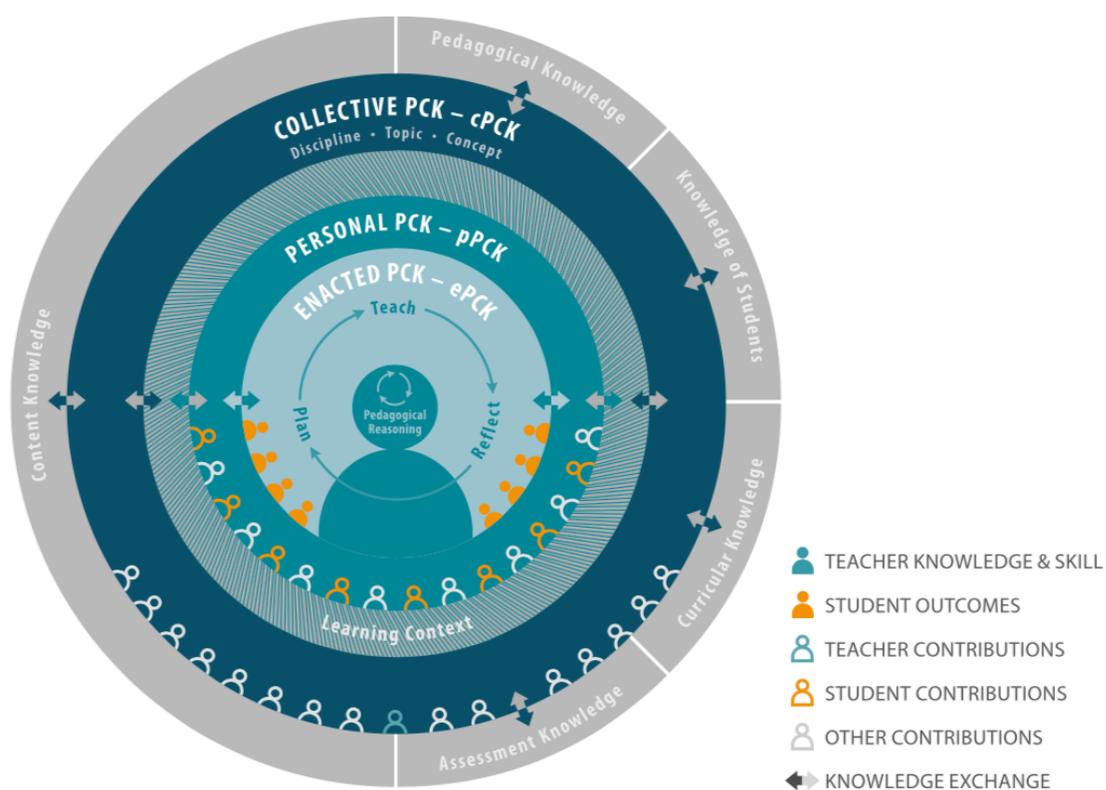


Figure 9. Représentation du Modèle Consensuel Raffiné du PCK (*Refined Consensus Model (RCM)*) (Carlson et Daehler, 2019).

Depuis, un grand nombre de recherches et d'écrits ont porté sur ces deux derniers modèles (Carlson et coll., 2019; Carlson et Daehler, 2019; Chan et Hume, 2019; Chan, Rollnick et Gess-Newsome, 2019; Liepertz et Borowski, 2018; Neumann et coll., 2018; Park, 2019; Park

et Suh, 2019). Ces écrits visent, entre autres, à faire une analyse du modèle consensuel en lien avec les modèles précédents, à trouver des façons de « capturer » ces connaissances ou à présenter des résultats de recherche où l'un de ces modèles a été mobilisé.

Maintenant que nous avons amené différentes visions de ce que pouvait être le PCK, nous présenterons un modèle pour la transformation des savoirs par les enseignants en considérant le fait que cette transformation serait réalisée grâce à la connaissance pédagogique du contenu que possèdent les enseignants.

2.2.2.2 La transformation des savoirs

Compte tenu du fait que l'objectif général de la recherche vise, entre autres, à décrire les pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques, nous nous intéresserons tout particulièrement au processus de transformation. Certains chercheurs ont d'ailleurs étudié le PCK en se penchant spécifiquement sur ce processus de transformation des connaissances en vue de leur enseignement (Geddis, 1993; Geddis, Onslow, Beynon et Oesch, 1993; Geddis et Wood, 1997; Mavhunga, 2016; Sánchez et Llinares, 2003; Shulman, 1987; Van Driel, Verloop et DeVos, 1998). Pour ces auteurs, la connaissance pédagogique du contenu serait mobilisée lors de la transformation des savoirs.

Shulman (1987) situe la transformation des savoirs des enseignants dans un processus plus large appelé modèle de raisonnement et d'action pédagogique (*model of pedagogical reasoning and action*) impliquant des étapes de compréhension, de transformation, d'enseignement, d'évaluation et de réflexion (Figure 10). Ce modèle prend en compte le défi de l'enseignant de partir de sa propre compréhension d'un sujet pour arriver à l'enseigner efficacement.

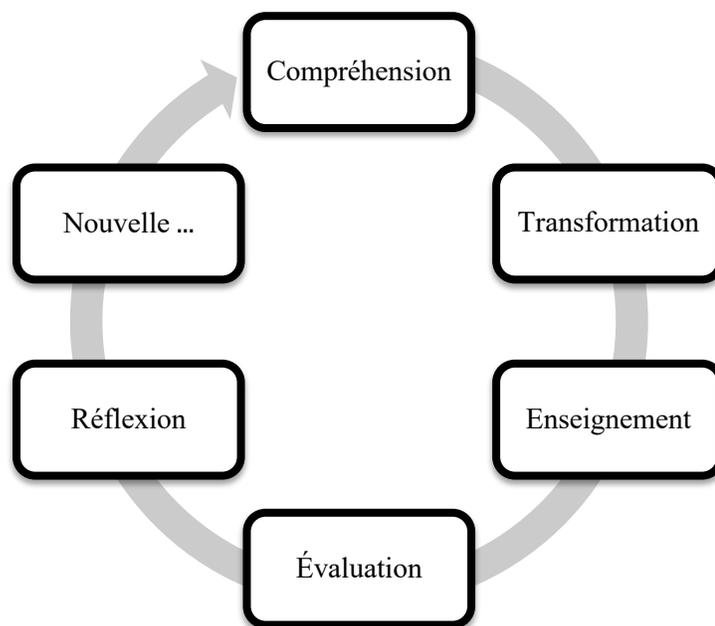


Figure 10. Modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987).
Adapté de (Malo, 2000).

Le processus débute par la compréhension des buts, des notions de la discipline et de l'organisation de ces dernières. Une transformation des notions comprises par l'enseignant dans le but de les enseigner se produit ensuite avant l'enseignement à proprement parler où l'enseignant met en place différentes activités d'enseignement et d'apprentissage. L'évaluation comprend la vérification de la compréhension des étudiants pendant l'enseignement et à la fin d'une leçon ou d'une séquence d'enseignement ainsi que l'évaluation, par l'enseignant, de sa propre performance. L'enseignant procède ensuite à un retour réflexif sur son enseignement. Tout ce processus produit de nouvelles compréhensions des buts de l'enseignement, de la matière, des élèves, de l'enseignement et de soi-même ainsi que de nouveaux savoirs issus de l'expérience.

Ce modèle a été réinvesti dans certaines recherches (Pang, 2016; Pella, 2015) dont celle de Starkey (2010) visant à caractériser le processus de raisonnement et d'action pédagogique d'enseignants à l'ère du numérique (*digital age*). En effet, plusieurs écrits portent sur l'utilisation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987) pour l'étude des connaissances mobilisées dans le contexte de l'intégration pédagogique des

technologies (Harris et Phillips, 2018; Holmberg, Fransson et Fors, 2018; Niess et Gillow-Wiles, 2017; Park et Prommas, 2017; Smart, 2016).

Selon Shulman (1987), la transformation, cette étape où l'enseignant passe de sa compréhension personnelle du contenu et la transforme pour son enseignement, serait la phase la plus importante du processus de raisonnement et d'action pédagogique. Ce processus exige, comme illustré à la Figure 11, la combinaison ou la mise en œuvre des sous-processus suivants :

- 1) la préparation (*preparation*);
- 2) la représentation des notions (*representation*) ;
- 3) la sélection d'une stratégie d'enseignement (*selection*) ;
- 4) l'adaptation de ces représentations aux caractéristiques générales des étudiants et l'adaptation pour un groupe spécifique d'étudiants (*adaptation and tailoring to student characteristics*) (Shulman, 1987).

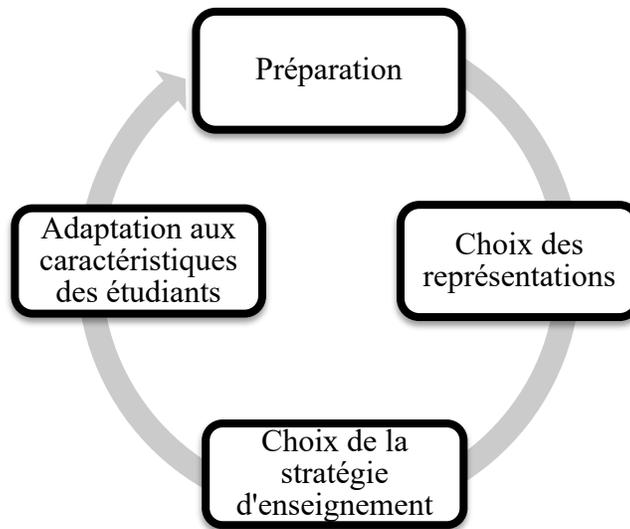


Figure 11. Processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987). Adapté de Malo (2000).

Dans les prochaines lignes, nous décrirons chacune des étapes du processus de transformation en considérant les travaux de Shulman (1987) et les recherches qui ont suivi.

2.2.2.2.1 Préparation

Selon Shulman (1987), la préparation, aussi appelée interprétation critique, implique que l'enseignant fasse un examen critique du matériel d'enseignement (*teaching material*) disponible avec la compréhension qu'il a de la matière à enseigner et. L'enseignant doit alors juger si le contenu de ce matériel est « adapté » pour l'enseignement. La préparation inclut ainsi la détection des erreurs et des oublis dans ces textes et la structuration et la segmentation du matériel en des formes mieux adaptées à la compréhension personnelle de l'enseignant et ainsi, mieux adaptées à l'enseignement de cette matière. Les buts et objectifs de l'enseignement sont aussi scrutés dans ce sous-processus.

Dans le modèle ERTE (Educational Reconstruction for Teacher Education), un modèle développé pour des projets de recherche qui porteraient sur le PCK d'enseignants en sciences, la préparation correspond à l'analyse de l'objet à enseigner et vise à identifier les concepts essentiels et leurs relations en se référant à la littérature scientifique, aux manuels de sciences et aux livres portant sur la philosophie et l'histoire des sciences (van Dijk et Kattmann, 2007). L'identification des concepts essentiels d'une leçon s'intègre donc, selon nous, dans l'étape de préparation.

Chen et Ennis (1995), qui utilisent le terme « interprétation » pour décrire ce processus où les enseignants clarifient et interprètent les connaissances liées au sujet qui doit être enseigné, ont montré qu'il n'est pas suffisant que les enseignants aient de nombreuses connaissances des contenus, mais il faut aussi qu'ils soient en mesure d'identifier les notions les plus importantes en lien avec leur enseignabilité (*teachability*) dans le cadre d'une recherche impliquant trois enseignants expérimentés (14 à 32 ans d'expérience) en éducation physique. Cette recherche de nature interprétative impliquant de l'observation participante, des entrevues, l'évaluation de connaissances importantes sur une liste de concepts donnés (*knowledge importance evaluation*) et des réseaux de concepts réalisés par les enseignants (*the Pathfinder concept mapping*). L'enseignabilité des contenus se refléterait dans les décisions des enseignants d'inclure ou d'exclure ceux-ci (Chen et Ennis, 1995). Selon les résultats de cette recherche, certains contenus « avancés » ne seraient pas enseignés, non pas parce qu'ils ne sont pas importants, mais parce qu'ils sont perçus comme difficiles à enseigner. Et ce jugement de l'enseignabilité des notions

serait basé sur les perceptions qu'ont les enseignants des compétences de leurs étudiants (Chen et Ennis, 1995). Les décisions d'inclure ou d'exclure certains contenus seraient aussi attribuables à la perception qu'ont les enseignants de l'importance de ces contenus (Schmidt, Porter, Floden, Freeman et Schwille, 1987).

En résumé, la préparation implique une interprétation critique du matériel d'enseignement afin de vérifier qu'il n'y a pas d'erreur ou d'omission, afin de structurer les contenus et afin de choisir ceux qui sont essentiels.

2.2.2.2 *Choix des formes de représentation des contenus*

Selon Shulman (1987), le sous-processus de représentation implique que l'enseignant trouve des façons de représenter les concepts clés aux étudiants. On pense à des analogies, des métaphores, des exemples, des démonstrations, des simulations, etc. Il importe, selon lui, que les enseignants développent un vaste répertoire de représentations dans ce sous-processus. Bond-Robinson (2005) utilise le terme « explication transformatrice » (*transforming explanation*) pour décrire une représentation ou une illustration spécifique à une discipline qui prend en compte les conceptions des étudiants. Différents travaux ont porté sur les représentations conçues et/ou utilisées par les enseignants pour l'enseignement (Boesdorfer, 2015; Bond-Robinson, 2005; Oh et Kim, 2013).

Magnusson, Krajcik et Borko (1999) faisaient référence à ces représentations dans la catégorie « stratégies d'enseignement propres à un sujet spécifique » (*topic-specific strategies*). Ces représentations pouvaient être des illustrations, des exemples, des modèles ou des analogies. Selon Treagust (2007), en accord avec la définition du PCK de Shulman, les représentations incluent les modèles, les analogies, les équations, les graphiques, les figures et les simulations qui peuvent aider l'apprenant à comprendre un concept. Elles peuvent prendre différentes formes comme verbale, mathématique, visuelle et opérationnelles dans l'action.

Selon les résultats de Chen et Ennis (1995), les enseignants se construisent un vaste répertoire de formes de représentation des contenus et ces représentations sont personnelles à chaque enseignant malgré que ceux-ci aient une base commune de connaissances des contenus. Les formes de représentation varient donc grandement d'un enseignant à l'autre.

Selon Boesdorfer (2015), les représentations peuvent être très utiles pour l'enseignement de concepts abstraits en chimie. C'est dans cette perspective qu'elle a réalisé une étude de cas avec deux enseignantes de chimie expérimentées afin de voir s'il y avait une relation entre les représentations choisies par ces enseignantes pour l'enseignement de la structure électronique de l'atome et du tableau périodique et les orientations de ces enseignantes pour l'enseignement des sciences. Elle a montré que les choix des représentations utilisées par les enseignants étaient, en effet, influencés par leurs orientations pour l'enseignement des sciences. Par exemple, les orientations pour l'enseignement des sciences de la première enseignante incluaient une conception de l'enseignement et de l'apprentissage plutôt centré sur l'enseignant (*teacher-centered*), ce qui se dégageait dans le choix des représentations utilisées qui étaient davantage des démonstrations directes de contenus faites par l'enseignante et qui ne requéraient pas la participation des étudiants. L'autre enseignante, qui avait une conception de l'enseignement et de l'apprentissage centrée plus sur les étudiants choisissait des représentations générées par l'enseignante, mais centrées surtout sur les étudiants.

Bref, la phase de représentation implique que l'enseignant réfléchisse aux différentes manières de représenter un contenu à enseigner (analogies, exemples, simulations, démonstrations, etc.) et choisisse celles qui permettront de faciliter l'apprentissage de ce contenu.

2.2.2.2.3 *Choix d'une stratégie d'enseignement*

Dans cette phase de la transformation, les formes de représentation choisies par l'enseignant s'incarnent à l'intérieur d'une stratégie d'enseignement à partir d'un répertoire de méthodes d'enseignement connues (Shulman, 1987). Idéalement, ce répertoire se doit d'être riche, en ne se limitant pas aux méthodes d'enseignement conventionnelles, mais devrait inclure d'autres méthodes d'enseignement plutôt centrées sur l'étudiant (Shulman, 1987).

Legendre (2005) définit la stratégie d'enseignement comme un « ensemble d'opérations et de ressources pédagogiques, planifiées par l'éducateur pour un sujet autre que lui-même » (p.1261) et la stratégie pédagogique comme

un plan d'action où la nature et les interrelations des éléments du sujet, de l'objet,

de l'agent et du milieu sont précisées en vue de favoriser les adéquations les plus harmonieuses entre ces quatre composantes d'une situation pédagogique (p.1263).

La mise en œuvre d'une telle stratégie se fait, entre autres, par le biais de méthodes pédagogiques (Legendre, 2005), de méthodes d'enseignement (Prégent, 1990) ou de formules pédagogiques (Chamberland, Lavoie et Marquis, 1995).

Une recherche réalisée par Boz et Boz (2008) visait à étudier les connaissances des enseignants à propos des stratégies d'enseignement pour l'enseignement de la nature particulière de la matière par le biais de vignettes, d'entrevues semi-dirigées et de plans de leçon. Les résultats de cette recherche ont montré que les objets concrets, les animations informatiques et l'enseignement magistral étaient les techniques d'enseignement privilégiées par les futurs enseignants. Plusieurs facteurs tels que la connaissance pédagogique du contenu générale (PCK), la connaissance de la matière et des connaissances sur les difficultés des élèves se sont révélés être à l'origine du choix d'une stratégie d'enseignement.

2.2.2.2.4 Adaptation aux caractéristiques des étudiants

La dernière phase présentée ici correspond à ce que Shulman (1987) désignait par « adaptation » et « tailoring ». Elle vise l'adaptation des représentations en fonction des caractéristiques des étudiants. L'enseignant se questionne afin de voir si des aspects tels que les capacités de ses étudiants, le genre, le langage, la culture, les motivations, les connaissances antérieures affecteront les réactions des étudiants face aux représentations présentées. Il se questionne relativement aux conceptions, aux conceptions erronées ou aux difficultés qui pourraient nuire à la compréhension des concepts. Enfin, l'enseignant adapte sa planification aux caractéristiques précises de son groupe d'étudiants (Shulman, 1987).

Dans une étude réalisée en 2002 avec 12 enseignants stagiaires issus de différents domaines qui suivent un programme de formation à l'enseignement, Halim et Meerah ont trouvé, grâce à des questionnaires et des entrevues, qu'à cause de leur faible connaissance de la matière, ceux-ci étaient peu conscients des conceptions alternatives des étudiants et éprouvaient ainsi des difficultés à utiliser des stratégies appropriées pour l'enseignement des concepts scientifiques.

Bref, la transformation est un processus en quatre étapes qui s’insère dans le modèle d’action et de raisonnement pédagogique de Shulman (1987). Ces étapes sont résumées dans la Figure 12.

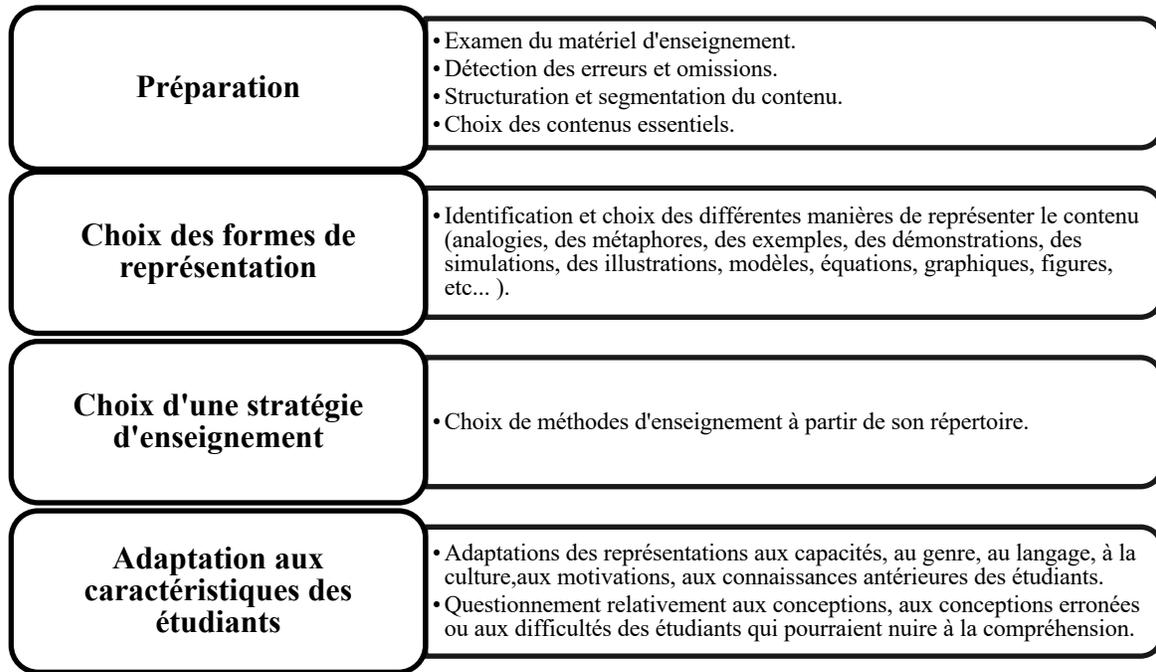


Figure 12. Les phases du processus de transformation. Adapté de Shulman (1987).

Basées sur la conception du PCK de Shulman, des études de cas réalisées par Geddis et ses collaborateurs (1993, 1997) ont montré que certaines connaissances étaient nécessaires pour la transformation des contenus à enseigner (*subject-matter content knowledge*) en des formes plus accessibles aux étudiants. Ces connaissances formant le PCK sont les connaissances des représentations du contenu (exemples, illustrations, métaphores, analogies, modèles, simulations), des « préconceptions » des étudiants (conceptions alternatives), des stratégies d’enseignement efficaces, du matériel d’enseignement disponible et de l’importance du contenu dans le programme (Geddis et Wood, 1997).

Comme énoncé dans le modèle de raisonnement et d’action pédagogique de Shulman (1987), le processus d’enseignement suit la transformation des savoirs. Ainsi, nous avons retenu deux modèles théoriques en lien avec la phase d’enseignement.

2.3 L'enseignement des savoirs scientifiques

Dans le but de comprendre aussi comment se déroule l'enseignement de ces savoirs transformés lors de l'interaction, nous avons consulté certains modèles théoriques qui s'intéressent tout particulièrement aux processus cognitifs des enseignants.

Bien que différents modèles existent pour tenter de décrire les pratiques des enseignants lors de leur intervention, nous avons fait le choix de nous attarder aux travaux de Schön (1994) et à ceux de Wanlin et Crahay (2012). En effet, suivant la perspective théorique cognitiviste que nous avons adoptée, où les pratiques enseignantes englobent, entre autres, les processus cognitifs à l'origine des activités des enseignants, il nous semble pertinent de se référer à des modèles expliquant ces processus.

2.3.1 Réflexion dans l'action et réflexion sur l'action

Schön (1994) met en évidence des formes de pensées qui sont intimement liées à l'action et qui n'apparaissent que dans l'action en soutenant qu'une forme de savoir est « cachée » dans l'action. Il souligne que les professionnels, bien qu'ils aient l'expertise pour poser des actions tout à fait appropriées au contexte, n'arrivent souvent pas à expliciter ces pensées et processus qui demeurent très largement implicites (la pensée ici n'est pas nécessairement conçue comme en mode verbal, mais peut prendre différentes formes comme, par exemple, en musique). Schön ne tranche pas réellement entre la vision selon laquelle ces savoirs résident véritablement dans l'action et l'interprétation cognitiviste qui attribue à l'automatisation de procédures régulièrement appliquées ce passage à une exécution se situant sous le seuil de la conscience. Par ailleurs, il souligne que dans l'exercice professionnel se glisse parfois des moments de réflexion en cours d'action (*reflection-in-action*) lorsque nous pensons à ce que nous faisons en exécutant une tâche et des moments de réflexion sur l'action (*reflection-on-action*) lorsque, dans une perspective post-action, vous réfléchissez par exemple à ce que vous faites habituellement pour arriver à réussir à exécuter si bien une action particulière. Schön précise, par ailleurs, que ces réflexions dans l'action ou sur l'action ont plutôt tendance à se produire lorsqu'une action ne donne pas les résultats que nous avons escomptés.

Suivant les travaux de Schön, Perrenoud (1998a) précise que la réflexion dans l'action consiste à « se demander ce qui se passe ou va se passer, ce qu'on peut faire, ce qu'il faut faire, quelle est la meilleure tactique, quels détours et précautions il faut prendre, quels risques on court, etc. » et ce, au cours de l'action. Appliquée au monde de l'éducation, la réflexion dans le feu de l'« action pédagogique » consiste principalement, selon lui, à l'activité mentale qui a lieu lors de la prise de nombreuses microdécisions en lien, notamment, avec la gestion de classe et avec le déroulement du cours. Perrenoud (1998a) précise toutefois que pour lors d'activités routinisées, comme les routines d'enseignement par exemple, cette activité mentale serait déjà « préfaite » et donc à la limite de la conscience.

À l'instar de Schön, il distingue la réflexion « dans le feu de l'action » de la réflexion sur l'action qui consiste à « prendre sa propre action comme objet de réflexion, soit pour la comparer à un modèle prescriptif, à ce qu'on aurait pu ou dû faire d'autre, à ce qu'un autre praticien aurait fait, soit pour l'expliquer ou en faire la critique. » On fait alors référence à une réflexion « d'après-coup » dans une perspective d'analyse de l'action passée.

Comme Schön, Perrenoud (1998a) précise que la distinction entre ces deux types de réflexion peut toutefois être floue et qu'il y ait, en fait, continuité entre les deux plutôt que contraste. Par exemple, la réflexion dans l'action de la classe pourra être le point de départ d'une réflexion sur l'action subséquente du fait qu'elle laisse l'enseignant avec des questions à propos desquels il réfléchira plus tard. À l'inverse, ces réflexions faites suite à l'action pourront aiguillier l'enseignant à réfléchir plus rapidement dans l'action.

Nous avons retenu un autre modèle théorique qui tente de décrire la pensée des enseignants pendant qu'ils enseignent.

2.3.2 La pensée des enseignants durant l'interaction

Se situant très près de cette perspective de la réflexion « dans le feu de l'action », Wanlin et Crahay (2012) proposent un modèle intégré de la pensée interactive élaboré à la suite d'une recension de la littérature anglophone portant sur la pensée des enseignants (*teacher thinking*) lors de la phase interactive de l'enseignement. La pensée interactive fait référence à la pensée des enseignants pendant l'interaction en classe.

Dans le cadre du courant du *Teacher thinking*, plusieurs auteurs ont tenté de modéliser les processus des décisions prises durant la phase interactive de l'enseignement (Kleven, 1991; Peterson, Marx et Clark, 1978; Shavelson et Stern, 1981, Snow, 1972). Alors que les premiers modèles proposaient, en gros, que les décisions prises durant l'enseignement en classe soient fortement basées sur l'observation du comportement des élèves en lien avec les « seuils de tolérance » des enseignants, dans le cas du modèle de Shavelson et Stern, les décisions prises dépendraient en grande partie des routines d'enseignement établies par les enseignants. Le modèle de Kleven, plus récent que les autres, mettait en évidence des phases impliquées dans le processus de décision.

De nombreuses critiques ont été faites vis-à-vis ces différents modèles décisionnels (Kleven, 1991; Peterson, Marx et Clark, 1978; Shavelson et Stern, 1981). Parmi celles-ci, on dénonce que les premiers modèles décisionnels prenaient la forme d'arbres de décision algorithmiques laissant croire que le fonctionnement de l'enseignant lors de l'interaction serait réduit à une logique binaire (Riff et Durand, 1993; Wanlin et Crahay, 2012). Ensuite, selon Riff et Durand (1993) la métaphore de l'enseignant-décideur serait erronée du fait qu'elle s'attarde uniquement au processus de décision des enseignants sans considérer les autres processus cognitifs en jeu (réflexions, associations, etc.). C'est dans cette perspective que, selon les mêmes auteurs, de tels modèles décisionnels devraient être surtout considérés lors d'incidents exigeant une décision ou dans des situations atypiques. Par ailleurs, puisque plusieurs des processus cognitifs des enseignants ne sont pas conscients, l'utilisation de la technique du rappel stimulé comme moyen pour décrire ces processus a aussi été critiquée (Riff et Durand, 1993). Enfin, ces modèles décisionnels laissent croire que les comportements des élèves sont les seuls indices à la base des décisions des enseignants. On peut s'imaginer que d'autres indices ne se rapportant pas directement aux étudiants pourraient aussi être à la base de certaines décisions en classe, par exemple des indices provenant de l'environnement, le temps, etc. Or, des chercheurs continuent d'étudier les prises de décision des enseignants durant l'enseignement (Santagata et Yeh, 2016; Stahnke, Schueler et Roesken-Winter, 2016).

Le modèle de Wanlin et Crahay (2012) prend en compte plusieurs de ces critiques faites aux modèles décisionnels cognitivistes, et tente de cerner les éléments auxquels pensent les

enseignants quand ils donnent leur cours et les facteurs influençant ces pensées ou cette réflexion. « L'étude de ces éléments de réflexion et des facteurs qui les influencent aboutit quasi inévitablement sur la notion de dilemme qui devient le noyau dur des processus de pensée des enseignants lorsqu'ils enseignent » (p. 9).

Selon ce modèle illustré à la Figure 13, la pensée interactive est influencée par le plan élaboré par l'enseignant et s'articule autour d'un processus intégrant la perception d'indices (relatifs à l'enseignant, aux étudiants ou à des facteurs contextuels), le jugement de ces indices et enfin une décision et l'adoption d'un comportement.

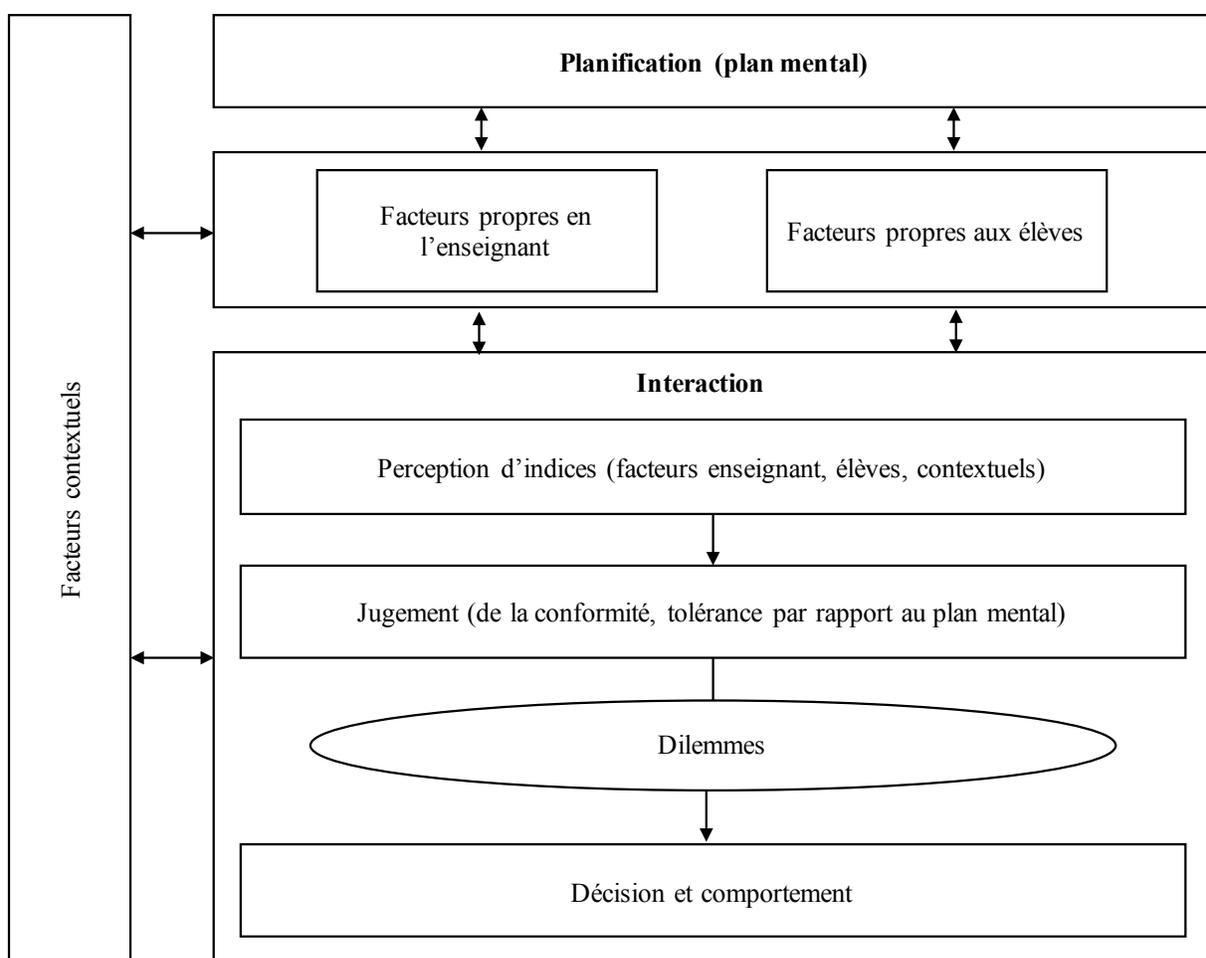


Figure 13. Un modèle intégré de la pensée interactive des enseignants. Adapté de Wanlin et Crahay (2012).

Dans ce modèle, le plan élaboré lors de la planification de l'enseignement est le point de départ puisque, selon la littérature cognitiviste portant sur le sujet, les activités planifiées sont l'unité de traitement de base de l'enseignement et les réflexions en cours d'enseignement leur sont subordonnées (Wanlin et Crahay, 2012). Selon notre propre expérience professionnelle dans l'enseignement de la chimie au collégial au sein de différents cégeps (plus de 15 ans), l'utilisation d'une forme quelconque de plan est la norme dans le milieu.

Ce plan peut prendre la forme d'images mentales, d'un script de la leçon à exécuter, de notes manuscrites ou électroniques, etc. Selon ce modèle, la réflexion en cours d'interaction (pendant la phase interactive du cours) consisterait principalement à se questionner quant à la poursuite de l'application de ce plan. Lors de l'enseignement, l'enseignant prélèverait des indices en lien avec le déroulement du cours comme, par exemple, la compréhension des élèves et leur participation. Ces indices relèvent de facteurs liés aux étudiants, à l'enseignant (Wanlin, Laflotte et Crahay, sous presse) ainsi qu'au contexte dans lequel se déroule l'enseignement. Ces indices peuvent donner lieu à des constats d'imprévus ou des dilemmes que l'enseignant devra gérer. L'enseignant jugera alors à quel point les indices perçus dépassent ses « seuils de tolérance » et prendra une décision qui pourra donner lieu à différents comportements.

Nous avons choisi de nous référer à ce modèle, bien qu'il ne soit pas validé empiriquement, pour différentes raisons. En premier lieu, celui-ci ne se présente pas comme un algorithme décisionnel rigide contrairement aux principaux modèles décisionnels précédents et s'intéresse au processus par lequel un indice perçu finit par donner lieu à une décision en classe. Ensuite, ce modèle rend plus fidèlement compte de la complexité du processus en considérant que les indices perçus à la base des décisions interactives peuvent être liés non seulement aux comportements des étudiants, mais aussi à des facteurs propres à l'enseignant (ses connaissances et ses croyances) ou à des facteurs contextuels. Les éléments du contexte et de l'environnement influençant les pensées et décisions des enseignants sont donc pris en compte, un peu comme dans les modèles de la cognition située (Casalfiore, 2000). Nous croyons en effet que les pratiques enseignantes sont fortement influencées par le contexte dans lequel elles s'inscrivent et donc, que celui aura un impact sur ce que l'enseignant décidera lors de l'intervention.

Par ailleurs, notre choix est aussi fait en fonction de sa cohérence avec notre objectif de recherche qui consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation de savoirs scientifiques lors de la planification et pour leur enseignement. Ainsi, nous ne souhaitons pas étudier l'activité des enseignants pendant l'interaction en détail, mais plutôt voir comment s'incarne ce qui a été planifié dans le contexte de la classe en nous intéressant particulièrement aux changements apportés au plan original dans la phase interactive de l'enseignement. En effet, ce modèle est particulièrement utile pour l'analyse des événements dérogeant du plan, soit des incidents ou des imprévus.

2.4 Les savoirs appris par les étudiants

Différents termes sont utilisés selon les auteurs pour décrire les idées, les connaissances que possèdent les étudiants en lien avec les apprentissages à faire. Selon Reuter et ses collaborateurs (2013), les représentations désignent les connaissances mobilisées par un étudiant face à une question ou à une thématique qui a fait l'objet d'un enseignement ou non. Ce concept présuppose donc que les étudiants n'arrivent pas à l'école la « tête vide » et qu'ils ont déjà certaines connaissances à propos des concepts à apprendre. Giordan et de Vecchi (1987) utilisent, pour leur part, le terme conception pour nommer ces idées déjà-là, ces « structures d'accueil » que les étudiants ont. C'est ce terme que nous utiliserons pour désigner les idées, les connaissances antérieures, les façons de comprendre la structure atomique des étudiants.

En lien avec ces conceptions, rappelons que de nombreuses recherches ont porté sur les conceptions alternatives (ou erronées) des étudiants depuis les 30 dernières années (Driver et Easley, 1978; Duit, 1991; Duit, Treagust et Widodo, 2008; Gabel, 1999; Taber, 2001). Plus récemment, plusieurs travaux ont porté sur les conceptions des étudiants de sciences (Cormier, 2014b; Kidron, 2018; Lebrun et De Hosson, 2017; Parmentier, Lamine et Bonnafé, 2015; Queloz, Hafen et Köhler, 2018; Taber, 2018). Selon Duit et ses collaborateurs (2008), les premières recherches portant sur les conceptions alternatives des étudiants reposaient sur deux perspectives théoriques. La première perspective est liée aux idées cognitivistes d'Ausubel (1968) voulant que facteur le plus important pour l'apprentissage soit ce que l'étudiant sait déjà sur le sujet, et que cela devrait donc être pris en compte lors de l'enseignement. La deuxième

perspective repose sur la théorie constructiviste de Piaget relativement à l'interaction entre l'assimilation et l'accommodation (Duit et coll., 2008). Selon la perspective constructiviste, l'assimilation réfère au processus par lequel un individu intègre les informations d'une expérience à ses schèmes existants alors que l'accommodation consiste en la modification des schèmes existants pour les adapter selon les besoins. Ces processus mènent à l'équilibration (Vienneau, 2011). Bref, les recherches réalisées selon les perspectives cognitiviste et socioconstructiviste démontrent que les connaissances antérieures jouent un rôle important dans la cognition (Ausubel, 2000; Pintrich, Marx et Boyle, 1993) et se montrent particulièrement persistantes (Tardif, 1992).

Dans un autre ordre d'idées, les niveaux de formulation consistent en différents énoncés (ou formulations) qui peuvent être produits pour un même concept lors de la mise en texte d'un savoir (Astolfi et coll., 2008; Reuter et coll., 2013). La prise en compte des apprenants constituerait une première facette de cette notion (Astolfi et coll., 2008). Selon Reuter et ses collaborateurs (2013), les apprentissages des étudiants « sont intimement liés à leurs états de connaissances préalables, c'est-à-dire, souvent, à leurs représentations » (p. 140). L'apprentissage ne consisterait pas seulement à la mémorisation mécanique de contenus, mais serait plutôt une réorganisation de savoirs souvent déjà connus (Astolfi et coll., 2008).

De la même façon, les étudiants pourront formuler des énoncés afin d'expliquer un concept scientifique selon différents niveaux liés à leur compréhension globale d'un concept. De cette façon, il nous semble pertinent d'utiliser la notion de niveaux de formulation afin de catégoriser les façons dont les étudiants conçoivent la structure de l'atome au début et à la fin de leur cours de chimie générale et de déterminer si un changement a eu lieu.

Ainsi, il nous semble ainsi pertinent d'utiliser la notion de niveaux de formulation afin de tenter de mettre en évidence les conceptions (exactes et erronées) qu'entretiennent les étudiants à l'égard de la structure de l'atome tant au début de leur cours de chimie générale qu'à la fin et de voir si un changement de celles-ci a eu lieu.

Park et ses collaborateurs (2006, 2009) ont établi différents niveaux de formulation pour la structure atomique dans un projet qui visait à étudier les perceptions des étudiants pour

cet objet et l'apprentissage de celui-ci (par l'analyse du développement conceptuel représenté dans des modèles mentaux). Le Tableau 2 présente ces niveaux de formulation de la structure atomique par les étudiants ainsi que les modèles scientifiques auxquels ils réfèrent. Il importe de spécifier que ces niveaux augmentent en complexité et en précision.

Tableau 2

Niveaux de formulation de la structure atomique

Niveaux de formulation		Modèle scientifique
1a	L'étudiant conçoit l'atome comme une particule.	Modèle particulaire
1b	L'étudiant distingue les atomes des molécules.	
2	L'étudiant conçoit que l'atome est composé de protons, de neutrons et d'électrons.	Modèle nucléaire
3	L'étudiant conçoit l'existence d'un noyau composé de protons et de neutrons au centre de l'atome et que les électrons entourent le noyau.	
4	L'étudiant conçoit les orbites en faisant quelques références aux forces (gravité, fortes, faibles, forces électrostatiques).	
5a	L'étudiant conçoit les orbites des différents niveaux comme des trajectoires circulaires des électrons.	Modèle de Bohr
5b	L'étudiant conçoit les orbites des différents niveaux comme des trajectoires de différentes formes pour l'électron.	
6	L'étudiant conçoit l'atome en utilisant le modèle de Bohr et différencie les niveaux d'énergie à l'aide de la quantification de l'énergie.	
7	L'étudiant ne décrit plus l'électron comme étant sur une trajectoire déterminée, mais plutôt dans une certaine région (ou des électrons dans une orbitale).	Modèle probabiliste
8	L'étudiant décrit l'électron comme étant dans une région de façon cohérente avec le concept de probabilité en lien avec le principe d'incertitude.	
9a	L'étudiant décrit différentes formes d'orbitales (mais les différentes formes ne sont pas représentées de façon superposée).	
9b	L'étudiant décrit différentes formes d'orbitales (et les différentes formes sont représentées de façon superposée).	
10	L'étudiant décrit les concepts principaux de la mécanique ondulatoire (probabilité, fonction d'onde, quantification de l'énergie, etc.) et la conception moderne de l'atome en considérant la dualité onde-particule de l'électron. Il explique les concepts de probabilité et d'orbitale avec la théorie quantique et les intègre dans la structure atomique.	

Adapté de Park (2006, 2009)

2.5 Une synthèse du cadre théorique

Notre recherche s'ancre, en grande partie, dans l'approche théorique cognitiviste. Selon Durand, Ria et Veyrunes (2010), les recherches issues de cette approche

ont mis en évidence chez les enseignants des formes de décisions inattendues [...] et des connaissances distinctes et spécifiques aux enseignants, soit les connaissances du contenu pédagogique (*pedagogical content knowledge*). Elles présentaient l'intérêt d'aborder la question des contenus et des savoirs enseignés en lien avec la cognition des enseignants et proposaient des possibilités d'articulation avec le courant didactique (p. 18).

En effet, en ce qui concerne la connaissance pédagogique du contenu et la transformation des savoirs pour l'enseignement, bien que Shulman (1986, 1987) ne soit pas vraiment clair quant aux théories sur lesquelles il se fonde pour son concept de *pedagogical content knowledge*, Gess-Newsome (2015) fait valoir que le PCK a pris racine dans des théories cognitivistes.

Ensuite, comme nous considérons que les pratiques enseignantes dépassent la sphère de l'observable et incluent ce qui se passe dans la tête de l'enseignant, nous nous sommes référés à deux cadres s'intéressant à la réflexion faite pendant l'enseignement soit la réflexion dans l'action (Schön, 1994) et un modèle intégré de la pensée interactive (Wanlin et Crahay, 2012) issu des travaux cognitivistes sur la prise de décision en classe.

Nos choix théoriques ont été faits dans la perspective d'opérationnaliser nos objectifs de recherche, notamment en guidant et en structurant les analyses à venir. Dans l'ensemble, nous avons aussi voulu nous assurer d'une cohérence dans l'alignement théorique des différents cadres utilisés dans notre recherche. Conscients des limites associées aux recherches inspirées de cette approche, nous nous sommes intéressés aux processus cognitifs des enseignants en donnant une grande importance aux contextes dans lesquels ceux-ci s'opéraient.

Voyons maintenant les différents concepts et modèles à partir desquels déboucheront nos objectifs spécifiques et notre méthodologie de recherche.

D'abord, les pratiques enseignantes sont influencées par le contexte dans lequel elles s'inscrivent. Elles concernent les actions des enseignants autant dans la classe que hors de la classe et elles englobent aussi les processus cognitifs à l'origine de ces activités.

Par ailleurs, plusieurs auteurs s'entendent sur le fait que les savoirs issus de la recherche et les pratiques issues des milieux de travail et de la société subissent des transformations pour leur enseignement et leur apprentissage par les étudiants (Chevallard, 1991; Perrenoud, 1998b; Shulman, 1987). Nous avons décrit les concepts clés de la didactique des sciences et de la transposition didactique avant de décrire ceux liés au *pedagogical content knowledge* et à la transformation. La transposition didactique de Chevallard (1991) et la transformation de Shulman (1987) diffèrent dans la nature du regard porté sur ces changements que subissent les savoirs. Alors que dans le modèle la transformation s'intéresse spécifiquement au processus de transformation pédagogique des savoirs mis en œuvre par les enseignants, la transposition didactique veut plutôt mettre en évidence les écarts entre les savoirs et les pratiques ayant cours dans la société et les savoirs enseignés. Selon ce dernier modèle, lors de la transposition didactique interne, les enseignants gèrent l'avancement des savoirs dans le temps (chronogénèse) et définissent les rôles de chacun dans la construction des savoirs (topogénèse). Ainsi, l'enseignant doit réaffirmer l'équilibre ancien/nouveau des savoirs en introduisant constamment de nouveaux savoirs apprêtés pour l'enseignement.

En considérant nos objectifs, nous avons fait le choix d'étudier les pratiques enseignantes de transformation des savoirs à l'aide du modèle de transformation de Shulman (1987) en tenant compte des travaux subséquents. Pour ce qui est de l'enseignement des savoirs transformés, considérant notre posture théorique, nous avons emprunté le concept de réflexion dans l'action à Schön (1994) et nous nous sommes référés au modèle intégré de la pensée interactive de (Wanlin et Crahay, 2012), qui, tout en demeurant dans une perspective cognitiviste, prend en compte plusieurs des critiques adressées aux modèles décisionnels cognitivistes. Ce modèle conserve l'idée que dans la phase interactive de l'enseignement, les enseignants procèdent à partir d'un plan (qui peut être plus ou moins élaboré) et doivent prendre une série de décisions quant à la poursuite ou l'adaptation de ce plan suite à la perception d'indices pouvant provenir des élèves, du contexte, mais aussi de perceptions relatives à eux-

mêmes. Enfin, nous avons fait le choix de nous référer à la notion de niveaux de formulation en lien avec les différentes conceptions qu'entretiennent les étudiants à l'égard de la structure de l'atome.

2.6 Les objectifs spécifiques de la recherche

Les constats relevés dans la section problématique en lien avec les défis que doivent relever les enseignants de chimie dans le contexte de l'approche par compétences ainsi que les éléments découlant des différents concepts et modèles exposés dans le cadre théorique nous ont amené à formuler trois objectifs spécifiques pour notre recherche. Rappelons que l'objectif général de la recherche est de mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation des savoirs et d'enseignement de contenus scientifiques en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Les objectifs spécifiques de cette recherche sont, **pour la séquence d'enseignement-apprentissage relative au modèle probabiliste de l'atome du cours « chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature :**

1. Décrire et comprendre les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification.
2. Analyser et comprendre les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe.
3. Décrire et comprendre comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants.

3 Méthodologie

Dans ce chapitre, nous justifierons nos choix méthodologiques dans l'objectif de mieux comprendre les pratiques de transformation de savoirs scientifiques lors de la planification et d'enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants (qui se manifestent par le changement de leurs conceptions). Nous expliquerons d'abord le choix d'une approche qualitative de type étude de cas. Par la suite, nous discuterons de la sélection des participants, des techniques utilisées pour collecter les données et de la démarche d'analyse de ces données. Nous exposerons, en dernier lieu, les critères de rigueur de la recherche, les forces et limites de la méthodologie ainsi que mesures adoptées pour le respect des normes éthiques.

3.1 Le type de recherche

Les différents choix méthodologiques que nous avons effectués pour cette étude sont guidés par le paradigme interprétatif. Celui-ci « se fonde sur le postulat que la réalité sociale est multiple et qu'elle se construit sur les perceptions individuelles, qui peuvent changer avec le temps » (Fortin, 2010). Ainsi, de cette posture épistémologique interprétative découle le choix d'une approche méthodologique de type qualitative.

L'étude multicas est le type de recherche retenu. Ce choix se justifie par le fait que celle-ci permet d'étudier en profondeur un phénomène en contexte naturel (Karsenti et Demers, 2011). Ce phénomène concernera des enseignants de chimie du collégial ainsi que leurs groupes d'étudiants. En lien avec le résultat final attendu, notre étude de cas est descriptive puisque les cas seront présentés de façon détaillée et que la mise à l'épreuve de modèles découlera de ces descriptions (Karsenti et Demers, 2011). Merriam (1988) décrit les caractéristiques d'un problème de recherche propres à l'étude de cas : « s'intéresse au « pourquoi » et au « comment » d'un phénomène, découle de la pratique, de l'expérience personnelle ou d'une recension des écrits et peut être de nature du concept, de l'action, de la valeur » (p. 239). Notre problème de recherche, qui concerne le manque dans la somme de connaissances touchant les pratiques des enseignants de chimie du collégial pour la transformation des savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome et leur enseignement, partage plusieurs de ces caractéristiques. Nous nous sommes

intéressé, en effet, aux façons de faire des enseignants ainsi qu'à leurs justifications en considérant le contexte de leur pratique et l'expérience qu'ils ont acquise.

3.2 La sélection des participants

Six enseignants ont été sélectionnés pour la recherche, ainsi que les étudiants d'un groupe-cours par enseignant pour le cours « chimie générale : la matière » (pour un total de 163 étudiants). De plus, nous avons sélectionné quelques étudiants de ces groupes pour de courtes entrevues vers la fin du processus de collecte de données. Nous n'avons pas prévu solliciter un très grand nombre de participants puisque la recherche qualitative ne vise pas à obtenir un échantillon représentatif comme le veut la recherche quantitative, mais s'intéresse plutôt aux expériences des participants, ceux-ci étant choisis en fonction de la pertinence de leur expérience en lien avec l'objectif de la recherche.

Les enseignants ont été recrutés via un courriel présentant la recherche envoyé par la chercheuse. Les enseignants avaient le choix de participer ou non à la recherche. Il en est de même pour les étudiants qui avaient la possibilité de ne pas participer à la recherche sans être pénalisés pour le cours. Les mesures prises pour respecter les normes éthiques seront présentées à la section 3.7.

La sélection des enseignants participants a été faite avec un échantillonnage par choix raisonné aussi appelé échantillonnage intentionnel. Ce type d'échantillonnage, propre à la recherche qualitative, « consiste à choisir les éléments de la population sur la base de critères particuliers, afin que les éléments soient représentatifs du phénomène à l'étude » (Fortin, 2010, p. 240). Dans notre cas particulier, nous avons opté pour un échantillonnage homogène qui consiste à « choisir un échantillon de cas similaires, afin de permettre une étude en profondeur du groupe représenté par l'échantillon » (Fortin, 2010, p. 240). Dans l'échantillonnage par choix raisonné en boule de neige, on commence par repérer quelques individus en se basant sur nos *a priori* concernant les caractéristiques des individus de l'échantillon puis, « on y joint ceux qui sont en relation avec eux (selon le principe « qui se ressemble s'assemble ») » (Van der Maren, 1996, p. 322).

Les enseignants participants sélectionnés étaient donc des hommes et des femmes qui donnaient le cours « chimie générale : la matière » du programme de Sciences de la nature et qui avaient suffisamment d'expérience en enseignement (au moins cinq ans) et suffisamment d'expérience avec le cours (en ayant donné ce cours à trois reprises au minimum) pour avoir réfléchi à plusieurs reprises aux objets de la présente étude. Ils ont été sélectionnés, de plus, parce qu'ils ont suivi une formation créditée en pédagogie ou parce qu'ils sont reconnus dans leur milieu pour leur intérêt envers la pédagogie. Les participants provenaient de différents collèges, ce qui nous a permis d'obtenir une diversité des milieux et des cultures malgré l'homogénéité des cas. La Figure 14 résume ces différents critères de sélection.

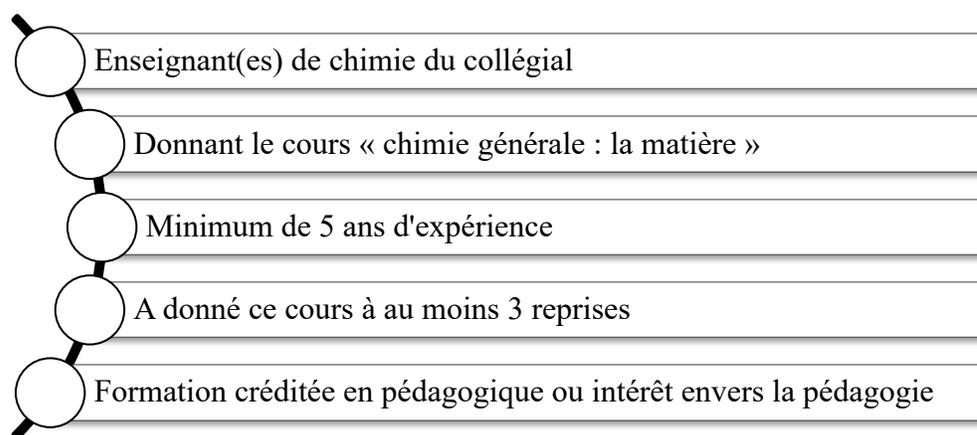


Figure 14. Critères de sélection pour le choix des enseignants qui participeront à la recherche

Les autres participants sont les étudiants des groupes des enseignants sélectionnés qui ont accepté de participer à la recherche. Le seul critère est donc qu'ils soient inscrits au cours « chimie générale : la matière » avec l'enseignant participant.

3.3 Les outils de collecte de données

Nous avons fait appel à différentes techniques de collecte afin d'atteindre l'objectif de notre recherche qui consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes pour la transformation des savoirs et pour l'enseignement de certains contenus scientifiques en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Pour tenter de recueillir les pratiques enseignantes pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous avons procédé à des entrevues individuelles semi-dirigées (Savoie-Zajc, 2011) et nous recueillerons le matériel didactique élaboré (Savoie-Zajc, 2011) par les enseignants.

Après avoir procédé à l'enregistrement vidéo de la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome, nous avons réalisé des entrevues de rappel stimulé (Tochon, 1996) afin de mettre en évidence les délibérations des enseignants au moment où ils dérogent de leur plan lors de l'interaction.

Pour l'étude du changement des conceptions des étudiants, nous leur avons demandé de réaliser des schémas de comment ils s'imaginent un atome et de rédiger une explication de ce schéma. Enfin, nous avons réalisé certaines entrevues semi-dirigées avec quelques étudiants pour lequel un changement avait été observé dans la façon de s'imaginer l'atome afin de mettre en évidence certaines pratiques enseignantes pouvant favoriser ce changement.

Le Tableau 3 présente les outils de collecte de données utilisés en lien avec les variables principales de la recherche et les objectifs spécifiques décrits plus tôt. Une justification du choix de chacun de ces outils se retrouve tout de suite après ce tableau.

Tableau 3

Outils de collecte de données utilisés pour les différentes variables de la recherche

Outils de collecte de données Variables de la recherche et liens avec les objectifs spécifiques	Entrevues semi-dirigées	Enregistrement vidéo	Cueillette du matériel did.	Entrevues rappel stimulé	Schéma initial expliqué	Schéma final expliqué	Entrevues semi-dirigées
	Enseignants (n=6)			Étudiants (n=163) (n=10)			
Pratiques pour la préparation des contenus à enseigner lors de la planification (obj. 1 et 3)	X		X				
Pratiques pour l'élaboration de la stratégie d'enseignement (choix des représentations et méthodes d'enseignement) lors de la planification (obj. 1 et 3)	X		X				
Pratiques pour l'adaptation aux caractéristiques des étudiants lors de la planification (obj. 1 et 3)	X		X				
Pratiques en lien avec les contenus enseignés lors de l'enseignement (obj. 2 et 3)		X	X	X			
Pratiques en lien avec la stratégie d'enseignement utilisée (représentations et méthodes d'enseignement) lors de l'enseignement (obj. 2 et 3)		X	X	X			
Pratiques d'adaptation aux caractéristiques des étudiants lors de l'enseignement (obj. 2 et 3)		X	X	X			
Savoirs appris chez les étudiants (obj. 3)					X	X	
Pratiques enseignantes favorisant le changement des conceptions des étudiants (obj. 3)	X			X			X

3.3.1 Entrevues individuelles semi-dirigées réalisées avec les enseignants (entrevues de planification) et des étudiants

L'entrevue semi-dirigée est la technique de collecte de données qui a été utilisée pour recueillir les pratiques de chaque enseignant sélectionné en ce qui a trait à la préparation des

contenus à enseigner (interprétation personnelle des contenus et choix), à la planification de la stratégie d'enseignement (avec le choix de façons de représenter les contenus et de méthodes d'enseignement spécifiques) et pour les adaptations aux caractéristiques des étudiants en vue de l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome. Ces entretiens ont duré approximativement 45 minutes.

L'entretien semi-dirigé peut être définie comme « une interaction verbale entre des personnes qui s'engagent volontairement dans pareille relation afin de partager un savoir d'expertise, et ce, pour mieux dégager conjointement une compréhension d'un phénomène d'intérêt pour les personnes en présence » (Savoie-Zajc, 2009a, citée dans Savoie-Zajc, 2011, p. 132).

Plusieurs raisons peuvent justifier le choix de l'entretien dans le contexte d'une recherche de nature qualitative. (Jean Poupart, 1997) évoquent ces trois motifs :

L'entretien de type qualitatif serait nécessaire parce qu'une exploration en profondeur de la perspective des acteurs sociaux est jugée indispensable à une juste appréhension et compréhension des conduites sociales. [...] l'entretien de type qualitatif apparaît nécessaire parce qu'il ouvrirait la porte à une compréhension et à une connaissance de l'intérieur des dilemmes et des enjeux auxquels font face les acteurs sociaux. [...] l'entretien de type qualitatif s'imposerait parmi les « outils d'information » susceptibles d'éclairer les réalités sociales, mais, surtout, comme instrument privilégié d'accès à l'expérience des acteurs. (p. 174)

De ce point de vue, les acteurs sont vus comme les meilleures personnes pour parler en détail de leur expérience et pour expliquer leurs comportements. Le choix de l'entretien est donc cohérent avec l'objectif général de notre recherche, mais aussi avec l'objectif spécifique qui consiste à décrire et à expliquer les pratiques déclarées des enseignants pour les différentes phases de la transformation de leurs savoirs disciplinaires en savoirs qui seront appris par les étudiants. En effet, selon (Marcel, Olry, Rothier-bautzer et Sonntag, 2002), l'entretien s'avère un instrument de collecte pertinent pour recueillir des pratiques déclarées.

Nos entretiens semi-dirigés ont été réalisés à partir d'une grille d'entretien réunissant, ces grands thèmes tirés du cadre théorique de la recherche : la préparation des contenus à enseigner, les modes de représentations et méthodes d'enseignement prévus ainsi que les

conceptions et difficultés des étudiants (annexe 1). Lors de l'entrevue, les enseignants ont eu à décrire tout ce qu'ils avaient planifié pour leur leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome (dualité de l'électron, nombres quantiques, taille et forme des orbitales) et de justifier en détail ces choix. La validité relative au contenu de la grille d'entrevue a été vérifiée grâce au jugement d'experts. En effet, la grille d'entrevue a été validée par un professeur en psychopédagogie et par un enseignant en chimie au collégial qui n'a pas participé à la recherche. Les propos recueillis lors des entrevues ont été enregistrés en format audio et transcrits. Les transcriptions en verbatim ont été analysées par la suite.

Nous sommes toutefois conscients que certaines limites sont inhérentes à l'utilisation de l'entrevue. Une première limite qu'il importe de souligner concerne l'utilisation du langage qui constitue le matériel premier d'une technique de collecte de données telle que l'entrevue (Savoie-Zajc, 2011). Celui-ci devient, à cet effet, un filtre tant pour la personne interviewée qui tente d'exprimer le mieux possible son point de vue, que pour le chercheur qui tente de comprendre les propos émis (Savoie-Zajc, 2011). La proximité de la chercheuse, qui est elle-même enseignante en chimie au collégial, partage une proximité avec le groupe étudié peut être vu un avantage, mais aussi comme un biais. Cette proximité peut favoriser, selon Poupart (1997), une meilleure compréhension du groupe étudié, mais peut aussi empêcher le chercheur de prendre les distances requises pour certaines remises en question.

Enfin, il importe de souligner le biais lié à désirabilité sociale faisant que les réponses de l'interviewé pourraient être enjolivées par le répondant qui souhaiterait ainsi rendre service ou être bien vu (Savoie-Zajc, 2011). Bien qu'elle puisse comporter différents biais, l'entrevue demeure, selon nous, un très bon moyen d'accéder à l'autre, à ses points de vue, ses pensées, ses expériences. Il reste que cette technique permet au chercheur d'accéder seulement aux pratiques déclarées de l'enseignant. Ce dispositif méthodologique doit donc être jumelé à d'autres sources notamment quand l'objectif de la recherche concerne l'étude de pratiques enseignantes puisque les verbalisations à elles seules ne peuvent être considérées comme le reflet exact des pratiques (Bru, 2002).

Considérant que les pratiques déclarées obtenues à partir du discours sur la pratique ne permettent pas d'appréhender la complexité des pratiques en classe (Maubant, 2007), nous

avons opté pour une deuxième source de données, soit l'enregistrement vidéo de la séquence de cours qui nous intéresse et le visionnement de celui-ci lors d'une entrevue de rappel stimulé. Cela devrait nous permettre d'avoir une meilleure compréhension des pratiques enseignantes bien que nous sachions pertinemment que « la pratique elle-même, au sens où elle se définit comme l'activité effective réalisée par l'enseignant, n'est jamais pleinement accessible à l'analyse, ni d'ailleurs à l'observation » (Maubant, 2007).

À la fin du processus de collecte de données, des entrevues semi-dirigées ont aussi été réalisées avec dix étudiants provenant des groupes-classes des enseignants participants. Lors de cette entrevue d'une durée d'une vingtaine de minutes, l'étudiant était appelé, dans un premier temps, à clarifier sa conception de la structure d'un atome (à partir de son schéma) et était invité, dans un deuxième temps, à expliquer à la chercheuse les différentes choses que son enseignant a pu dire, faire ou lui faire faire ainsi que les choses qu'il lui-même faites qui ont favorisé le changement de sa façon de concevoir un atome (annexe 4). En d'autres mots, nous avons tenté d'identifier les formes de représentations, activités, moyens ou méthodes d'enseignement qui ont été les plus « efficaces » du point de vue des étudiants.

3.3.2 Enregistrements vidéo de la séquence de cours et entrevues de rappel stimulé réalisées avec les enseignants

Un enregistrement vidéo de la séquence du cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome a été fait dans un groupe-cours de chaque enseignant participant. Ces enregistrements avaient une durée variable selon le temps que l'enseignant avait prévu pour l'enseignement de cette leçon. De façon générale, les leçons avaient une durée d'environ trois heures. Ces enregistrements ont par la suite été visionnés par chaque enseignant en présence de la chercheuse dans le cadre d'une entrevue de rappel stimulé (Tochon, 1996).

Les techniques de verbalisation de l'action sont intéressantes considérant les limites de l'observation du comportement (Forget, 2013). L'entretien d'explicitation (Vermersch, 1996), l'entretien d'autoconfrontation (Theureau, 2010) et le rappel stimulé (Tochon, 1996) sont des

exemples de ces techniques visant à mieux comprendre les points de vue de l'acteur en cours d'action pour l'étude des pratiques et des activités (Forget, 2013).

Nous avons ainsi choisi d'utiliser le rappel stimulé, l'une de ces techniques de verbalisation de l'action, plutôt que de seulement recourir à des observations en classe. Tochon (1996) définit le rappel stimulé comme suit :

Le rappel stimulé est une méthodologie structurée qui utilise la rétroaction vidéo pour expliciter les processus mentaux interactifs (cognitifs et métacognitifs) et les catégoriser de manière objective. Les verbalisations provoquées sont considérées comme des verbalisations rétrospectives pointées par des indices visuels et verbaux dans la mémoire à long terme (p. 477).

Une entrevue impliquant chaque enseignant participant et la chercheuse a été réalisée très rapidement après la prestation (24 à 48 heures maximum), entrevue impliquant le visionnement de l'enregistrement du cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome. Une consigne a préalablement été lue de sorte que les enseignants comprennent bien qu'ils devaient tenter d'expliquer ce qu'ils avaient en tête à différents moments de leur enseignement (Annexe 2). La chercheuse avait préalablement sélectionné quelques extraits précis à visionner, mais les enseignants ont aussi commenté d'autres extraits pertinents.

Ce choix nous a permis de reconstituer certains processus mentaux des enseignants qui ont eu cours pendant leur enseignement. L'entrevue de rappel stimulé a été particulièrement intéressante, entre autres, pour mettre en évidence comment les enseignants réagissent aux imprévus qui peuvent survenir compte tenu de la planification réalisée préalablement. Les participants ont alors eu l'occasion de verbaliser certaines des cognitions à l'origine de leurs réactions afin de les justifier.

3.3.3 Cueillette du matériel didactique élaboré par les enseignants

Une collecte du matériel didactique élaboré par l'enseignant a été effectuée dans le cadre de la recherche. On fait référence, par exemple, à des plans de leçon, notes de cours et/ou présentations PowerPoint. Les enseignants participants ont été invités à consulter ces documents qu'ils utilisent pour préparer et enseigner la section du cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome lors de l'entrevue semi-dirigée et ensuite à les remettre à la chercheuse.

Le matériel didactique utilisé par un enseignant (manuel scolaire, matériel préparé par l'enseignant, autre matériel destiné aux étudiants) constitue un des éléments de la situation d'enseignement – apprentissage (Margolinas et Wozniak, 2009). En effet, les choix faits à cet égard ont un impact sur les pratiques enseignantes. Le matériel pédagogique élaboré par les enseignants constitue du matériel écrit au sens de Savoie-Zajc (2011). Selon cette autrice, ce type de matériel est extrêmement riche et précieux pour la recherche en éducation. Il forme des données invoquées, c'est-à-dire du matériel antérieur à la recherche (Van der Maren, 1996). Certaines recherches ont utilisé du matériel didactique comme outil pour collecter des données, dont celles d'Alexandre (2013) et de Paquette (2005) par exemple. Dans notre cas, ce matériel a servi de support pour l'analyse des données issues des entrevues de planification et de rappel stimulé, mais n'a pas l'objet d'une analyse de contenu à proprement parler.

3.3.4 Schémas expliqués réalisés par les étudiants

Les étudiants ont eu à réaliser un schéma illustrant comment ils s'imaginent un atome d'azote (avec une explication écrite) avant et après la séquence d'enseignement portant sur le modèle probabiliste de l'atome (annexe 3). Ce type d'outil de collecte de données constitue du matériel écrit au sens de Savoie-Zajc (2011). La technique utilisée pour l'analyse s'apparente à la technique du rappel libre (Grave, Schmidt et Boshuizen, 2001) qui permet de recueillir des propositions, c'est-à-dire des explications et descriptions de concepts théoriques appris par les étudiants. La création d'un schéma devait faciliter l'élaboration de propositions. L'objectif des schémas n'est pas de dresser une liste de conceptions alternatives entretenues par les étudiants à l'égard des modèles atomiques, mais plutôt d'avoir une image relativement complète de comment chaque étudiant conçoit un atome à un moment donné.

Ozden (2009) a utilisé le dessin comme technique de recherche pour connaître l'état des connaissances et les conceptions alternatives d'étudiants en enseignement à l'égard des atomes et des molécules. La représentation est une technique souvent utilisée dans la recherche pour aller chercher la compréhension des étudiants et/ou les conceptions alternatives en regard de l'atome (Cokelez, 2012; Cokelez et Dumon, 2005; Unal et Zollman, 1999). Park (2006,2009) a, pour sa part, utilisé le dessin comme technique, en combinaison avec d'autres, afin de faire

ressortir les modèles mentaux des étudiants selon les niveaux de formulation dans la perspective d'étudier la progression des apprentissages.

3.4 Analyse des données

Cette section permet de décrire les différentes analyses qualitatives qui ont été faites sur les données recueillies lors des entrevues portant sur la planification avec les enseignants, lors des entrevues de rappel stimulé, lors de la rédaction des schémas expliqués par les étudiants et lors des quelques entrevues réalisées avec des étudiants.

3.4.1 Analyse qualitative des entrevues

L'analyse qualitative du contenu des différentes entrevues réalisées avec les enseignants a été faite en suivant le modèle interactif d'analyse de données de Miles et Huberman (2003) en combinaison avec les méthodes suggérées par Van Der Maren (1996). Le modèle interactif d'analyse de données de Miles et Huberman (2003) comprend trois composantes, soit la condensation des données, la présentation des données et l'élaboration et la vérification des conclusions. Le logiciel QDA Miner a été utilisé pour nous aider dans le processus d'analyse qualitative des données des entrevues.

La première phase du modèle, la condensation des données, se définit comme « l'ensemble des processus de sélection, centration, simplification, abstraction et transformation des données « brutes » figurant dans les transcriptions des notes de terrain » (Miles et Huberman, 2003, p. 29). Cette étape vise donc à réduire les données brutes issues de la collecte de données afin de leur donner du sens. Pour faciliter le codage, une synthèse structurée des propos recueillis sera d'abord rédigée après chacune des entrevues à partir des transcriptions. Ces synthèses seront une première tentative d'appropriation des propos en vue de la codification et des analyses subséquentes. Ensuite, nous procéderons à la codification du matériel en apposant un code à chaque partie significative du matériel. Les codes sont des mots ou expressions qui servent d'étiquette aux différentes parties de matériel recueillies lors la recherche (Van der Maren, 1996). Nous ferons un codage mixte (Van der Maren, 1996). Suivant ce type de codage, une liste de codes sera établie à partir du cadre théorique et cette liste sera

complétée au cours de l'analyse. Nous nous sommes inspirés des phases du codage décrites par Van Der Maren (1996) pour réaliser la codification. Les prochains points résument les étapes suivies.

1. Relecture du cadre théorique pour l'établissement des premiers thèmes qui se retrouveront dans l'arbre de codes.
2. Lecture du premier verbatim et identification de codes qui seront ajoutés à l'arbre de codes.
3. Épuration du verbatim, découpage en unités de sens et attribution de codes aux unités de sens.
4. Codage de la deuxième entrevue (étapes 2 et 3) et modification de l'arbre de codes.
5. Retour au codage de la première entrevue avec l'arbre de codes modifié.
6. Contre-codage de ces deux entrevues et modification de l'arbre de codes s'il y a lieu.
7. Codage de la troisième entrevue (étapes 2 et 3) et modification de l'arbre de codes.
8. Contre-codage de la troisième entrevue (étapes 2 et 3).
9. Calcul de l'accord interjuge.
10. Retour au codage des premières entrevues avec l'arbre de code final.
11. Codage des trois autres entrevues.

La présentation des données, la deuxième composante du modèle interactif d'analyse des données qualitatives de Miles et Huberman (2003), se définit comme l'organisation des informations recueillies en vue de « tirer des conclusions et passer à l'action » (Miles et Huberman, 2003, p. 29). Comme suggéré par les auteurs, nous avons eu recours à différents formats pour présenter les données : texte narratif, figures et tableaux.

L'activité analytique se conclut, selon ce modèle, par l'élaboration et la vérification des conclusions ou l'interprétation. Cette dernière phase est caractérisée par le dégagement de sens des données via les régularités, les patterns, les explications, les configurations possibles, les flux de causalité et les propositions, mais aussi par la vérification de ces significations (Miles et Huberman, 2003). Pour la vérification de ces dernières, nous avons opté pour la triangulation des sources de données qui consiste à utiliser plusieurs méthodes, notamment, afin de pallier les limites de chaque outil pris séparément (Savoie-Zajc, 2011).

Rappelons que le matériel didactique produit par les enseignants que nous aurons recueilli n'a pas fait l'objet d'une analyse qualitative à proprement parler, mais a servi de support pour l'analyse des données issues des entretiens de planification et de rappel stimulé.

Les entretiens individuelles semi-dirigés réalisés avec les étudiants ont été analysés qualitativement selon les principes de l'analyse thématique de Paillé et Muchielli (2016). Ce type d'analyse nous est apparu comme pertinent pour le corpus de données relativement restreint constitué par les entretiens menés avec les étudiants. Dans l'analyse thématique (Paillé et Muchielli, 2016), « la thématique constitue l'opération centrale de la méthode, à savoir la transposition du corpus donné en un certain nombre de thèmes représentatifs du contenu analysé, et ce, en rapport avec l'orientation de recherche » (p. 236). Nous avons donc repéré un ensemble de thèmes à l'écoute des enregistrements des entretiens et dressé un arbre thématique les rassemblant. Nous avons ensuite procédé à l'examen de ces thèmes pour faire ressortir les plus importants en considérant les objectifs de la recherche.

3.4.2 Analyse qualitative des schémas réalisés par les étudiants

Les schémas réalisés par les étudiants ont aussi été analysés de manière qualitative avec l'aide du logiciel QDA Miner. En utilisant le terme « schémas », nous faisons référence aux dessins que les étudiants auront faits pour illustrer leur façon de s'imaginer un atome, mais aussi aux phrases qu'ils auront écrites afin d'expliquer leur schéma.

Une collecte préliminaire de schémas a été effectuée dans un groupe d'étudiants de la chercheuse afin de planifier l'analyse avec QDA Miner. Cette collecte préliminaire nous a permis d'établir un arbre de codes préliminaire et de faire le choix de certaines variables comme la force relative du groupe selon l'enseignant, le modèle scientifique prioritaire illustré par l'étudiant dans chaque schéma, le type de changement observé entre les deux schémas ainsi que les niveaux de formulation de chacun des schémas selon Park et ses collaborateurs (2006, 2009).

Nous avons procédé à un codage mixte et suivi les étapes suivantes :

1. Élaboration d'un arbre de codes à partir des concepts liés aux modèles atomiques et aux difficultés éprouvées par les étudiants recensées dans la littérature.

2. Identification d'« unités de sens » à l'intérieur des dessins des étudiants, mais aussi dans les phrases de leurs explications et codage de celles-ci dans les schémas des étudiants du premier enseignant participant (environ 30 étudiants pour un total de 60 schémas) et ajout de codes à l'arbre de codes.
3. Contre-codage des schémas des étudiants du premier enseignant participant (par un enseignant de chimie ne participant pas à la recherche) et modification de l'arbre de codes.
4. Codage des schémas des étudiants du deuxième enseignant participant (environ 30 étudiants pour un total de 60 schémas) et adaptation de l'arbre de codes.
5. Contre-codage des schémas des étudiants du deuxième enseignant participant et calcul de l'accord interjuge.
6. Retour aux codages des schémas des deux premiers enseignants participants.
7. Codage des schémas des étudiants des autres enseignants participants.

La Figure 15 est une capture d'écran illustrant le codage fait dans QDA Miner (utilisation de variables et de codes) sur un schéma réalisé par un étudiant. Le dessin de l'étudiant et l'explication rédigée pour expliquer le dessin ont été codés par la chercheuse ainsi que par un contre-codeur.

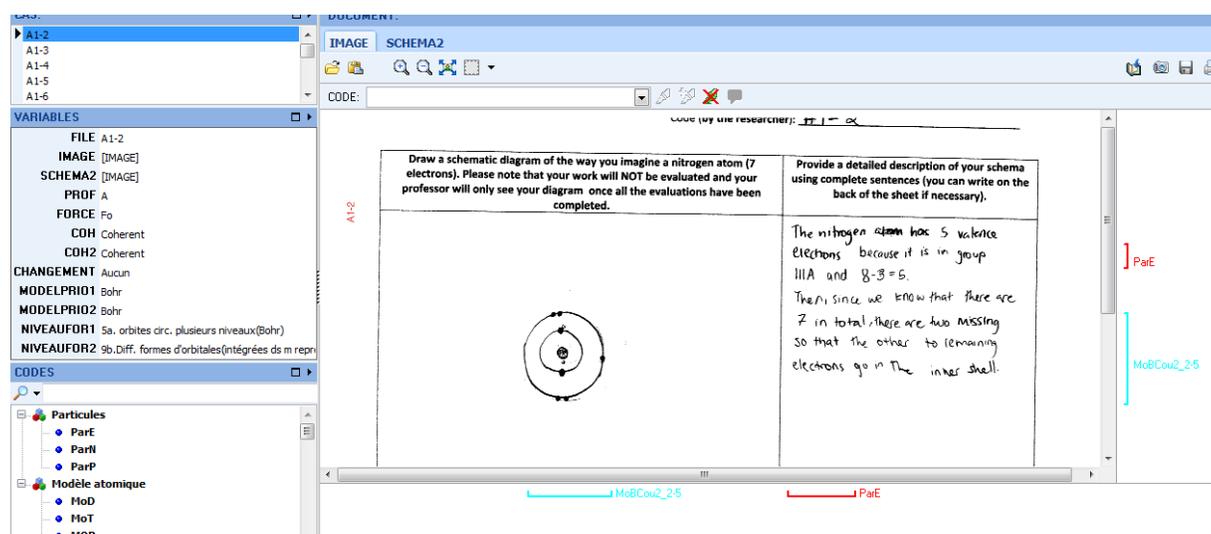


Figure 15. Codage fait dans QDA Miner sur les schémas réalisés par les étudiants.

Suite au codage, nous avons présenté les données relatives à la façon de se représenter un atome des étudiants de chaque enseignant participant et, par la suite, procédé à l'interprétation de ces données.

3.5 Les forces et les limites de la méthodologie

Nous croyons que la principale force de la méthodologie a trait à l'utilisation de nombreux outils de collecte de données permettant la triangulation des données afin de comprendre un objet aussi complexe que les pratiques enseignantes. En effet, la combinaison des différentes techniques que nous avons utilisées nous permet de mieux comprendre certaines pratiques pour la transformation et l'enseignement de savoirs scientifiques abstraits ainsi que le produit des apprentissages réalisés par les étudiants.

La limite principale concerne le choix de l'échantillonnage par choix raisonné qui ne permet pas une généralisation des résultats. Les résultats obtenus démontreront les pratiques de seulement certains enseignants en chimie et ne pourront expliquer les pratiques de l'ensemble de ceux-ci. Cette limite est, toutefois inhérente au choix d'étudier en profondeur, dans leur complexité, un moins grand nombre de participants dans la perspective d'une recherche inspirée du paradigme interprétatif. Les résultats obtenus dans les contextes particuliers qui seront étudiés ne seront donc pas généralisables à proprement parler. Toutefois, plusieurs des éléments des contextes étudiés sont typiques de ceux d'autres enseignants de chimie.

Enfin, nous sommes d'avis qu'une autre limite réside dans le choix de tenter de mettre en évidence les conceptions des étudiants seulement par les schémas expliqués réalisés en classe par les étudiants. La réalisation des schémas expliqués dans le cadre d'entrevues avec la chercheuse aurait permis d'apporter plus d'informations quant aux connaissances élaborées par les étudiants, mais nous ne pourrions malheureusement procéder de la sorte à cause de différentes contraintes telles qu'une contrainte de temps.

3.6 Les critères de rigueur

La rigueur de notre recherche qualitative est assurée par quelques mesures en lien avec certains critères méthodologiques de rigueur (Savoie-Zajc, 2011).

En premier lieu, la combinaison des pratiques observées lors des entrevues de rappel stimulé avec les pratiques déclarées lors des entretiens semi-dirigés permettra la triangulation des données et limite le biais de désirabilité sociale lié à l'utilisation exclusive des pratiques déclarées. Ce moyen assurera le critère méthodologique de crédibilité. Pour Merriam (1988), la triangulation méthodologique peut jumeler des méthodes différentes, comme des entrevues, des observations et des artéfacts pour l'étude d'un même phénomène. On cherche ainsi à combiner plusieurs méthodes afin de combler les failles de chacune.

Ensuite, le contre-codage du corpus avec le calcul de l'accord interjuge est une mesure que nous avons utilisée pour nous assurer de la validité des interprétations liées aux opérations de codage. Ce moyen permet d'assurer le critère de confirmation visant à faire en sorte que les données recueillies sont objectivées grâce à l'utilisation de procédures d'analyse clairement justifiées, bien appliquées et vérifiées (Savoie-Zajc, 2011).

3.7 Les aspects éthiques

Différentes mesures ont été prises afin d'assurer que la recherche soit menée dans le respect des normes éthiques. En premier lieu, nous nous sommes assurés d'obtenir le consentement libre et éclairé des participants. Pour ce faire, nous leur avons fait signer un formulaire d'information et de consentement. Ce formulaire contenait toutes les informations pertinentes relatives à la recherche telles que les objectifs, les critères de choix des participants ainsi que les implications, les avantages et les inconvénients de la participation, le droit de retrait de la recherche et les modalités de diffusion des résultats. Le formulaire assurait aux participants la confidentialité des données recueillies au cours de la recherche. Le formulaire de consentement contenait aussi l'information assurant l'équilibre entre les risques et les avantages potentiels de la recherche. On pouvait y lire qu'il n'y a pas de risque particulier associé à la participation à la recherche et que, comme avantages, la recherche fournissait aux participants

une occasion de réfléchir sur leurs façons de faire pour l'enseignement et l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome en plus de contribuer à l'avancement des connaissances dans ce domaine.

Une demande d'approbation éthique a été faite auprès du Comité plurifacultaire d'éthique de la recherche (CPÉR) de l'Université de Montréal et auprès des différents comités d'éthique des collèges des enseignants recrutés.

Le respect de la vie privée et de la confidentialité des participants a été assuré par des mesures telles que l'utilisation d'un code formé des lettres A, B, C, D, E et F afin d'identifier chacun des six enseignants participants tout le temps de la recherche. Un système semblable a été utilisé pour identifier les schémas des étudiants. L'identité de tous les participants a été maintenue confidentielle. Seule la chercheuse connaissait la correspondance entre le code utilisé et l'identité de la personne qu'il désigne. Aussi, les données de la recherche ont été recueillies dans plusieurs collèges pour, entre autres, s'assurer qu'on ne puisse pas identifier le collègue d'appartenance et l'identité des participants.

Les copies papier recueillies ont été conservées sous clé. Les données numériques telles que les transcriptions des entrevues et les enregistrements vidéo ont été conservées dans l'ordinateur personnel de la chercheuse protégé par un mot de passe. Ces données seront détruites 7 ans après la fin du projet. Avec le consentement des participants, elles pourraient être utilisées dans le cadre de futures recherches plus vastes portant sur le même sujet.

4 La présentation des articles

La thèse doctorale vise à mieux comprendre les pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques et pour leur enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants. Les trois articles proposés sont axés sur la présentation des résultats en fonction des objectifs spécifiques de la recherche : 1) décrire et expliquer les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification, 2) analyser et expliquer les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe et 3) décrire et expliquer comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants. Le Tableau 4 présente les titres des articles, les objectifs de chacun ainsi que la revue ciblée pour la publication. Une description de chacun des trois articles est ensuite présentée.

Tableau 4

Revue ciblées pour les articles de la thèse

Article	Titre	Objectifs de la thèse	Revue ciblées
1	<i>Enseigner pour faciliter l'acquisition de savoirs abstraits en sciences : une étude multicases de la perception de six enseignants par rapport aux transformations qu'ils exercent sur les savoirs durant la planification</i>	Décrire et expliquer les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification.	<i>Formation et profession</i> Cette revue a pour objectif de diffuser des travaux de recherche ainsi que des articles de vulgarisation portant sur les sciences de l'éducation. Elle est l'initiative des chercheurs du Centre de recherche interuniversitaire sur la formation et la profession enseignante (CRIFPE).
2	<i>Pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs abstraits et leur enseignement : analyse de la confrontation entre les pratiques déclarées et les pratiques effectives pour six enseignants de sciences</i>	Analyser et expliquer les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe.	<i>Éducation et francophonie</i> La revue Éducation et francophonie vise à diffuser des résultats de recherche portant sur des thématiques variées en lien avec l'éducation en langue française.
3	<i>Le changement des conceptions des étudiants de sciences du collégial à l'égard de la structure de l'atome en lien avec les pratiques enseignantes : une analyse qualitative</i>	Décrire et expliquer comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants.	<i>Review of Science, Mathematics and ICT education</i> Cette revue est rattachée au Laboratoire de Didactique des Sciences, des Mathématiques et des TIC de l'Université de Patras. Elle présente diverses approches pédagogiques et didactiques et de nombreux articles portant sur les pratiques et les recherches.

Le premier article vise à décrire et expliquer les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification. Il concerne l'enseignement des sciences où les enseignants ont, entre autres, à enseigner des concepts abstraits pour lesquels les étudiants éprouvent des difficultés et rapporte leurs pratiques de transformation des savoirs visant à faciliter l'apprentissage de ces concepts. La recherche a été réalisée dans le cadre d'une étude multicas avec six enseignants de chimie du collégial. Les résultats témoignent d'une diversité dans les pratiques, bien que plusieurs de celles-ci soient partagées par plusieurs enseignants. Ainsi, les enseignants sont confrontés à faire de nombreux choix lors de la préparation des contenus, choix qui sont faits en fonction de prérogatives différentes selon les enseignants. Ils choisissent des formes de représentation des contenus ainsi que des activités d'enseignement et d'apprentissage afin d'illustrer les concepts, mais aussi afin que le maximum de liens soit fait entre eux. Enfin, les enseignants savent comment les étudiants conçoivent l'atome en amorçant le cours et ont développé différents moyens afin de favoriser un changement.

Le deuxième article vise à analyser et expliquer les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe. Il est issu des préoccupations concernant l'enseignement des sciences dans un contexte tel que celui de l'approche par compétences et vise à explorer les pratiques des enseignants pour l'enseignement de savoirs occasionnant des difficultés aux étudiants lors de l'apprentissage. Dans la perspective des travaux de Schön (1994) et de Wanlin et Crahay (2012), nous avons effectué une recherche qualitative impliquant six enseignants de chimie et leurs étudiants. L'analyse qualitative des données montre que pour la majorité des enseignants, la leçon se déroule essentiellement telle qu'elle avait été planifiée bien que certaines décisions soient prises dans l'action par les enseignants à la suite d'indices perçus liés aux étudiants. Ces décisions mèneront à divers comportements. Il arrive que, dans l'action, les enseignants aient à faire face à des dilemmes difficiles à dénouer et qu'ils doivent réfléchir sur le champ quant aux modifications à apporter à leur planification. Enfin, d'autres moments de réflexion ont eu lieu après l'action, moments qui permettent souvent d'adapter leur plan pour les prochaines années.

Le troisième article vise à décrire et expliquer comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants. Il porte sur les savoirs liés à la structure de l'atome, un contenu prescrit du programme collégial Sciences de la nature. Plusieurs recherches montrent que les étudiants éprouvent des difficultés à s'approprier les concepts entourant le modèle atomique accepté aujourd'hui par la communauté scientifique. Il vise à décrire et expliquer comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants. Les pratiques de six enseignants de chimie du collégial ont été étudiées grâce à des entrevues, au recueil de leur matériel didactique et à des entrevues de rappel stimulé où l'enregistrement de leur leçon a été visionné. 163 étudiants de six groupes-classes d'enseignants dans cinq cégeps différents ont dessiné un schéma explicatif représentant comment ils s'imaginaient un atome d'azote, avant et après une leçon portant sur les modèles atomiques. Les résultats montrent que, au départ, la plupart des étudiants conçoivent la structure de l'atome à la manière du modèle de Bohr. Les enseignants sont conscients de la difficulté que représente la modification de ces conceptions et utilisent des stratégies pédagogiques et des formes de représentations destinées à les modifier. En fait, la très grande majorité des étudiants voient leurs conceptions évoluer de manière importante en se représentant l'atome selon les concepts entourant le modèle probabiliste bien qu'ils fassent plusieurs erreurs.

5 Le premier article de la thèse

Enseigner pour faciliter l'acquisition de savoirs abstraits en sciences : une étude multicas de la perception de six enseignants par rapport aux transformations qu'ils exercent sur les savoirs durant la planification

Christine Marquis
Université de Montréal

5.1 Résumé

Cet article vise à décrire et expliquer les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification. Il concerne l'enseignement des sciences où les enseignants ont, entre autres, à enseigner des concepts abstraits pour lesquels les étudiants éprouvent des difficultés. Il rapporte ainsi leurs pratiques de transformation des savoirs visant à faciliter l'apprentissage de ces concepts. Nous avons réalisé une étude multicas avec six enseignants de chimie du collégial. Les résultats témoignent d'une diversité dans les pratiques, bien que plusieurs de celles-ci soient communes à plusieurs enseignants. Ils sont confrontés à faire de nombreux choix lors de la préparation des contenus, choix qui sont faits en fonction de prérogatives différentes selon les enseignants. Ils choisissent des formes de représentation des contenus ainsi que des activités d'enseignement et d'apprentissage afin d'illustrer les concepts, mais aussi afin que le maximum de liens soit fait entre ceux-ci. Enfin, les enseignants savent comment les étudiants conçoivent l'atome en amorçant le cours et ont développé différents moyens afin de favoriser un changement dans leur façon d'imaginer la structure atomique.

5.2 Mots-clés

Pratiques enseignantes, enseignement des sciences, chimie, étude de cas

L'article sera soumis à la revue Formation et profession.

5.3 Introduction

L'enseignement des sciences et des technologies, omniprésentes dans notre société contemporaine, est un enjeu de société important. De ce fait, il est nécessaire de former de futurs travailleurs qui vont œuvrer dans les domaines scientifiques et technologiques, mais aussi de faire en sorte que les citoyens possèdent une culture scientifique de base (« scientific literacy ») qui leur permettra de prendre part aux différents débats de société (Allum et coll., 2018; Conseil de la science et de la technologie, 2004; Espinosa, 2005; Kwok, 2018; Lévy-Leblond, 2014). Or, l'enseignement et l'apprentissage des sciences, et plus spécifiquement de la discipline chimie, comportent leurs lots de défis (Mcfarlane, 2013; Sjøberg, 2002; Windschitl, Thompson et Braaten, 2018). Différentes recherches ont tenté d'expliquer pourquoi les disciplines scientifiques telles que la physique, la chimie et la biologie étaient difficiles à appréhender par les étudiants (Atagana et Engida, 2014; Çimer, 2012; Ornek, Robinson et Haugan, 2008). D'abord, les étudiants éprouvent certaines difficultés lors de l'apprentissage des sciences qui seraient liées, entre autres, à la nature abstraite et théorique des concepts (Duit, 1991; Johnstone, 1991; Legendre, 1994; Marais, 2011; Sirhan, 2007; Taber, 2014). En effet, plusieurs des concepts scientifiques ne peuvent être perçus par les sens et sont plutôt, dans certains cas, des constructions de l'esprit. Ainsi, l'apprentissage de la chimie demande de faire des allers-retours constants entre plusieurs niveaux de représentation, soit les niveaux macroscopiques (les phénomènes que l'on voit), microscopiques (les structures à l'échelle atomique et moléculaire qui tentent d'expliquer les phénomènes visibles) et symboliques (les formules et les équations chimiques) afin d'expliquer les phénomènes à l'étude, ce qui cause des difficultés aux étudiants (Adams, 2012; Gabel, 1999; Gilbert et Treagust, 2009; Johnstone, 1991; Stojanovska et coll., 2017; Talanquer, 2011). Depuis plus d'une trentaine d'années, de nombreuses recherches indiquent que les concepts scientifiques seraient difficiles à apprendre à cause des conceptions erronées que possèdent déjà les étudiants. Celles-ci, qui sont en désaccord avec les théories scientifiques, sont difficiles à changer en étant fortement ancrées dans l'esprit des étudiants (Driver et Easley, 1978; Garnett, Garnett et Hackling, 1995; Gilbert et Watts, 1983; Taber, 2018). Les méthodes utilisées pour l'enseignement des sciences seraient aussi responsables des difficultés entravant l'apprentissage des sciences en ne prenant pas

suffisamment en compte les connaissances antérieures des étudiants (Astolfi et Peterfaivi, 1993; Duit, 1991; Johnstone, 1991; Taber, 2018).

Afin de contextualiser davantage notre recherche, nous avons choisi d'étudier les pratiques enseignantes pour un objet d'enseignement spécifique soit le modèle probabiliste de l'atome. Il importe de préciser qu'au secondaire, les modèles atomiques sont enseignés suivant l'ordre chronologique des découvertes scientifiques qui en sont à l'origine. Le dernier modèle atomique accepté par la communauté scientifique, qui stipule que les électrons sont retrouvés dans des orbitales décrivant des régions de l'atome où la probabilité de trouver un électron est élevée, est un contenu prescrit du programme collégial Sciences de la nature. Or, certaines recherches réalisées dans le cadre de cours préuniversitaires et universitaires montrent que les étudiants conceptualisent souvent la structure de l'atome avec un modèle appris dans le passé où les électrons gravitent sur des orbites de type planétaire même si des modèles plus élaborés leur ont été enseignés par la suite (Taber, 2002). Plusieurs études reconnaissent que l'apprentissage des différents concepts qui sont reliés au modèle probabiliste de l'atome est problématique (Cervellati et Perugini, 1981; Cros et coll., 1986; Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman et van Joolingen, 2017; Mashhadi, 1995; Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Shiland, 1997; Stefani et Tsaparlis, 2009; Taber, 2002; Tsaparlis, 1997, 2013; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis, 2017).

Alors que la littérature portant sur les obstacles à l'apprentissage des concepts de sciences en général et de la chimie est vaste, peu de recherches portent sur les pratiques qu'adoptent réellement les enseignants pour faciliter l'apprentissage des concepts, des modèles ou des théories pour lesquels les étudiants éprouvent des difficultés à apprendre.

5.4 Cadre théorique

Les pratiques enseignantes concernent les actions des enseignants autant dans la classe que hors de la classe et englobent aussi les processus cognitifs à l'origine de ces activités (Altet, 2002, 2003; Altet et Mhereb, 2017). Ces pratiques sont bien sûr influencées par le contexte dans lequel elles s'inscrivent (Reuter, Cohen-Azra, Daunay, Delambre et Lahanier-Reuter, 2013).

Pour le présent article, nous nous sommes intéressé aux pratiques des enseignants pour la transformation de certains savoirs scientifiques en des formes plus faciles à apprendre par les étudiants lors de la planification.

Le modèle théorique utilisé pour étudier les pratiques est issu du courant de recherches américaines portant sur le *pedagogical content knowledge* (PCK). Ce courant s'intéresse aux connaissances des enseignants et a mis en lumière un type de connaissance qui leur est unique, soit la connaissance pédagogique du contenu (PCK) (Shulman, 1986, 1987). Plusieurs chercheurs ont depuis tenté de définir ce type particulier de connaissance et d'en déterminer ses composantes (Abell, 2007; Berry et coll., 2015; Carlson et Daehler, 2019; Gess-Newsome, 2015; Grossman, 1990; Magnusson et coll., 1999; Neumann et coll., 2018; S. Park et Oliver, 2008). Selon Shulman (1987), cette connaissance pédagogique du contenu permettrait aux enseignants, entre autres, d'effectuer des transformations sur les savoirs afin de les rendre plus faciles à apprendre.

Shulman (1987) situe la transformation des savoirs dans un processus plus large appelé modèle de raisonnement et d'action pédagogique (*model of pedagogical reasoning and action*), processus illustré à la Figure 16.

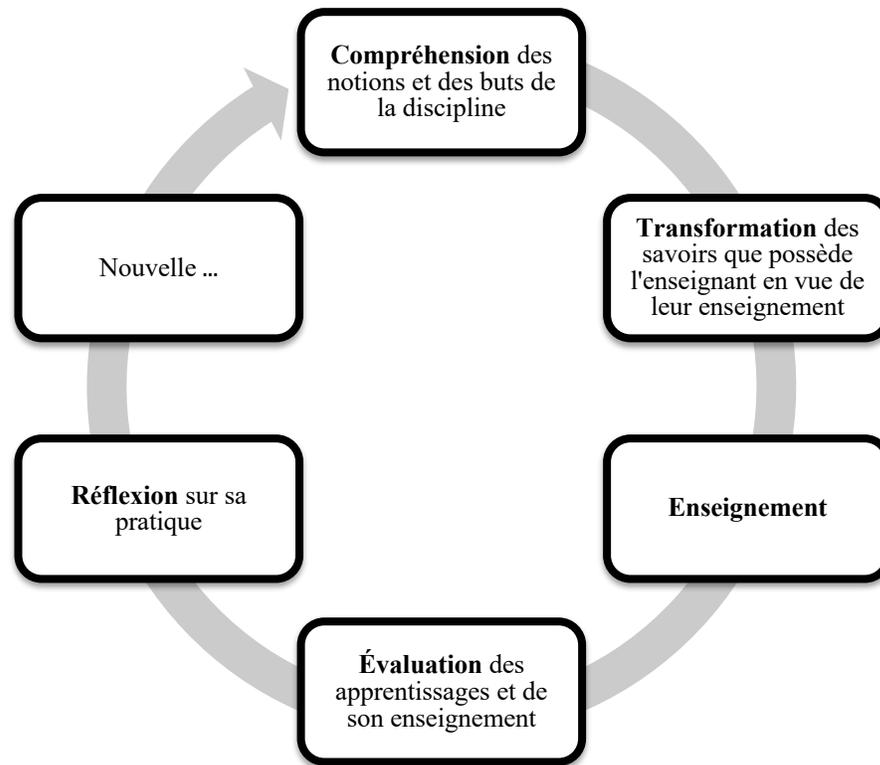


Figure 16. Modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987)

Le processus débute par la compréhension des buts, des notions de la discipline et de l'organisation de ces dernières par l'enseignant. Puis, celui-ci transforme les notions comprises dans le but de les enseigner. C'est ce processus qui est étudié dans la recherche et sera donc décrit plus loin dans le texte. L'enseignant met, ensuite, en place différentes activités d'enseignement et d'apprentissage lors de l'interaction. L'évaluation comprend la vérification de la compréhension des étudiants pendant l'enseignement et à la fin d'une leçon ou d'une séquence d'enseignement ainsi que l'évaluation, par l'enseignant de sa prestation. L'enseignant procède à un retour réflexif sur son enseignement. Tout ce processus engendre chez l'enseignant de nouvelles façons de comprendre les buts de l'enseignement, les notions, les élèves et l'enseignement. Shulman précise qu'il ne s'agit pas d'étapes fixes même si les processus de ce modèle sont présentés en séquence et que certains de ceux-ci peuvent se produire dans un ordre différent.

Selon Shulman (1987), la transformation, cette étape où l'enseignant passe de sa compréhension personnelle du contenu et la transforme pour son enseignement, serait la phase

la plus importante du processus de raisonnement et d'action pédagogique. Elle permet à l'enseignant de transformer ses savoirs dans des formes plus « didactiques » et mieux adaptées aux habiletés et connaissances antérieures variées des étudiants. Ce processus exige, comme illustré à la Figure 17, la mise en œuvre de quatre sous-processus.

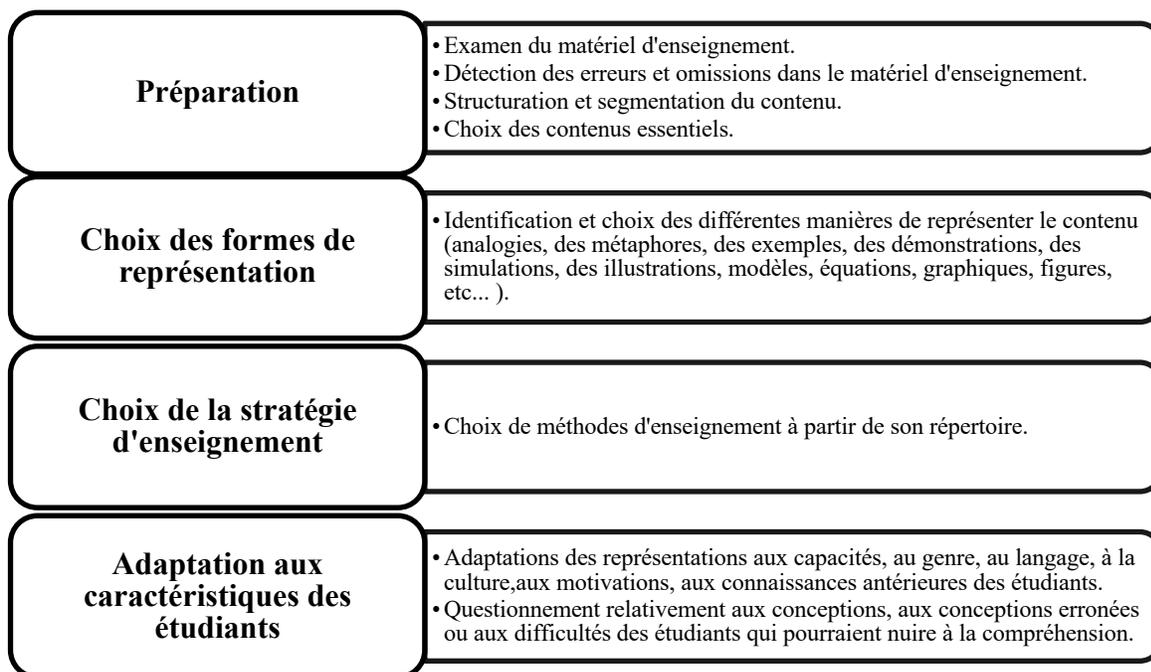


Figure 17. Les phases du processus de transformation (Shulman, 1987)

Nous sommes conscients qu'il y a eu des travaux plus récents portant sur le PCK (Berry et coll., 2015; Carlson et Daehler, 2019; Gess-Newsome, 2015; Neumann et coll., 2018) et sur le processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action de Shulman (1987) (Harris et Phillips, 2018; Holmberg, Fransson et Fors, 2018; Niess et Gillow-Wiles, 2017; Park et Prommas, 2017; Smart, 2016). Nous avons toutefois choisi d'utiliser le modèle de la transformation de Shulman (1987) parce que celui-ci s'intéresse aux processus mis en œuvre lors et suite au développement de ces connaissances.

L'objectif de cet article est d'analyser les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation de savoirs reconnus comme difficiles pour les étudiants.

5.5 Méthodologie

En lien avec l'objectif de notre recherche qui vise à étudier un objet aussi complexe que les pratiques enseignantes, nous avons opté pour une recherche qualitative de type étude multicas relevant d'une posture épistémologique interprétative. L'étude de cas analyse un phénomène en contexte naturel (Karsenti et Demers, 2011), ce qui permet une étude en profondeur d'un phénomène particulier à partir des expériences des participants. Selon (Muchielli, 1996), elle consiste à « rapporter une situation réelle prise dans son contexte et à l'analyser pour voir comment se manifestent et évoluent les phénomènes auxquels le chercheur s'intéresse » (p. 77).

Afin de décrire les pratiques pour la transformation de savoirs scientifiques en vue de leur enseignement, nous avons sélectionné six enseignants de chimie (quatre hommes et deux femmes) provenant de cinq collèges différents. La sélection des enseignants participants a été effectuée avec un échantillonnage par choix raisonné qui consiste à choisir les éléments de la population sur la base de critères particuliers, afin que les éléments soient représentatifs du phénomène à l'étude (Fortin, 2010), méthode d'échantillonnage propre à la recherche qualitative. Nous avons opté pour un échantillonnage homogène qui permet d'étudier en profondeur le groupe représenté par l'échantillon de cas similaires (Fortin, 2010). Les enseignants ont été sélectionnés sur la base de critères précis : avoir au moins cinq ans d'expérience en enseignement, donner le cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature, avoir donné ce cours à au moins trois reprises, avoir suivi une formation en pédagogie (ou être reconnu dans leur milieu pour son intérêt envers la pédagogie). Ils proviennent de différents collèges, ce qui permettait d'avoir accès à une diversité de milieux et de cultures malgré l'homogénéité des cas.

La Figure 18 présente les caractéristiques des six participants alors que la Figure 19 nous éclaire quant aux éléments du contexte entourant les pratiques de ces enseignants.

Yvan

Baccalauréat en chimie, maîtrise et doctorat en chimie organique
5 ans d'expérience
Pas de formation en pédagogie, intérêt, fait partie d'un comité pédagogique
Cours donné 10 fois (3 fois dans la classe active d'apprentissage)

Antoine

Baccalauréat en biochimie et maîtrise en biochimie
Un peu plus de 6 ans d'expérience
Microprogramme en enseignement post-secondaire (15 crédits obtenus)
Cours donné 5 fois

Paul

Baccalauréat en chimie, maîtrise et doctorat en chimie organique
7 ans d'expérience
Formation non créditée de 15 heures offerte par son collègue
Cours donné 5 fois

Geneviève

Baccalauréat en biochimie et maîtrise en biochimie (études doctorales non complétées)
11 ans d'expérience
Programme court de deuxième cycle en pédagogie de l'enseignement supérieur
Cours donné plus de 10 fois

Evelyne

Baccalauréat en biochimie, maîtrise en microbiologie agricole (chimie organique)
13 ans d'expérience
Microprogramme en enseignement post-secondaire (15 crédits obtenus) + cours crédités PERFORMA
Cours donné plus de 10 fois

Philippe

Baccalauréat et maîtrise en chimie
12 ans d'expérience
Diplôme de 2e cycle en enseignement collégial (30 crédits complétés)
Cours donné plus de 10 fois

Figure 18. Caractéristiques des six enseignants participants

Yvan

Étudiants inscrits dans une option « enrichissement » (sélectionnés d'après leurs résultats scolaires)
Cours donné dans une classe d'apprentissage actif
Cours donné à la semaine 8
Groupe fort (selon l'enseignant)

Antoine

Étudiants ne suivant pas le cheminement régulier de la grille de cours, beaucoup effectuent un retour aux études
Cours donné dans une classe régulière
Cours donné à la semaine 7
Groupe faible (selon l'enseignant)

Paul

Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours
Cours donné dans une classe régulière
Cours donné à la semaine 4
Groupe de force moyenne (selon l'enseignant)

Geneviève

Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours
Cours donné dans une classe régulière
Cours donné à la semaine 4
Groupe de force moyenne (selon l'enseignante)

Evelyne

Étudiants ne suivant pas le cheminement régulier de la grille de cours
Cours donné dans une classe régulière
Cours donné à la semaine 4
Groupe moyen-faible (selon l'enseignante)

Philippe

Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours
Cours donné dans une classe régulière
Cours donné à la semaine 4
Groupe de force moyenne (selon l'enseignant)

Figure 19. Éléments du contexte pour les six enseignants participants

Afin de mettre en lumière les pratiques de transformation des savoirs lors de la planification, nous avons réalisé des entrevues semi-dirigées avec les enseignants participants avant la prestation de leur leçon. Suivant un guide d'entrevue, les enseignants étaient invités, entre autres, à décrire ce qu'ils avaient planifié pour la leçon en justifiant leurs choix. Ces entrevues, en parallèle avec le matériel didactique élaboré par chaque enseignant, ont été transcrites en verbatim et ont fait l'objet d'une analyse qualitative.

L'analyse qualitative du corpus de données a été effectuée selon le modèle de Miles et Huberman (2003). Nous avons d'abord condensé les données dans la perspective de les réduire en leur dégageant du sens. Nous avons alors effectué un codage mixte des données (Van der Maren, 1996) à l'aide d'une grille contenant des catégories issues du cadre théorique et des catégories émergentes des données. La chercheuse a codifié une partie du matériel à partir de cette grille de façon à valider et raffiner la grille. Une autre personne a effectué le contre-codage de ces données de façon à calculer l'accord interjuge. Ensuite, l'étape de présentation des données visant à les organiser et à les illustrer par différents moyens a précédé la phase de l'élaboration et de la vérification des conclusions qui a permis l'interprétation des résultats.

5.6 Résultats

L'objectif de la présente recherche était d'analyser les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation de savoirs reconnus comme difficiles pour les étudiants lors de la planification de l'enseignement. Pour cette étude, nous nous sommes concentrés sur les savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome.

Les thèmes retenus pour l'analyse de contenu sont issus du modèle de transformation de Shulman (1987) et émanent des données du corpus. Ces thèmes concernent donc, pour la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome, la préparation des contenus, le choix des formes de représentation des contenus, le choix d'une stratégie d'enseignement et l'adaptation de la planification aux caractéristiques des étudiants. Le Tableau 5 montre les thèmes et sous-thèmes utilisés pour l'analyse de contenu ainsi que leurs fréquences d'apparition dans le discours de chacun des participants (Y = Yvan, A = Antoine, G = Geneviève, É = Évelyne, Ph = Philippe, Pa = Paul). Ces thèmes concernent la transformation des savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome faite par les enseignants lors de la planification de l'enseignement. L'analyse de ces fréquences ainsi que des extraits pertinents nous a permis de décrire chacun des cas de l'étude.

Tableau 5

Fréquences d'apparition des thèmes utilisés lors de l'analyse qualitative des pratiques de transformation des savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome

Thèmes	Fréquences					
	Y	A	G	É	Ph	Pa
Préparation des contenus						
Examen du matériel d'enseignement			1		1	1
Structuration des contenus		2	2			
Simplification des savoirs		1	3		1	
Planification avec place pour improvisation en classe						1
Élaboration de matériel didactique	1	1		2	2	1
Choix des contenus essentiels (facteurs)	5	7	1	3	2	3
Choix des formes de représentation des contenus						
Types de formes de représentation des contenus	12	14	9	12	8	29
Justification des choix						
Intérêts personnels du prof	1					
Attirer attention des étudiants	3	4				
Illustrer	4	3	3	2	1	4
Expliquer	1	1	3	2	3	6
Humour						2
Choix d'une stratégie d'enseignement						
Types d'activités d'enseignement ou d'apprentissage choisies	19	26	11	29	16	19
Justification des choix						
Vérification de la compréhension des étudiants	1	1		3	1	
Faire des liens	3	9	4	2	2	1
Résolution en groupe	1				1	
Pour s'exercer	1	3	1			
Adaptation aux caractéristiques des étudiants						
Connaissances des caractéristiques des étudiants						
Cheminement	3	1				
Difficultés des étudiants	1	4	3	3	1	1
Conceptions des étudiants	5	6	2	1	1	2
Moyens pour connaître les caractéristiques des étudiants						
Présentations au premier cours					1	2
Informellement (classe ou labo)	1					1
Questionnaire		1	1	1	1	
Adaptations faites						
Prise en compte des conceptions alternatives	1	3	2	3	2	2
Conception d'une représentation visant à changer les conceptions						1
Faire dessiner l'atome par les étudiants				1	1	
Exemples choisis selon les intérêts des étudiants		1	2	1		2

Avec le modèle de la transformation de Shulman (1987) comme cadre d'analyse, nous avons décrit les démarches empruntées par les six enseignants participants pour transformer les savoirs à enseigner ainsi que les justifications derrière leurs choix. Nous illustrons chacun des cas à l'aide de 2 ou 3 courts verbatim afin de ne pas trop alourdir le texte. Par la suite, nous présenterons une analyse transversale des cas accompagnée d'éléments de discussion.

5.6.1 Le cas d'Yvan

5.6.1.1 La préparation

La première fois qu'il avait donné le cours, ses collègues lui avaient conseillé d'enseigner tout ce qui se trouvait dans le manuel. Il s'est rendu compte qu'il n'avait pas suffisamment de temps pour couvrir tous ces contenus et qu'il devait choisir ceux qu'il était essentiel d'enseigner. Yvan choisit d'enseigner explicitement en classe des notions pour lesquelles une application (mathématique par exemple) est possible. Ainsi, les notions pour lesquelles les étudiants peuvent faire des exercices ou résoudre des problèmes seront préférées aux notions qui sont davantage conceptuelles. Il choisit aussi d'enseigner explicitement en classe les contenus qui seront nécessaires, selon lui, à la compréhension d'autres concepts qui seront présentés plus tard dans le cours ou dans d'autres cours du programme.

Ce n'est pas que ce n'est pas important, mais de ne pas en parler ne nous empêche pas de continuer. Tandis que si je coupe ou je vais trop vite dans les cases quantiques, ça va leur causer des problèmes après quand on va faire les hybridations, quand on va faire les configurations électroniques, quand on va faire d'autre chose. J'essaie de choisir des choses qui me servent par la suite et qui ont une application directement en classe. [...] Si ce sont des notions qui n'ont pas de répercussion sur le reste, j'ai peut-être tendance à moins mettre d'emphase dessus.

5.6.1.2 Le choix des formes de représentation

Nous avons mis en évidence différentes formes de représentation des contenus utilisées et constaté qu'il privilégie l'analogie, les figures, les représentations tirées d'un film ou d'une émission de télévision et les vidéos. Ces dernières sont en lien avec ses champs d'intérêts personnels pour la télévision, le cinéma et les *comic books*.

Ses choix se justifient aussi par une volonté d'attirer l'attention des étudiants et pour illustrer ou expliquer certains concepts. Il explique que les formes de représentation qu'il conçoit à partir de film et d'émission de télévision n'ont souvent pas un pouvoir explicatif très grand, mais visent plutôt à attirer l'attention des étudiants, car ceux-ci ont beaucoup d'intérêt pour ces émissions.

« J'adore tout ce qui est cinéma, comic book, télévision, ces choses-là. On voit plusieurs images de représentations de l'atome et que ce soit dans des films de fiction, réalistes, des drames, etc., et [...] je trouve ça bien d'amener des précisions face à ce modèle-là. [...]. Donc je vais commencer comme ça pour pouvoir avoir leur attention parce que je pense que beaucoup d'étudiants écoutent Big Bang Theory et qui ont vu les Simpson. »

5.6.1.3 Le choix d'une stratégie d'enseignement

Les explications sous la forme d'exposés magistraux ainsi les exercices (résolus sur les tableaux blancs de la classe d'apprentissage actif) sont les principales activités d'enseignement et d'apprentissage choisies.

Ces choix se justifient par la possibilité de faire des liens. Sa façon de présenter les contenus lui permet de faire des liens entre eux alors que les exercices à faire aident aussi les étudiants à faire eux-mêmes certains liens.

5.6.1.4 L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Yvan n'utilise pas de moyens formels pour connaître les caractéristiques, mais discute plutôt avec ses étudiants lors d'échanges informels au laboratoire, par exemple.

Il a commencé par dire qu'il ne prenait pas vraiment en considération les conceptions entretenues par ses étudiants à cause de la diversité du groupe.

« Pour leur enseigner, je pars de zéro parce que je ne sais pas d'où ils viennent et c'est quand même un groupe de 40 personnes. Donc, c'est aussi bien de partir de zéro. Aussi, même s'ils l'ont vu, même s'ils ont été bons dans l'examen sur ces notions-là, peut-être qu'ils ont oublié. Ça les rassure de revoir ça. »

Il fait néanmoins des liens avec le modèle de Bohr, modèle que les étudiants connaissent bien.

5.6.2 Le cas d'Antoine

5.6.2.1 La préparation

Antoine s'est d'abord basé sur les manuels pour choisir les contenus essentiels de son cours et a constaté que ceux-ci contenaient à peu près les mêmes contenus, décrits dans un ordre assez semblable. Après la consultation de documents tels que le devis et le plan de cours et après avoir discuté avec des collègues, il a choisi d'effectuer certains ajouts, plus personnels, à son cours. Il a préparé du matériel pour ses étudiants, dont une présentation PowerPoint, ce qui lui a permis d'opérer une transformation sur les contenus à enseigner, contenus qu'il a interprétés et simplifiés afin de proposer aux étudiants une deuxième façon de voir les choses.

« En fait, mes PowerPoint reprennent un peu ce qui est dans le livre, mais c'est comme une deuxième façon de le voir... C'est mon interprétation, donc, ça fait comme deux manières différentes de voir : ils peuvent lire dans le livre, puis là c'est expliqué d'une certaine façon, ou moi, j'ai une façon plus raccourcie ou simplifiée de présenter. Tu vas voir que mes PowerPoint n'ont rien à voir avec le livre, ils n'ont rien à voir avec d'autres livres non plus, c'est vraiment fait par moi-même. »

5.6.2.2 Le choix des formes de représentation

Pour représenter les contenus, Antoine a fait appel à des analogies, à des figures, à des équations mathématiques. Plusieurs figures illustrent des expériences scientifiques expliquant d'où viennent les concepts à l'étude.

Bien qu'Antoine n'ait pas eu beaucoup tendance à justifier le choix de ses formes de représentation lors de l'entrevue sur la planification, ses principales justifications étaient de susciter l'intérêt des étudiants et d'expliquer ou d'illustrer.

5.6.2.3 Le choix d'une stratégie d'enseignement

Antoine a choisi différentes activités d'enseignement et d'apprentissage pour sa leçon, soit le rappel, le questionnement, les explications sous la forme d'exposé, les exemples, les exercices (faits individuellement, en équipe ou en groupe) et le résumé.

Le plus souvent, le choix de ses activités d'enseignement et d'apprentissage se justifiait par faire des liens entre les concepts.

5.6.2.4 L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Pour connaître les caractéristiques de ses étudiants, Antoine demande de remplir un questionnaire contenant différentes questions qu'il a lui-même rédigées à partir de marqueurs de la réussite répertoriés dans différentes sources comme, par exemple, le choix vocationnel, les cours faits au secondaire (technosciences ou sciences naturelles), le nombre d'heures consacrées à un emploi ainsi que l'intérêt pour la chimie.

Antoine sait que sa cohorte d'étudiants risque d'éprouver un certain nombre de difficultés, notamment un manque de connaissances préalables, des difficultés dans la compréhension des termes et plusieurs difficultés d'ordre mathématique.

Considérant les conceptions que ses étudiants entretiennent à l'égard de la structure de l'atome, il juge très important de bien leur expliquer que les modèles appris dans le passé ne sont pas faux, mais qu'il est normal, en sciences, que les modèles évoluent, comme c'est le cas pour les modèles atomiques.

« Le début du cours, c'est un peu sur la science en général, les modèles, tout ça. Je leur explique qu'en sciences, il y a des modèles et que les modèles peuvent changer avec le temps et que l'important, ce n'est pas que les modèles changent, mais que les faits restent. Donc, même si tu découvres un nouveau fait, qui fait que tu es obligé de changer ton modèle, les faits précédents ne sont pas effacés, ils sont juste réinclus [...]

Enfin, Antoine a choisi de concevoir une figure comme forme de représentation visant à changer la façon dont les étudiants conçoivent l'atome.

5.6.3 Le cas de Paul

5.6.3.1 La préparation

Bien qu'il ait donné le cours à plusieurs reprises dans le passé, Paul précise qu'il consulte encore différentes sources juste avant une leçon. Par exemple, il visionne des vidéos

portant sur la chimie quantique sur la chaîne YouTube et il relit des trucs reliés afin de bien s’immerger dans ces savoirs. Le manuel est une source que Paul utilisait pour choisir les contenus à enseigner à ses débuts. Avec le temps, il s'est basé surtout sur la cohérence des savoirs. Il souhaite ainsi traiter de tous les événements et avancées scientifiques importants pour la compréhension du développement de la chimie quantique.

Paul spécifie que lors de la planification de sa leçon, il est important pour lui de garder beaucoup de place pour l’improvisation. Bien que ses présentations soient bien préparées, il garde en tête que lors du cours, il traitera différemment certains savoirs selon le « pouls » de sa classe.

« Je fais beaucoup d’improvisation. Je sens que dans beaucoup de classes, il y a beaucoup de questions, donc ça suit pas mal le questionnement des étudiants... »

5.6.3.2 Le choix des formes de représentation

Lors de sa planification, Paul a conçu et prévu un très grand nombre de représentations visuelles (beaucoup plus que les autres participants) de type analogie, de type figure et de type animation ou vidéo. Paul utilise de nombreuses analogies dans le but d’expliquer des notions abstraites inconnues des étudiants en comparant celles-ci à des éléments simples que les étudiants connaissent déjà.

« J’aime beaucoup les images de rapprochement, la vulgarisation... Donc, utiliser ce qu’ils connaissent pour expliquer ce qu’ils ne connaissent pas. »

Il a justifié le choix de ces formes de représentation par le fait qu’elles lui permettaient d’illustrer ou d’expliquer les savoirs à faire apprendre et d’aborder les contenus avec humour.

5.6.3.3 Le choix d’une stratégie d’enseignement

Les explications sous la forme d’exposés magistraux sont la méthode d’enseignement la plus souvent choisie afin d’expliquer les concepts à enseigner. Celles-ci incluent un très grand nombre de formes de représentation de type analogie, entre autres. D’autres activités ont été prévues telles qu’une introduction visant à présenter les objectifs de la leçon, le questionnement ainsi que des exercices.

5.6.3.4 L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Pour connaître les caractéristiques de ses étudiants, Paul leur demande de se présenter, lors du premier cours. Il a aussi des échanges personnalisés avec chacun de ses étudiants.

De façon générale, Paul adapte sa planification aux caractéristiques de ses étudiants en choisissant des exemples selon leurs champs d'intérêt. Bien que cela ne s'applique pas nécessairement aux modèles atomiques, il pourra choisir des exemples en lien avec ce qu'il sait du choix professionnel envisagé par ses étudiants.

5.6.4 Le cas de Geneviève

5.6.4.1 La préparation

Les premières fois qu'elle a donné son cours, Geneviève s'est référée au manuel d'enseignement ainsi qu'aux notes de cours d'une ancienne collègue pour le préparer. Elle a ensuite refaçonné les savoirs lors de la préparation de ses notes de cours et de ses présentations PowerPoint, afin de suivre un certain fil conducteur. Elle considère comme essentiel ce fil conducteur qui lui permet de bien enseigner la matière et de faire en sorte que les étudiants comprennent ce qu'elle leur enseigne. Elle avoue avoir souvent remis en question l'ordre dans lequel les contenus étaient présentés dans le manuel, ordre qui peut, selon elle, créer des incompréhensions.

« Oui, il y a un fil conducteur, une logique qui m'amène à présenter les choses d'une certaine façon qui peut-être n'est pas la même que celle de quelqu'un d'autre... J'ai un fil logique que je présente à mes étudiants. Je ne pense pas que c'est le seul fil logique qui soit valable, mais pour que moi je sois capable de transmettre ma matière et qu'elle ait un sens, il faut que je suive ce filon-là et que j'amène mes étudiants dans cette logique-là. Comme c'est logique, ils suivent! »

Pour faciliter la compréhension chez ses étudiants, Geneviève a élagué certains contenus. Elle réalise ses choix dans la perspective d'enseigner les concepts qui seront à la base d'autres concepts à apprendre plus tard dans le cours ou dans d'autres cours de chimie. Geneviève évite d'aborder des concepts qui pourraient causer des difficultés aux étudiants et qui ne seraient pas essentiels à l'échafaudage des connaissances qu'elle construit.

5.6.4.2 Le choix des formes de représentation

Elle utilise différents des formes de représentation des contenus de différents types : figures, vidéos, analogie et une forme de représentation matérielle (des ballons et des ballons à gonfler). Ces choix visent à expliquer et illustrer les concepts.

5.6.4.3 Le choix d'une stratégie d'enseignement

Les explications sous la forme d'exposés magistraux ainsi que la résolution d'exercices individuellement, en équipe ou en groupe sont les principales méthodes prévues. Celles-ci permettent de faire des liens. D'abord, ses explications lui permettent de faire des liens entre certains éléments de contenu alors que les exercices planifiés aident les étudiants à faire eux-mêmes des liens.

5.6.4.4 L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Pour connaître leurs caractéristiques, elle leur demande de remplir un questionnaire au début de la session. Elle les interroge relativement à leurs champs d'intérêts personnels, mais aussi aux raisons justifiant leur choix de programme.

Pour tenir compte des conceptions de ses étudiants, Geneviève dit faire le maximum de parallèles entre le modèle de Bohr et le modèle probabiliste.

« En débutant avec le modèle de Bohr [...], quand j'arrive au modèle probabiliste, je fais le parallèle toujours. [...] Alors, je repars de ça et je fais des parallèles et maintenant j'en fais beaucoup plus qu'avant. Au début, j'en faisais moins, je voyais moins cette importance-là vu que je n'étais pas passée par ça dans mon apprentissage personnel. Mais eux, je réalise qu'ils arrivent avec leur bagage personnel qui est vraiment ancré, donc, on l'utilise, tout simplement. »

De façon plus générale, elle dit aussi adapter sa planification aux caractéristiques de ses étudiants en choisissant des exemples qui seront près de leurs champs d'intérêt.

5.6.5 Le cas d'Évelyne

5.6.5.1 La préparation

Au moment où elle a commencé à enseigner, Évelyne se fiait beaucoup au manuel pour planifier cette leçon parce qu'elle ne savait pas exactement ce qu'elle devait enseigner. Encore aujourd'hui, il lui arrive de consulter différents manuels, mais elle s'est beaucoup distancée de ceux-ci avec les années.

Évelyne procède au choix des contenus essentiels qu'elle traitera dans son cours en considérant leur importance. Elle évoque l'échafaudage des connaissances qu'elle construit à l'intérieur du cours de chimie générale. Évelyne choisit aussi d'insister sur les applications en lien avec les concepts. Enfin, elle évite d'enseigner des notions moins importantes quand elle sait que les étudiants pourraient éprouver des difficultés.

« Au fil du temps, en parlant aux étudiants et avec les questions des étudiants, on se rend compte de ce qui bloque, sur quoi il faut plus insister et ce qui est plus pertinent pour la suite des choses. [...] L'aspect plus physique, c'est parfois un peu plus rebutant pour plusieurs étudiants et je ne veux pas qu'ils se butent à tout à cause d'un aspect physique qu'ils ne comprennent pas nécessairement bien. Puis, parfois, on a des étudiants, surtout en première session, qui dès qu'il y a quelque chose qu'ils ne comprennent pas, ils ont l'impression qu'ils ne comprennent rien du tout alors que c'est un petit détail...»

5.6.5.2 Le choix des formes de représentation

Évelyne a prévu utiliser un très grand nombre de figures. Elle utilise aussi des modèles en 3D illustrant les formes des orbitales et une vidéo extraite d'un épisode de la série *Space Time Odyssey*. Ces choix lui permettent d'illustrer et expliquer les concepts.

5.6.5.3 Le choix d'une stratégie d'enseignement

Les explications sous la forme d'exposés magistraux ainsi que le questionnement sont des méthodes fréquemment prévues par Évelyne. Elle planifie utiliser des télévotants qui intègrent les questions et réponses des étudiants à l'intérieur de sa présentation. Cela lui permet de vérifier la compréhension des étudiants. Certaines questions visent plutôt à aider les étudiants

à juger eux-mêmes de leur niveau de compréhension et d'entrevoir des moyens d'améliorer leur compréhension si nécessaire.

5.6.5.4 L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Pour connaître les caractéristiques de ses étudiants, Évelyne leur demande de remplir un court questionnaire au premier cours. Ce questionnaire vise surtout à savoir quels cours de chimie ils ont déjà suivis et à quel moment. Il vise aussi à connaître les champs d'intérêt des étudiants en ce qui concerne la chimie : ce qui les intéresse, ce qui les intéresse moins, ce qu'ils aimeraient apprendre... Elle connaît aussi les caractéristiques de ses étudiants grâce aux échanges qu'elle a avec eux en cours de session et lorsqu'elle leur donne un autre cours.

Pour favoriser le changement dans la façon dont les étudiants conçoivent l'atome, au premier cours, elle demande à ses étudiants de dessiner un atome. Cela lui permet de savoir ce qu'ils pensent à propos de l'atome et les étudiants peuvent constater qu'ils connaissent différentes choses. Évelyne révise et réactive ainsi certaines notions vues au secondaire.

« Ça me permet de voir si c'était correct ou pas et ça leur permet de se rendre compte qu'ils s'en souviennent...[...]. Puis ces mots-là sont réactivés. Et je leur dis aussi, si jamais vous vous rendez compte que c'est vraiment loin et que vous n'êtes vraiment pas capables de le faire, n'hésitez pas à poser la question en classe ou à venir me voir après. »

Elle établit aussi plusieurs liens avec le modèle de Bohr au cours de l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome. Cela l'amène à discuter avec ses étudiants de l'évolution des modèles en sciences. De façon plus générale, Évelyne dit adapter sa planification aux caractéristiques de ses étudiants en choisissant des exemples en fonction de leurs champs d'intérêt. Même s'ils ne s'appliquent pas nécessairement aux modèles atomiques, elle choisit des exemples en lien avec ce qui intéresse ses étudiants.

5.6.6 Le cas de Philippe

5.6.6.1 La préparation

Les premières fois qu'il a donné ce cours, Philippe s'est référé au manuel utilisé dans son département pour préparer son cours. Il a aussi consulté d'autres manuels dans le passé et en consulte encore.

Bien qu'il ait donné le cours à de nombreuses reprises, Philippe réfléchit encore à la pertinence des différents contenus traités et choisit encore d'inclure ou d'exclure certains contenus. Ses choix sont faits, entre autres, à la lumière des nombreux manuels récents fournis par les éditeurs. Ils font suite aussi à des conversations avec les collègues, ce qui lui permet d'ajuster le tir relativement aux notions qu'il est pertinent d'enseigner.

Ainsi, les choix de Philippe visent à simplifier l'ensemble des savoirs de façon que les étudiants puissent se concentrer sur les plus importants.

5.6.6.2 Le choix des formes de représentation

Les figures sont la principale forme de représentation prévue par Philippe. Celles-ci sont issues du manuel utilisé ou ont été conçues par Philippe. Elles servent à illustrer et/ou expliquer les concepts.

5.6.6.3 Le choix d'une stratégie d'enseignement

Les explications sous la forme d'exposés magistraux sont la méthode d'enseignement que Philippe planifie le plus. Cela lui permet de faire des liens entre les éléments de contenu. Philippe prépare aussi des questions qu'il pose à ses étudiants au moment de conclure sa leçon afin de vérifier leur compréhension.

Enfin, il a conçu deux activités où les étudiants devront travailler en équipe. Ces deux activités peuvent se comparer à des jeux (avec cartes et table de jeu) où les étudiants doivent, en équipe, atteindre un but. Avec ces deux activités, Philippe souhaite que les étudiants découvrent par eux-mêmes certains concepts et qu'ils s'entraident en équipe.

« Comme ils travaillent en équipe, ceux qui ont fait les lectures peuvent partager avec les autres. Ça m'aide en fait de répondre à plusieurs questions simultanément plutôt que moi je le fasse en avant de la classe et de répondre partiellement aux questions de plusieurs étudiants. Comme ça, ils ont des réponses au sein de leur équipe et moi ça me permet de seulement vérifier si c'était correct ou non. »

5.6.6.4 L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Pour connaître les caractéristiques de ses étudiants, Philippe leur demande de se présenter lors du premier cours. Cela lui permet de connaître leurs champs d'intérêt. Il utilise aussi un questionnaire afin de connaître les habitudes d'études au secondaire de ses étudiants et de savoir globalement combien d'heures d'études ils prévoient allouer à son cours.

Pour tenir compte des conceptions de ses étudiants, Philippe explique comment les modèles élaborés par les scientifiques ont évolué au fil des années, considérant, entre autres, les moyens technologiques qui se sont développés et évite de dénigrer les modèles qui ont été appris dans le passé.

J'essaie de gratifier un peu le travail de ces chercheurs-là qui ont travaillé au début du siècle dernier. Ils ont utilisé beaucoup des travaux menés au 19^e siècle qui ont menés à ces conclusions-là. [...]. J'essaie de ne pas dénigrer ce qu'ils ont appris, qu'à l'époque les chercheurs étaient rendus là et que maintenant, avec les moyens technologiques, on est rendus plus loin et c'est ce qu'on va étudier. »

5.7 Analyse transversale des cas et discussion

L'analyse des données réalisée avec, entre autres, le modèle de la transformation de Shulman (1987) nous a permis d'établir certains constats relativement aux pratiques déclarées des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs. Rappelons que ces quatre phases sont la préparation des contenus, le choix des formes de représentation des contenus, le choix de la stratégie d'enseignement et l'adaptation aux caractéristiques des étudiants.

5.7.1 Une préparation des contenus qui demande de faire des choix

En ce qui concerne la phase de préparation des contenus, nos données montrent que celle-ci se caractérise par le grand nombre de choix que les enseignants doivent faire.

Dans le processus de transformation de Shulman (1987), le sous-processus de préparation implique que l'enseignant fasse un examen critique du matériel d'enseignement avec la compréhension qu'il a de la matière à enseigner. L'enseignant doit juger si le contenu de ce matériel est « adapté » pour l'enseignement, y détecter des erreurs et des oublis et structurer et segmenter son contenu en des formes mieux adaptées à la compréhension personnelle de l'enseignant et ainsi, mieux adaptées à l'enseignement de cette matière. Ce sous-processus implique aussi d'analyser les buts et objectifs du cours.

Dans le modèle ERTE élaboré pour les recherches visant l'étude de connaissances et pratiques enseignantes, les contenus scientifiques nécessitent d'être « reconstruits » après l'analyse de l'objet à enseigner (*subject matter*) et des caractéristiques des étudiants (van Dijk et Kattmann, 2007). Certains pourraient penser qu'en enseignement collégial, cela s'applique plus ou moins, car les contenus sont prescrits par le travail d'interprétation du devis ministériel qui s'incarne dans les plans-cadres de cours et que le choix du manuel de base pour un cours déterminerait largement les contenus à enseigner. Cependant, nos résultats vont plutôt dans le sens de van Dijk et Kattmann (2007) et confirment que les enseignants procèdent à plusieurs choix concernant les contenus scientifiques à enseigner lors de l'analyse de ces contenus et que ces choix sont faits selon diverses prérogatives.

En effet, bien que des orientations quant aux contenus à enseigner figurent dans le devis ministériel et dans le plan-cadre (l'interprétation locale du devis), nous avons observé que les enseignants n'accordent pas la même importance aux savoirs et donc, n'enseignent pas tous exactement les mêmes contenus selon la même étendue. Par exemple, pour le thème qui nous intéresse, deux des enseignants ont présenté plusieurs éléments en lien avec l'historique du développement de la mécanique quantique alors que les autres ont présenté cet historique de manière beaucoup plus succincte.

Selon van Dijk et Kattmann (2007), l'analyse de l'objet d'enseignement a pour but, entre autres, d'identifier les concepts essentiels et les relations qui existent entre eux en se référant à la littérature scientifique, aux manuels de sciences et aux livres portant sur la philosophie et l'histoire des sciences (van Dijk et Kattmann, 2007). Nos résultats montrent que les enseignants se réfèrent effectivement beaucoup au manuel comme outil pour le choix et la

préparation des contenus en début de carrière. Avec l'expérience, ils se fient davantage à leurs propres connaissances pour choisir de ne pas enseigner certains contenus ou de les aborder plus succinctement même si ceux-ci figurent dans le manuel.

Différentes justifications viennent expliquer les choix d'enseigner ou non certains contenus. Quatre des six enseignants participants choisissent des contenus parce qu'ils sont utiles aux étudiants pour les prochains apprentissages à faire dans le même cours, mais aussi dans d'autres cours du programme. Ils sont donc bien au fait des connaissances qui sont préalables aux autres à l'intérieur du cours et du programme et cela devient un facteur sur lequel ils se basent pour choisir quels contenus enseigner.

Deux enseignants choisissent d'enseigner explicitement des contenus qui s'incarnent dans des applications (mathématiques ou autres). Ainsi, certains allouent moins de temps à l'enseignement de contenus davantage conceptuels et préfèrent utiliser le temps dont il dispose pour traiter de notions utiles à la réalisation de tâches dans le cours, tâches que l'on retrouve aussi souvent dans les évaluations. À l'inverse, deux enseignants font le choix d'enseigner explicitement plusieurs concepts « théoriques » touchant par exemple le développement de la mécanique quantique. Ainsi, deux visions semblent coexister quant aux choix des contenus explicitement traités en classe : certains privilégient l'enseignement de notions plus pratiques, plus algorithmiques, alors que d'autres choisiront d'enseigner d'abord des concepts théoriques. Ces différences s'expliquent peut-être par un résultat obtenu par De Hosson, Manrique, Regad et Robert (2018) qui, dans une recherche visant à étudier les modes d'exposition des connaissances en cours de physique ont observé deux profils relativement au choix et à l'organisation des contenus enseignés. En effet, les auteurs ont mis en évidence deux profils : un où le « texte du savoir » de l'enseignant est fondé sur l'épistémologie de la physique (où la présentation des concepts, des lois se voit insérée au sein d'un discours sur la physique) et un autre où le « texte du savoir » est davantage construit « sur fond d'ambition méthodologique » (où la présentation des notions s'articule autour des concepts jugés nécessaires seulement, concepts qui se voient mobilisés dans des applications par la suite). Une différence fondamentale dans la posture de l'enseignant, sa vision de l'enseignement des sciences expliquerait donc peut-être les différents choix des enseignants en regard des savoirs enseignés.

Enfin, la moitié des enseignants choisissent d'exclure certains contenus qu'ils jugent moins importants qui pourraient causer des difficultés aux étudiants. Avec l'expérience, les enseignants découvrent quelles notions causent le plus de difficultés aux étudiants et planifient leur intervention en considérant ces difficultés. Cela pourrait refléter le concept d'« enseignabilité » des contenus (Chen et Ennis, 1995), la capacité d'un contenu d'être enseigné, qui se traduirait dans les décisions des enseignants d'inclure ou d'exclure ceux-ci. Les résultats de cette recherche montrent que les enseignants pouvaient décider d'exclure certains concepts (ou habilités) avancés, pas nécessairement parce qu'ils ne sont pas importants, mais parce qu'ils sont difficiles à enseigner. Dans notre cas, on dira plutôt qu'ils sont difficiles à apprendre...

Ce geste didactique de choisir d'enseigner ou non certaines notions serait donc lié, selon nous, à la vision du modèle atomique que possède chaque enseignant et, dans une perspective plus large, à leur vision et à leur conception de l'enseignement de la chimie en général.

L'analyse des savoirs à enseigner se traduit aussi, pour les enseignants, par l'importance qu'ils accordent à présenter les contenus à enseigner selon un ordre qui soit logique de sorte qu'il y ait un fil conducteur entre eux. Il semble donc nécessaire pour les enseignants de déterminer l'étendue des contenus qui seront enseignés et d'ordonner ces contenus dans une séquence qui facilitera l'enseignement et l'apprentissage. Les contenus sont ainsi ordonnés selon un ordre particulier, différent de celui des manuels, dans le matériel didactique que les enseignants conçoivent. Ce matériel leur permet donc de proposer leur interprétation des contenus.

Les résultats liés au processus de préparation des contenus se caractérisent par l'importance des choix que les enseignants doivent faire dont, entre autres, en ce qui concerne l'étendue des savoirs qui seront explicitement enseignés aux étudiants ainsi que dans l'ordonnement de ces savoirs. On s'intéresse souvent peu à ces choix souvent perçus comme allant de soi dans le milieu de l'éducation, particulièrement dans l'enseignement des sciences au collégial. Bien que certains savoirs soient prescrits dans les documents officiels (devis ministériel et plan-cadre de cours), les enseignants doivent tout de même délimiter l'étendue des

contenus en choisissant les « sous-contenus » qu'ils enseigneront. Ils doivent aussi choisir une façon d'organiser la séquence des contenus choisis bien que certains outils tels que les manuels d'enseignement existent pour les aider. Nos résultats montrent, en effet, que les contenus enseignés lors de la séquence portant sur le modèle probabiliste de l'atome diffèrent d'un enseignant à l'autre et que ceux-ci sont présentés de façon différente. Selon nous, il importe de s'intéresser à ces choix et, surtout, de questionner les bases sur lesquelles se font ces choix dans la recherche et la formation. Ces questionnements devraient interroger les réflexions des enseignants, leurs connaissances, mais aussi leur posture et donc, leur vision de la discipline chimie, de la science en général mais aussi sa conception de l'enseignement et de l'apprentissage.

5.7.2 Des formes de représentation choisies pour expliquer ou pour susciter l'intérêt

Nos résultats confirment l'importance de l'étape du choix des formes de représentation des contenus du modèle de la transformation de Shulman (1987). Selon cet auteur, le choix des formes de représentation des contenus implique que l'enseignant trouve des façons de représenter les concepts clés aux étudiants par des analogies, des métaphores, des exemples, des démonstrations, des simulations, etc. Treagust (2007) élargit le spectre en précisant que les représentations incluent les modèles, les analogies, les équations, les graphiques, les figures et les simulations qui peuvent aider l'apprenant à comprendre un concept et peuvent prendre différentes formes comme verbale, mathématique, visuelle et opérationnelles dans l'action.

L'analyse des propos des enseignants et du matériel didactique élaboré montre que tous les participants utilisent un grand nombre de formes de représentation des contenus de différents types dont des figures et autres représentations visuelles, des analogies, des exemples et des objets ou modèles en 3D. Les formes de représentation des contenus choisies varient grandement d'un enseignant à l'autre.

Ces formes de représentation de contenus s'avèrent donc particulièrement pertinentes pour l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome qui sous-tend des concepts abstraits en invisibles. L'utilité de celles-ci est d'ailleurs reconnue dans la littérature pour une meilleure

compréhension des concepts relatifs aux les phénomènes scientifiques en général qui se veulent particulièrement complexes (Eilam et Gilbert, 2014).

Nos données montrent que les formes de représentations sont choisies à partir de formes de représentation existantes trouvées dans différentes sources (manuel d'enseignement, internet, etc.) ou sont élaborées par les enseignants eux-mêmes lorsque les formes de représentation existantes ne leur conviennent pas. Ainsi, comme rapporté par Chen et Ennis (1995), les enseignants participants possèdent un vaste répertoire de formes de représentation des contenus et celles-ci sont personnelles à chacun.

De façon générale, bien que différents types de formes de représentation des contenus aient été utilisés, les figures sont celles qui l'ont été le plus fréquemment. Les enseignants ont aussi eu souvent recours à d'autres représentations visuelles telles que des vidéos et du matériel en 3D. Comme mentionné précédemment, cela peut s'expliquer par la nature complexe des phénomènes invisibles de la science qui invite les scientifiques et, ainsi, les enseignants à utiliser des formes de représentation visuelles afin de modéliser ces phénomènes et de les faire modéliser par les étudiants (Eilam et Gilbert, 2014). Une méta-analyse a d'ailleurs montré l'efficacité des modèles en 3D pour l'enseignement de l'anatomie sur le plan des connaissances acquises, des habiletés spatiales et de la rétention à long terme (Yammine et Violato, 2016). Les analogies, formes verbales de représentation des contenus, ont aussi figuré parmi les choix des enseignants.

Ces résultats vont dans le sens de ceux de Chen et Ennis (1995) stipulant que les enseignants se construisent un vaste répertoire de formes de représentation des contenus et que ces représentations sont personnelles à chaque enseignant malgré que ceux-ci aient une base commune de connaissances des contenus.

Nos données montrent que les enseignants choisissent certains types de formes de représentation des contenus pour des raisons qui leur sont propres : parce qu'elles rejoignent leurs champs d'intérêts personnels ou ceux de leurs étudiants, pour attirer l'attention des étudiants, parce qu'elles permettent d'expliquer aux étudiants de nouvelles notions, afin d'illustrer certains contenus et pour changer les conceptions. À la lumière des travaux de De

Hosson, Décamp et Colin (2016) qui se sont penchés sur les exemples, on peut présumer que les choix s'appuieraient donc sur deux grands types de justifications, soit des justifications d'ordre motivationnel (pour les représentations visant à rejoindre les champs d'intérêt et d'attirer l'attention) et aussi d'ordre cognitif (pour les représentations visant à expliquer et illustrer les concepts et à changer les conceptions). En effet, selon eux, les rôles que les enseignants assignent à l'usage des exemples sont de deux ordres : cognitif et motivationnel.

Les représentations visuelles des contenus ont surtout été étudiées en termes de l'apport qu'elles pouvaient apporter à la compréhension en profondeur des concepts (*conceptual understanding*) (Evagorou, Erduran et Mäntylä, 2015). Tous s'entendent sur le potentiel de ces représentations pour favoriser la visualisation et la compréhension des phénomènes scientifiques qui sont complexes et invisibles (Eilam et Gilbert, 2014). Ces formes de représentation auraient toutefois un potentiel plus large selon Evagorou, Erduran et Mäntylä (2015). Selon eux, en traitant ces représentations comme des « objets épistémiques » des pratiques des scientifiques, le milieu de l'éducation pourrait avoir un regard nouveau à propos de la visualisation. En effet, on gagnerait à aborder comment certaines représentations ont contribué à la création des connaissances scientifiques, comment certaines interviennent dans l'expérimentation et comment on peut se servir de certaines représentations lors de communications scientifiques. Selon eux, il importe donc, lors de l'enseignement, de prendre en compte les processus utilisés par les scientifiques dans leurs pratiques pour l'élaboration et l'utilisation de ces représentations plutôt que de s'intéresser seulement au produit final (la représentation comme telle). Les représentations sont donc intrinsèques aux sciences en faisant partie intégrante des pratiques des scientifiques et deviennent, lorsqu'on les considère comme telles, un outil prometteur pour l'enseignement des sciences.

On peut ainsi se questionner quant aux bases sur lesquelles les choix des formes de représentation adaptées aux contenus sont faits par les enseignants. Ces choix pourraient être liés selon à la façon dont l'enseignant conçoit l'enseignement et l'apprentissage. Selon Boesdorfer (2015), les choix des formes de représentation des contenus des enseignants seraient influencés par leurs orientations pour l'enseignement des sciences. Selon elle, un enseignant entretenant une conception de l'enseignement et de l'apprentissage centrée sur l'enseignant aura

tendance à choisir des représentations davantage centrées sur l'enseignant et qui ne requéraient pas la participation des étudiants alors qu'un enseignant entretenant une conception de l'enseignement et de l'apprentissage centrée sur les étudiants choisira des représentations générées par l'enseignant, mais centrées surtout sur les étudiants.

Ainsi, bien que les formes de représentation des contenus visuelles, notamment, aient un grand potentiel pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences en rendant visibles des phénomènes complexes invisibles, nous croyons que ce potentiel pourrait être plus grand dans une perspective où les formes de représentation des contenus seraient placées au service de l'apprentissage en favorisant la construction des connaissances dans une perspective socioconstructiviste (Tippett, 2016).

Bond-Robinson (2005) utilise le terme « explication transformatrice » (*transforming explanation*) pour décrire une représentation ou une illustration spécifique à une discipline qui prend en compte les conceptions des étudiants. Deux des enseignants ayant participé à la recherche ont expliqué qu'ils avaient conçu une forme de représentation dans le but de faire changer les conceptions des étudiants. Les formes de représentation des contenus semblent donc prometteuses en regard de la problématique des conceptions alternatives des étudiants. Selon nous, elles ont la capacité, en combinaison avec d'autres stratégies, d'aider les étudiants à passer d'une conception alternative à une conception qui correspond aux théories scientifiques acceptées.

De plus, des outils technologiques tels que la réalité virtuelle et la réalité augmentée offrent beaucoup de potentiel en ce qui a trait aux formes de représentation des contenus pour, entre autres, améliorer la compréhension en profondeur des concepts. En effet, selon Yoon, Anderson, Lin et Elinich (2019), les simulations numériques ainsi que la visualisation dynamique réalisés avec la réalité virtuelle ou augmentée peuvent permettre de relever des défis liés aux conceptions alternatives des étudiants.

Bref, les formes de représentation des contenus utilisées peuvent permettre non seulement une meilleure compréhension en profondeur de concepts complexes invisibles, mais offrent aussi un plus grand potentiel. En effet, lorsqu'on les considère comme des « objets

épistémiques » faisant partie intégrante de la science (de sa conception dans la recherche jusqu'à sa vulgarisation) et qu'on les intègre à l'apprentissage dans une perspective socioconstructiviste, ces formes de représentation deviennent des outils prometteurs pour l'enseignement et l'apprentissage.

5.7.3 Le choix de la stratégie d'enseignement : des activités d'enseignement et d'apprentissage centrées sur l'enseignant et sur l'étudiant

Selon le modèle de la transformation de Shulman (1987) présenté dans le cadre théorique, lors du processus du choix d'une stratégie d'enseignement, les formes de représentation des contenus choisies par l'enseignant vont s'incarner à l'intérieur d'une stratégie d'enseignement à partir d'un répertoire de méthodes d'enseignement connues. Selon l'auteur, ce répertoire doit être riche, en ne se limitant pas aux méthodes d'enseignement conventionnelles, mais en incluant d'autres méthodes d'enseignement plutôt centrées sur l'étudiant.

L'analyse des différentes activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par chacun des enseignants montre une certaine variété dans les choix faits.

D'abord, nous avons constaté que les explications sous la forme d'exposé magistral étaient le type d'activité d'enseignement qui revenait le plus fréquemment pour tous les enseignants. C'est lors de ces moments que les représentations, visuelles notamment, étaient présentées aux étudiants. Ces moments d'exposés laissent toutefois place à d'autres moments où des « interactions » étaient favorisés. En effet, les enseignants ont mis en place différentes activités d'apprentissage où les étudiants étaient plus actifs : exercices en équipe (cinq enseignants), activités apparentées à des jeux (un enseignant), discussions entre étudiants où chacun explicite ses connaissances antérieures (deux enseignants) et questionnement (quatre enseignants) (questions posées à l'aide de télévotants pour une enseignante).

Les enseignants ont justifié leurs choix d'activités d'enseignement et d'apprentissage par des raisons diverses. Le fait que les activités permettaient de faire des liens (enseignants qui mettent en évidence les liens logiques existant entre certains éléments de contenu et aux

étudiants qui font eux-mêmes des liens entre les éléments de contenu) a été rapporté par tous les enseignants. Aussi, selon quatre enseignants, elles permettent de juger la capacité des étudiants et d'adapter les interventions et la rétroaction. Enfin, pour un enseignant, les activités choisies permettent aux étudiants de s'approprier les concepts par eux-mêmes en s'entraînant.

Il semble que, pour l'enseignement de concepts abstraits et difficiles comme ceux à la base de notre recherche, l'exposé magistral soit encore une méthode d'enseignement souvent favorisée. Ces exposés permettent aux enseignants, entre autres, d'exposer les formes de représentation choisies durant la planification, formes de représentation qui permettent justement une meilleure compréhension des concepts (Eilam et Gilbert, 2014). Or, les formes de représentations des contenus auraient avantage à être aussi utilisées dans des contextes où les étudiants sont plus actifs en étant plus centrées sur l'apprentissage (Tippett, 2016).

Bien que le cours magistral ait mauvaise réputation et que des pressions soient faites sur les enseignants de sorte qu'ils transforment leur enseignement de manière à le rendre plus innovant, il semble que les étudiants ne perçoivent pas l'enseignement magistral de manière si négative, surtout lorsqu'il est ponctué d'interactions étudiants-enseignant et étudiants-étudiants (Papi et Glikman, 2015). Racine (2016), qui s'est intéressée à l'effet des stratégies pédagogiques sur la motivation et l'engagement des étudiants en sciences au collégial, a justement observé que la grande majorité des séquences de cours faisant partie de sa recherche entraient dans la catégorie des stratégies pédagogiques où l'enseignant pose des questions, invite les étudiants à participer et suscite des interactions entre eux. Il s'agit alors plutôt de l'enseignement magistral interactif, dont l'efficacité a été démontrée en enseignement des sciences. Selon la compilation des méta analyses réalisée par Hattie (2008), la combinaison d'activités plutôt magistrocentrées et d'activités d'apprentissage actif est recommandée. Les enseignants participant au projet, qui sont tous des enseignants cumulant une certaine expérience, semblent avoir principalement opté de ce type d'enseignement, même celui qui dispensait sa leçon dans une classe d'apprentissage actif.

Plusieurs raisons inhérentes au contexte et à l'enseignant lui-même peuvent venir expliquer ce phénomène. Selon Bédard (2006), le contexte général de l'approche par compétences favorise le changement pédagogique et l'adoption d'activités d'apprentissage

actif. En réponse au changement de pratiques souhaité avec l'APC, les enseignants semblent intégrer de plus en plus d'interactions de manière à rendre les étudiants toujours plus actifs. Aussi, selon Frenay et Paul (2004), le rôle de la faculté en contexte universitaire (ou du département en contexte collégial) aurait aussi une forte influence sur l'adoption de pratiques pédagogiques innovantes. Enfin, Bédard (2006) souligne que le changement pédagogique vient avec une certaine expérience d'enseignement. Selon Stahnke et ses collaborateurs (2016), les enseignants novices éprouveraient des difficultés à choisir des stratégies d'enseignement permettant de changer les conceptions alternatives des étudiants, les stratégies choisies se résumant à « dire ce qui est vrai ». En fait, en gagnant de l'expérience, les enseignants ont le potentiel de développer leurs connaissances et, plus spécifiquement leur connaissance pédagogique du contenu (PCK). Selon Park et Suh (2019), le PCK (et plus spécifiquement les connaissances des compréhensions des étudiants et les connaissances des stratégies d'enseignement et des formes de représentation des contenus) permettrait aux enseignants d'implanter de manière efficace et durable une approche pédagogique innovante. Au-delà des connaissances, la conception de l'enseignement pourrait, dans certains cas, influencer ce changement de pratiques (Lederman, 1999). En effet, une conception constructiviste de l'enseignement serait nécessaire pour qu'un tel changement puisse se produire.

Ainsi, bien que nous ayons choisi un objet d'enseignement précis tel le modèle probabiliste de l'atome, les activités d'enseignement et d'apprentissage choisies diffèrent, jusqu'à un certain point, d'un enseignant à un autre. Cela peut s'expliquer, entre autres, par les contextes quelque peu différents dans lesquels évoluaient les enseignants participants tels que le contexte institutionnel et départemental. Les connaissances développées avec les expériences d'enseignement vécues et les « préférences » pédagogiques peuvent aussi influencer ces choix en étant liées aux conceptions que possèdent les enseignants envers la discipline, envers la science, mais aussi, et surtout, envers l'enseignement et l'apprentissage. Considérant ces dernières conceptions découlant du paradigme de l'enseignement ou du paradigme de l'apprentissage, certains enseignants préfèrent « garder le contrôle » sur les savoirs alors que d'autres le laissent aux étudiants.

5.7.4 Une adaptation aux caractéristiques cognitives des étudiants

La dernière phase du modèle de la transformation de Shulman (1987) correspond à l'adaptation de la planification aux caractéristiques des étudiants. L'enseignant se questionne alors afin de voir si des aspects tels que les capacités de ses étudiants, le genre, le langage, la culture, les motivations, les connaissances antérieures affecteront leurs réactions face à ce qui est présenté. Il s'interroge, notamment, relativement aux conceptions, aux conceptions erronées ou aux difficultés des étudiants qui pourraient nuire à la compréhension des concepts.

Hill, Ball et Schilling (2008) font référence à la connaissance du contenu et des étudiants (CKS) qu'ils définissent comme une connaissance du contenu liée à la manière dont les étudiants perçoivent, connaissent ou apprennent ce contenu. La CKS est mobilisée lors des tâches d'enseignement qui impliquent de porter attention à la fois au contenu spécifique à enseigner et aux rapports particuliers des apprenants avec ces contenus, comme, par exemple, la manière dont les étudiants apprennent généralement, leurs erreurs typiques et les conceptions alternatives. Les enseignants conscients des difficultés des étudiants en regard d'un contenu particulier peuvent planifier leur enseignement de manière à adresser ces difficultés possibles. Selon eux, ce type de connaissance demeure peu étudié par la communauté de chercheurs et nous ne savons pas exactement ce qui constitue ce type de connaissance.

L'analyse des données montre d'abord que tous les enseignants participants utilisent différents moyens pour connaître les caractéristiques de leurs étudiants. Alors que certains favorisent les échanges plus ou moins informels (2 enseignants), d'autres élaborent des questionnaires plus ou moins élaborés afin de recueillir l'information (4 enseignants). De plus, nos résultats ont montré que les connaissances des enseignants à propos de leurs étudiants concernent surtout les caractéristiques cognitives de ceux-ci. En effet, tous les enseignants ont fait référence aux conceptions des élèves et des difficultés qu'elles peuvent entraîner. Il était clair pour tous que la majorité des étudiants imaginaient la structure de l'atome selon les modèles de Rutherford et Bohr et que cela pouvait causer des difficultés pour l'apprentissage du modèle probabiliste.

Pour prendre en compte ces conceptions des étudiants, les enseignants participants disent avoir recours à différentes pratiques. D'abord, quatre enseignants disent expliquer la nature et l'évolution des modèles utilisés en sciences. Deux enseignants font des liens avec les modèles appris dans le passé. Enfin, deux enseignants utilisent de formes de représentation des contenus visant à contrer les conceptions alors que deux autres vont faire représenter la façon dont les étudiants conçoivent l'atome.

Ces résultats peuvent être interprétés de différentes manières. Selon Abell (2007) différentes pistes peuvent être explorées afin de comprendre les connaissances que possèdent les enseignants à l'égard de leurs étudiants. En effet, alors que certains expliqueront les différences observées en termes d'expérience, d'autres se référeront au lien existant entre conception de l'apprentissage et vision de la science.

L'expérience serait un premier facteur pouvant expliquer les connaissances que possèdent les enseignants à l'égard des étudiants. Hashweh (2005) conceptualise le PCK comme une série de « constructions pédagogiques » (*pedagogical constructions*) que les enseignants développent avec l'expérience. Des recherches ont ainsi exploré les connaissances en regard de l'expérience détenue par les enseignants. Par exemple, Halim et Meerah (2002) ont trouvé que les enseignants stagiaires étaient peu conscients des conceptions alternatives des étudiants et éprouvaient ainsi des difficultés à utiliser des stratégies appropriées pour l'enseignement des concepts scientifiques. Les résultats de Shannon (2006) indiquent que les nouveaux enseignants ont moins de connaissances à l'égard des compréhensions des étudiants que les enseignants expérimentés. Par ailleurs, il ne suffit pas de connaître les conceptions susceptibles d'entraver l'acquisition des savoirs, encore faut-il savoir quoi en faire. Encore là, l'expérience permettrait aux enseignants, par une meilleure connaissance des caractéristiques des étudiants, de mettre en place des stratégies pédagogiques qui tiennent compte de ces caractéristiques (Shannon, 2006).

Le fait que les enseignants connaissent les caractéristiques des étudiants et les prennent en compte dans leur enseignement pourrait aussi s'expliquer par leurs conceptions de l'enseignement en relation avec la vision qu'ils entretiennent à l'égard de la science (Abell, 2007; Hashweh, 2005). En effet, Abell (2007) fait référence à une connexion entre une vision positiviste de la science et une conception behavioriste de l'enseignement. Les enseignants

détenant une conception constructiviste de l'enseignant auraient plus tendance à détecter les conceptions alternatives et à en tenir compte (Hashweh, 1996).

5.8 Conclusion

Dans le cadre de cette recherche, nous cherchions à analyser les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation de savoirs abstraits lors de la planification de l'enseignement.

Pour atteindre cet objectif, nous avons documenté les pratiques enseignantes pour l'enseignement d'un objet posant des difficultés aux étudiants à la lumière du modèle de transformation de Shulman (1987), modèle selon lequel les enseignants transforment les savoirs à enseigner afin de rendre ceux-ci plus faciles à apprendre par leurs étudiants.

Nous avons observé, de façon générale, une diversité dans les pratiques de transformation des savoirs chez les six enseignants. Même si plusieurs points communs peuvent être observés dans les pratiques déclarées, chaque enseignant possède un répertoire de connaissances et de valeurs qui lui permettent de planifier une séquence d'enseignement et d'apprentissage unique.

Le modèle de la transformation des savoirs de Shulman (1987) suggère que pour faciliter l'apprentissage de contenus difficiles, les enseignants procèdent à la préparation (ou interprétation) des contenus, choisissent certaines formes de représentation des contenus, élaborent une stratégie d'enseignement et adaptent leur planification aux caractéristiques de leurs étudiants. Lors de la préparation (ou l'interprétation) des contenus, les enseignants doivent faire différents choix et ceux-ci sont faits en fonction de prérogatives différentes selon les enseignants. Ils choisissent des formes de représentation des contenus ainsi que des activités d'enseignement et d'apprentissage afin d'illustrer les concepts, de susciter l'intérêt et afin que le maximum de liens soit fait entre eux. Enfin, ils connaissent les caractéristiques de leurs étudiants et ont développé différentes stratégies afin de favoriser un changement dans leur façon de concevoir la structure d'un atome.

Ces processus sous-tendent un certain nombre de choix à faire par les enseignants lors de la planification. Ces choix sont faits en considérant des facteurs liés aux étudiants, aux contenus et à l'enseignant. En autres, les connaissances et les conceptions de l'enseignant à l'égard de la science, de l'enseignement et de l'apprentissage semblent influencer les décisions prises lors de la transformation des savoirs.

La limite principale de la présente recherche concerne le choix de l'échantillonnage par choix raisonné qui ne permet pas une généralisation des résultats. En effet, les résultats obtenus démontrent les pratiques de seulement 6 enseignants de chimie et ne peuvent expliquer les pratiques de l'ensemble de ceux-ci. Cette limite est inhérente au choix d'étudier en profondeur, dans leur complexité, les pratiques d'un moins grand nombre de participants dans la perspective d'une recherche inspirée du paradigme interprétatif.

Bien que notre recherche se soit concentrée sur un objet d'enseignement spécifique, elle ouvre la voie aux études visant à trouver des solutions aux obstacles posés lors de l'apprentissage de concepts scientifiques complexes. Ainsi, d'autres recherches pourraient s'intéresser à d'autres objets d'enseignement appartenant à la chimie ou à d'autres disciplines afin d'améliorer leur apprentissage.

5.9 Références

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In *Handbook of Research on Science Education* (p. 1105-1149). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Adams, K. (2012). *Beginning Chemistry Teachers Use of the Triplet Relationship During their First Three Years in the Classroom*. Arizona State University, Tempe.
- Allum, N., Besley, J., Gomez, L. et Brunton-Smith, I. (2018). Disparities in science literacy. *Science*, 360(6391), 861-862. <https://doi.org/10.1126/science.aar8480>
- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : L'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, 138, 85-93. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2866>
- Altet, M. (2003). Caractériser, expliquer et comprendre les pratiques enseignantes pour aussi contribuer à leur évaluation. *Les dossiers des sciences de l'éducation. De l'efficacité des pratiques enseignantes?*, (10), 31-43.

- Altet, M. et Mhereb, M. T. (2017). L'observation des pratiques enseignantes effectives en classe : recherche et formation. *Cadernos de Pesquisa*, 47(166), 1196-1223. <https://doi.org/10.1590/198053144321>
- Astolfi, J. et Peterfaivi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, (16), 103–141.
- Atagana, H. et Engida, T. (2014). What make chemistry difficult? *AJCE*, 4(2), 13.
- Bédard, D. (2006). Enseigner autrement, oui mais pourquoi et comment? Le cas d'un cours universitaire de premier cycle. *La pratique enseignante en mutation à l'université*, 83–101.
- Berry, A., Friedrichsen, P. et Loughran (Éd.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. Routledge.
- Boesdorfer, S. B. (2015). Using Teacher's Choice of Representations to Understand the Translation of Their Orientation Toward Science Teaching to Their Practise. *Electronic Journal of Science Education*, 19(1), 1–20.
- Carlson, J. et Daehler, K. R. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (Éd.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 77–92). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Cervellati, R. et Perugini, D. (1981). The understanding of the atomic orbital concept by Italian high school students. *Journal of Chemical Education*, 58(7), 568. <https://doi.org/10.1021/ed058p568>
- Çimer, A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students' views. *Educational Research and Reviews*, 7(3), 11.
- Conseil de la science et de la technologie. (2004). *La culture scientifique et technique : une interface entre la technologie et la société*. Sainte-Foy.
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J. et Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8(3), 331-336.
- De Hosson, C., Décamp, N. et Colin, P. (2016). L'usage des exemples dans l'enseignement de la physique à l'université : Un marqueur de l'identité pédagogique des enseignants-chercheurs ? *Recherches en Éducation*, (27), 19–34.

- De Hosson, C. de, Manrique, A., Regad, L. et Robert, A. (2018). Du savoir savant au savoir enseigné, analyse de l'exposition des connaissances en cours magistral de physique : Une étude de cas. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 34, 23.
- Driver, R. et Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: a Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61-84. <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (Éd.), *The psychology of learning science* (p. 65-83). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Eilam, B. et Gilbert, J. K. (2014). *Science teachers' use of visual representations*. New York: Springer.
- Espinosa, J.M.R. (2005). The importance of Scientific literacy in our Society. *Astrophysics, and How to Attract Young People into Physics*, 28-31. Liège, Belgique.
- Evagorou, M., Erduran, S. et Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices : From conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0024-x>
- Fortin, M.-F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche* (2e édition). Montréal: Chenelière éducation.
- Frenay, M. et Paul, C. (2004). Le développement de projets pédagogiques : Reflet ou source de l'engagement de l'enseignant universitaire dans ses activités d'enseignement. *Cahiers de recherche en éducation et formation*, 34, 26.
- Gabel D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-553.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J. et Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry : a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK : Results of the thinking from the PCK Summit. In Amanda Berry, P. Friedrichsen et J.

- Loughran (Éd.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (p. 28–42). New York: Routledge.
- Gilbert, J. K. et Treagust, D. (2009). *Multiple representations in chemical education* (J. K. Gilbert et D. Treagust, Éd.). s.l.: Springer.
- Gilbert, J. K. et Watts, D. M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98. <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher : teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Halim, L. et Meerah, S. Mohd. Mohd. \textgreater. (2002). Science Trainee Teachers' Pedagogical Content Knowledge and its Influence on Physics Teaching. *Research in Science et Technological Education*, 20(2), 215–225. <https://doi.org/10.1080/0263514022000030462>
- Harris, J. et Phillips, M. (2018). If There's TPACK, is There Technological Pedagogical Reasoning and Action? In E. Langran et J. Borup (Éd.), *Proceedings of Society for Information Technology et Teacher Education International Conference 2018* (p. 2051–2061). Consulté à l'adresse <https://www.learntechlib.org/p/182811>
- Hashweh, M. Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 33(1), 47–63.
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions : A reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 11(3), 273–292. <https://doi.org/10.1080/13450600500105502>
- Hattie, J. (2008). *Visible learning : A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Hill, H. C., Ball, D. L. et Schilling, S. G. (2008). Unpacking pedagogical content knowledge : Conceptualizing and measuring teachers' topic-specific knowledge of students. *Journal for research in mathematics education*, 372–400.
- Holmberg, J., Fransson, G. et Fors, U. (2018). Teachers' pedagogical reasoning and reframing of practice in digital contexts. *International Journal of Information and Learning Technology*, 35(2), 130-142. <https://doi.org/10.1108/IJILT-09-2017-0084>

- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Karsenti, T. et Demers, S. (2011). L'étude de cas. In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (Éd.), *La recherche en éducation* (p. 229-252). Saint-Laurent: ERPI.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., et van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Kwok, S. (2018). Science Education in the 21st Century. *Nature Astronomy*, 2(7), 530-533. <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0510-4>
- Lederman, N. G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice : Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 36(8), 916–929.
- Legendre, M.-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(4), 657. <https://doi.org/10.7202/031761ar>
- Lévy-Leblond, J.-M. (2014). La culture scientifique, pourquoi faire ? *Alliage*, (73).
- Magnusson, S., Krajcik, J. et Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome et N. G. Lederman (Éd.), *Examining pedagogical content knowledge : The construct and its implications for science education*. (p. 95–132). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Marais, A. F. (2011). Overcoming conceptual difficulties in first-year chemistry students by applying concrete teaching tools. *South African Journal of Chemistry*, 64(1), 151-157.
- Mashhadi, A. (1995). *Advanced Level Physics Students' Conceptions of Quantum Physics*. Présenté à Annual Meeting of the Singapore Educational Research Association, Singapore. Consulté à l'adresse <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED414197.pdf>
- Mcfarlane, D. A. (2013). Understanding the challenges of science education in the 21st century : new opportunities for scientific literacy. *International Letters of Social and Humanistic Sciences*, 2(2013), 35–44.

- Miles, M. B. et Huberman, M. A. (2003). *Analyse des données qualitatives* (2e {é}d.). Bruxelles: De Boeck.
- Muchielli, A. (1996). *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines et sociales*. Paris: Armand Colin.
- Neumann, K., Kind, V. et Harms, U. (2018). Probing the amalgam: the relationship between science teachers' content, pedagogical and pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1497217>
- Niess, M. L. et Gillow-Wiles, H. (2017). Expanding teachers' technological pedagogical reasoning with a systems pedagogical approach. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(3). <https://doi.org/10.14742/ajet.3473>
- Ornek, F., Robinson, W. R. et Haugan, M. P. (2008). What makes physics difficult? *Science Education*, 5.
- Papageorgiou, G., Markos, A. et Zarkadis, N. (2016). Students' representations of the atomic structure – the effect of some individual differences in particular task contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(1), 209-219. <https://doi.org/10.1039/C5RP00201J>
- Papi, C. et Glikman, V. (2015). Les étudiants entre cours magistraux et usage des TIC. *Distances et médiations des savoirs*, 3(9). <https://doi.org/10.4000/dms.1012>
- Park, D.-Y. et Prommas, C. (2017). Development of Thai Teachers' Pedagogical Reasoning by Utilizing Metacognitive Reflections in STEM Professional Development. *Journal of Education and Human Development*, 6(3). <https://doi.org/10.15640/jehd.v6n3a15>
- Park, S. et 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. et Suh, J. K. (2019). The PCK Map Approach to Capturing the Complexity of Enacted PCK (ePCK) and Pedagogical Reasoning in Science Teaching. In A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (Éd.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 185–197). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_8

- Racine, C. (2016). *Stratégies pédagogiques et leur effet sur la motivation et l'engagement des étudiants en sciences au collégial* (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- Reuter, Y., Cohen-Azra, C., Daunay, B., Delambre, I. et Lahanier-Reuter, D. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (3e éd.; Y. Reuter, Éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Roche Allred, Z. D. et Bretz, S. L. (2019). University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(2), 358-368. <https://doi.org/10.1039/C8RP00296G>
- Shannon, J. C. (2006). How Is PCK Embodied In The Instructional Decisions Teachers' Make While Teaching Chemical Equilibrium? University of Washington, Washington.
- Shiland, T. W. (1997). Quantum mechanics and conceptual change in high school chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), 12535-12545.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand : knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Turkish Science Education*, 4(2), 2-20.
- Sjøberg, S. (2002). Science and Technology Education in Education: Current Challenges and Possible Solutions. *Connect (Unesco)*, XXVII(3/4), 1-5.
- Smart, V. L. (2016). *Technological pedagogical reasoning. The development of teachers' pedagogical reasoning with technology over multiple career stages*. Griffith University, Queensland, Australie.
- Stahnke, R., Schueler, S. et Roesken-Winter, B. (2016). Teachers' perception, interpretation, and decision-making : A systematic review of empirical mathematics education research. *ZDM Mathematics Education*, 48(1-2), 1-27. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0775-y>
- Stefani, C. et Tsapralis, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry: A phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(5), 520-536. <https://doi.org/10.1002/tea.20279>

- Stojanovska, M., M. Petruševski, V. et Šoptrajanov, B. (2017). Study of the use of the three levels of thinking and representation. *Contributions, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences*, 35(1). <https://doi.org/10.20903/csnmbs.masa.2014.35.1.52>
- Taber, K. S. (2002). Conceptualizing quanta: illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. *Chemistry education: research and practice in Europe*, 3(2), 145-158.
- Taber, K. S. (2014). Thinking and learning in science. Perspectives on the nature and development of learners' ideas. <https://doi.org/10.4324/9780203695081>
- Taber, K. S. (2018). Alternative Conceptions and the Learning of Chemistry. *Israel Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/ijch.201800046>
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tippett, C. D. (2016). What recent research on diagrams suggests about learning with rather than learning from visual representations in science. *International Journal of Science Education*, 38(5), 725-746. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1158435>
- Treagust, D. (2007). General instructional methods and strategies. In S. Abell et N. Lederman (Éd.), *Handbook of research on science education* (p. 373-391). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and Molecular Structure in Chemical Education: A Critical Analysis from Various Perspectives of Science Education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922. <https://doi.org/10.1021/ed074p922>
- Tsaparlis, G. (2013). Learning and Teaching the Basic Quantum Chemical Concepts. In G. Tsaparlis et H. Sevian (Éd.), *Concepts of matter in science education* (p. 437-460). Dordrecht: Springer.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Bruxelles: Presses de l'Université de Montréal et de Boeck.
- van Dijk, E. M. et 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>

- Windschitl, M., Thompson, J. et Braaten, M. (2018). *Ambitious Science Teaching*. Cambridge: Harvard Education Press.
- Yammine, K. et Violato, C. (2016). The effectiveness of physical models in teaching anatomy : A meta-analysis of comparative studies. *Advances in Health Sciences Education, 21*(4), 883-895. <https://doi.org/10.1007/s10459-015-9644-7>
- Yoon, S., Anderson, E., Lin, J. et Elinich, K. (2019). *How Augmented Reality Enables Conceptual Understanding of Challenging Science Content*. 14.
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G. et Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice, 18*(4), 893-902. <https://doi.org/10.1039/C7RP00135E>

6 Le deuxième article de la thèse

Pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs abstraits et leur enseignement : analyse de la confrontation entre les pratiques déclarées et les pratiques effectives pour six enseignants de sciences

Christine Marquis

Université de Montréal

6.1 Résumé

Issu des préoccupations concernant l'enseignement des sciences dans le contexte de l'approche par compétences, cet article vise à analyser et expliquer les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe. Dans la perspective des travaux de Shulman (1987), Schön, (1994) et Wanlin et Crahay (2012), nous avons effectué une recherche qualitative descriptive impliquant six enseignants de chimie. Les données sont issues d'entrevues de rappel stimulé impliquant le visionnement avec l'enseignant de la vidéo de la leçon. L'analyse des données montre que pour la majorité des enseignants, la leçon se déroule essentiellement tel qu'elle avait été planifiée bien que certaines décisions soient prises dans l'action par les enseignants à la suite d'indices qu'ils perçoivent principalement chez leurs étudiants, décisions menant à divers comportements. Il arrive que, dans l'action, les enseignants aient à faire face à des dilemmes difficiles à dénouer et qu'ils doivent réfléchir sur le champ quant aux modifications à apporter à leur planification. Enfin, d'autres moments de réflexion ont été observés après l'action, moments qui permettent souvent d'adapter le plan pour les prochaines années.

Article qui sera soumis à la revue *Éducation et francophonie*

6.2 Introduction

Dans le contexte de l'enseignement avec un curriculum défini selon l'approche par compétences, les enseignants font face à différents défis tant didactiques que pédagogiques (Hirtt, 2009; Legendre, 2001; Meziane, 2014; Morrissette et Legendre, 2012). Par exemple, bien que cette approche laisse plus de liberté aux enseignants pour le choix des contenus à enseigner, elle exige qu'un travail soit fait de sorte que les savoirs enseignés soient articulés sur les finalités des programmes d'études (Lapierre, 2008) et que des méthodes d'enseignement qui favoriseront le développement de compétences soient priorisées (Chauvigné et Coulet, 2010; Tremblay, 1999).

De plus, l'enseignement des sciences et de la chimie, plus spécifiquement, exige que les savoirs, qui sont abstraits (Duit, 1991; Johnstone, 1991; Legendre, 1994; Marais, 2011; Sirhan, 2007; Taber, 2014), souvent invisibles à l'œil nu et qui s'incarnent dans plusieurs niveaux de représentation (microscopique, macroscopique et symbolique) (Adams, 2012; Gabel, 1999; Gilbert et Treagust, 2009; Johnstone, 1991; Stojanovska et coll., 2017; Talanquer, 2011) soient transformés en des formes plus faciles à apprendre par les étudiants (Shulman, 1987). Cette transformation, que l'on peut mettre en lien avec ce que Chevallard (1991) appelle la transposition didactique, a pour objectif de favoriser les apprentissages. Celle-ci peut toutefois créer des écarts entre les savoirs d'origine et les savoirs transformés (Legendre, 1994), écarts qui ont trait, entre autres, aux questions que ces savoirs devraient résoudre et aux relations existant entre ceux-ci et les autres concepts. De la même façon, selon Reuter, Cohen-Azra, Daunay, Delambre et Lahanier-Reuter (2013), « les choix pédagogiques et les découpages dans les savoirs peuvent, eux aussi, générer des obstacles concernant les enseignements ultérieurs » (p. 149). Taber (2005, 2016) souligne, pour sa part, la nécessité que les enseignants soient capables de simplifier suffisamment les concepts pour que ceux-ci puissent être facilement appris par les étudiants, en évitant une simplification excessive qui pourrait entraîner des obstacles à l'apprentissage.

Ces constats nous ont amenés à nous intéresser aux pratiques des enseignants pour la transformation des savoirs en des formes plus propices aux apprentissages lors de la

planification ainsi qu'aux pratiques d'enseignement de ces savoirs dans la classe. Nous nous sommes concentrés sur un objet d'enseignement spécifique, soit le modèle probabiliste de l'atome, un contenu d'enseignement abstrait prescrit dans le programme d'études collégiales québécois Sciences de la nature. Plusieurs modèles décrivant la structure de l'atome sont enseignés au secondaire en suivant l'ordre chronologique des découvertes scientifiques qui en sont à l'origine, alors que le dernier modèle accepté dans la communauté scientifique est plutôt enseigné dans le premier cours de chimie du programme Sciences de la nature au collégial. Plusieurs reconnaissent que les concepts reliés au modèle probabiliste de l'atome causent des difficultés d'apprentissage aux étudiants (Cervellati et Perugini, 1981; Cros et coll., 1986; Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman et van Joolingen, 2017; Mashhadi, 1995; Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Shiland, 1997; Stefani et Tsaparlis, 2009; Taber, 2002; Tsaparlis, 1997, 2013; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis, 2017). Par exemple, selon Stefani et Tsaparlis (2009), les modèles atomiques appris antérieurement constituent, des conceptions erronées, car elles sont fortement ancrées dans l'esprit des étudiants et entravent la transition vers une conceptualisation juste du modèle de l'atome (Taber, 2002).

L'intérêt d'une recherche visant à analyser les pratiques pour l'enseignement d'un contenu tel que celui-ci où les difficultés d'apprentissage sont d'ores et déjà étudiées dans la littérature est de pouvoir mieux comprendre comment des enseignants expérimentés ont pu réfléchir et développer des processus qui favoriseront ce changement dans la façon dont les étudiants conçoivent l'atome, ce dernier n'étant ni plus ni moins que l'élément à la base de la discipline chimie. Après une description des modèles théoriques mobilisés ainsi que des choix méthodologiques, nous discuterons des résultats obtenus pour les pratiques effectives en regard des moments de réflexion dans l'action et sur l'action observés.

6.3 Cadre théorique

En fonction de notre objectif de recherche qui est d'analyser et d'expliquer les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe, nous présentons dans cette section les modèles retenus pour l'analyse de ces pratiques.

Selon Altet (2003), plusieurs définitions peuvent s'appliquer au concept de pratiques enseignantes dépendamment des cadres de référence adoptés, des problématiques et des visées de recherche. Elle définit la pratique enseignante comme « la manière de faire singulière d'une personne, sa façon réelle, propre, d'exécuter une activité professionnelle : l'enseignement » (Altet, 2002, p. 86). Aux comportements observables de l'enseignant, elle ajoute ses processus cognitifs en précisant que « la pratique, ce n'est pas seulement l'ensemble des actes observables, actions, réactions, mais cela comporte les procédés de mise en œuvre de l'activité dans une situation donnée par une personne, les choix, les prises de décision » (Altet, 2002, Altet et Mhereb, 2017).

En regard de la recherche sur les pratiques enseignantes, Altet et Mhereb (2017) distinguent les pratiques déclarées qui concernent ce que disent faire les sujets (recueillies par le biais de questionnaires ou d'entrevues) des pratiques constatées ou effectives qui désignent ce que le chercheur observe de l'activité déployée en situation de classe (recueillies grâce à des observations souvent précédées ou suivies d'entrevues). Alors que dans le passé la plupart des recherches ont porté sur le discours des enseignants relativement à leurs pratiques (Maubant et coll., 2005), plusieurs auteurs ont souligné l'importance de tenter d'accéder aussi aux pratiques réelles ou effectives des enseignants (Bressoux, 2001; Bru, 2002; Clanet et Talbot, 2012) par l'observation de celles-ci. Car ces pratiques, aussi qualifiées de constatées (Clanet et Talbot, 2012) du fait que les pratiques effectives ne sont jamais totalement accessibles au chercheur, diffèrent des pratiques déclarées (Bru, 2002; Maubant et coll., 2005).

Différents paradigmes ont servi d'ancrage théorique aux analyses faites sur les pratiques enseignantes (Altet et Mhereb, 2017). Alors que les chercheurs du courant processus-produit ont tenté de mettre en évidence les variables des pratiques enseignantes observables influençant les apprentissages avec un devis expérimental, les recherches influencées par le paradigme cognitiviste ont porté sur les processus cognitifs impliqués dans les pratiques. Plus récemment, les recherches inspirées du courant de l'action et de la cognition située mettent de l'avant les caractéristiques de la situation comme déterminant des pratiques en remettant en question la place du plan comme générateur de l'action (Suchman, 1987). Enfin, celles issues

du paradigme systémique visent l'étude de la globalité des pratiques en les considérant comme un système (Marcel, Olry, Rothier-bautzer et Sonntag, 2002).

Afin de mieux comprendre comment se déroule l'enseignement des savoirs après qu'ils aient été transformés lors de la planification, deux modèles théoriques qui s'intéressent particulièrement aux processus cognitifs des enseignants durant l'enseignement semblent prometteurs, soit les travaux de Schön (1994) et ceux de Wanlin et Crahay (2012).

6.3.1 Des moments de réflexion dans l'action et des moments de réflexion sur l'action

Selon Schön (1994), dans le cadre de l'exercice professionnel, se glissent parfois des moments de réflexion en cours d'action (réflexion *dans* l'action) – lorsque l'on pense à ce que l'on fait en exécutant une tâche – et des moments de réflexion au sujet de l'action (réflexion *sur* l'action) – lorsque l'on réfléchit, par exemple, à ce que l'on fait habituellement pour arriver à réussir à exécuter si bien une action particulière. Suivant une perspective semblable, pour Perrenoud (1998a), la réflexion dans le feu de l'action pédagogique consiste principalement à l'activité mentale du professeur qui a à prendre de nombreuses microdécisions en lien avec la gestion de classe et avec le déroulement du cours, notamment. De la même manière que Schön, il distingue la réflexion « dans le feu de l'action » de la réflexion « sur l'action », une réflexion d'après-coup faite dans une perspective d'analyse de l'action passée. La réflexion sur l'action consiste ainsi à réfléchir sur son action pour la comparer, entre autres, à comment on aurait pu faire autrement ou comment on aurait pu faire mieux.

6.3.2 Une réflexion dans l'action impliquant la prise de nombreuses décisions

Se situant très près de cette perspective de la réflexion *dans* l'action, un modèle intégré de la pensée interactive est proposé par Wanlin et Crahay (2012), modèle issu d'une recension de la littérature anglophone portant sur la pensée des enseignants (*teacher thinking*). La pensée interactive fait référence à la pensée des enseignants pendant l'interaction en classe. Précisons que bien que ce modèle ne soit pas validé de façon empirique, nous l'avons tout de même retenu

puisqu'il offre une illustration du fonctionnement possible de la pensée interactive qui prend en compte les constats des recherches du paradigme de la pensée des enseignants (*teacher thinking*) (Wanlin et Crahay, 2012). Soulignons que les auteurs ont pris en considération plusieurs des critiques faites aux modèles décisionnels cognitivistes et que leur modèle tente de cerner les éléments auxquels pensent les enseignants quand ils donnent leur cours et les facteurs influençant ces pensées ou cette réflexion.

Selon ce modèle, présenté à la Figure 20, le plan de leçon élaboré lors de la planification de l'enseignement est le point de départ de la pensée interactive puisque les activités planifiées sont l'unité de traitement de base de l'enseignement et les réflexions en cours d'enseignement leur sont subordonnées (Wanlin et Crahay, 2012). Ce plan peut prendre la forme d'images mentales, d'un script, de notes manuscrites ou électroniques, etc.

La réflexion en cours d'interaction (pendant la phase interactive du cours) consisterait principalement à s'interroger quant à la poursuite de l'application du plan. Pendant le cours, l'enseignant prélèverait des indices en lien avec le déroulement du cours (relatifs à lui-même, aux étudiants ou à des facteurs contextuels), indices qui peuvent dans certains cas donner lieu à des dilemmes difficiles à gérer. Selon Wanlin et Crahay (2012), les dilemmes sont « des situations perçues par le professeur comme étant problématiques, dans lesquelles des croyances, des buts ou des indices contradictoires entrent en compétition » (p. 24). Suivant les différents indices perçus et devant l'éventualité de dilemmes à dénouer, l'enseignant jugera à quel point les indices perçus dépassent ses seuils de tolérance et prendra une décision qui pourra donner lieu à différents comportements.

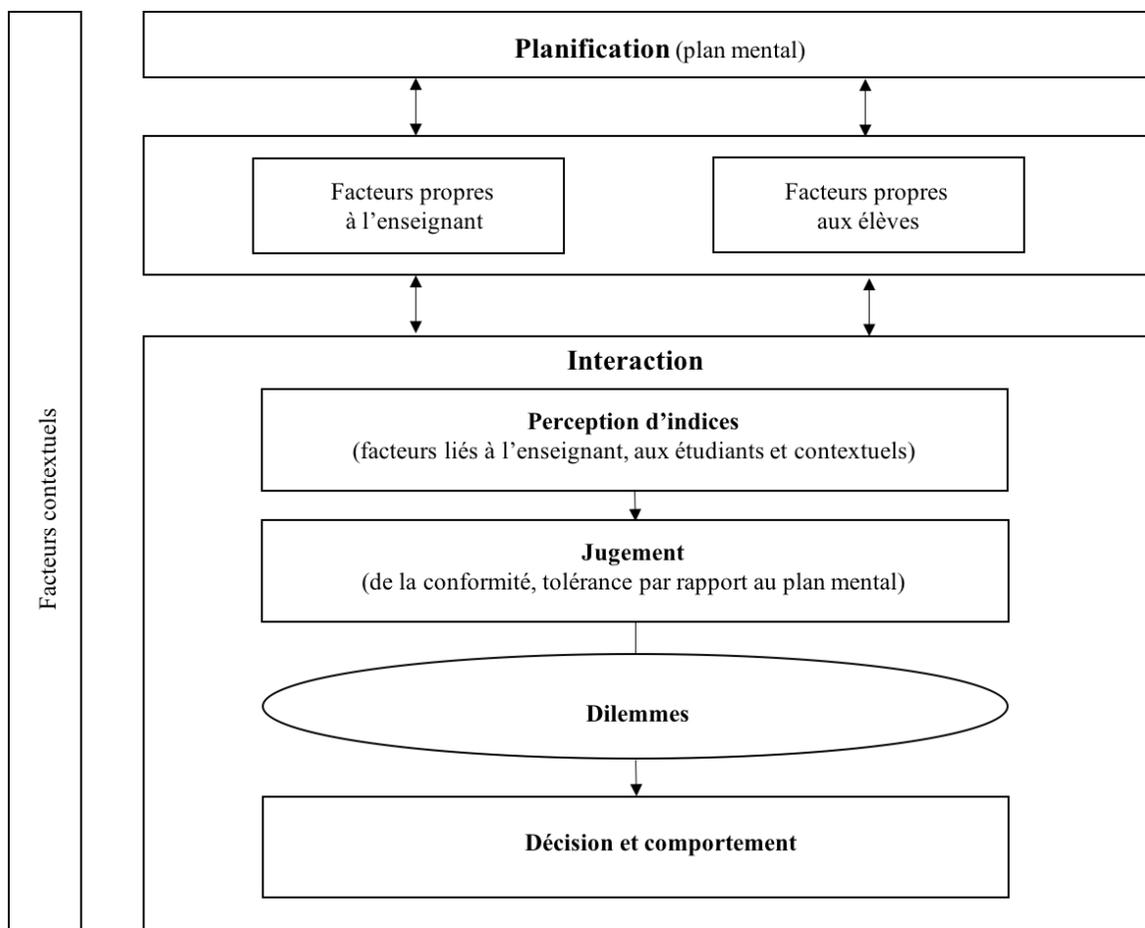


Figure 20. Le modèle intégré de la pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012).

6.4 Méthodologie

Nous avons fait divers choix méthodologiques dans l'objectif d'analyser et d'expliquer les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe. Dans cette section, nous présentons le type de recherche que nous avons retenu ainsi qu'une description des choix faits en regard de la sélection des participants, des outils de collectes de données et des méthodes d'analyse des données prioritaires.

6.4.1 Type de recherche

Suivant une posture épistémologique interprétative, nous avons opté pour une méthodologie de type qualitative descriptive. Le choix de ce type de recherche et les autres

choix méthodologiques que nous avons effectués devraient nous permettre d'étudier en profondeur (Royer, 2016) les pratiques des enseignants participants.

6.4.2 Participants

Afin de comprendre les pratiques enseignantes, nous avons sélectionné six enseignants de chimie (quatre hommes et deux femmes) provenant de cinq collèges différents avec un échantillonnage par choix raisonné. Ce type d'échantillonnage permet au chercheur de choisir les participants sur la base de certains critères, de sorte que ceux-ci représentent bien le phénomène que l'on cherche à étudier (Fortin, 2010). Les critères guidant la sélection des participants étaient avoir au moins cinq ans d'expérience en enseignement, donner le cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature au moment de la collecte, avoir donné ce cours à au moins trois reprises, avoir suivi une formation en pédagogie (ou être reconnu dans leur milieu pour son intérêt envers la pédagogie). La Figure 21 présente les caractéristiques des six enseignants participants.

Yvan

Baccalauréat en chimie, maîtrise et doctorat en chimie organique
5 ans d'expérience
Pas de formation en pédagogie, intérêt, fait partie d'un comité pédagogique
Cours donné 10 fois (3 fois dans la classe active d'apprentissage)

Antoine

Baccalauréat en biochimie et maîtrise en biochimie
Un peu plus de 6 ans d'expérience
Microprogramme en enseignement post-secondaire (15 crédits obtenus)
Cours donné 5 fois

Paul

Baccalauréat en chimie, maîtrise et doctorat en chimie organique
7 ans d'expérience
Formation non créditée de 15 heures offerte par son collègue
Cours donné 5 fois

Geneviève

Baccalauréat en biochimie et maîtrise en biochimie (études doctorales non complétées)
11 ans d'expérience
Programme court de deuxième cycle en pédagogie de l'enseignement supérieur
Cours donné plus de 10 fois

Evelyne

Baccalauréat en biochimie, maîtrise en microbiologie agricole (chimie organique)
13 ans d'expérience
Microprogramme en enseignement post-secondaire (15 crédits obtenus) + cours crédités PERFORMA
Cours donné plus de 10 fois

Philippe

Baccalauréat et maîtrise en chimie
12 ans d'expérience
Diplôme de 2e cycle en enseignement collégial (30 crédits complétés)
Cours donné plus de 10 fois

Figure 21. Caractéristiques des six enseignants participants.

Comme les pratiques ne peuvent être dissociées du contexte dans lequel elles s'observent, nous avons choisi de préciser les éléments du contexte entourant les pratiques de chacun des enseignants participants (Figure 22).

Yvan

Étudiants inscrits dans une option « enrichissement » (sélectionnés d'après leurs résultats scolaires)

Cours donné dans une classe d'apprentissage actif

Cours donné à la semaine 8

Groupe fort (selon l'enseignant)

Antoine

Étudiants ne suivant pas le cheminement régulier de la grille de cours, beaucoup effectuent un retour aux études

Cours donné dans une classe régulière

Cours donné à la semaine 7

Groupe faible (selon l'enseignant)

Paul

Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours

Cours donné dans une classe régulière

Cours donné à la semaine 4

Groupe de force moyenne (selon l'enseignant)

Geneviève

Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours

Cours donné dans une classe régulière

Cours donné à la semaine 4

Groupe de force moyenne (selon l'enseignante)

Evelyne

Étudiants ne suivant pas le cheminement régulier de la grille de cours

Cours donné dans une classe régulière

Cours donné à la semaine 4

Groupe moyen-faible (selon l'enseignante)

Philippe

Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours

Cours donné dans une classe régulière

Cours donné à la semaine 4

Groupe de force moyenne (selon l'enseignant)

Figure 22. Éléments du contexte pour les six enseignants participants.

6.4.3 Outils de collecte de données et analyse des données

Avant la leçon, nous avons réalisé des entrevues individuelles portant sur la planification avec les enseignants afin que ceux-ci nous expliquent comment ils avaient appréhendé les savoirs pour les étudiants et comment ils avaient prévu les enseigner. Ces entrevues ont été faites avec le matériel didactique que chaque enseignant avait conçu.

Afin d'observer les pratiques effectives en classe, nous avons réalisé des enregistrements vidéo de la leçon. Ces enregistrements ont été visionnés par la chercheuse et chacun des enseignants lors d'une entrevue de rappel stimulé. Selon Tochon (1996), le rappel stimulé est une technique qui utilise la rétroaction vidéo pour expliciter les processus mentaux interactifs et les catégoriser de manière objective. En confrontant l'enseignant à l'enregistrement de son enseignement, cela lui demande de revivre l'épisode enregistré et de reconstituer ses processus mentaux au moment où l'expérience a été vécue. L'enseignant arriverait ainsi à reconstituer rétrospectivement, à partir d'indices, des processus mentaux antérieurement véhiculés par la mémoire à court terme. Cette technique a été privilégiée dans les recherches visant à comprendre la pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012).

La consigne générale donnée aux enseignants au début de l'entrevue de rappel stimulé consistait, en gros, à leur demander d'exprimer ce qu'ils avaient en tête pendant qu'ils enseignaient à différents moments dont lorsque leur enseignement avait été différent de ce qu'ils avaient planifié. Ces entrevues visaient à mettre en évidence ce que l'enseignant fait réellement en classe compte tenu de sa planification. Elles nous ont ainsi permis, entre autres, de mettre en lumière certaines microdécisions prises durant l'interaction. Précisons que l'objectif n'était pas de vérifier si les enseignants procédaient exactement tel qu'ils avaient planifié, mais plutôt de voir comment ceux-ci jonglaient avec toutes les contraintes de la situation malgré ce qu'ils avaient prévu.

La combinaison des entrevues de planification et des entrevues de rappel stimulé réalisées après l'observation en classe nous a permis de faire une double lecture des pratiques d'enseignement qui, selon Lefevre (2013), ne se réduisent ni à la planification ni à la situation

ici et maintenant. Selon cette auteure, cette double lecture des pratiques permettrait au chercheur d'effectuer des inférences à partir des éléments conscientisés et non conscientisés de l'action.

La Figure 23 résume les outils de collecte de données utilisés afin de mettre en lien les pratiques déclarées lors de l'entrevue de planification avec les pratiques observées ainsi qu'avec le discours sur ces pratiques recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé.

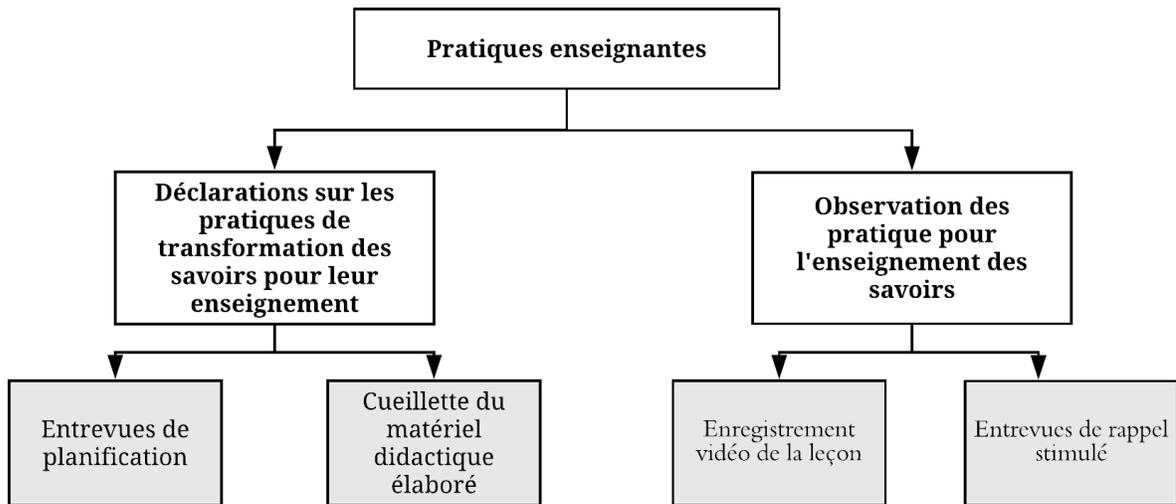


Figure 23. Outils utilisés afin de collecter les données liées aux pratiques déclarées de transformation des savoirs et aux pratiques effectives observées lors de l'enseignement.

Les données recueillies lors des entrevues portant sur les planifications et lors des entrevues de rappel stimulé ont été analysées en parallèle selon le modèle de Miles et Huberman (2003), un modèle concevant l'analyse qualitative comme trois flux concourants d'activités, soit la condensation des données, la présentation des données ainsi que l'élaboration et la vérification de conclusions.

Toutes les entrevues ont d'abord été transcrites. Nous avons amorcé l'élaboration d'une grille de codage mixte en intégrant d'abord les codes issus du cadre théorique. Dans le cas des entrevues portant sur la planification, la grille contenait des catégories issues du modèle de la transformation de Shulman (1987) alors que pour les entrevues de rappel stimulé, cette partie

de la grille de codage s'est fondée sur les modèles de Schön (1994) et de Wanlin et Crahay (2012). Nous avons ensuite fait une lecture globale du corpus en portant attention aux thèmes émergents du discours des participants (Van der Maren, 1996) afin de les incorporer à la grille de codage. Nous avons alors établi que les unités de sens seraient constituées par les idées principales du discours, celles-ci pouvant varier entre une proposition et un paragraphe. À l'aide du logiciel QDA Miner, la chercheuse a codifié 3 entrevues à partir de ces grilles de façon à les valider et les raffiner. Une fois la grille stabilisée, une assistante de recherche a effectué le contre-codage des données de façon à obtenir un accord interjuge de 75 % sur 3 entrevues. Le codage du corpus a été revu selon la dernière version de la grille de codage. Les données extraites ont ensuite été présentées sous la forme de tableaux, de figures et de texte narratif. Enfin, la triangulation méthodologique des données, réalisée grâce à l'utilisation de plusieurs outils de collecte de données, a permis d'émettre certaines hypothèses interprétatives.

6.5 Résultats

Dans l'objectif d'analyser et d'expliquer les pratiques effectives des enseignants en classe en lien avec celles qu'ils avaient déclarées, parmi les différents résultats obtenus, nous retenons certains aspects directement en lien avec les décisions concomitantes aux réflexions dans l'action et avec les réflexions sur l'action faites par les enseignants. Après avoir exposé les thèmes retenus pour l'analyse qualitative des données, nous présenterons nos données relativement aux pratiques effectives, en lien avec leur proximité avec le plan ainsi qu'en lien avec les réflexions dans l'action et sur l'action des enseignants.

Le Tableau 6 présente une vue d'ensemble des principaux thèmes retenus en regard de la réflexion dans l'action et sur l'action des enseignants. Ces différents thèmes ont été identifiés à partir du cadre théorique (notamment en regard des travaux de Schön (1994) et de Wanlin et Crahay (2012)). Ils ont aussi émergé des données lors de l'analyse de contenu. Ces thèmes ont constitué les catégories pour l'analyse. Les fréquences d'occurrence des différentes catégories dans le discours sont aussi présentées.

Tableau 6

Éléments des pratiques effectives pris en compte pour l'analyse des données

Catégories		Fréquences						
		Yvan	Antoine	Geneviève	Evelyne	Philippe	Paul	
Réflexion dans l'action								
	Appréciation du déroulement (dans l'action)	1	1		1		6	
	Prise de décision							
	Perception d'indices	Réactions des étudiants aux questions du prof	4	0	3	3	1	0
		Questions des étudiants	4	1	1	5	2	2
		Difficultés lors d'exercices	0	3	2	1	0	0
		Niveau de compréhension des étudiants	0	0	2	0	0	2
		Signes non-verbaux des étudiants	1	0	4	1	2	0
		Problèmes techniques	1	0	0	1	0	0
		Gestion du temps	2	1	0	0	2	2
	Jugement	12	5	5	11	6	4	
	Dilemme	Facteurs du prof		0	0	1	0	0
			2	0	2	2	0	1
	Décision et comportement	Continuer le plan	6	0	4	3	1	1
		Répondre aux questions	2	1	1	2	2	1
		Couper la matière	2	0	0	0	2	1
		Utiliser une autre forme de représentation	1	0	0	0	0	1
		Autre ajustement léger	0	3	0	3	1	0
	Ajuster le plan dans le futur	0	1	1	1	0	0	
Réflexion sur l'action								
	Commentaire sur représentation utilisée	4	8	5	4	2	4	
	Commentaire sur activité d'ens. ou d'apprentissage	1	6	1	1	3	3	
	Commentaire sur le comportement des élèves	3	3	1	0	0	2	
	Commentaire critique sur prestation du prof	3	0	0	0	1	0	
	Commentaire sur modifications à faire	1	0	1	0	1	3	
	Justification des choix de planification	0	9		4	2	2	
	Intégration au plan à la suite d'une réflexion (passé)	3	1	2	1	0	2	
	Improvisation	0	0	1	0	0	3	

6.5.1 Des moments de réflexion dans l'action impliquant de prendre des décisions

Les propos recueillis ont été analysés en regard, entre autres, des concepts de réflexion dans l'action et sur l'action de Schön (1994) et du modèle intégré de la pensée interactive des enseignants proposé par Wanlin et Crahay (2012). Outre les pratiques observables contenues dans les enregistrements vidéo, ces entrevues ont mis en lumière différents processus cognitifs des enseignants, dont des moments de réflexion dans l'action où certaines décisions ont été prises et d'autres moments de réflexion sur l'action.

6.5.1.1 Le plan : le point de départ des réflexions prises dans l'action

Une grande partie des données que nous avons recueillies en lien avec les réflexions dans l'action des participants concernaient principalement les décisions que ceux-ci avaient eu

à prendre à certains moments de la leçon. Ces décisions semblent fortement influencées par la planification des enseignants.

Alors qu'un des enseignants, même s'il avait un plan relativement élaboré, nous a confié planifier son enseignement en laissant beaucoup de place à l'improvisation en classe, les autres avaient tous un plan très précis avant leur leçon. L'analyse des données issues des entrevues de planification et les observations faites durant les leçons montrent que pour la majorité des enseignants, la leçon se déroule essentiellement tel qu'elle avait été planifiée. Dans l'extrait suivant, un enseignant explique qu'il tente d'améliorer son plan chaque session en apportant des changements. Il explique aussi que pour la leçon observée, il n'y a pas eu beaucoup de changement par rapport à ce qui avait été planifié.

Chercheuse : Tu as donné le cours plusieurs fois. Est-ce qu'il y a beaucoup de changement dans ce que tu planifies ?

Prof : Bien... Ça change chaque session. Puis, peut-être pas sur cette section-ci parce que je m'étais plus penché dessus une fois dans le passé... Mais non, j'ai constamment des choses à changer parce que... Non, non, vraiment, j'essaie de me trouver un exemple, mais il y a quelque chose, il y a quelqu'un qui me dit quelque chose, pis j'ai fait : « ça fait dix fois que je fais ça, pis je n'avais jamais pensé à ça ».

Chercheuse : Mais entre ce que tu avais planifié pour ton cours et ce que tu as fait ?

Prof : Là, je t'avoue qu'il n'y a pas eu beaucoup de surprises ...

Les pratiques effectives observées correspondent, en bonne partie, aux pratiques planifiées déclarées par les enseignants lors des entrevues portant sur la planification de l'enseignement. Toutefois, cela ne signifie pas que les enseignants appliquent aveuglément leur plan de sorte que la leçon se déroule exactement comme elle avait été planifiée. Nous avons, en effet, observé, pendant la leçon, certaines différences plus ou moins importantes par rapport à ce qui avait été planifié et nous avons interrogé les enseignants à propos de celles-ci.

6.5.1.2 Les différents indices perçus dans l'action à la base des prises de décision

Le premier constat dégagé est que, pour la majorité des décisions que nous avons répertoriées, les indices perçus par les enseignants à la base de ces décisions sont liés aux étudiants.

D'abord, pour chacun des enseignants participants, nous avons relevé au moins une décision prise suite à des questions posées par les étudiants. Dans certains cas, les questions des étudiants portent sur des contenus mal compris par les étudiants. Les enseignants apprécient se faire poser ces questions puisque cela est très informatif pour eux quant au niveau de compréhension des savoirs. Dans d'autres cas, les étudiants posent des questions à propos de concepts que l'enseignant avait prévu expliquer plus tard dans la leçon.

Un deuxième type d'indice perçu à la base de certaines des décisions prises par la majorité des enseignants concerne les réactions des étudiants aux questions posées par l'enseignant. Par exemple, il arrive que les étudiants n'aient aucune réaction face aux questions posées par leur enseignant.

D'autres indices perçus en lien avec les étudiants ont aussi été à la base d'une réflexion dans l'action et de la prise d'une décision selon les enseignants. Dans certains cas, ce sont des difficultés observées lors des exercices (pour trois enseignants), le jugement du prof du niveau de compréhension des étudiants des contenus à apprendre (pour deux enseignants) ou encore, des signes non verbaux (pour quatre enseignants). L'extrait suivant montre comment les questions posées par plusieurs étudiants éprouvant des difficultés lors de la résolution d'un exercice amènent l'enseignant à questionner relativement à la pertinence de cet exercice.

J'ai remarqué qu'une de mes questions (un exercice) n'était pas très claire parce que tout le monde m'a dit, je ne comprends pas cette question [...]. J'ai posé cette question parce que ça va devenir important plus tard, mais je pense que je vais la retirer parce qu'à ce stade-ci ça complexifie ou il faudrait que je fasse un exemple...

Enfin, certains indices relevés sont plutôt liés à l'enseignant lui-même ou à des éléments contextuels tels que la gestion du temps ou de l'environnement matériel.

Ainsi, les enseignants accordent une importance très grande à ce qu'ils perçoivent chez leurs étudiants pendant la leçon et prennent en compte les différents indices perçus pour décider de leurs interventions et intervenir malgré ce qui avait été planifié. Ils accordent aussi de l'importance à tous les autres éléments du contexte afin d'agir en situation d'enseignement-apprentissage.

6.5.1.3 Un jugement difficile à appréhender

Pour chacune des prises de décision que nous avons pu observer, nous avons demandé à l'enseignant de nous faire part du rationnel sur lequel il s'était basé dans l'action pour intervenir ou non en fonction des indices perçus. Nos résultats montrent que les enseignants réfléchissent pendant leur enseignement au fur et à mesure qu'ils détectent des indices. Bien que nous souhaitions mettre en lumière cette réflexion, il va sans dire que celle-ci demeure largement implicite et difficile à décrire.

Par exemple, dans l'extrait suivant, un des enseignants nous explique son raisonnement alors qu'une étudiante lui a posé une question.

Elle me demande « Qu'est-ce que ça veut dire ? ». C'est bien beau, on apprend des chiffres, mais qu'est-ce que ça veut dire ? Puis moi je sais que je vais en parler, parce que le prochain exercice [...]. C'est pourquoi je ne veux pas que l'exercice que je leur envoie soit trop long, parce que justement, ils ont hâte d'avoir le concept sur lequel ils peuvent s'accrocher.

Dans ce cas, la question posée amène l'enseignant à penser que les étudiants ont besoin d'apprendre les prochains savoirs prévus au cours de façon à ce qui leur a été présenté jusqu'à maintenant fasse du sens et qu'il doit, à ce moment, favoriser la « progression » des savoirs dans la leçon.

Selon Wanlin et Crahay (2012), suite à la perception d'indices, les enseignants jugeraient à quel point l'enseignement se déroule conséquemment à ce qui avait été planifié et en accord avec leurs conceptions pédagogiques tout au long de l'avancement de la leçon. Cette réflexion les amènerait à décider d'une issue et, possiblement, d'un comportement à adopter.

6.5.1.4 Des dilemmes difficiles à dénouer

Nos résultats indiquent que les enseignants sont parfois placés devant des dilemmes dans des situations « problématiques » où différents éléments se confrontent et où la réflexion dans l'action consiste à trouver une solution qui s'apparente davantage à un compromis afin de dénouer ces dilemmes.

Nous avons ainsi observé l'apparition de quelques dilemmes se manifestant dans l'action et tenté de comprendre la réflexion des enseignants en lien avec ceux-ci. Par exemple, on peut lire dans le prochain extrait qu'un des enseignants participants a fait face à un dilemme lorsqu'un de ses étudiants (issu d'un groupe d'une option « enrichissement ») lui pose une question dont la réponse renvoie à des notions prévues plus tard dans la leçon.

« Il me pose une question à propos des nœuds. [...] Mais je sais où il s'en allait, puis je sais que dans 5 diapos, on va en parler. C'est pour ça que je réponds, mais en sachant très bien qu'on va y répondre plus en détail plus tard. C'est pour ça que je disais que ce groupe-ci, au début de la session, ils posent énormément de questions que j'avais les réponses tout le temps, mais c'est qu'il faut qu'on suive, il faut qu'on se rende là... Sauf qu'en même temps, je veux interagir avec lui. Donc, des fois, j'avance les diapos, je reviens, mais c'est correct, c'est que ça crée une autre atmosphère dans le cours aussi. [...] Quand il y en a qui posent des questions, par rapport à un groupe d'enrichissement, les autres qui n'ont jamais vu ça, ils peuvent se sentir un peu diminués... Donc ce n'est pas que je veux suivre ce que j'ai préparé et que je ne suis pas capable de m'adapter, c'est aussi qu'il faut être sûr que j'embarque tout le monde dans le bateau. »

Cet extrait montre toute la complexité de la réflexion de l'enseignant suite à une simple question posée par un étudiant. On peut voir que, malgré que la réponse à cette question d'enrichissement était prévue un peu plus loin dans le cours, l'enseignant a réfléchi à sa manière d'intervenir en considérant différents éléments tels que le fait qu'il doit gérer le temps, qu'il apprécie que ses étudiants posent des questions et les encourage à le faire et qu'il doit penser à comment les autres étudiants pourraient se sentir vis-à-vis cette question d'enrichissement. Cet enseignant a donc dû choisir entre ne pas répondre à la question (parce qu'il avait prévu aborder ces notions plus tard, qu'il souhaitait que les autres étudiants puissent suivre et ne sentent pas « inférieurs » de ne pas comprendre la question et que le temps filait) ou y répondre (parce qu'il aime interagir avec ses étudiants et qu'il les encourage à poser des questions). Dans ce cas précis, devant ces deux options contradictoires, l'enseignant a fait le compromis d'ajuster légèrement son plan en répondant très brièvement à la question de façon à tenir compte des différents éléments de la situation.

Le prochain extrait montre un dilemme auquel a dû faire face un autre enseignant alors que, après la présentation d'une vidéo portant sur la mécanique quantique, les étudiants se sont mis à poser un très grand nombre de questions à propos des concepts présentés dans la vidéo.

Pendant l'exercice d'avant, j'avais été revoir le calendrier pour les prochains cours. Les questions qu'ils posaient, c'était des questions assez poussées puis ça, je ne voulais pas que ça meure... Si j'avais pu choisir la date de mon examen final, je pense que j'aurais fini mon cours avec ça, on aurait poussé ça... Parce que c'est ça qui est le fun et c'est ça qu'ils vont retenir [...] Quelque chose se passait là. La discussion était vraiment l'fun, mais je le sentais que ceux qui n'étaient pas partie prenante de la discussion, étaient en train de se noyer carrément. C'était très dangereux...

Un dilemme s'est posé à cet enseignant du fait qu'il a dû choisir entre laisser les étudiants continuer à poser ces questions (qu'il considérait comme des questions de « haut niveau ») ou mettre un terme à ces questions et continuer la leçon (il sentait que le temps filait et que certains étudiants n'arrivent plus à suivre la discussion). Dans ce cas précis, cet enseignant, qui était préoccupé par le temps, a choisi de laisser libre cours aux questions et à la discussion pendant un certain temps pour ensuite revenir à ce qui avait été planifié. Cette décision prise en tenant compte des contraintes temporelles, ne satisfaisait pas pleinement l'enseignant qui aurait souhaité laisser ses étudiants poser leurs questions et s'exprimer. Il était, en effet, heureux de les voir curieux et participatifs.

On peut constater que pour les différents dilemmes observés, la contrainte du temps est un facteur important pris en compte par les enseignants pour choisir de l'intervention à mettre en œuvre. Ce choix est aussi tributaire des étudiants : de leur niveau de compréhension, de leur niveau de participation, etc. Les choix sont donc faits selon les connaissances que possèdent les enseignants à l'égard des caractéristiques de leurs étudiants, des connaissances relatives à l'ordonnement des savoirs et des connaissances en lien avec la gestion du temps didactique. Ces connaissances sont mobilisées lors de la planification de la leçon, mais aussi pendant la leçon elle-même. Elles permettent aux enseignants, face aux dilemmes, de prendre des décisions qui ne les satisfont pas pleinement, mais qui constituent l'option la mieux adaptée en considérant tous les éléments du cours.

6.5.1.5 Des décisions menant à divers comportements

Enfin, nos résultats suggèrent différents types de décisions prises par les enseignants en lien avec ce qui avait été planifié. À plusieurs reprises, ceux-ci ont décidé de poursuivre leur leçon telle que planifiée malgré les indices perçus et du jugement qu'ils avaient porté sur ces

indices. À d'autres reprises, ils ont décidé de procéder à des ajustements légers de leur plan. Dans certains cas, les ajustements consistaient à répondre aux questions des étudiants. Bien qu'en apparence, cette décision semble aller de soi, le dilemme présenté plus haut montre qu'une telle décision n'est pas nécessairement si simple. Dans une moindre mesure, la décision prise a été de ne pas traiter certains éléments de contenu ou d'utiliser une autre forme de représentation des contenus pour faire comprendre des concepts. Enfin, pour certains enseignants, la décision prise a été de consigner l'information dans le but de modifier leur planification pour les prochaines fois qu'ils donneront le cours. Ces résultats montrent que bien que les enseignants tendent à suivre le plan qu'ils ont élaboré au fil des années, différents éléments de la situation peuvent les amener à le modifier.

6.5.2 Des moments de réflexion sur l'action

Les entrevues de rappel stimulé nous ont aussi permis de mettre en évidence certaines réflexions sur l'action, une réflexion qui est plutôt faite sur une action passée dans l'objectif de porter un jugement sur celle-ci.

Nos données montrent que ces réflexions ont donné lieu à certains commentaires critiques sur différents choix faits lors de la planification en lien avec les formes de représentation des contenus et les activités d'enseignement et d'apprentissage. Ces commentaires révélaient les perceptions des enseignants quant aux points forts et aux points faibles de leurs choix. Dans d'autres cas, ces réflexions consistaient à faire un commentaire critique sur son enseignement. L'extrait suivant illustre un exemple de commentaire fait par un enseignant jugeant que la réponse qu'il avait donnée à une étudiante n'était pas satisfaisante.

- Prof : Ça c'est la question...
- Interviewer : Je trouvais que tu avais l'air content d'avoir cette question-là qui intégrait...
- Prof : Je pensais qu'elle allait me demander après cette question : pourquoi les électrons ne se rentrent pas dedans, pourquoi il n'y a pas des collisions électroniques ? C'est pour ça que je trouvais que c'était parfait pour aller expliquer ça, mais non c'était pas ça ... [...]. Là, je n'ai bien pas expliqué. J'ai répondu à la question, mais je n'étais pas fier parce que je faisais juste redessiner puis réécrire ce que j'avais déjà écrit. Elle pose une question sur quelque chose

qu'elle n'a pas compris du premier coup et moi qui fais juste lui redire la même chose que j'ai dit le premier coup. Je ne suis pas sûr que ça a aidé. [...] J'aurais préféré lui donner une autre explication.

Nul doute que si un autre élève lui pose la même question dans le futur, cet enseignant améliorera sa façon de répondre afin que cette réponse soit plus satisfaisante pour l'étudiant et pour l'enseignant.

Enfin, nous avons relevé quelques situations où l'enseignant, après une réflexion sur l'action concernant des événements passés, a décidé d'apporter certaines modifications. Cela peut se traduire, par exemple, par la création de matériel didactique en prévision de questions d'étudiants, matériel que l'enseignant utilisera seulement dans l'éventualité où la question lui est posée.

La réflexion sur l'action permet aux enseignants, selon nous, d'apporter des modifications à leur plan et à leur enseignement de façon que celui-ci puisse être davantage adapté aux caractéristiques des étudiants au fil des années.

6.6 Discussion et conclusion

Selon Schön (1994), des moments de réflexion en cours d'action (réflexion *dans* l'action) se glissent dans le cadre de l'exercice professionnel. Ainsi, pour les enseignants, cette réflexion dans l'action consiste à son activité mentale lors des nombreuses microdécisions qu'il doit prendre en lien, notamment, avec la gestion de classe et avec le déroulement du cours. La réflexion sur l'action consiste, quant à elle, à réfléchir à son action a posteriori afin de porter un jugement sur elle.

Selon le modèle intégré de la pensée interactive proposé par Wanlin et Crahay (2012), le plan élaboré lors de la planification de l'enseignement est le point de départ de la pensée interactive. La réflexion en cours d'interaction (pendant la phase interactive du cours) consisterait donc principalement à s'interroger quant à la poursuite de l'application du plan. Pendant le cours, l'enseignant prélèverait des indices en lien avec le déroulement du cours. L'enseignant porterait alors un jugement relativement aux indices perçus et prendrait une décision amenant un certain comportement.

6.6.1 Des pratiques effectives fortement influencées par le plan

Dans notre étude, les pratiques effectives observées correspondaient, en bonne partie, aux pratiques planifiées déclarées par les enseignants. Ces observations concordent avec les données de différents chercheurs selon lesquelles les décisions prises lors de la planification de l'enseignement orientent les décisions prises en cours d'action (Borko et Shavelson, 1990; Calderhead, 1996; Clark et Yinger, 1978; Moallem, 1994; Parker et Gehrke, 1986; Peterson et coll., 1978; Putnam et Duffy, 1984; Tochon, 1993a; Tochon, 1993b; Warner, 1987) et que le plan, peu importe la forme qu'il prend, est à la base de ce qui se passe dans l'interaction. Les enseignants expérimentés n'appliquent toutefois pas aveuglément un plan rigide. Certaines habiletés leur permettent, en effet, de réfléchir dans l'action afin d'adapter leur enseignement aux contraintes de la situation.

6.6.2 Le développement d'habiletés permettant de percevoir des indices dans la classe

Nos résultats ont montré que les enseignants participants percevaient un grand nombre d'indices provenant des étudiants. Différents travaux ont porté sur le « teacher's noticing » dans le domaine des mathématiques, notamment (Santagata et Yeh, 2016). Ce concept réfère à la capacité des enseignants à faire des observations dans le cadre de l'enseignement et ainsi de percevoir une multitude de choses en lien avec, entre autres, les étudiants et leurs relations avec les contenus (Sherin, Jacobs et Philipp, 2011). L'expérience serait un facteur qui influencerait cette habileté à percevoir différents indices en lien, entre autres, avec les étudiants (Stahnke et coll., 2016). En effet, les enseignants expérimentés seraient mieux habilités à percevoir et, ainsi, percevraient plus d'indices. Dans le même ordre d'idées, Tan (1996) a montré que les « cartes de perception » des enseignants expérimentés étaient plus complexes et mieux organisées hiérarchiquement que celles des enseignants inexpérimentés. Selon l'auteur, les enseignants arrivent à percevoir plus de choses avec plus de détails en lien avec les besoins des étudiants, l'engagement, la performance, etc. Dans notre étude, l'expérience détenue par les enseignants participants (5 à 13 années) explique fort probablement le fait qu'ils aient pu percevoir autant d'indices provenant des étudiants lors de leur leçon. Ces indices perçus amènent différentes

informations à l'enseignant, dont certaines, en lien avec les difficultés, erreurs ou conceptions alternatives des étudiants.

6.6.3 Le développement d'habiletés permettant de réfléchir et de réagir adéquatement dans la classe

Selon le modèle de Wanlin et Crahay (2012), suite à la perception de ces indices, les enseignants jugeraient à quel point l'enseignement se déroule conséquemment à ce qui avait été planifié et en accord avec leurs conceptions pédagogiques tout au long de l'avancement de la leçon, ce qui les amènerait à décider d'une issue et d'un comportement à adopter. Encore là, des habiletés particulières permettraient à l'enseignant d'interpréter les indices perçus et de réagir. Ces habiletés seraient liées aux connaissances professionnelles que possèdent les enseignants, en incluant la connaissance pédagogique de contenu (PCK) les connaissances disciplinaires CK) de ceux-ci, mais aussi à leurs conceptions (Stahnke et coll., 2016). Les connaissances permettraient ainsi de mieux percevoir les indices, de mieux les interpréter de manière à améliorer la prise de décision dans l'action.

Hashweh (2005) définit la connaissance du contenu pédagogique (PCK) comme l'ensemble ou le répertoire de constructions pédagogiques personnelles, basées sur des événements passés, spécifiques à un contenu, développées par l'enseignant expérimenté à la suite d'une planification et d'un enseignement répétés et d'une réflexion sur l'enseignement de contenus enseignés régulièrement. L'expérience, ou plutôt les expériences vécues permettraient de développer ces constructions pédagogiques constituant le PCK. Aussi, les réflexions dans l'action et sur l'action auxquelles nous faisons référence dans notre recherche permettraient aux enseignants d'élaborer ces « constructions pédagogiques » constituant le PCK. À l'inverse, ces connaissances permettraient aux enseignants d'améliorer leurs habiletés de perception, d'interprétation et de prise de décision mobilisée lors de la réflexion dans l'action.

Selon Tochon (1989), l'expérience permettrait d'élaborer des routines suite à l'intériorisation des plans antérieurs, les routines étant des schèmes intériorisés reproduisant des plans d'action. Ainsi, selon l'auteur, l'enseignant

filtre la connaissance au travers d'une structure d'accueil qui procède à la transposition didactique des informations. Les plans cognitifs générés par ce cadre intériorisé organisent les routines en interaction avec le terrain et permettent l'improvisation, c'est-à-dire l'adaptation des structures didactiques à la réalité mouvante de la classe (p. 23).

Cet extrait illustre la place du plan (qui demeure bien souvent cognitif) relativement aux événements de la phase interactive de l'enseignement. Bien qu'il ait une forte influence sur ce qui se déroule durant la leçon, les enseignants expérimentés ont cette capacité à organiser les routines résultant de la phase de planification de manière à modifier ce plan, à « improviser » pour tenir compte de tous les éléments de la classe, dont bien sûr, les étudiants. Tochon (1993a) utilise le terme « fonctionnement improvisationnel » pour qualifier la nature des processus mentaux qui orientent les pratiques des enseignants expérimentés qui adaptent leurs pratiques aux éléments du contexte. Ce fonctionnement se caractérise par l'inadéquation des plans rigides, par l'adaptation et la prise en compte des réactions des étudiants, par la souplesse et la mobilité des plans, par les connexions fonctionnelles (des liens) et par le fait d'improviser sur le vif pendant les interactions en classe.

Dans certains cas, selon Wanlin et Crahay (2012), des dilemmes peuvent se présenter durant l'interaction. Ces situations sont vues comme étant problématiques par l'enseignant du fait que les indices perçus peuvent amener des confrontations relativement à leurs buts, à leurs croyances et qu'ainsi la décision prise consiste davantage à un compromis.

L'enseignement et l'apprentissage sont des phénomènes situés et contextualisés complexes (Cochran-Smith, 2003, 2005; Kennedy, 2010; Putnam et Borko, 2000). Les enseignants y vivent divers événements en lien avec les étudiants, notamment, et doivent y être attentifs et les gérer de manière à favoriser les apprentissages. Ces événements sont souvent imprévisibles et peuvent conduire à l'apparition de dilemmes tels que ceux que nous avons observés dans notre étude. Ils imposent aux enseignants d'avoir cette capacité de perception et d'adaptation dans l'action. En développant ces connaissances et habiletés, les enseignants pourront harmoniser les différentes relations impliquées dans le triangle pédagogique (étudiant-savoirs, enseignants-savoirs, enseignant-étudiant).

La recherche nous a aussi permis de mettre en évidence certains moments de réflexion sur l'action. Ce type de réflexion d'après-coup permet aux enseignants, selon nous, d'apporter des modifications à leur plan et à leur enseignement de façon que celui-ci puisse être davantage adapté aux étudiants au fil des années. Ainsi, nous pouvons penser que le fait que les décisions prises dans l'action consistent souvent à continuer la leçon selon ce qui avait été planifié ou à apporter de légères modifications au plan, cela peut s'expliquer par le fait que ce plan a été mis à l'épreuve à plusieurs reprises et qu'il est le résultat des multiples réflexions faites dans l'action et sur l'action dans le passé. Avec l'expérience, l'élaboration du plan (souvent mental) deviendrait donc, selon nous, un processus itératif basé sur le vécu antérieur.

Bref, les pratiques effectives semblent fortement influencées par les différents choix effectués lors de la planification ainsi que par les réflexions dans et sur l'action que les enseignants effectuent dans l'action. En effet, bien que le plan semble orienter les pratiques effectives, plusieurs décisions sont prises par les enseignants durant la prestation, décisions que nous avons réussi à mieux comprendre grâce au modèle intégré de pensée interactive de Wanlin et Crahay (2012). Selon ce modèle, les décisions sont prises en regard du plan en suivant un processus qui inclut la perception d'indices, le jugement des indices perçus ainsi que la prise de décision en considérant divers facteurs liés aux étudiants, à l'enseignant et au contexte. Ce processus requiert un certain nombre d'habiletés, de connaissances qui se développent avec les expériences d'enseignement vécues antérieurement. Il y a certainement un lien à faire entre ces connaissances et la connaissance pédagogique du contenu que plusieurs auteurs ont tenté de modéliser.

En conclusion, cet article visait à confronter les pratiques déclarées et effectives d'enseignement de savoirs abstraits. Nous avons ainsi mis en relation les données relatives aux pratiques enseignantes effectives appréhendées à celles obtenues préalablement grâce aux déclarations sur les pratiques.

Après avoir ciblé des moments où les pratiques effectives des enseignants différaient de ce qu'ils avaient déclaré avoir prévu faire, nous avons analysé leurs propos en regard des travaux de Schön (1994) et de Wanlin et Crahay (2012). Ainsi, la réflexion dans l'action et la réflexion sur l'action (Schön, 1994) constituent les deux grandes catégories utilisées pour

l'analyse. Nous avons choisi d'étudier la réflexion dans l'action des enseignants par les multiples décisions qu'ils ont eu à prendre durant l'enseignement en considérant les catégories du modèle de la pensée interactive des enseignants de Wanlin et Crahay (2012) soit la perception d'indices par l'enseignant, le jugement incluant l'apparition de dilemmes ainsi que la prise d'une décision associée à un comportement spécifique.

Les résultats témoignent d'une grande convergence entre les pratiques déclarées des enseignants et celles observées en classe. Bien que ces dernières soient fortement dépendantes de ce qui a été planifié pour la majorité des enseignants, plusieurs moments de réflexion dans l'action amènent les enseignants à apporter des modifications à leur plan dans l'action. Alors que certains dilemmes se posent, ils doivent réfléchir rapidement, dans l'action pour choisir la meilleure solution dans les circonstances. Certaines réflexions ont cours pendant l'enseignement alors que d'autres se font davantage sur l'action. Les enseignants ont ainsi émis plusieurs commentaires critiques sur différents aspects de leur enseignement. Ainsi, selon nous, les réflexions dans l'action et sur l'action font en sorte que les enseignants améliorent leur plan au fil des années en le rendant beaucoup plus adapté aux étudiants.

Bien que nous ayons pu mettre en évidence certaines caractéristiques des pratiques effectives observées en classe en lien avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous pouvons nous demander à quel point nous avons réussi à bien appréhender ces différentes pratiques. Les pratiques enseignantes sont, en effet, un objet complexe rassemblant des éléments conscientisés ainsi que des éléments non conscientisés difficiles d'accès pour le chercheur. Par ailleurs, nous remettons en question le choix du rappel stimulé comme moyen pour accéder aux réflexions dans l'action des enseignants. Bien qu'il nous ait permis de mettre en évidence certains processus cognitifs et certaines décisions, nous avons remarqué que la réflexion et le jugement sur l'action passée tendent à se mélanger aux verbalisations sur l'action. Enfin, le choix de l'échantillonnage par choix raisonné ne permet pas une généralisation des résultats et ne permet donc pas d'expliquer les pratiques de l'ensemble de ceux-ci. Cette limite est inhérente au choix d'étudier en profondeur, dans leur complexité un moins grand nombre de participants dans la perspective d'une recherche inspirée du paradigme interprétatif.

Notre étude ouvre la voie à d'autres recherches s'intéressant aux pratiques pour l'enseignement de contenus abstraits en chimie, mais aussi d'autres disciplines scientifiques. Dans un contexte tel que celui de l'enseignement des sciences où les méthodes transmissives semblent favorisées et que les approches constructivistes où les étudiants sont actifs ne sont pas très répandues (Rosenfield et coll., 2005), des recherches permettent de comprendre les pratiques effectives d'enseignants expérimentés amènent de l'eau au moulin pour des dispositifs de formation favorisant le recours à ces dernières approches.

6.7 Références

- Adams, K. (2012). *Beginning Chemistry Teachers Use of the Triplet Relationship During their First Three Years in the Classroom*. Arizona State University, Tempe.
- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : L'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, 138, 85-93. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2866>
- Altet, M. (2003). Caractériser, expliquer et comprendre les pratiques enseignantes pour aussi contribuer à leur évaluation. *Les dossiers des sciences de l'éducation. De l'efficacité des pratiques enseignantes?*, (10), 31-43.
- Altet, M. et Mhereb, M. T. (2017). L'observation des pratiques enseignantes effectives en classe : Recherche et formation. *Cadernos de Pesquisa*, 47(166), 1196-1223. <https://doi.org/10.1590/198053144321>
- Borko, H. et Shavelson, R. J. (1990). Teacher decision making. *Dimensions of thinking and cognitive instruction*, 311.
- Bressoux, P. (2001). Réflexions sur l'effet-maître et l'étude des pratiques enseignantes. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 5(1), 35-52. <https://doi.org/10.3406/dsedu.2001.949>
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : Des recherches à conforter et à développer. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 63-73. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2864>
- Calderhead, J. (1996). Teachers : Beliefs and knowledge. In D. C. Berliner et R. C. Calfee, *Handbook of educational psychology*. (p. 709-725). London, England: Prentice Hall International.

- Cervellati, R. et Perugini, D. (1981). The understanding of the atomic orbital concept by Italian high school students. *Journal of Chemical Education*, 58(7), 568. <https://doi.org/10.1021/ed058p568>
- Chauvigné, C. et Coulet, J. (2010). L'approche par compétences : Un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire ? *Revue française de pédagogie*, (172), 15–28.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique : Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Clanet, J. et Talbot, L. (2012). Analyse des pratiques d'enseignement : Éléments de cadrages théoriques et méthodologiques. *Phronesis*, 1(3), 4. <https://doi.org/10.7202/1012560ar>
- Clark, C. et Yinger, J. (1978). Research on teacher thinking (Research series No. 12). East Lansing : Michigan State University. *Institute for Research on Teaching*.
- Cochran-Smith, M. (2003). *The unforgiving complexity of teaching : Avoiding simplicity in the age of accountability*. Sage Publications Thousand Oaks, CA.
- Cochran-Smith, M. (2005). *The politics of teacher education and the curse of complexity*. Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA.
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J. et Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8(3), 331-336.
- Fortin, M.-F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche* (2e édition). Montréal: Chenelière éducation.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research : A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548–553.
- Gilbert, J. K. et Treagust, D. F. (2009). Introduction : Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them : Key Models in Chemical Education. In J. K. Gilbert et D. F. Treagust (Éd.), *Multiple representations in chemical education* (p. 1-10). Dordrecht: Springer.
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions : A reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 11(3), 273–292. <https://doi.org/10.1080/13450600500105502>
- Hirtt, P. N. (2009). L'approche par compétences : Une mystification pédagogique. *L'École démocratique*, (39), 1-34.

- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn ? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Kennedy, M. M. (2010). Attribution error and the quest for teacher quality. *Educational researcher*, 39(8), 591–598.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A. et van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Lapierre, L. (2008). Un cadre de référence pour le questionnement didactique au collégial. *Pédagogie collégiale*, 21(2), 1–8.
- Lefevre, G. (2013). L'accès aux pratiques d'enseignement à partir d'une double lecture de l'action. *Journal international sur les représentations sociales*, 2(1), 78–88.
- Legendre, M.-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : Un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(4), 657. <https://doi.org/10.7202/031761ar>
- Legendre, M.-F. (2001). Sens et portée de la notion de compétence dans le nouveau programme de formation. *Revue de l'AQEFLS*, 23(1), 12–30.
- Marcel, J., Olry, P., Rothier-bautzer, É. et Sonntag, M. (2002). Les pratiques comme objet d'analyse. *Revue française de pédagogie*, 138(2), 135–170.
- Marais, A. F. (2011). Overcoming conceptual difficulties in first-year chemistry students by applying concrete teaching tools. *South African Journal of Chemistry*, 64(1), 151-157.
- Mashhadi, A. (1995). *Advanced Level Physics Students' Conceptions of Quantum Physics*. Présenté à Annual Meeting of the Singapore Educational Research Association, Singapore. Consulté à l'adresse <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED414197.pdf>
- Maubant, P., Routhier, S., Oliveira Araújo, A., Lenoir, Y., Lisée, V. et Hassani, N. (2005). L'analyse des pratiques d'enseignement au primaire : Le recours à la vidéoscopie. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 14(1), 61-75. <https://doi.org/10.3406/dsedu.2005.1209>
- Meziane, O. A. A. (2014). *De la pédagogie par objectifs à l'approche par compétences : Migration de la notion de compétence*. (9), 143-153.

- Miles, M. B. et Huberman, M. A. (2003). *Analyse des données qualitatives* (2e {é}d.). Bruxelles: De Boeck.
- Moallem, M. (1994). *An Experienced Teacher's Model of Thinking and Teaching: An Ethnographic Study on Teacher Cognition*.
- Morrisette, J. et Legendre, M.-F. (2012). L'évaluation des compétences en contexte scolaire : Des pratiques négociées. *Education, sciences and society*, 13.
- Muniz, M. N., Crickmore, C., Kirsch, J. et Beck, J. P. (2018). Upper-division chemistry students' navigation and use of quantum chemical models. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(3), 767-782. <https://doi.org/10.1039/C8RP00023A>
- Papageorgiou, G., Markos, A. et Zarkadis, N. (2016). Students' representations of the atomic structure – the effect of some individual differences in particular task contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(1), 209-219. <https://doi.org/10.1039/C5RP00201J>
- Parker, W. C. et Gehrke, N. J. (1986). Learning activities and teachers' decisionmaking : Some grounded hypotheses. *American Educational Research Journal*, 23(2), 227–242.
- Perrenoud, P. (1998). *De la réflexion dans le feu de l'action à une pratique réflexive*. Genève: Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université de Genève.
- Peterson, P. L., Marx, R. W. et Clark, C. M. (1978). Teacher planning, teacher behavior, and student achievement. *American educational research journal*, 15(3), 417–432.
- Putnam, J. et Duffy, G. G. (1984). *A Descriptive Study of the Preactive and Interactive Decision Making of an Expert Classroom Teacher. Research Series No. 148*.
- Putnam, R. T. et Borko, H. (2000). What do new views of knowledge and thinking have to say about research on teacher learning? *Educational researcher*, 29(1), 4–15.
- Reuter, Y., Cohen-Azra, C., Daunay, B., Delambre, I. et Lahanier-Reuter, D. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (3e éd.; Y. Reuter, Éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Roche Allred, Z. D. et Bretz, S. L. (2019). University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(2), 358-368. <https://doi.org/10.1039/C8RP00296G>
- Rosenfield, S., Dedic, H., Dickie, L., Rosenfield, E., Aulls, M. W., Koestner, R., ... Abrami, P. (2005). *Étude des facteurs aptes à influencer la réussite et la rétention dans les*

- programmes de sciences aux cégeps anglophones*. Consulté à l'adresse <http://sun4.vaniercollege.qc.ca/fqrsc/>
- Royer, C. (2016). Parmi les questions posées par l'utilisation des méthodes qualitatives : Qu'est-ce que la profondeur? *Recherches qualitatives, Hors-série*(18), 17-26.
- Santagata, R. et Yeh, C. (2016). The role of perception, interpretation, and decision making in the development of beginning teachers' competence. *ZDM Mathematics Education*, 48(1-2), 153-165. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0737-9>
- Schön, D. A. (1994). *Le praticien réflexif. À la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal: Les éditions Logiques.
- Sherin, M., Jacobs, V. et Philipp, R. (2011). *Mathematics Teacher Noticing : Seeing Through Teachers' Eyes*. Consulté à l'adresse <https://books.google.ca/books?id=lgWsAgAAQBAJ>
- Shiland, T. W. (1997). Quantum mechanics and conceptual change in high school chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), 12535-12545.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching : Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry : An Overview. *Turkish Science Education*, 4(2), 2–20.
- Snow, R. E. (1972). *À model teacher training system : An overview*. *Research and Development Memorandum 92*. Stanford, California : Stanford Center for Research and Development in Teaching.
- Stahnke, R., Schueler, S. et Roesken-Winter, B. (2016). Teachers' perception, interpretation, and decision-making : A systematic review of empirical mathematics education research. *ZDM Mathematics Education*, 48(1-2), 1-27. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0775-y>
- Stefani, C. et Tsapralis, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry : A phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(5), 520–536. <https://doi.org/10.1002/tea.20279>
- Stojanovska, M., M. Petruševski, V. et Šoptrajanov, B. (2017). Study of the use of the three levels of thinking and representation. *Contributions, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences*, 35(1). <https://doi.org/10.20903/csnmbs.masa.2014.35.1.52>

- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions : The problem of human-machine communication*. Cambridge [Cambridgeshire] ; New York: Cambridge University Press.
- Taber, K. S. (2002). Conceptualizing quanta : Illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. *Chemistry education : research and practice in Europe*, 3(2), 145-158.
- Taber, K. S. (2005). Learning quanta : Barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89(1), 94–116. <https://doi.org/10.1002/sce.20038>
- Taber, K. S. (2014). *Thinking and learning in science. Perspectives on the nature and development of learners' ideas*. <https://doi.org/10.4324/9780203695081>
- Taber, K. S. (2016). Teaching and learning chemistry. In K. S. Taber et B. Akpan, *Science Education An international course companion*. The Netherlands: Sense Publishers.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic : The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tan, S. K. S. (1996). Differences between Experienced and Inexperienced Physical Education Teachers' Augmented Feedback and Interactive Teaching Decisions. *Journal of Teaching in Physical Education*, 15(2), 151-170. <https://doi.org/10.1123/jtpe.15.2.151>
- Tochon, F. (1989). À quoi pensent les enseignants quand ils planifient leur cours? *Revue française de pédagogie*, (86), 23-33.
- Tochon, F. (1993a). *L'enseignant expert*. Paris: Nathan.
- Tochon, F. (1993b). Le fonctionnement « improvisationnel » de l'enseignant expert. *Revue des sciences de l'éducation*, 19(3), 437. <https://doi.org/10.7202/031641ar>
- Tochon, F. V. (1996). Rappel stimulé, objectivation clinique, réflexion partagée. Fondements méthodologiques et applications pratiques de la rétroaction vidéo en recherche et en formation. *Revue des sciences de l'éducation*, 22(3), 467. <https://doi.org/10.7202/031889ar>
- Tremblay, D. (1999). Aborder l'enseignement et l'apprentissage par le biais des compétences : Les effets dans la pratique des enseignants et des enseignantes. *Pédagogie collégiale*, 13(2), 24–30.

- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and Molecular Structure in Chemical Education : A Critical Analysis from Various Perspectives of Science Education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922. <https://doi.org/10.1021/ed074p922>
- Tsaparlis, G. (2013). Learning and Teaching the Basic Quantum Chemical Concepts. In G. Tsaparlis et H. Sevian (Éd.), *Concepts of matter in science education* (p. 437-460). Dordrecht: Springer.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Bruxelles: Presses de l'Université de Montréal et de Boeck.
- Wanlin, P. et Crahay, M. (2012). La pensée des enseignants pendant l'interaction en classe. Une revue de la littérature anglophone. *Éducation et didactique*, 6(1), 9–46.
- Warner, D. R. (1987). *An exploratory study to identify the distinctive features of experienced teachers' thinking about teaching*. University of New England, Australia.
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G. et Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 893-902. <https://doi.org/10.1039/C7RP00135E>

7 Le troisième article de la thèse

Le changement des conceptions des étudiants de sciences du collégial à l'égard de la structure de l'atome en lien avec les pratiques enseignantes : une analyse qualitative

Christine Marquis

Université de Montréal

7.1 Résumé

Cet article vise à décrire et à expliquer comment certaines pratiques enseignantes sont susceptibles de favoriser un changement des conceptions des étudiants. Il s'intéresse aux changements qui s'opèrent dans la façon dont des étudiants du collégial se représentent un concept abstrait en sciences, la structure de l'atome, après avoir suivi une leçon portant sur ce sujet. Les pratiques de six enseignants de chimie du collégial ont été étudiées grâce à des entrevues, au recueil de leur matériel didactique et à des entrevues de rappel stimulé. 163 étudiants ont dessiné un schéma représentant comment ils s'imaginaient un atome d'azote et ont rédigé une explication pour celui-ci, avant et après une leçon portant sur les modèles atomiques. Les résultats montrent qu'au départ la plupart des étudiants conçoivent la structure de l'atome à la manière du modèle de Bohr. Les enseignants sont conscients de la difficulté que représente la modification de ces conceptions et utilisent des formes de représentations des contenus et des activités d'enseignement destinées à les modifier. En fait, la très grande majorité des étudiants voient leurs conceptions évoluer de manière importante en se représentant l'atome selon les concepts entourant le modèle probabiliste même si plusieurs erreurs ont été répertoriées.

7.2 Mots-clés

Enseignement des sciences, chimie, conceptions, pratiques enseignantes

Cet article sera soumis à la revue Review of Science, Mathematics and ICT education.

7.3 Introduction

La chimie est une discipline qui étudie la matière, ses propriétés ainsi que les transformations qu'elle peut subir (Emmerson, 2015). Différentes recherches ont tenté d'expliquer pourquoi les disciplines scientifiques telles que la physique, la chimie et la biologie étaient difficiles à appréhender par les étudiants (Atagana et Engida, 2014; Çimer, 2012; Ornek, Robinson et Haugan, 2008). L'enseignement de la chimie pose de nombreux problèmes, notamment parce qu'il s'agit d'une discipline abstraite que certains étudiants ont de la difficulté à appréhender (Emmerson, 2015; Kousa, Kavonius et Aksela, 2018; Sirhan, 2007; Taber, 2001, 2016; Treagust, Duit et Nieswandt, 2000).

L'atome constitue l'unité de base de la matière (Licker, 2003). Historiquement, certains philosophes tels que Leucippe et Démocrite et plusieurs scientifiques tels Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Schrödinger et Heisenberg ont contribué au développement de plusieurs modèles afin de décrire la structure de l'atome. Plusieurs de ces modèles sont enseignés au secondaire en suivant l'ordre chronologique des découvertes scientifiques qui en sont à l'origine. Le modèle de Schrödinger basé sur la mécanique ondulatoire, le dernier modèle accepté aujourd'hui dans la communauté scientifique, est enseigné dans le premier cours de chimie du programme Sciences de la nature du collégial. Sa compréhension permet aux étudiants de procéder à l'analyse des propriétés périodiques des éléments et de s'approprier la structure des molécules pour, par la suite, être en mesure d'expliquer les transformations physiques et chimiques de la matière.

Des recherches ont démontré que les étudiants des niveaux préuniversitaire et universitaire préféraient décrire l'atome avec des modèles simples et concrets où les électrons gravitent sur des orbites, même si des modèles plus avancés leur ont été enseignés par la suite (Cros et coll., 1986; Mashhadi, 1995; Petri et Niedderer, 1998; Taber, 2002). Ainsi, les modèles atomiques appris antérieurement se rapprocheraient de ce qu'on appelle les conceptions alternatives (aussi appelées conceptions erronées, conceptions spontanées ou *misconceptions*). On les définit comme des conceptions très bien ancrées dans l'esprit des élèves et souvent en désaccord avec la théorie scientifique (Driver et Easley, 1978; Duit, 1991; Gilbert et Watts,

1983). Stefani et Tsaparlis (2009) considèrent les modèles appris antérieurement équivalent à des conceptions alternatives du fait qu'ils forment des construits théoriques difficiles à changer qui peuvent entraver la transition d'une conceptualisation de l'atome basée sur les modèles issus de la physique classique à une conceptualisation probabiliste issue de la mécanique ondulatoire.

D'autres difficultés ont été documentées pour l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome. D'abord, les modèles sont utilisés couramment en sciences comme outil pour apprendre, mais aussi pour représenter des concepts abstraits et comme représentations consensuelles de théories scientifiques (Treagust, Chittleborough et Mamiala, 2002). Toutefois, comme les modèles font consensus dans la communauté scientifique, ils sont souvent enseignés comme des faits. C'est le cas, par exemple, pour le modèle de l'atome (Morge et Doly, 2013; Treagust et coll., 2002). Plusieurs étudiants croient que les modèles sont des répliques exactes de la réalité et n'ont pas idée de leur utilité (Treagust et coll., 2002). Pour d'autres, ce sont la nature des concepts reliés au modèle probabiliste qui causeraient des difficultés d'apprentissage (Cervellati et Perugini, 1981; Cros et coll., 1986; Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman et van Joolingen, 2017; Mashhadi, 1995; Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Shiland, 1997; Stefani et Tsaparlis, 2009; Taber, 2002; Tsaparlis, 1997, 2013; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis, 2017). D'abord, le concept d'orbitale atomique ainsi que d'autres concepts liés (couches, sous-couches et niveau d'énergie) seraient difficiles à définir, le terme orbitale étant utilisé sans une compréhension adéquate du concept. De plus, les termes orbites et orbitales seraient utilisés de façon interchangeable (Taber, 2002). Des recherches plus récentes (Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis, 2017) continuent de décrire comment différents étudiants se représentent la structure de l'atome à l'aide du modèle basé sur la mécanique ondulatoire.

7.4 Cadre théorique

Cet article vise à décrire et à expliquer comment certaines pratiques enseignantes sont susceptibles de favoriser un changement des conceptions des étudiants. Dans ce contexte, nous

traiterons dans le cadre théorique des conceptions des étudiants et de la prise en compte de ces conceptions dans les pratiques enseignantes.

7.4.1 Les conceptions des étudiants

Reuter et ses collaborateurs (2013) utilisent le terme représentations pour nommer les connaissances mobilisées par un étudiant face à une question ou à une thématique qui a fait l'objet d'un enseignement ou non. Ce concept présuppose donc que les étudiants n'arrivent pas à l'école la « tête vide » et qu'ils ont déjà certaines connaissances à propos des concepts à apprendre. Giordan et de Vecchi (1987) utilisent, pour leur part, le terme conception pour nommer ces idées déjà-là, ces « structures d'accueil » que les étudiants ont.

Pour mettre en évidence les façons dont les étudiants s'imaginent l'atome et comment celles-ci peuvent changer, nous nous sommes référés à la notion de niveau de formulation. Ce concept emprunté à la didactique des sciences consiste en différents énoncés (ou formulations) qui peuvent être produits pour un même concept lors de la mise en texte d'un savoir (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 2008; Reuter et coll., 2013). Ces énoncés peuvent prendre différentes formes selon le moment où ils sont enseignés dans le curriculum. De la même façon, les étudiants pourront formuler des énoncés afin d'expliquer un concept scientifique selon différents niveaux liés à leur compréhension globale d'un concept. De cette façon, il nous semble pertinent d'utiliser la notion de niveaux de formulation afin de catégoriser les façons dont les étudiants conçoivent la structure de l'atome au début et à la fin de leur cours de chimie générale et de déterminer si un changement a eu lieu.

Park et ses collaborateurs (2006, 2009) ont établi treize niveaux de formulation pour la structure atomique dans l'objectif d'étudier les perceptions des étudiants pour cet objet et l'apprentissage de celui-ci. Ces niveaux décrivent treize manières selon lesquelles les étudiants décrivent la structure de l'atome, façons qui varient en précision et en complexité de manière croissante. Le Tableau 7 présente ces niveaux de formulation de la structure atomique par les étudiants ainsi que les modèles scientifiques auxquels ils réfèrent.

Tableau 7

Niveaux de formulation de la structure atomique par les étudiants, adapté de Park et coll. (2009)

Niveaux de formulation		Modèle scientifique
1a	L'étudiant conçoit l'atome comme une particule indivisible.	Modèle particulaire
1b	L'étudiant distingue les atomes des molécules.	
2	L'étudiant conçoit que l'atome est composé de protons, de neutrons et d'électrons.	Modèle nucléaire
3	L'étudiant conçoit l'existence d'un noyau composé de protons et de neutrons au centre de l'atome et que les électrons entourent le noyau.	
4	L'étudiant conçoit les orbites en faisant quelques références aux forces (gravité, fortes, faibles, forces électrostatiques).	
5a	L'étudiant conçoit les orbites des différents niveaux comme des trajectoires circulaires des électrons.	
5b	L'étudiant conçoit les orbites des différents niveaux comme des trajectoires de différentes formes pour l'électron.	Modèle de Bohr
6	L'étudiant conçoit l'atome en utilisant le modèle de Bohr et différencie les niveaux d'énergie à l'aide de la quantification de l'énergie.	
7	L'étudiant ne décrit plus l'électron comme étant sur une trajectoire déterminée, mais plutôt dans une certaine région (ou des électrons dans une orbitale).	Modèle probabiliste
8	L'étudiant décrit l'électron comme étant dans une région de façon cohérente avec le concept de probabilité en lien avec le principe d'incertitude.	
9a	L'étudiant décrit différentes formes d'orbitales (mais les différentes formes ne sont pas représentées de façon superposée).	
9b	L'étudiant décrit différentes formes d'orbitales (et les différentes formes sont représentées de façon superposée).	
10	L'étudiant décrit les concepts principaux de la mécanique ondulatoire (probabilité, fonction d'onde, quantification de l'énergie, etc.) et la conception moderne de l'atome en considérant la dualité onde-particule de l'électron. Il explique les concepts de probabilité et d'orbitale avec la théorie quantique et les intègre dans la structure atomique.	

7.4.2 La prise en compte des conceptions des étudiants par les enseignants

La prise en compte des conceptions des étudiants constitue un défi pour les enseignants (Astolfi et coll., 2008; Giordan et de Vecchi, 1987). En considérant ces conceptions, l'enseignement ne peut être conçu que comme la transmission de connaissances, mais devrait viser à favoriser une réorganisation des modes de pensée de l'étudiant (Reuter et coll., 2013).

Le processus de transformation des savoirs de Shulman (1987) que nous avons mobilisé pour l'étude des pratiques enseignantes de planification comporte un sous-processus suggérant d'adapter son enseignement aux caractéristiques des étudiants. En effet, la transformation, où l'enseignant part de sa compréhension personnelle du contenu et la transforme afin qu'elle soit plus facile à apprendre par les étudiants exige, comme illustré à la Figure 24, la mise en œuvre 4 sous-processus.

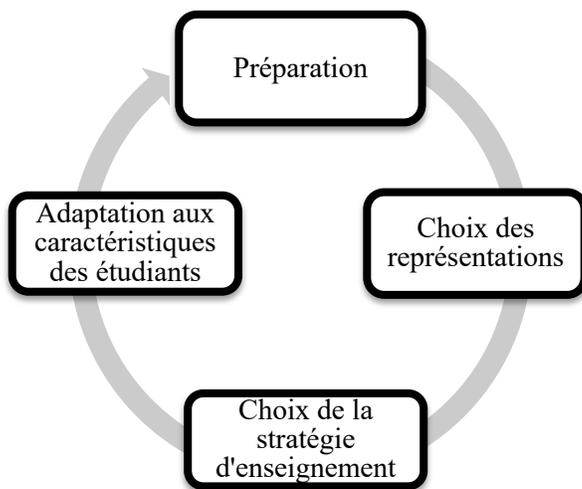


Figure 24. Processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987).

Le sous-processus d'adaptation aux caractéristiques des étudiants suggère non seulement de procéder à des adaptations aux capacités, au sexe, au langage, à la culture, aux motivations, mais aussi aux connaissances antérieures des étudiants (Shulman, 1987). Les enseignants sont invités à se questionner relativement aux conceptions, aux conceptions

alternatives (ou erronées) et aux difficultés des étudiants qui pourraient nuire à la compréhension.

Par ailleurs, le courant de recherches portant sur le changement conceptuel propose différentes stratégies visant à changer les conceptions alternatives des étudiants. Les différents modèles de changement conceptuel peuvent être classés en trois catégories soit les modèles classiques favorisant une rupture dans les conceptions, les modèles favorisant la transformation des connaissances antérieures et les nouveaux modèles basés sur la coexistence des conceptions (Potvin, 2013)

Le modèle de Posner, Strike, Hewson, et Gertzog (1982) est le modèle le plus connu des modèles classiques de changement conceptuel. Par exemple, selon Posner, Strike, Hewson et Gertzog, (1982) le changement conceptuel, ou accommodation, nécessite que les étudiants doivent remplacer, réorganiser les connaissances qu'ils possèdent déjà du fait qu'elles sont inadéquates pour comprendre de nouveaux phénomènes. Selon eux, quatre conditions doivent être en place dans l'enseignement afin que le changement conceptuel puisse se produire : 1) L'ancienne conception, la conception initiale, doit être insatisfaisante; 2) La nouvelle conception, la conception scientifique, doit être intelligible; 3) La nouvelle conception doit être plausible et 4) La nouvelle conception doit être féconde, c'est-à-dire permettent de comprendre de nouveaux phénomènes scientifiques. Ainsi, les anomalies perçues par l'étudiant donneraient naissance à un conflit cognitif jetant les bases d'une possible accommodation par l'étudiant.

Dans la tradition des modèles classiques, le modèle allostérique de Giordan (1989) stipule que le savoir ne se transmet pas, l'apprentissage consistant plutôt en une activité d'élaboration pendant laquelle la structure mentale de l'apprenant est transformée suite à la confrontation des informations nouvelles et des conceptions déjà-là, ce qui génère de nouvelles significations plus aptes à répondre aux interrogations qu'il se pose. L'apprentissage nécessite donc une déconstruction et une reconstruction radicales du réseau organisé de conceptions que possède l'apprenant. Celle-ci doit être favorisée par un environnement didactique mis à la disposition de l'élève par l'enseignant (déséquilibres conceptuels, formalisme).

Selon Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou et Papademetriou (2001), le changement conceptuel est plutôt un processus impliquant une lente révision d'un système de conceptions initiales caractérisée par l'incorporation progressive d'éléments des explications scientifiques acceptées actuellement. Afin de favoriser ce processus, selon ce modèle, les enseignants doivent aider les étudiants à développer une « conscience métaconceptuelle » (*metaconceptual awarness*) en créant des activités d'apprentissages où ils pourront exprimer leurs représentations et leurs croyances et en leur fournissant des expériences significatives sous la forme d'observations systématiques ou encore de résultats d'expériences pratiques prouvant que les explications qu'ils ont construites ont besoin d'être révisées.

Enfin, Potvin (2013) souligne que les modèles précédents sont insatisfaisants, car ils s'intéressent très peu à ce qui se passe après le changement conceptuel et que la notion même de conception et de leur mesure pose souvent problème. Il propose ainsi des ajustements aux modèles classiques de changement conceptuel grâce à des travaux récents réalisés dans le champ de la neuroéducation. Ainsi, lorsque les experts réussissent des tâches scientifiques, ils activent des mécanismes cérébraux habituellement associés à des fonctions d'inhibition (Rubia et coll., 2001), ce qui est interprété comme le fait que ce sont les anciens schémas non scientifiques qui sont inhibés. Le modèle de coexistence des conceptions qu'il propose consiste en une proposition opérationnelle pour réaliser le changement conceptuel. Selon lui, il faut s'assurer avant tout de la disponibilité de la conception favorisée plutôt que de débiter par un conflit cognitif qui risque de rendre disponible en mémoire des conceptions alternatives. Il faut ensuite installer des mécanismes d'inhibition des conceptions alternatives pour s'assurer que celles-ci ne soient pas renforcées. Enfin, il faut agir pour s'assurer de la prévalence des conceptions favorisées, en considérant que les anciennes conceptions ne sont pas disparues, mais au mieux, inhibées. Cela peut se faire, par exemple, en offrant des contextes variés présentant des leurres et erreurs fréquentes.

7.5 Méthodologie

L'objectif de cet article est de décrire et d'expliquer comment certaines pratiques enseignantes (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités

d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants en regard des modèles atomiques. Dans ce contexte, nous analyserons la façon dont des étudiants de première année du collégial s'imaginent l'atome avant et après avoir suivi la leçon ainsi que les liens entre les changements observés et les pratiques enseignantes. Cela nous permettra de mieux comprendre comment, par exemple, les adaptations faites lors du choix de certaines formes de représentations des contenus et certaines méthodes d'enseignement, par exemple, peuvent contribuer au changement des conceptions des étudiants.

7.5.1 Type de recherche

Considérant cet objectif, nous avons opté pour une méthodologie de type qualitative découlant d'une posture épistémologique interprétative. Le choix d'une approche qualitative se justifie par le fait que celle-ci vise la compréhension en profondeur de phénomènes à travers les expériences vécues par les personnes à l'intérieur d'un contexte particulier (Fortin, 2010).

7.5.2 Participants

La recherche a été menée auprès de six enseignants de chimie volontaires issus de cinq cégeps différents, ainsi que de leurs 163 étudiants. Pour l'étude des pratiques enseignantes, nous avons sélectionné les enseignants selon un échantillonnage par choix raisonné, un type d'échantillonnage qui permet au chercheur de choisir les participants sur la base de certains critères de sorte que ceux-ci représentent bien le phénomène que l'on cherche à étudier (Fortin, 2010). Les critères qui ont guidé la sélection des participants étaient d'avoir au moins cinq ans d'expérience en enseignement, de donner le cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature au moment de la collecte, d'avoir donné ce cours à au moins trois reprises, d'avoir suivi une formation en pédagogie ou avoir un intérêt envers la pédagogie). Les étudiants participants étaient inscrits au cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la Nature.

7.5.3 Outils de collecte de données et analyse

Les pratiques enseignantes ont été recueillies grâce à des entrevues individuelles semi-dirigées portant sur la planification, au recueil du matériel didactique élaboré par les

enseignants, à l'enregistrement vidéo de la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome et aux entrevues de rappel stimulé réalisées avec ces enregistrements.

L'analyse qualitative des données issues des entrevues réalisées avec les enseignants a été faite selon les démarches proposées par Van der Maren (1996) en utilisant le logiciel *QDA Miner*. Nous avons d'abord procédé à la condensation des données dans la perspective de réduire les données et en leur dégagant un sens. Pour ce faire, toutes les entrevues ont été transcrites. Nous avons réalisé une première version de la grille de codage grâce à des thèmes retenus du cadre théorique. Après une lecture globale du corpus, nous avons amorcé le codage des unités de sens de la première entrevue ajoutant les thèmes émergents à la grille de codage (Van der Maren, 1996). La chercheuse a codifié 3 entrevues à partir de ces grilles de façon à valider et raffiner la grille. Une fois la grille stabilisée, le contre-codage de ces données a été effectué par une assistante de recherche de façon à obtenir un accord interjuge de 75 % sur 3 entrevues. Ensuite, l'étape de présentation des données visant à les organiser et à les illustrer par différents moyens a précédé la phase de l'élaboration et de la vérification des conclusions qui a permis d'émettre certaines hypothèses pour l'interprétation.

Les étudiants ont été invités à réaliser individuellement un schéma illustrant comment ils s'imaginent l'atome d'azote et à rédiger une explication écrite de leur schéma, et ce, au début et à la fin de la session. L'analyse qualitative des schémas a aussi été réalisée en s'inspirant des démarches proposées par et Van der Maren (1996) Les schémas expliqués ont été intégrés dans le logiciel *QDA Miner* pour ensuite être codés. Les catégories et les codes étaient liés aux concepts relatifs aux différents modèles scientifiques expliquant la structure de l'atome et à des erreurs observées sur les schémas. L'utilisation de variables dans le logiciel, telles que les niveaux de formulation de Park (2006, 2009), a aussi permis de catégoriser les schémas. Une analyse de contenu de 30 % des schémas a été réalisée par deux codeurs indépendants avant le codage de l'entièreté du corpus (accord interjuges de 94 %). La Figure 25 est une capture d'écran illustrant le codage fait dans *QDA Miner* (utilisation de variables et de codes) sur un schéma réalisé par un étudiant. Le dessin de l'étudiant et l'explication rédigée pour expliquer le dessin ont été codés par la chercheuse ainsi que par un contre-codeur. Nous soulignons, en terminant, le côté novateur de l'approche méthodologique qui misait sur l'analyse de schémas expliqués

illustrant la structure de l'atome réalisés par les étudiants avant et après la séquence de cours portant sur ce sujet. Cette procédure a permis de mettre en évidence l'évolution de la façon dont les étudiants se représentent la structure de l'atome au cours d'un trimestre.

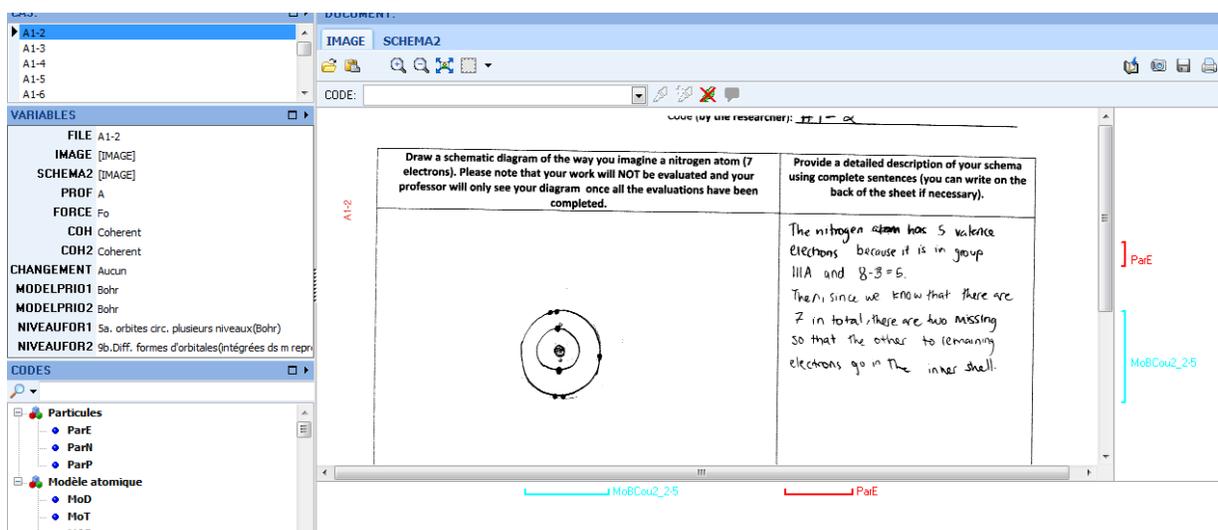


Figure 25. Codage fait dans QDA Miner sur les schémas réalisés par les étudiants.

À la fin du processus de collecte de données, nous avons réalisé des entretiens semi-dirigés avec certains étudiants pour lesquels nous avons observé un changement dans leur façon de se représenter un atome. Lors de cette entrevue d'une durée d'une vingtaine de minutes, les étudiants ont été invités à expliquer ce que son enseignant avait pu dire, faire ou lui faire faire qui avait favorisé le changement de sa façon de concevoir un atome. Une analyse thématique (Paillé et Muchielli, 2016) a été faite sur les données issues des entretiens réalisés avec les étudiants. Nous avons repéré un ensemble de thèmes à l'écoute des enregistrements des entretiens et dressé un arbre thématique les rassemblant. Nous avons ensuite procédé à l'examen de ces thèmes pour faire ressortir les plus importants en considérant les objectifs de la recherche.

7.6 Résultats

Les résultats seront présentés de manière à mettre en évidence les conceptions des étudiants à l'égard de la structure de l'atome en commençant le cours, les différents types de

changements observés dans leur façon d’imaginer l’atome ainsi que certaines pratiques de leurs enseignants semblant contribuer à favoriser ce changement.

7.6.1 Des étudiants qui ont déjà leur propre idée de la structure de l’atome avant de suivre le cours

L’analyse du premier schéma expliqué réalisé par les étudiants montre que ceux-ci conçoivent l’atome selon les différents modèles enseignés plus tôt dans leur cheminement scolaire. Ainsi, alors que 12% des étudiants ont représenté l’atome à la manière du modèle nucléaire, la majorité d’entre eux (85%) décrivent plutôt la structure de l’atome en début de session selon le modèle de Bohr. Quelques étudiants (3%) ont plutôt fourni une explication reliée au modèle probabiliste. La Figure 26 présente quelques exemples de schémas réalisés par les étudiants en début de session (schéma 1) correspondant à certains niveaux de formulation liés à trois modèles scientifiques.

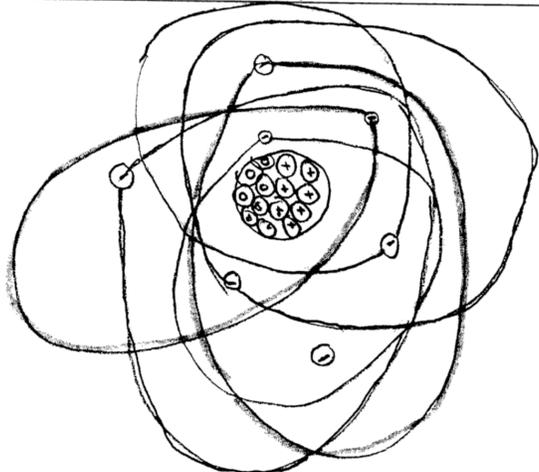
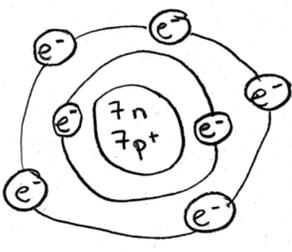
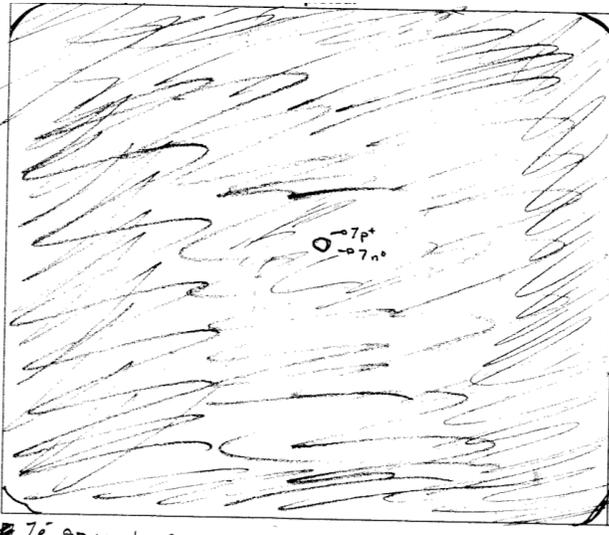
<p>a)</p> 	<p>⊖ = an electron ⊕ = a proton ⊙ = a neutron</p> <p>The 7 electrons rotate around the center, nucleus randomly, unlike what we have learned in high school, they don't have fixed trajectory.</p>
<p>b)</p> <p style="text-align: center;"><u>N</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> - un atome d'azote contient 7 neutrons et 7 protons dans son noyau - il a deux couches d'électrons ainsi que 2 électrons de cœur (1^{ère} couche), ainsi que 5 électrons de valence.
<p>c)</p>  <p style="text-align: center;">7p+ 7n</p> <p>7e somewhere</p>	<ul style="list-style-type: none"> - There are 7 protons and 7 neutrons forming the nucleus. - There are 7 electrons somewhere on the grey area (not to scale).

Figure 26. Exemples de schémas réalisés par les étudiants en début de session.

Dans le schéma a) réalisé par un étudiant, on peut voir qu'il conçoit l'atome comme constitué d'électrons chargés négativement en rotation autour d'un noyau constitué de protons et de neutrons. Dans le schéma b), l'étudiant conçoit la structure atomique d'une façon similaire à la différence que les électrons sont localisés sur des couches électroniques. Ces deux façons de concevoir l'atome ne concordent pas avec le dernier modèle accepté par la communauté scientifique, le modèle probabiliste, dans lequel la position exacte de l'électron n'est pas connue. Enfin, le schéma c) est davantage en accord avec le modèle probabiliste du fait que l'étudiant fait référence à la notion de probabilité de présence en indiquant que les électrons sont retrouvés quelque part dans la région pointée.

Ces résultats concordent parfaitement avec les propos des enseignants que nous avons interrogés à propos des connaissances antérieures de leurs étudiants. En effet, selon eux, la majorité de leurs étudiants conçoivent la structure de l'atome selon le modèle de Bohr en commençant le cours. Le fait de connaître les connaissances antérieures de ses étudiants constitue une première étape pour la prise en compte de celles-ci dans les pratiques d'enseignement.

7.6.2 Différents types de changements observés dans la façon de s'imaginer la structure de l'atome

L'analyse des données montre que la plupart des étudiants conçoivent la structure de l'atome de façon différente à la fin du cours. La Figure 27 illustre les fréquences des niveaux de formulation obtenus pour chacun des deux schémas expliqués que les étudiants ont élaborés.

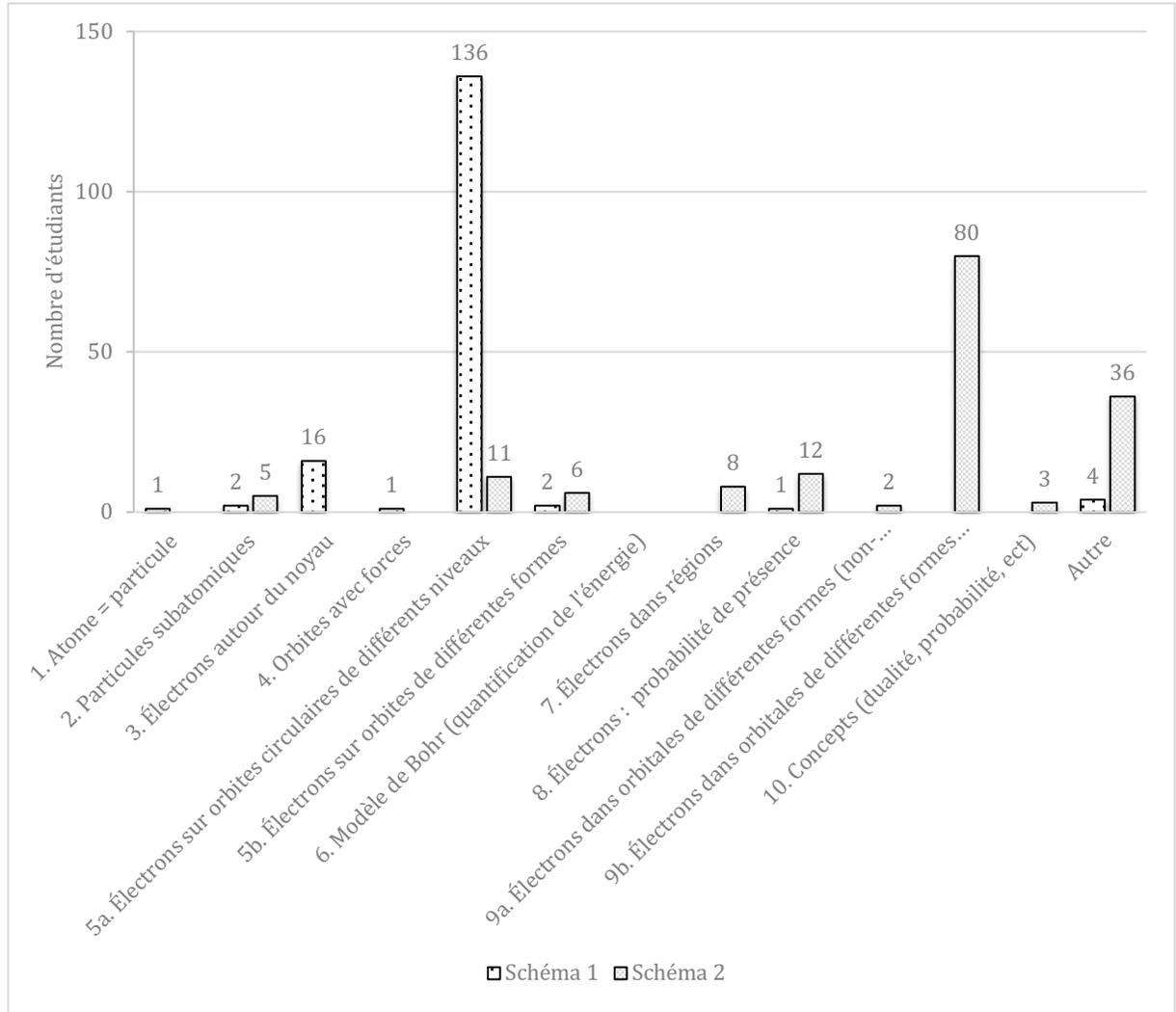


Figure 27. Fréquence des niveaux de formulation observés dans les deux schémas expliqués élaborés par les étudiants.

Comme mentionné plus tôt, pour le premier schéma, la majorité des étudiants (136 sur 163) s’imaginent la structure de l’atome selon le niveau de formulation 5a, niveau selon lequel l’étudiant conçoit les orbites des différents niveaux comme des trajectoires circulaires des électrons. Par ailleurs, pour le deuxième schéma, les conceptions des étudiants ont été catégorisées dans plusieurs niveaux de formulation reliés au modèle probabiliste. La moitié des schémas (82 sur 163) ont été classés dans les niveaux 9a et 9b. Dans les deux niveaux, l’étudiant décrit différentes formes d’orbitales (les différentes formes ne sont pas représentées de façon

superposée pour le niveau 9a et sont représentées de façon superposée pour le niveau 9b). Globalement, il semble que la majorité des étudiants conçoivent l'atome selon le modèle probabiliste avec différents niveaux de précision. Alors que certains étudiants décrivent l'atome en termes de présence dans une région ou de probabilité, d'autres représentent les formes des orbitales superposées ou non.

Le Tableau 8 montre la répartition du nombre de schémas correspondant aux différents niveaux de formulation de Park et coll. (2006, 2009) pour les deux schémas réalisés par les étudiants, tous groupes confondus.

Tableau 8

Nombres de schémas correspondant à chacun des niveaux de formulation pour la mise en relation du niveau de formulation du schéma 1 avec le niveau de formulation du schéma 2

		Schéma 2													Total
		1	2	3	4	5a	5b	6	7	8	9a	9b	10	Autre	Total
Schéma 1	1	1					1								1
	2		1											1	2
	3			1					3	3		7		3	16
	4				1					1					1
	5a		4			11	5		5	8	2	70	3	28	136
	5b						2					2			2
	6							1							0
	7								1						0
	8									1				4	5
	9a										1				0
	9b											1			0
	10												1		0
	Autre														0
	Total	0	5	0	0	11	6	0	8	12	2	80	3	36	163

Lorsque l'on examine les évolutions individuelles des schémas entre le temps 1 et le temps 2, on peut constater qu'il n'y a que peu ou pas de changement pour seulement quatre

étudiants. Par contre, pour la très grande majorité, on observe un changement qui correspond à une évolution importante du niveau de formulation auquel correspond la représentation.

Le chiffre se retrouvant sous la diagonale grisée correspond au nombre d'étudiants dont le niveau de formulation de la structure atomique était plus complexe dans le schéma réalisé en début que dans celui fait en fin de session. Dans ces cas, la schématisation finale de l'étudiant a été associée à un modèle scientifique plus simple que pour la schématisation initiale. Ce phénomène a donc été observé seulement chez 4 étudiants (2,5%).

Les cases grisées de la diagonale indiquent le nombre d'étudiants pour qui le niveau de formulation était le même pour le schéma réalisé en début de session et celui réalisé en fin de session. Les deux schémas réalisés correspondaient au même niveau de formulation pour 12 étudiants (7,3%).

Il apparaît que dans les groupes observés, le deuxième schéma correspondait à un niveau de formulation plus élevé pour la majorité des étudiants. Les chiffres au-dessus de la diagonale correspondent au nombre d'étudiants dont le niveau de formulation référait à un modèle plus complexe à la fin de session. Dans ce cas, on observe différents cas de figure. Tout d'abord, 70 des 163 étudiants participants (43 %) sont passés d'un niveau de formulation 5a (modèle de Bohr) pour le premier schéma au niveau de formulation 9b (modèle probabiliste) pour le deuxième schéma, ce qui montre qu'une bonne proportion ont changé leur façon de s'imaginer l'atome en partant de ce qu'il savait sur le sujet et en finissant par faire une représentation semblable à celle attendue à la fin du cours. Ensuite, on remarque que la moitié des étudiants (50,9%) ont réalisé un schéma en fin de session qui a été classé dans les niveaux de formulation liés au modèle probabiliste, soit les niveaux 9b et 10. De plus, 22 étudiants (13,5%) ont fait une représentation tout de même en lien avec le modèle probabiliste, mais selon des niveaux de formulations moins élevés (niveaux de formulation 7,8 et 9a). Enfin, seulement trois étudiants ont rédigé un schéma explicatif correspondant au niveau le plus élevé de Park (2006, 2009).

La Figure 28 illustre les schémas d'un étudiant qui conçoit l'atome selon un modèle scientifique plus simple à la fin du cours qu'au début. En effet, alors que le premier schéma illustre les

couches sur lesquels sont retrouvés les 7 électrons de l'azote selon le modèle de Bohr, le deuxième schéma réalisé en fin de session décrit plutôt l'atome en termes de sphère indivisible en ne faisant pas référence aux particules subatomiques.

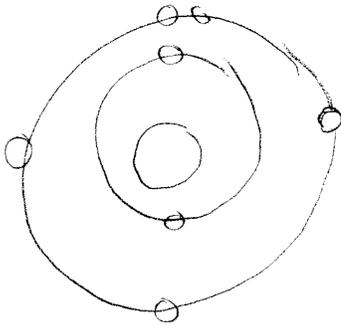
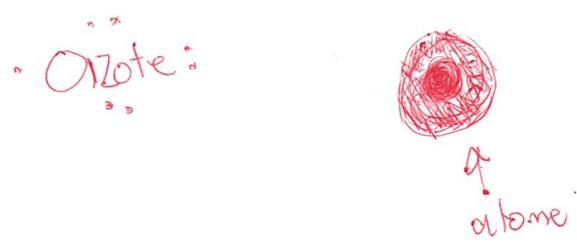
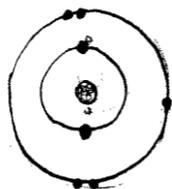
Schéma 1 (Modèle de Bohr, niveau de formulation 5a)	
	<p>un atome d'azote a 5 électrons de valence, 2 couche.</p>
Schéma 2 (Modèle nucléaire, niveau de formulation 2)	
<p>• Azote :</p> 	<p>l'atome est une petite sphère, on l'on ne voit pas les électrons. La sphère grossit avec le nombre d'électron.</p>

Figure 28. Un exemple représentant un changement négatif vers un modèle moins complexe.

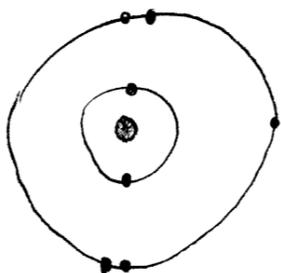
La Figure 29 illustre un cas où l'étudiant a fait deux schémas qui correspondaient au même niveau de formulation en début et en fin de session. En effet, les deux schémas, presque identiques, décrivent la structure de l'atome selon le modèle de Bohr, modèle dans lequel les électrons gravitent autour du noyau sur des couches électroniques. Cela n'est pas en accord avec le modèle probabiliste, le dernier modèle accepté par la communauté scientifique pour décrire la structure de l'atome.

Schéma 1 (Modèle de Bohr, niveau de formulation 5a)



The nitrogen atom has 5 valence electrons because it is in group IIIA and $8-3=5$. Then, since we know that there are 7 in total, there are two missing so that the other two remaining electrons go in the inner shell.

Schéma 2 (Modèle de Bohr, niveau de formulation 5a)



In total, the Nitrogen atom has an atomic number of 7 causing it to have a total of 7 electrons. Since it is in the 5th group, 5 of these electrons are in the 2nd shell, and the other two in the first. We know there are two shells due to its period.

Figure 29. Un exemple où l'on observe une absence de changement.

Enfin, les schémas présentés à la Figure 30 montrent que l'étudiant a changé sa façon de concevoir l'atome en passant à un niveau de formulation supérieur. Dans ce cas, le premier schéma montre que l'étudiant conçoit la structure atomique selon le modèle de Bohr où les électrons sont retrouvés sur des couches électroniques (même si une erreur a été commise quant au nombre d'électrons maximal par couche). Le deuxième schéma montre que l'étudiant a complètement changé sa façon de concevoir la structure de l'atome qu'il décrit maintenant à l'aide d'orbitales (régions où il y a une grande probabilité de retrouver l'électron). Cela est en accord avec le dernier modèle accepté par la communauté scientifique pour décrire la structure de l'atome.

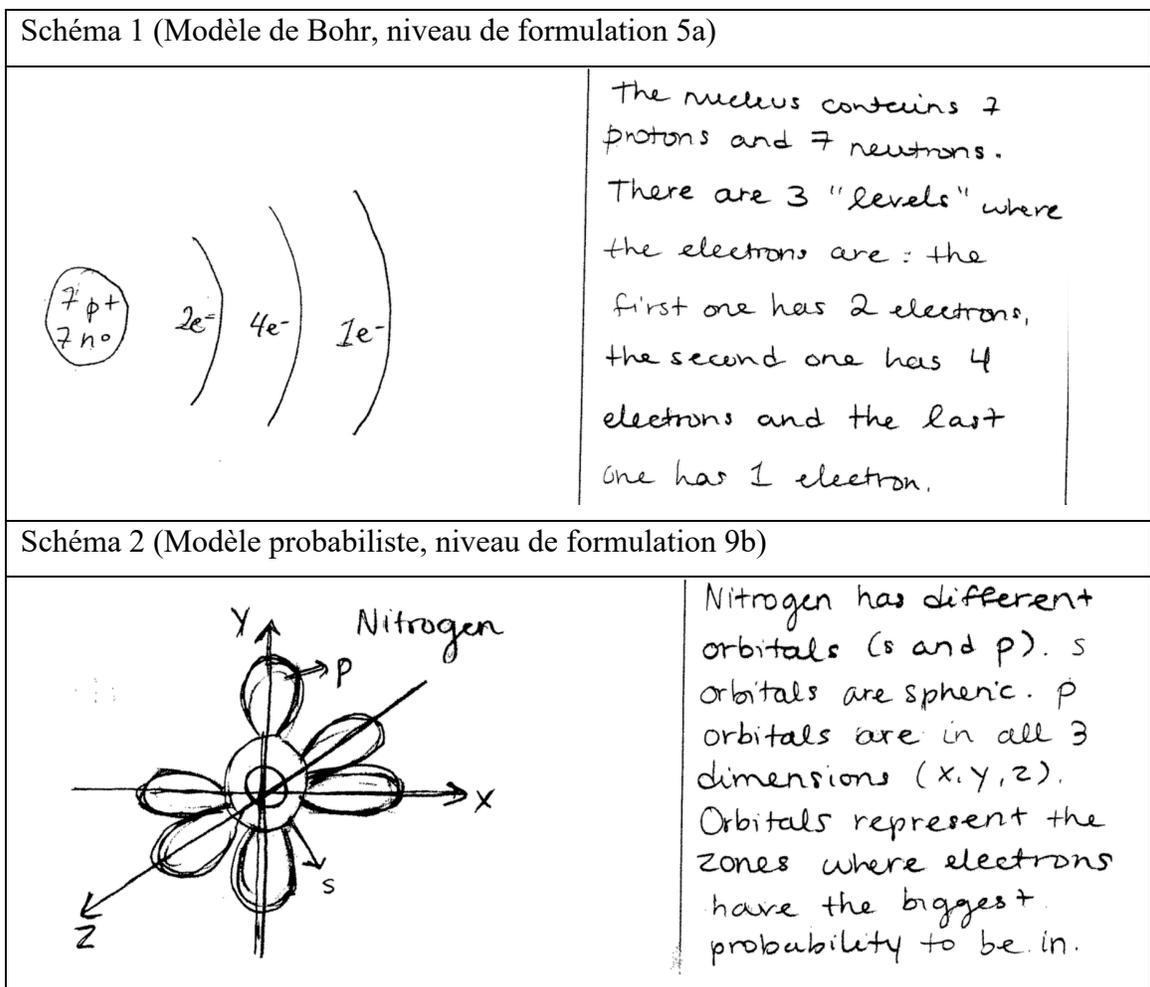


Figure 30. Un exemple où l'on observe un changement positif vers un modèle plus complexe.

7.6.3 Des pratiques favorisant un changement dans la façon dont les étudiants s'imaginent l'atome

Nous avons procédé à l'analyse des pratiques enseignantes déclarées en regard du processus de transformation de Shulman (1987). Le tableau 9 résume les principales pratiques de transformation des savoirs observées pour les six enseignants ayant participé à la recherche.

Tableau 9

Synthèse des pratiques de transformation des savoirs des enseignants

	Yvan	Antoine	Geneviève	Evelyne	Philippe	Paul
Préparation des contenus	-Choix de contenus selon application (math), l'échafaudage des connaissances, évaluation -Élaboration de matériel didactique	-Choix des contenus selon les documents du programme et ceux des collègues et ajouts personnels (expériences). -Élaboration de matériel didactique	-Choix des contenus selon leur importance, l'échafaudage des connaissances, afin d'éviter certaines difficultés -Élaboration de matériel didactique	-Choix des contenus selon l'importance, l'échafaudage des connaissances, les applications et afin d'éviter les difficultés -Élaboration de matériel didactique	-Choix des contenus selon les manuels, les nouveaux collègues, pour simplifier et afin d'éviter les difficultés -Élaboration de matériel didactique	-Choix des contenus selon le manuel et la cohésion des savoirs (échafaudage des connaissances à l'intérieur d'une leçon) -Élaboration de matériel didactique
Choix des formes de représentation des contenus	-Figures et de représentations tirées de films ou d'émissions. - Vidéo -Pour expliquer, illustrer - Choix selon intérêts personnels et des étudiants	-Figures -Pour attirer l'attention des étudiants et pour expliquer/ illustrer	-Figures -Vidéos -Objets (balles et ballons) Pour expliquer/ illustrer	-Figures -Vidéo (modèles en 3D) -Objets -Pour expliquer/ illustrer	-Figures -Pour expliquer/ illustrer	-Analogies -Figures -Vidéos -Pour expliquer/ illustrer - Humour
Choix de la stratégie d'enseignement	-Explications -Exercices (classe d'apprentissage actif) - Faire des liens	-Explications -Exercices (problème synthèse) et exemples - Faire des liens	-Explications -Exercices -Faire des liens	-Explications Questionnement (télévotants) -Exercices	- Explications Questionnement -Activités en équipe (dont un jeu) -Faire des liens -Découverte des concepts par les étudiants et entraide	- Explications (beaucoup de formes de représentations visuelles) -Faire des liens
Adaptations aux caractéristiques des étudiants (conceptions)	-Dit partir de zéro, difficile d'adapter (diversité), mais fait certains liens avec le modèle de Bohr	-Explique la nature et l'évolution des modèles. -A créé une représentation visuelle	-Fait des liens (parallèles) avec le modèle de Bohr	-Demande aux étudiants de représenter l'atome -Fait des liens avec le modèle de Bohr -Explique l'évolution des modèles	-Demande aux étudiants de représenter l'atome et d'échanger -Explique l'évolution des modèles -Difficile d'adapter (diversité)	-A créé une représentation visuelle

En ce qui concerne l'adaptation de la planification aux caractéristiques des étudiants, les enseignants ont développé différents outils qui leur permettent de connaître les caractéristiques personnelles et cognitives de leurs étudiants (échanges, présentations, questionnaires). Tous les enseignants interrogés lors des entrevues de planification ont une idée des connaissances antérieures de leurs étudiants et s'entendent tous sur le fait que ceux-ci conçoivent l'atome selon le modèle de Bohr (ou d'un hybride avec le modèle de Rutherford).

Deux enseignants ont confié qu'il était difficile pour eux de tenir compte des caractéristiques des étudiants compte tenu de la grande diversité observée dans leurs groupes. Malgré cela, les enseignants ont recours à différentes pratiques pour la prise en compte de ces connaissances dans l'enseignement. Par exemple, deux enseignants font émerger les conceptions des étudiants en leur demandant de représenter la structure de l'atome selon les connaissances qu'ils possèdent et, dans le cas d'un enseignant, d'échanger à propos des schémas afin de confronter les différentes conceptions. D'autres enseignants disent tenir compte des connaissances antérieures des étudiants en faisant plusieurs liens entre les concepts liés au modèle probabiliste de l'atome et le modèle de Bohr, modèle que connaissent bien les étudiants.

Nous avons jugé du changement des conceptions des étudiants du premier au deuxième schéma selon le modèle scientifique (modèles de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr et modèle probabiliste) correspondant à chaque schéma. Le Tableau 10 illustre les types de changement observé pour chacun des six enseignants.

Tableau 10

Pourcentages des schémas des étudiants selon le type de changement observé dans les groupes des 6 enseignants ayant participé à la recherche

	Pourcentage d'étudiants					
	Yvan	Antoine	Geneviève	Évelyne	Philippe	Paul
Changement négatif (vers un modèle moins complexe)	0,0	25,8	0,0	0,0	0,0	8,3
Aucun changement	9,7	3,2	10,6	0,0	0,0	8,3
Changement positif (à l'intérieur du même modèle)	3,2	6,5	4,2	10,0	0,0	4,2
Changement positif (vers un modèle plus complexe)	87,1	54,8	85,1	90,0	87,5	66,7
Autre	0,0	9,7	4,3	0,0	12,5	12,5

Pour tous les enseignants expérimentés ayant participé à la recherche, on dénote un pourcentage élevé d'étudiants pour lesquels on observe un changement positif vers un modèle plus complexe. Ces pourcentages sont toutefois plus faibles pour deux enseignants, différence qui peut s'expliquer par les caractéristiques des étudiants.

Nous avons réalisé quelques entrevues avec des étudiants afin de mieux comprendre comment certaines pratiques pouvaient contribuer à les aider à changer leur façon de concevoir la structure d'un atome. Le Tableau 11 présente les éléments soulevés par ceux-ci.

Tableau 11

Pratiques ayant contribué au changement dans la façon de concevoir selon le point de vue d'étudiants

	Antoine	Geneviève	Philippe	Paul
Étudiant 1	<ul style="list-style-type: none"> -Exemples -Explication de l'évolution des modèles (modèle de Bohr inadéquat) -Présentation d'expériences récentes soutenant les propos -Figures -Dessins à faire -Exercices 	<ul style="list-style-type: none"> -Figures -Exercices pour se pratiquer -Utilisation de ballons pour voir les orbitales en 3D -Le nouveau modèle fait plus de sens pour lui 	<ul style="list-style-type: none"> -Activité en équipe (jeu-remplissage des orbitales) -Exercices à la maison 	<ul style="list-style-type: none"> -Analogies -Exercices pour se pratiquer -Activité (remplissage des orbitales) -Lecture et exercices à la maison
Étudiant 2		<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation de ballons pour voir les orbitales en 3D -Exercices pour se pratiquer -Façon d'expliquer du prof (<i>séquence des contenus</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation de modèle en styromousse illustrant la formation des liaisons -Structure du cours -Le nouveau modèle fait plus de sens pour lui 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation de modèles en 3D -Activité (remplissage des orbitales) -Analogies -Exercices pour se pratiquer
Étudiant 3		<ul style="list-style-type: none"> -Vidéo (animation 3D) montrant la superposition des orbitales -Utilisation de ballons pour voir les orbitales en 3D -Exercices pour se pratiquer -Structure du cours 	<ul style="list-style-type: none"> -Répétition des explications -Exemples -Figures -Activité en équipe (jeu) -Exercices à la maison 	<ul style="list-style-type: none"> -Vidéo (animation 3D) montrant la superposition des orbitales -Activité (remplissage des orbitales) -Explications des concepts entourant la chimie quantique -Exercices à la maison

Bien qu'à cause de considérations pratiques, nous n'ayons pu interroger des étudiants de tous les groupes, il est quand même possible de dégager certaines conclusions. D'abord, les étudiants ont beaucoup rapporté l'utilisation de formes de représentation des contenus de type visuelle comme pratiques les ayant aidés à changer leur façon de concevoir l'atome. En effet, les figures, les animations 3D ainsi que l'utilisation de modèles ou d'objet afin d'illustrer les orbitales ont été rapportées comme efficaces par plusieurs étudiants. Pour d'autres, ce sont des activités organisées par leur enseignant ou encore des exercices qui ont favorisé le changement.

7.7 Discussion et conclusion

Cette étude avait pour objectif à décrire et à expliquer comment certaines pratiques enseignantes sont susceptibles de favoriser un changement des conceptions des étudiants. Nous avons analysé la façon dont des étudiants de première année du collégial s'imaginent l'atome avant et après avoir suivi la leçon portant sur ce thème ainsi que les liens existants entre les changements observés et les pratiques enseignantes. Cela nous a permis de mieux comprendre comment les adaptations faites lors du choix de certaines représentations et méthodes d'enseignement pouvaient contribuer au changement des conceptions des étudiants. Rappelons le côté novateur de notre approche méthodologique, où des représentations graphiques (dessins) d'apprenants ont été analysées. En effet, celle-ci est particulièrement innovatrice en misant notamment sur l'analyse de schémas expliqués illustrant la structure de l'atome réalisés par les étudiants avant et après la séquence de cours portant sur ce sujet. Ces analyses nous ont permis de mettre en évidence l'évolution de la façon dont les étudiants se représentent la structure de l'atome au cours d'un trimestre. Les schémas et leurs explications ont été systématiquement codés en fonction des niveaux de formulation préétablis (Park, 2006; 2009), par deux enseignants de chimie indépendants, avec un accord interjuges près de 95 %.

7.7.1 Des idées déjà-là, mais qui tendent à changer

Nous avons fait état dans l'introduction de différentes recherches ayant démontré que les étudiants des niveaux préuniversitaire et universitaire préféraient décrire l'atome avec des modèles simples et concrets où les électrons gravitent sur des orbites, même si des modèles plus avancés leur ont été enseignés par la suite (Cros et coll., 1986; Mashhadi, 1995; Petri et

Niedderer, 1998) et qu'ils éprouvaient des difficultés lors de l'apprentissage des concepts relatifs au modèle probabiliste de l'atome (Cervellati et Perugini, 1981; Cros et coll., 1986; Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman et van Joolingen, 2017; Mashhadi, 1995; Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Shiland, 1997; Stefani et Tsaparlis, 2009; Taber, 2002; Tsaparlis, 1997, 2013; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis, 2017).

Nous avons constaté que, au début du cours, la très grande majorité des étudiants conçoivent la structure de l'atome selon le modèle de Bohr appris au secondaire (aussi appelé modèle de Rutherford-Bohr à ce niveau). Cet état de fait est d'ailleurs bien connu de tous les enseignants qui ont participé à la recherche.

Nos résultats montrent que les étudiants ont réussi, au terme du cours, à changer leur façon de concevoir l'atome. En effet, les schémas expliqués réalisés en fin de session de la majorité des étudiants référaient à des niveaux de formulation reliés au modèle probabiliste. Ce résultat ne vient pas nécessairement à l'encontre de résultats de recherche présentés dans la problématique selon lesquels le fait d'avoir étudié l'atome en termes de couches électroniques pouvait entraver l'apprentissage de nouveaux modèles. Il convient de mentionner que les conceptualisations étaient variées et plus ou moins précises (conceptualisations correspondant aux niveaux de formulation 6, 7, 8, 9 et 10). Aussi, plusieurs des représentations des étudiants comportaient différentes erreurs bien qu'elles aient été classées dans les niveaux reliés au modèle probabiliste. Ces erreurs correspondent d'ailleurs à celles relevées par Taber (2002) à l'effet, par exemple, que les étudiants confondent les termes orbites et orbitales. Plusieurs schémas d'étudiants, bien qu'ils puissent être classés comme se rapportant au modèle probabiliste, constituent en fait une sorte de conceptualisation hybride rassemblant des idées des physiques classique et moderne. Cela s'explique par la rupture épistémologique qu'implique le passage de la physique classique à la physique moderne.

Alors que certains s'interrogent quant à l'enseignement du processus de découverte des concepts scientifiques du fait que d'apprendre des idées ou des modèles qui ne sont pas à jour peut semer la confusion et générer des conceptions alternatives, Tsaparlis (1997) considère que l'histoire des découvertes scientifiques montre les processus de développement des

connaissances par les humains. À la lumière des résultats de la recherche, nous considérons que, bien qu'il soit primordial de tenir compte des connaissances et conceptions que les étudiants ont déjà, le fait d'apprendre les développements historiques ayant permis une meilleure compréhension de la structure de l'atome est bénéfique pour les étudiants. En effet, cela peut contribuer à montrer le processus de construction des connaissances scientifiques où des êtres humains ont tenté, avec les moyens qu'ils avaient, d'expliquer le monde qui nous entoure. Cela nécessite que l'enseignant adopte une posture constructiviste plutôt qu'empiriste et, comme plusieurs des enseignants ayant participé à la recherche l'ont fait, que les étudiants soient mis au fait de la nature des modèles, de leurs rôles et du fait que ceux-ci sont appelés à évoluer.

7.7.2 Des pratiques visant à favoriser ce changement

Le modèle de la transformation de Shulman (1987) nous a permis de mettre en évidence certaines pratiques des enseignants, dont certaines, visant plus spécifiquement à adapter sa planification aux caractéristiques des étudiants en tenant compte de leurs connaissances antérieures (exactes ou erronées). Les pratiques identifiées par les étudiants pour générer un changement de leur façon de concevoir l'atome relèvent pour la plupart de l'un des sous-processus évoqués par Shulman (1987) : formes de représentation des contenus (telles que figures, analogies, vidéo), activités d'apprentissage, etc. Cela conforte l'utilité de ce modèle sur les plans théorique et pratique pour l'étude des pratiques enseignantes visant à favoriser un changement des conceptions des étudiants.

Alors que quelques enseignants soulignent la difficulté de prendre en compte les conceptions des étudiants compte tenu de la diversité retrouvée dans leurs groupes, d'autres ont développé certaines stratégies afin de faire en sorte que leurs étudiants changent leur façon de concevoir l'atome. Dans certains cas, ces pratiques convergent avec les actions recommandées dans certains modèles de changement conceptuel (Giordan, 1989; Posner et coll., 1982; Vosniadou et coll., 2001).

Par exemple, plusieurs enseignants disent faire plusieurs liens avec le modèle que les étudiants connaissent bien, le modèle de Bohr, afin de favoriser la transition vers le modèle probabiliste. Cette pratique va dans le sens du modèle de Vosniadou et ses collaborateurs (2001)

selon lequel le changement conceptuel se produit grâce à une lente révision du système de conceptions initiales et à l'incorporation progressive de nouveaux éléments. C'est ainsi que plusieurs enseignants « construisent » à partir d'éléments du modèle de Bohr connus par les élèves une base pour l'apprentissage du modèle probabiliste.

D'autres ont plutôt conçu une forme de représentation qui visait spécifiquement à provoquer un changement des conceptions des étudiants en créant un conflit cognitif. Cette idée de conflit cognitif se retrouve dans les modèles de Posner et ses collaborateurs (1982) et de Giordan (1989) (qui utilise l'expression déséquilibres conceptuels).

Enfin, certains enseignants demandent aux étudiants de dessiner comment ils imaginent l'atome au début de la leçon et possiblement d'échanger à propos des dessins produits. L'explicitation des conceptions par les étudiants est idée retrouvée dans les modèles classiques de changement conceptuel.

Selon le point de vue des étudiants, l'utilisation de formes de représentation des contenus de type visuelle telles que des figures, des animations, des modèles en 3D ou même des objets comme des ballons leur a permis de changer leur façon de concevoir la structure de l'atome. En apportant un certain formalisme (Giordan, 1989), ces formes de représentation des contenus permettent aussi de rendre le modèle probabiliste intelligible (Posner et coll., 1982) en apportant une « expérience » signifiante.

En conclusion, la présente recherche nous a permis de mettre en évidence certaines pratiques enseignantes de transformation des savoirs visant à changer les conceptions des étudiants. Nos résultats nous permettent de conclure que les étudiants ont déjà leur idée de la structure de l'atome en arrivant au cours, idée basée sur le modèle « Rutherford-Bohr » enseigné au secondaire. Bien que cette conception soit difficile à changer, certaines pratiques enseignantes semblent avoir contribué au changement telles que l'utilisation de formes de représentation des contenus visuelles ainsi que la mise en œuvre d'activités en classe. En effet, la majorité des étudiants voient leurs conceptions évoluer de manière importante en se représentant l'atome selon les concepts entourant le modèle probabiliste que leurs représentations contiennent plusieurs erreurs.

La limite principale de la méthodologie concerne l'échantillonnage par choix raisonné, type d'échantillonnage qui ne permet pas une généralisation des résultats. Les résultats obtenus décrivent les pratiques de quelques participants seulement et ne peuvent prétendre expliquer celles de l'ensemble des enseignants. Cette limite est toutefois inhérente au choix d'étudier en profondeur, dans leur complexité, un moins grand nombre de participants dans la perspective d'une recherche inspirée du paradigme interprétatif. Il serait pertinent d'élargir l'échantillon. Par ailleurs, nous sommes d'avis qu'une autre limite réside dans le choix de mettre en évidence le changement des conceptions des étudiants seulement par l'examen des schémas expliqués réalisés en classe. La réalisation des schémas expliqués dans le cadre d'entrevues avec la chercheuse en combinaison avec l'utilisation de questionnaires aurait fourni plus d'informations quant aux connaissances élaborées par les étudiants.

Notre recherche ouvre la voie à d'autres recherches visant à mettre en évidence les pratiques enseignantes aidant les élèves à changer leurs conceptions dans des domaines scientifiques où les conceptions erronées sont préoccupantes.

7.8 Références

- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles: De Boeck.
- Atagana, H. et Engida, T. (2014). What make chemistry difficult? *AJCE*, 4(2), 13.
- Çimer, A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students' views. *Educational Research and Reviews*, 7(3), 11.
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J. et Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8(3), 331-336.
- Driver, R. et Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: a Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61-84. <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (Éd.), *The psychology of learning science* (p. 65–83). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

- Emmerson, D. (2015). Chimie. Dans *The Canadian Encyclopedia*. Repéré à <https://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/chimie>
- Fortin, M.-F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche* (2e édition). Montréal: Chenelière éducation.
- Gilbert, J. K. et Watts, D. M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98. <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>
- Giordan, A. (1989). *Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage*. Consulté à l'adresse http://www.ldes.unige.ch/publi/rech/th_app.htm
- Giordan, A. et de Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Kousa, P., Kavonius, R. et Aksela, M. (2018). Low-achieving students' attitudes towards learning chemistry and chemistry teaching methods. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 431-441. <https://doi.org/10.1039/C7RP00226B>
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A. et van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Licker, M. D. (2003). *Atome*. In *McGraw-Hill encyclopedia of chemistry* (2e éd., p. 31). New York: McGraw-Hill.
- Mashhadi, A. (1995). *Advanced Level Physics Students' Conceptions of Quantum Physics*. Présenté à Annual Meeting of the Singapore Educational Research Association, Singapore. Repéré à <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED414197.pdf>
- Morge, L. et Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de notion de modèle : quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ? *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 52(1), 149-175. <https://doi.org/10.3406/spira.2013.1066>
- Muniz, M. N., Crickmore, C., Kirsch, J. et Beck, J. P. (2018). Upper-division chemistry students' navigation and use of quantum chemical models. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(3), 767-782. <https://doi.org/10.1039/C8RP00023A>
- Ornek, F., Robinson, W. R. et Haugan, M. P. (2008). What makes physics difficult? *Science Education*, 5.

- Paillé, P. et Muchielli, A. (2016). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales* (4e édition). Armand Collin.
- Papageorgiou, G., Markos, A. et Zarkadis, N. (2016). Students' representations of the atomic structure – the effect of some individual differences in particular task contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(1), 209-219. <https://doi.org/10.1039/C5RP00201J>
- Park, E. J. (2006). *Student perception and conceptual development as represented by student mental models of atomic structure* (PhD Thesis). The Ohio State University.
- Park, E. J., Light, G., Swarat, S. et Denise, D. (2009). Understanding learning progression in student conceptualization of atomic structure by variation theory for learning. *Learning Progressions in Science* (LeaPS) Conference.
- Petri, J. et Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075-1088. <https://doi.org/10.1080/0950069980200905>
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. et Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/doi:10.1002/sce.3730660207>
- Reuter, Y., Cohen-Azra, C., Daunay, B., Delambre, I. et Lahanier-Reuter, D. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (3e éd.; Y. Reuter, Éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Roche Allred, Z. D. et Bretz, S. L. (2019). University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(2), 358-368. <https://doi.org/10.1039/C8RP00296G>
- Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Sharma, T., ... Andrew, C. M. (2001). Mapping motor inhibition : Conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *Neuroimage*, 13(2), 250–261.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Turkish Science Education*, 4(2), 2–20.

- Stefani, C. et Tsaparlis, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry: A phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(5), 520–536. <https://doi.org/10.1002/tea.20279>
- Taber, K. S. (2001). Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations From Educational Research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123. <https://doi.org/10.1039/b1rp90014e>
- Taber, K. S. (2002). Conceptualizing quanta : illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. *Chemistry education : research and practice in Europe*, 3(2), 145–158.
- Taber, K. S. (2016). Teaching and learning chemistry. In K. S. Taber et B. Akpan, *Science Education An international course companion*. The Netherlands: Sense Publishers.
- Treagust, D., Chittleborough, G. et Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368. <https://doi.org/10.1080/09500690110066485>
- Treagust, D., Duit, R. et Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 8.
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and Molecular Structure in Chemical Education: A Critical Analysis from Various Perspectives of Science Education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922. <https://doi.org/10.1021/ed074p922>
- Tsaparlis, G. (2013). Learning and Teaching the Basic Quantum Chemical Concepts. In G. Tsaparlis et H. Sevian (Éd.), *Concepts of matter in science education* (p. 437-460). Dordrecht: Springer.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Bruxelles: Presses de l'Université de Montréal et de Boeck.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. et Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 381-419. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00038-4)
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G. et Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 893-902. <https://doi.org/10.1039/C7RP00135E>

8 Discussion générale

Les trois articles présentés précédemment font partie de la même recherche doctorale. L'objectif général de notre recherche consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation de savoirs scientifiques et d'enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Le premier article est lié au premier objectif spécifique de la thèse qui est de décrire et d'expliquer les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification.

Le deuxième article est quant à lui lié au deuxième objectif spécifique qui consiste à analyser les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe. Il nous a permis de confronter les pratiques déclarées par les enseignants aux pratiques effectives observées durant l'interaction.

Enfin, le dernier article vise à décrire et expliquer comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants (3^e objectif spécifique).

Pour atteindre ces différents objectifs, nous avons réalisé une recherche qualitative de type étude multicases avec six enseignants de chimie du collégial ainsi que leurs 163 étudiants. Les données relatives aux pratiques de transformation des savoirs ont été recueillies à l'aide d'entrevues semi-dirigées portant sur la planification qui ont été réalisées avec chacun des enseignants participants et au recueil de leur matériel didactique. Les données qui ont trait aux pratiques d'enseignement ont quant à elles été recueillies par le biais d'entrevues de rappel stimulé portant sur l'observation et l'enregistrement vidéo de la leçon. Enfin, les données relatives aux conceptions des étudiants et à leur changement lors de l'apprentissage sont issues de schémas assortis d'une explication écrite faits par les 163 étudiants des groupes des enseignants participants. Enfin, des entrevues individuelles semi-dirigées ont été réalisées avec dix de ces étudiants afin d'avoir le point de vue de ces étudiants sur ce qui avait contribué à changer leur façon de concevoir la structure d'un atome.

Les multiples outils de collecte de données que nous avons utilisés ont favorisé la triangulation des données. La méthodologie que nous avons déployée revêt un caractère particulièrement novateur en misant notamment sur l'analyse de schémas expliqués illustrant la structure de l'atome réalisés par les étudiants avant et après la séquence de cours portant sur ce sujet. Ces schémas et leurs explications ont été systématiquement codés en fonction des niveaux de formulation préétablis (Park, 2006, 2009), par deux juges indépendants, avec un accord interjuges près de 95 %. Cette procédure a permis de mettre en évidence l'évolution de la façon dont les étudiants se représentent la structure de l'atome au cours d'un trimestre.

Dans cette section, nous résumerons l'essentiel des résultats présentés dans les trois articles. Ensuite, nous mettrons en relation ces résultats afin de discuter des pratiques de transformation des savoirs lors de la planification, des pratiques d'enseignement ainsi que des liens existants entre ces pratiques et les savoirs appris par les étudiants.

7.9 Des pratiques enseignantes visant transformer les savoirs pour qu'ils soient plus faciles à apprendre par les étudiants

Rappelons que le premier objectif spécifique de la thèse était de décrire les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification.

7.9.1 Ce qu'en dit la littérature

Les travaux de Shulman (1986, 1987) ont permis de mettre en évidence un type de connaissances unique aux enseignants, la connaissance pédagogique du contenu (*pedagogical content knowledge*) ou PCK. Au fil des années, plusieurs auteurs tels que Abell (2007); Berry et ses collaborateurs (2015); Gess-Newsome (2015), Grossman (1990), Magnusson et ses collaborateurs (1999), Neumann et ses collaborateurs (2018) et Park et Oliver (2008) se sont efforcés de mieux définir et caractériser ce concept qui est beaucoup utilisé dans les recherches américaines.

Selon Shulman (1987), c'est ce type de connaissance qui permettrait aux enseignants d'effectuer des transformations sur les savoirs de façon à faciliter leur apprentissage par les

étudiants. La transformation, selon l'auteur, s'intègre dans un processus plus large appelé modèle de raisonnement et d'action pédagogique et mettrait en œuvre quatre sous-processus soit la préparation des contenus, le choix des formes de représentation des contenus, le choix d'une stratégie d'enseignement et l'adaptation aux caractéristiques des enseignants.

Ce processus de transformation a été étudié par certains chercheurs (Chen et Ennis, 1995; Geddis, 1993; Geddis et coll., 1993; Geddis et Wood, 1997; Mavhunga, 2016) et certains d'entre eux ont mis en évidence des connaissances nécessaires au processus (connaissances des représentations du contenu (exemples, illustrations, métaphores, analogies, modèles, simulations), des « préconceptions » des étudiants (conceptions alternatives), des stratégies d'enseignement efficaces, du matériel d'enseignement disponible et de l'importance du contenu dans le programme) ainsi que de la transférabilité de la compétence d'effectuer ce processus.

Notre recherche visait pour sa part à mettre en évidence les processus empruntés par les enseignants en sous-tendant, bien sûr, que de telles connaissances étaient mobilisées.

Le modèle de la transposition didactique de Chevallard (1991) s'intéresse aux « transformations » qui se font, aux distances qui se créent entre les savoirs savants produits par la communauté scientifique, les savoirs à enseigner et les savoirs effectivement enseignés. En effet, selon ce modèle, les savoirs produits par les institutions scientifiques sont le point de départ de la transposition didactique et sont transposés en savoirs à enseigner dans les textes pédagogiques ou textes du savoir dans ce qui est appelé la transposition didactique externe. De plus, le savoir à enseigner est transposé en savoir enseigné. Cette transposition, appelée transposition didactique interne, est alors dépendante des processus d'enseignement et d'apprentissage mis en place par l'enseignant. La chronogenèse et la topogenèse sont des concepts introduits par Chevallard en lien avec la transposition didactique interne. Bien que ce modèle soit beaucoup utilisé pour l'étude des transformations subies par les savoirs lors de l'enseignement et l'apprentissage notamment dans la francophonie, nous avons fait le choix d'utiliser le modèle de la transformation de Shulman (1987) qui nous offrait davantage de concepts facilitant l'opérationnalisation du codage des données.

7.9.2 Ce qu'en disent nos résultats

Nos analyses ont permis de mettre en évidence une diversité dans les pratiques de transformation des savoirs, bien que plusieurs de celles-ci soient partagées par plusieurs enseignants. Les principaux résultats obtenus en regard du processus de transformation des savoirs sont illustrés à la Figure 31.

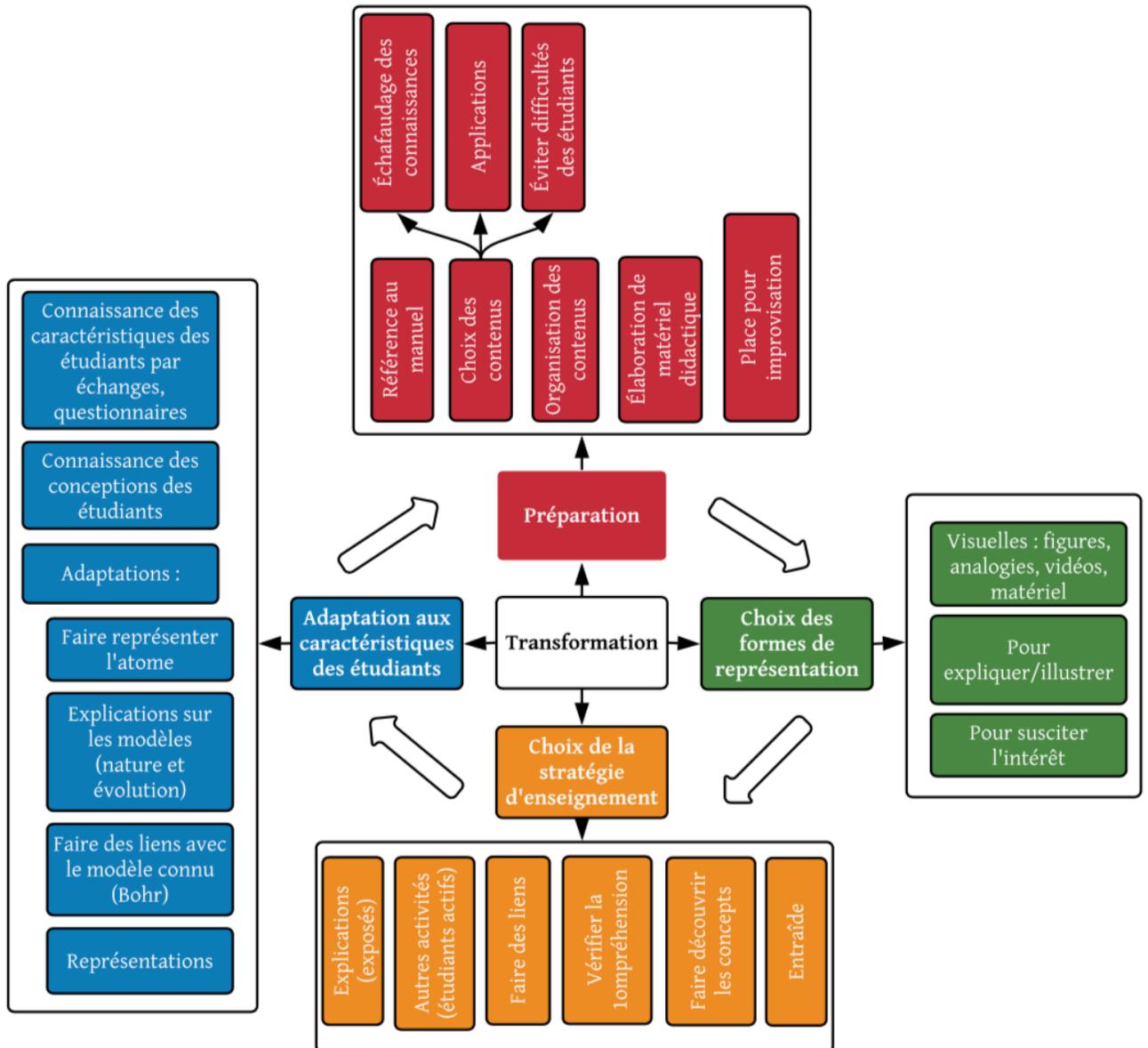


Figure 31. Synthèse des résultats obtenus liés aux pratiques de transformation des savoirs des six enseignants participants.

Les prochaines sections décrivent les grandes lignes des interprétations faites pour chacune des phases du processus de transformation de Shulman (1987).

1. Plusieurs choix à faire lors de l'interprétation des contenus

Lors du sous-processus de préparation des contenus (aussi appelé interprétation des contenus dans la littérature), les enseignants sont confrontés à faire de nombreux choix qui sont faits en fonction de prérogatives différentes selon les enseignants.

Les enseignants choisissent les contenus essentiels à enseigner après consultation de différentes sources (manuel d'enseignement, collègues, documents du programme). Alors qu'ils consultent beaucoup le manuel d'enseignement en début de carrière et s'en éloignent en gagnant de l'expérience. Les choix se font sur la base de facteurs différents selon les enseignants. Certains priorisent l'enseignement de savoirs conceptuels alors que d'autres choisissent davantage des savoirs pour lesquels des applications d'algorithmes sont possibles (comme des savoirs pour lesquels des calculs mathématiques peuvent se faire). Pour la majorité des enseignants, le choix des contenus essentiels est justifié par l'échafaudage des connaissances, c'est-à-dire qu'ils priorisent les contenus qui sont réutilisés plus tard dans le même cours ou dans d'autres cours du programme. Enfin, dans certains cas, les choix sont faits dans la perspective d'éviter certaines difficultés chez les étudiants.

Certains enseignants ont abordé l'organisation des contenus du fait qu'il est important pour eux d'ordonner les contenus selon un fil conducteur qui leur convient. L'interprétation qu'ils font des savoirs à enseigner se retrouve dans le matériel didactique qu'ils produisent. Un des enseignants nous a expliqué l'importance de planifier son enseignement en gardant une grande place pour l'improvisation lors de l'enseignement.

2. Des formes de représentations des contenus visant à faire comprendre et à motiver

En ce qui concerne le choix des formes de représentation des contenus, les enseignants choisissent davantage des formes de représentation des contenus visuelles pour faciliter

l'apprentissage de concepts scientifiques abstraits qui sont invisibles à l'œil nu. Ces formes de représentation consistent en des figures, des vidéos, des objets, etc.

Les formes de représentation des contenus sont choisies, en premier lieu, parce qu'elles permettent d'expliquer et d'illustrer certains concepts. Dans un second temps, les enseignants choisissent certaines formes de représentation des contenus afin de rejoindre les intérêts des étudiants (et aussi les leurs dans certains cas).

3. Des activités d'enseignement et d'apprentissage diversifiées

Les stratégies d'enseignement des enseignants participants comportent une diversité d'activités d'enseignement et d'apprentissage. Bien que les enseignants aient beaucoup recours à l'enseignement magistral pour un contenu abstrait tel que celui que nous avons retenu pour notre étude, ceux-ci ont aussi choisi plusieurs activités d'apprentissage où les étudiants sont actifs.

Les différentes activités d'enseignement et d'apprentissage, centrées sur l'enseignant dans certains cas et sur l'étudiant dans d'autres, étaient choisies de sorte que l'enseignant puisse faire le maximum de liens possible entre les concepts et que, dans certains cas, ce soit les étudiants qui puissent faire eux-mêmes ces liens.

4. Une adaptation de la planification aux caractéristiques des étudiants

Enfin, les enseignants connaissent bien les caractéristiques des étudiants de leur groupe et utilisent différents moyens pour les connaître (échanges, questionnaires, etc.).

Ils savent que la majorité de leurs étudiants conçoivent l'atome selon le modèle de Bohr en amorçant le cours et ont développé différents moyens afin de favoriser un changement de leurs conceptions.

Nous avons observé plusieurs de ces pratiques visant à provoquer un changement dans la façon dont les étudiants conçoivent la structure de l'atome. Par exemple, certains vont faire expliciter les façons de concevoir la structure de l'atome des étudiants en leur demandant de dessiner un atome selon ce qu'ils savent au début de la leçon. Certains vont prendre du temps

pour bien expliquer ce qu'est un modèle et appuyer sur le fait qu'en sciences, les modèles sont appelés à changer et à se raffiner conséquemment aux découvertes scientifiques. Ainsi, certains enseignants en profiteront pour faire le maximum de parallèles entre le modèle de Bohr, que les étudiants connaissent bien, et le modèle probabiliste, le nouveau modèle à apprendre. Enfin, certains enseignants ont conçu des représentations visant spécifiquement à faire changer la façon dont les étudiants conçoivent la structure de l'atome.

5. Une transformation des savoirs qui facilite l'apprentissage

Le processus de transformation issu du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987) nous a permis de mettre en évidence certaines pratiques enseignantes de transformation des savoirs, dont certaines, visant spécifiquement à adapter sa planification aux caractéristiques des étudiants en tenant compte de leurs connaissances antérieures (exactes ou erronées).

Ainsi, nous avons observé de nombreuses pratiques de transformation des savoirs chez les enseignants qui ont participé à la recherche. Ces pratiques étaient diversifiées, mais nous avons tout de même mis en évidence plusieurs pratiques semblables. Le processus de transformation de Shulman (1987) s'est révélé un outil fort utile pour l'analyse de ces pratiques, car il nous a permis de les mettre en évidence sous l'angle de 4 sous-processus : la préparation des contenus, le choix des formes de représentation des contenus, le choix d'une stratégie d'enseignement ainsi que l'adaptation de la planification aux caractéristiques des étudiants.

Chacun à leur manière, les enseignants transforment ou apprêtent les savoirs pour que ceux-ci afin de faciliter les apprentissages. Selon nous, les pratiques relatives à la préparation des contenus varient selon différents facteurs liés aux contenus à enseigner, à l'enseignant ainsi qu'aux étudiants. De plus, le fait que les participants ont choisi ou élaboré un très grand nombre de formes de représentation des contenus pour des raisons cognitives, entre autres, nous amène à croire qu'ils voient le potentiel qu'offrent ces représentations pour une compréhension des concepts « en profondeur » par les étudiants. Ces formes de représentation peuvent toutefois offrir plus de possibilités en étant considérées comme des objets épistémiques (Evagorou et coll., 2015), en étant intégrées à l'apprentissage (Tippett, 2016) et en utilisant de nouvelles

technologies telles que la réalité virtuelle aiderait à relever les défis liés aux conceptions alternatives (Yoon et al., 2019). Les enseignants ont tous opté pour l'enseignant magistral interactif lors de la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome. Les explications sous la forme d'exposé ont servi, selon nous, à montrer le grand nombre de formes de représentation choisies. Or, les enseignants ont aussi intégré plusieurs activités où les étudiants étaient actifs. Cette tendance à rendre les étudiants plus actifs est conséquente, selon nous, au contexte de l'APC, mais aussi surtout à des facteurs propres à l'enseignant. En effet, les connaissances et croyances de l'enseignant influeraient sur ce choix de rendre les étudiants plus actifs. Enfin, les enseignants rencontrés ont mis en place plusieurs moyens ou outils afin de connaître les caractéristiques de leurs étudiants. De cette manière, ils sont en mesure d'adapter leur planification à ces caractéristiques de différentes façons. Pour la leçon observée, les enseignants participants ont réalisé des adaptations surtout en lien avec les caractéristiques des étudiants (leurs connaissances antérieures). Ces adaptations sont rendues possibles probablement grâce aux expériences d'enseignement des participants qui leur auraient permis de développer des connaissances « intégrées » d'un contenu spécifique et des étudiants, connaissances faisant partie de la connaissance pédagogique du contenu des modèles décrits dans le cadre théorique. Cette adaptation serait aussi favorisée par une conception de l'enseignement et une vision de la nature de la science constructivistes.

7.10 Des pratiques d'enseignement effectives qui peuvent différer des pratiques déclarées : la place accordée au plan

Le deuxième objectif spécifique était d'analyser les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe.

7.10.1 Ce qu'en dit la littérature

Les pratiques enseignantes sont un objet complexe, car elles sont multidimensionnelles (Altet, 2002) et cette complexité se répercute sur leur analyse (Maubant, 2007). Plusieurs définitions peuvent s'appliquer au concept de pratiques enseignantes selon les cadres de référence adoptés, les problématiques et les visées de recherche (Altet, 2003). Altet (2002) définit la pratique enseignante comme la manière de faire propre à une personne d'exécuter une

l'activité professionnelle qu'est l'enseignement. Elle inclut dans cette définition les comportements observables de l'enseignant ainsi que ses processus cognitifs tels que les choix faits et les décisions prises (Altet, 2002).

Dans la littérature, on distingue les pratiques déclarées qui concernent ce que disent faire les sujets des pratiques constatées ou effectives qui désignent ce que le chercheur observe de l'activité déployée en situation de classe. Alors que dans le passé la plupart des recherches ont porté sur le discours des enseignants relativement à leurs pratiques (Maubant et coll., 2005), plusieurs auteurs ont souligné la difficulté ainsi que l'importance de tenter d'accéder aussi aux pratiques réelles ou effectives des enseignants (Bressoux, 2001; Bru, 2002; Clanet et Talbot, 2012) par l'observation de celles-ci.

Les recherches portant sur les pratiques enseignantes s'appuient sur différentes approches théoriques (Marcel, Olry, Rothier-bautzer et Sonntag, 2002). Alors que les chercheurs du courant processus-produit ont tenté de mettre en évidence les variables des pratiques enseignantes observables influençant les apprentissages avec un devis expérimental, les recherches influencées par le paradigme cognitiviste ont plutôt porté sur les processus cognitifs impliqués dans les pratiques. Plus récemment, les recherches inspirées du courant de l'action et de la cognition située mettent de l'avant les caractéristiques de la situation comme déterminant des pratiques en remettant en question la place du plan comme générateur de l'action (Suchman, 1987). Enfin, celles issues du paradigme systémique visent l'étude de la globalité des pratiques en les considérant comme un système (Marcel, Olry, Rothier-bautzer et Sonntag, 2002).

Les écrits de Schön (1994) suggèrent que des moments de réflexion en cours d'action (réflexion *dans* l'action) et des moments de réflexion au sujet de l'action (réflexion *sur* l'action) peuvent se glisser dans le cadre de l'exercice professionnel. La réflexion dans l'action réfère à lorsque l'on pense à ce que l'on fait en exécutant une tâche alors que la réflexion sur l'action se veut plutôt un retour analytique sur son intervention. Perrenoud (1998a) distingue, pour sa part, la réflexion dans le feu de l'action pédagogique qui consiste à l'activité mentale du professeur qui doit à prendre de nombreuses microdécisions en lien avec la gestion de classe et avec le déroulement du cours, notamment, de la réflexion « sur l'action », une réflexion d'après-coup

qui consiste à réfléchir sur son action pour la comparer, entre autres, à comment on aurait pu faire autrement ou comment on aurait pu faire mieux.

La réflexion dans l'action nous a amenés au concept de pensée interactive (ou pensée des enseignants pendant la phase interactive). Wanlin et Crahay (2012) proposent un modèle intégré de la pensée interactive qui prend en compte les constats des recherches du paradigme de la pensée des enseignants (*teacher thinking*) ainsi que les critiques faites aux modèles décisionnels cognitivistes. Ce modèle suggère que le plan de leçon élaboré lors de la planification de l'enseignement, qui peut prendre la forme d'images mentales, d'un script, de notes manuscrites ou électroniques, etc., est le point de départ de la pensée interactive puisque les activités planifiées sont l'unité de traitement de base de l'enseignement et les réflexions en cours d'enseignement leur sont subordonnées. Pendant le cours, l'enseignant prélèverait des indices en lien avec le déroulement du cours (relatifs à lui-même, aux étudiants ou à des facteurs contextuels), indices qui veulent dans certains cas donner lieu à des dilemmes difficiles à gérer. Les dilemmes sont, en fait, « des situations perçues par le professeur comme étant problématiques, dans lesquelles des croyances, des buts ou des indices contradictoires entrent en compétition » (Wanlin et Crahay, 2012, p. 24). Enfin, l'enseignant jugera à quel point les indices perçus dépassent ses seuils de tolérance et prendra une décision qui pourra donner lieu à différents comportements.

7.10.2 Ce qu'en disent nos résultats

Après avoir procédé à l'enregistrement vidéo de la leçon de chacun des enseignants, nous avons réalisé des entrevues de rappel stimulé afin, entre autres, de comprendre les réactions des enseignants lorsque l'interaction en classe divergeait de ce qui avait été planifié. Nous avons ciblé certains de ces moments et tenté de comprendre comment les enseignants négociaient avec les contraintes de la situation. Les données recueillies nous ont permis de mettre en évidence certains moments de réflexion dans l'action ainsi que des moments de réflexion sur l'action. La Figure 32 illustre nos résultats en lien avec ces réflexions dans et sur l'action.

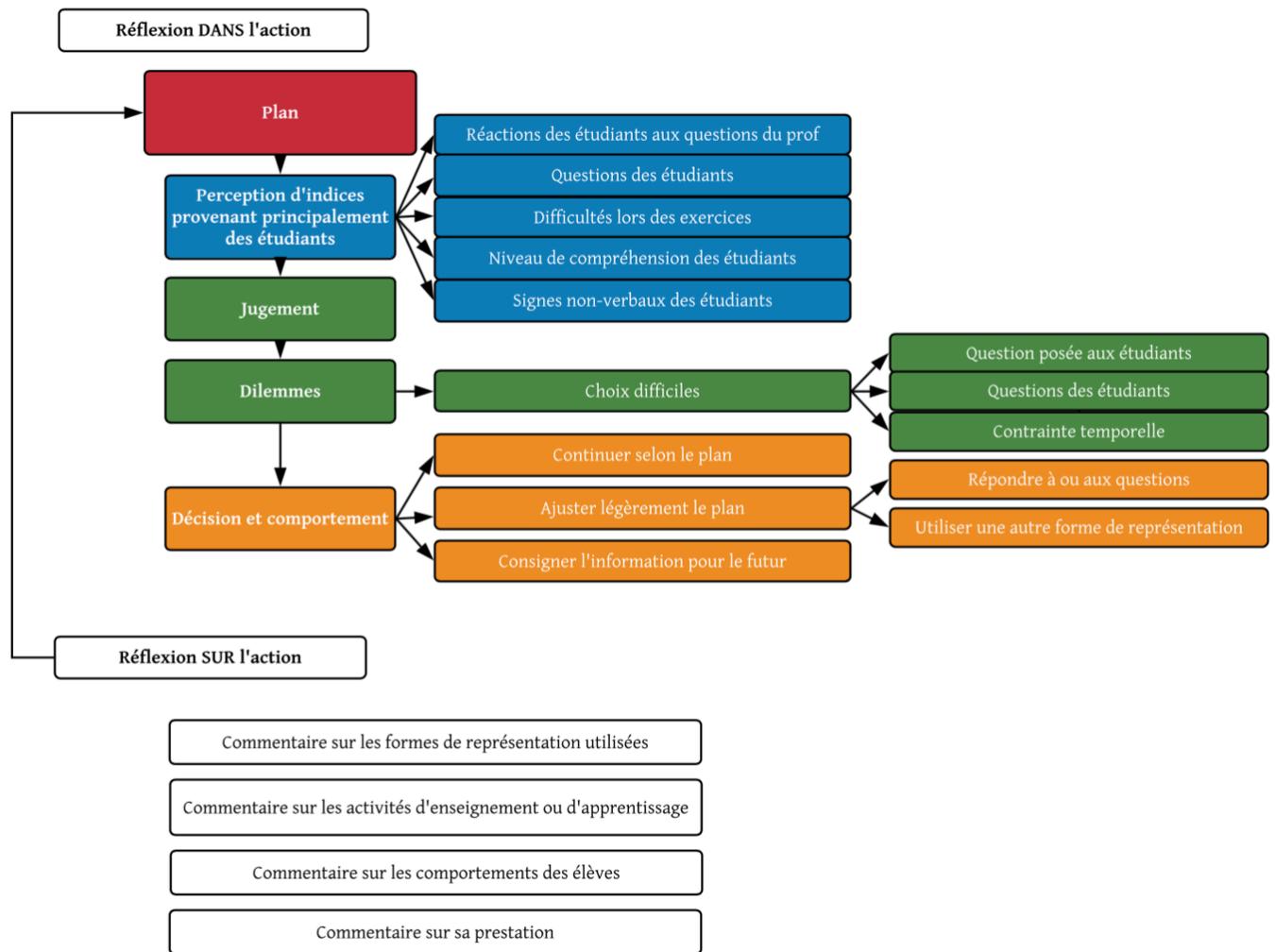


Figure 32. Synthèse des résultats obtenus reliés aux réflexions dans l'action et sur l'action en regard des pratiques d'enseignement des six enseignants participants.

L'analyse qualitative des données montre que pour la majorité des enseignants, la leçon se déroule essentiellement tel qu'elle avait été planifiée. Toutefois, nous avons observé certaines décisions prises dans l'action à la suite d'indices perçus liés principalement aux étudiants.

Tous les enseignants nous ont présenté un plan très élaboré pour leur leçon. Un des participants nous a précisé avoir planifié sa leçon de façon à laisser de la place pour l'improvisation dans la classe. Il nous a présenté son plan en répétant à plusieurs reprises qu'il ne savait pas trop comment les choses se passeraient à certains moments de sa leçon et qu'il en profiterait alors pour improviser.

Nous avons tout de même relevé plusieurs moments où les interventions des enseignants différaient de ce qu'ils avaient prévu.

Dans la majorité des cas, ce sont des indices perçus en lien avec les étudiants qui ont donné lieu à ces changements. Ces indices étaient liés, entre autres, aux réactions des étudiants face aux questions de l'enseignant, à certaines questions posées par les étudiants, à des difficultés observées lors des exercices, au jugement du niveau de compréhension des étudiants ainsi qu'à des signes non verbaux constatés chez les étudiants.

Le modèle de Wanlin et Crahay (2012) suggère que la perception de ces indices amènerait l'enseignant à juger de ceux-ci en lien avec ses seuils de tolérance. Dans notre cas, les enseignants ont expliqué ce qu'ils avaient en tête au moment de la perception de ces indices sans vraiment se référer à des seuils de tolérance. Ils nous ont plutôt expliqué leur point de vue en se référant, entre autres, aux connaissances qu'ils avaient développées suite à leurs expériences passées.

Nous avons alors observé l'apparition de quelques dilemmes auxquels les enseignants ont eu à faire face. Ces dilemmes se voulaient des situations, qui pouvaient sembler simples en apparence, mais pour lesquelles l'enseignant ne voyait pas de solution parfaite, son intervention résultant davantage d'un compromis. Les enseignants ont ainsi eu à réfléchir afin de dénouer ces dilemmes dans l'action.

Enfin, les moments de réflexion dans l'action analysés se sont conclus par la prise d'une décision menant à certains comportements. Nos données ont révélé que, dans la plupart des cas, l'enseignant a décidé, suite au processus de réflexion, de continuer la leçon telle qu'il l'avait prévue. Toutefois, nous avons aussi observé des situations où l'enseignant a décidé d'intervenir en ajustant légèrement son plan. Par exemple, l'enseignant a pu décider de répondre aux questions des étudiants (bien que celles-ci pouvaient être nombreuses et nécessiter du temps pour répondre). Dans d'autres cas, l'enseignant a pu décider d'utiliser une autre forme de représentation des contenus. Enfin, la réflexion dans l'action a aussi, dans certains cas, amené les enseignants à consigner l'information relative aux indices perçus dans la classe et jugement qu'il en avait fait dans la perspective de modifier, d'améliorer son plan dans le futur.

Nos données ont aussi révélé certains moments de réflexion sur l'action. Bien qu'il a parfois été difficile de distinguer les moments de réflexion dans l'action des moments de réflexion sur l'action, nous avons gardé en tête, lors de l'analyse, que la réflexion dans l'action était celle qui avait eu cours pendant l'enseignement (mise en évidence par les verbalisations de l'enseignant) alors que la réflexion sur l'action consistait plutôt en une réflexion, un jugement sur l'action a posteriori. Nous avons ainsi recueilli plusieurs commentaires des enseignants en lien avec l'efficacité des formes de représentation des contenus planifiées et utilisées pour l'enseignement des concepts et, aussi, des activités d'enseignement et d'apprentissage. Ces réflexions ont donné lieu à des commentaires critiques que les enseignants ont formulés à propos de leur prestation. Enfin, certains commentaires négatifs émis par les enseignants les amenaient à considérer apporter des modifications lors de la prochaine planification du cours de façon à améliorer ces aspects.

Les résultats de notre étude montrent que le plan occupe une place importante pour les enseignants ayant participé à notre recherche et que ce plan détermine en bonne partie les pratiques effectives. Cela coïncide avec plusieurs écrits stipulant que les décisions prises lors de la planification de l'enseignement influencent les décisions prises dans l'action (Borko et Shavelson, 1990; Calderhead, 1996; Clark et Yinger, 1978; Moallem, 1994; Parker et Gehrke, 1986; Peterson et coll., 1978; Putnam et Duffy, 1984; Tochon, 1993a; Tochon, 1993b; Warner, 1987). En effet, plusieurs des pratiques effectives observées coïncidaient aux pratiques qui avaient été déclarées par les enseignants lorsqu'ils nous ont fait part de ce qu'ils avaient planifié en vue de la leçon.

Les enseignants participants auraient développé une habileté à percevoir une multitude de choses en lien avec les étudiants et leurs relations avec les contenus grâce à l'expérience qui influencerait cette habileté à percevoir ces indices. Ces indices perçus ont amené des informations aux enseignants participants relativement à leurs difficultés, erreurs ou conceptions alternatives. Ainsi, les enseignants accordent une importance très grande à ce qu'ils perçoivent chez leurs étudiants pendant la leçon bien que d'autres indices soient aussi pris en compte. Comme suggéré dans le modèle de Wanlin et Crahay (2012), la majeure partie des indices à la

base des décisions observées concernait les étudiants ce qui suggère que les enseignants tiennent compte de ces indices pour décider de leurs interventions.

Comme nous l'avons mentionné plus tôt, certaines différences ont été observées entre les pratiques déclarées des enseignants en lien avec le plan de la leçon et les pratiques effectives observées en classe. Nous avons relevé des situations où les décisions prises après que l'enseignant ait perçu des indices et qu'il ait porté un jugement sur ceux-ci ont consisté à modifier le plan. Les modifications apportées consistaient, le plus souvent, à de légères adaptations du plan plutôt qu'à un changement radical de celui-ci. Les pratiques effectives sont ainsi adaptées aux contraintes de la situation grâce, selon nous, à des habiletés pour l'interprétation des données et pour une prise de décision rapide dans l'action. Ces habiletés se développeraient grâce à des connaissances professionnelles (la connaissance pédagogique du contenu) qui s'acquièrent avec l'expérience. Il existerait une relation à double sens entre les réflexions des enseignants et leurs connaissances : les expériences antérieures de réflexion dans et sur l'action favoriseraient le développement de connaissances et ces connaissances alimenteraient les processus de réflexion des enseignants en les améliorant.

Les résultats laissent présager qu'avec l'expérience, les enseignants ont développé des routines et qu'ils font consciemment ou inconsciemment appel à celles-ci lors de l'enseignement. Ces routines sont donc intégrées au plan, ce qui peut expliquer que les pratiques effectives concordent à ce point à ce qui a été planifié. Plusieurs auteurs se sont d'ailleurs intéressés à ces routines d'enseignement aussi qualifiées de schèmes d'action (Dessus, 1995; Dessus et Schneider, 2006; Tochon, 1989; Wanlin et Crahay, 2012)

Nos observations relatives à la place du plan relativement aux pratiques effectives ne s'expliquent pas, selon nous, par une volonté des enseignants d'appliquer aveuglément leur plan, mais plutôt par une planification qui s'est raffinée avec l'expérience suite aux adaptations faites au fil des ans, adaptations conséquentes aux différents indices perçus et décisions prises dans le passé. Aussi, ce plan amélioré s'intérioriserait sous forme de routines établies fortement mobilisées lors de l'intervention.

Enfin, les réflexions, qu'elles soient faites pendant l'action ou après l'action, permettent aux enseignants d'apporter certaines modifications à leur plan et à leur enseignement futur. Ainsi, ce plan devient toujours mieux adapté aux étudiants au fil des années, ce qui peut expliquer que le lien fort entre le plan et les pratiques effectives. Comme un des enseignants le signifiait, l'expérience lui permet même souvent d'anticiper les questions des étudiants.

7.11 Un lien à faire entre les pratiques enseignantes et le changement des conceptions des étudiants

Le dernier objectif de la recherche était de décrire et expliquer comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants.

7.11.1 Ce qu'en dit la littérature

La chimie est une discipline impliquant des concepts abstraits que plusieurs étudiants ont de la difficulté à appréhender (Emmerson, 2015; Kousa et coll., 2018; Sirhan, 2007; Taber, 2001, 2016; Treagust et coll., 2000).

Plus spécifiquement, plusieurs difficultés ont été documentées pour l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome. Historiquement, plusieurs scientifiques ont contribué au développement de plusieurs modèles afin de décrire la structure de l'atome, modèles qui sont enseignés au secondaire en suivant l'ordre chronologique des découvertes scientifiques qui en sont à l'origine. Rappelons que les modèles sont utilisés couramment en sciences comme outil pour, entre autres, représenter des concepts abstraits, qu'ils sont souvent enseignés comme des faits et, ainsi, que plusieurs étudiants croient que les modèles sont des répliques exactes de la réalité (Treagust et coll., 2002). Pour d'autres, ce sont la nature des concepts reliés au modèle probabiliste (tels que la notion d'orbitale et les concepts liés) qui causeraient des difficultés d'apprentissage (Cervellati et Perugini, 1981; Cros et coll., 1986; Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman et van Joolingen, 2017; Mashhadi, 1995; Muniz, Crickmore, Kirsch et Beck, 2018; Papageorgiou, Markos et Zarkadis, 2016; Roche Allred et Bretz, 2019; Shiland, 1997; Stefani et Tsaparlis, 2009; Taber, 2002; Tsaparlis, 1997, 2013; Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis,

2017). Enfin, il semble que les étudiants aient tendance à décrire l'atome avec des modèles simples et concrets où les électrons gravitent sur des orbites, même si des modèles plus avancés leur ont été enseignés par la suite (Cros et coll., 1986; Mashhadi, 1995; Petri et Niedderer, 1998). Ainsi, les modèles atomiques appris antérieurement se rapprocheraient de ce qu'on appelle les conceptions alternatives (aussi appelées conceptions erronées, conceptions spontanées ou *misconceptions*) (Stefani et Tsapalis, 2009), ces conceptions très bien ancrées dans l'esprit des élèves et souvent en désaccord avec la théorie scientifique (Driver et Easley, 1978; Duit, 1991; Gilbert et Watts, 1983).

Le courant de recherches portant sur le changement conceptuel propose des modèles visant à changer les conceptions alternatives des étudiants qui peuvent être classés en trois catégories soit les modèles classiques favorisant une rupture dans les conceptions, les modèles favorisant la transformation des connaissances antérieures et les nouveaux modèles basés sur la coexistence des conceptions (Potvin, 2013)

Dans le modèle de Posner, Strike, Hewson, et Gertzog (1982), le changement conceptuel, ou accommodation, nécessite que les étudiants doivent remplacer, réorganiser les connaissances qu'ils possèdent déjà du fait qu'elles sont inadéquates pour comprendre de nouveaux phénomènes, ce qui peut se faire seulement à certaines conditions. Selon eux, l'enseignement devrait favoriser la rencontre de ces quatre conditions : une insatisfaction relativement à la conception erronée (insatisfaction provoquée par un conflit cognitif), que la nouvelle conception soit intelligible, qu'elle soit plausible et qu'elle soit féconde en permettant de résoudre de nouveaux problèmes.

Dans le modèle allostérique de Giordan (1989) l'apprentissage consiste en une activité d'élaboration dans laquelle la structure mentale de l'apprenant est transformée suite à la confrontation des informations nouvelles et des conceptions déjà-là, ce qui génère de nouvelles significations plus aptes à répondre aux interrogations qu'il se pose. Une déconstruction et une reconstruction radicales du réseau organisé de conceptions que possède l'apprenant doivent se produire lors de l'apprentissage. Celui-ci peut alors être favorisé par l'environnement didactique mis à la disposition de l'élève par l'enseignant, environnement intégrant idéalement des déséquilibres conceptuels ainsi qu'un certain formalisme.

Le modèle de Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou et Papademetriou (2001) fait partie des modèles favorisant une transformation des connaissances antérieures. Selon eux, le changement conceptuel est plutôt un processus impliquant une lente révision d'un système de conceptions initiales caractérisée par l'incorporation progressive d'éléments des explications scientifiques acceptées actuellement.

Enfin, Potvin (2013) propose des ajustements aux modèles classiques de changement conceptuel grâce à des travaux récents réalisés dans le champ de la neuroéducation. Son modèle de coexistence des conceptions consiste en une proposition opérationnelle pour favoriser le changement conceptuel. Selon lui, il faut s'assurer avant tout de la disponibilité de la conception favorisée plutôt que de débiter par un conflit cognitif qui risque de rendre disponible en mémoire des conceptions alternatives. Il faut ensuite installer des mécanismes d'inhibition des conceptions alternatives pour s'assurer que celles-ci ne soient pas renforcées. Enfin, il faut agir pour s'assurer de la prévalence des conceptions favorisées, en considérant que les anciennes conceptions ne sont pas disparues, mais au mieux, inhibées.

7.11.2 Ce qu'en disent nos résultats

Les résultats émanant des productions des étudiants ont montré que la plupart des étudiants conçoivent la structure de l'atome à la manière du modèle de Bohr en début de session. Ce résultat concorde avec ce que les enseignants nous avaient dit quand nous les avons questionnés à propos des connaissances antérieures de leurs étudiants relativement à la structure de l'atome.

Nos résultats ont montré que, pour la majorité des étudiants, un changement positif s'est produit de sorte que ceux-ci décrivaient la structure de l'atome un modèle scientifique plus complexe. Ces pourcentages sont plus faibles pour certains enseignants, différence que nous avons expliquée par les caractéristiques des étudiants. Ces étudiants voient leurs conceptions évoluer de manière importante en se représentant l'atome selon les concepts entourant le modèle probabiliste, même si plusieurs erreurs ont été relevées dans les explications.

Malgré ce qu'en dit la littérature, nous avons observé peu d'étudiants (moins de 10%) concevant la structure atomique de la même façon en début et en fin de session.

Les enseignants sont conscients de la difficulté que représente la modification de ces conceptions et utilisent des formes de représentations des contenus et des activités d'enseignement destinées à les changer. Bien que certains enseignants nous aient fait part de la difficulté pour eux d'adapter leurs interventions aux caractéristiques des étudiants compte tenu de la grande diversité observée dans leur classe, nous avons tout de même observé plusieurs pratiques visant à changer la façon dont les étudiants conçoivent la structure atomique.

Par exemple, certains enseignants font émerger les conceptions des étudiants en leur demandant de représenter la structure de l'atome selon les connaissances qu'ils possèdent. L'un de ceux-ci leur demande d'échanger à propos des schémas afin de confronter les différentes conceptions. D'autres disent tenir compte des connaissances antérieures des étudiants en faisant plusieurs liens entre les concepts liés au modèle probabiliste de l'atome et ceux liés au modèle de Bohr, le modèle que les étudiants connaissent bien. Enfin, d'autres enseignants ont créé une forme de représentation des contenus (de type figure ou animation) qui visait spécifiquement à changer la façon dont les étudiants conçoivent la structure de l'atome.

Lorsque nous avons interrogé les étudiants quant aux pratiques de leurs enseignants ayant favorisé un changement dans leur façon de concevoir la structure atomique, ceux-ci ont rapporté, entre autres, l'utilisation de formes de représentation des contenus de type visuelle. En effet, les figures, les animations 3D ainsi que l'utilisation de modèles ou d'objet afin d'illustrer les orbitales ont été rapportées comme efficaces par plusieurs étudiants. Pour d'autres, ce sont des activités organisées par leur enseignant ou encore des exercices qui ont contribué à favoriser le changement.

Ces résultats nous amènent à formuler quelques interprétations quant à des liens pouvant exister entre les pratiques des enseignants et le changement des conceptions des étudiants, à tout le moins, en ce qui concerne l'enseignement et l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome.

D'abord, nous sommes d'avis que les enseignants ne sont pas nécessairement toujours conscients de l'ampleur de la problématique qu'amènent les conceptions alternatives de leurs étudiants ainsi que des interventions qu'ils mettent en place afin de favoriser le changement de ces conceptions. Selon nous, une posture constructiviste plutôt qu'empiriste à l'égard des connaissances scientifiques en général et, plus spécifiquement, à l'égard des modèles comme outil servant à représenter et expliquer une « réalité » non-observable constitue les premiers jalons d'une pédagogie visant le changement des conceptions des étudiants.

Certaines pratiques enseignantes semblent favoriser un changement dans la façon dont les étudiants conçoivent la structure de l'atome. Ces pratiques, souvent instinctives, vont dans le sens de certains principes retrouvés dans les modèles issus du courant de recherches portant sur le changement conceptuel (Giordan, 1989; Posner et coll., 1982; Vosniadou et coll., 2001). Ces modèles s'entendent sur l'importance d'une réorganisation des conceptions existantes, mais proposent des stratégies différentes afin de les changer. Par exemple, nous avons observé des pratiques enseignantes visant l'explicitation des conceptions initiales par les étudiants. D'autres pratiques telles que le fait de faire des liens constants entre les conceptions initiales et les savoirs à apprendre allaient dans le sens du modèle de Vosniadou et ses collaborateurs (2001) selon lequel le changement conceptuel se produit grâce à une lente révision du système de conceptions initiales et à l'incorporation progressive de nouveaux éléments. Enfin, d'autres pratiques visaient à provoquer un changement des conceptions des étudiants en créant un conflit cognitif. Cette idée de conflit cognitif se retrouve dans les modèles de Posner et ses collaborateurs (1982) et de Giordan (1989) (qui utilise l'expression déséquilibres conceptuels).

Du point de vue des étudiants, certaines pratiques enseignantes semblent aussi favoriser un changement dans la façon dont ils conçoivent la structure de l'atome. Ces pratiques visent à illustrer ce qui est invisible par l'utilisation de formes de représentation des contenus de type visuelle (telles que des figures, des animations, des modèles en 3D ou même des objets comme des ballons). Le fait de proposer un environnement d'apprentissage intégrant des activités où les étudiants sont actifs semble aussi, du point de vue des étudiants, contribuer au changement de leurs conceptions.

7.12 Des liens à faire entre les articles

Notre premier article nous a permis de mettre en lumière des pratiques de transformation des savoirs lors de la planification alors que les enseignants « apprêtent » ces savoirs afin qu'ils soient plus faciles à apprendre par les étudiants. Les enseignants participants nous ont alors fait part de leur plan pour la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome, plan découlant des différents processus impliqués dans cette transformation des savoirs tels que la préparation des contenus, le choix des formes de représentation des contenus, le choix de la stratégie d'enseignement et l'adaptation aux caractéristiques des étudiants. Nous avons observé que les enseignants devaient faire différents choix lors de la préparation des contenus (par exemple pour la délimitation de l'étendue des savoirs à enseigner et le choix des contenus essentiels ou pour l'ordre ou l'organisation des contenus dans une séquence qui soit signifiante). Nous avons aussi observé que des choix étaient faits pour des formes de représentation des contenus et pour les activités d'enseignement et d'apprentissage et que ceux-ci étaient faits en fonction de prérogatives différentes selon les enseignants. Enfin, nous avons constaté que les enseignants connaissent les caractéristiques de leurs étudiants et prennent en compte, surtout, les caractéristiques cognitives de leurs étudiants pour la leçon à l'étude dans la recherche.

Notre deuxième article visait à étudier les pratiques effectives en classe. Après avoir observé et enregistré les leçons portant sur le modèle probabiliste de l'atome de chacun des enseignants participants, nous avons réalisé avec eux des entretiens de rappel stimulé. Nous avons constaté que les pratiques effectives observées étaient très proches des pratiques déclarées par les enseignants lors des entretiens portant sur la planification. Certaines différences ont tout de même été relevées, différences qui nous ont permis de mettre en évidence des moments de réflexion sur l'action qui consistaient souvent en des prises de décision. Nous avons conclu que les enseignants portent une grande attention aux contraintes de la situation et qu'avec l'expérience, le contenu de leur planification en est bonifié.

Enfin, notre troisième article visait à décrire et expliquer les liens entre certaines pratiques enseignantes (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) et un changement des conceptions des étudiants. Nous avons observé

que les étudiants arrivaient au cours en concevant la structure de l'atome à la manière du modèle « Rutherford-Bohr » enseigné au secondaire nous avons dégagé certaines pratiques qui semblent avoir contribué au changement de ces conceptions de la majorité des étudiants.

8 Conclusion

L'objectif général de notre recherche consistait à mieux comprendre les pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques lors de la planification et pour leur enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Les objectifs spécifiques de cette recherche étaient, pour la séquence d'enseignement-apprentissage relative au modèle probabiliste de l'atome du cours « chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature :

1. Décrire et expliquer les pratiques des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs lors de la planification.
2. Analyser et expliquer les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe.
3. Décrire et expliquer comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants.

La chimie est une discipline qui explique la structure de la matière, ses propriétés et ses transformations. C'est une discipline comportant des concepts que les étudiants ont de la difficulté à appréhender.

Par ailleurs, l'approche par compétences implique que les enseignants du collégial choisissent des contenus pertinents et des méthodes d'enseignement qui favoriseront le développement de compétences chez les apprenants. Ainsi, les enseignants ont à choisir, organiser et transformer les savoirs à enseigner dans l'objectif de favoriser l'apprentissage de ceux-ci. De plus, dans le contexte de l'enseignement des sciences et, plus spécifiquement, de celui de l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome, différents obstacles à l'apprentissage peuvent se présenter. Par exemple, l'existence de conceptions alternatives (erronées) très résistantes chez les étudiants peut venir entraver les apprentissages. Dans le cas spécifique du modèle probabiliste de l'atome, le fait d'avoir appris la structure atomique à l'aide de modèles plus ou moins élaborés dans le passé peut venir entraver cette conceptualisation probabiliste basée sur la mécanique ondulatoire. Par ailleurs, d'éventuels problèmes de transposition didactique viennent s'ajouter à ces défis. En effet, certains choix en lien avec les découpages

faits dans les savoirs ou des simplifications excessives faites sur ceux-ci peuvent venir causer des obstacles aux apprentissages.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons opté pour une recherche qualitative de type étude multicas. Ce type de recherche nous a permis de faire une étude en profondeur du phénomène qui nous intéressait. Ainsi, nous avons recruté six enseignants de chimie provenant de différents établissements d'enseignement collégial ainsi que leurs 163 étudiants. Avec les enseignants, nous avons réalisé des entrevues individuelles semi-dirigées afin de connaître les processus empruntés pour transformer certains savoirs afin de les rendre plus faciles à apprendre par les étudiants lors de la planification. Ils nous ont alors expliqué ce qu'ils avaient planifié pour l'enseignement de la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome. Ensuite, nous avons observé la leçon de chacun de ces enseignants en réalisant un enregistrement. Cet enregistrement a ensuite été rapidement visionné par chaque enseignant en compagnie de la chercheuse dans le cadre d'une entrevue de rappel stimulé. L'enseignant était alors appelé à expliquer ce qu'il avait en tête lors de certains moments clés de son enseignement comme lorsque, par exemple, ses interventions dans la classe ont différé de ce qu'il avait prévu. Par ailleurs, les étudiants ont réalisé un schéma illustrant la façon dont ils s'imaginent l'atome tout en fournissant une explication écrite détaillée de son schéma, et ce, au début et à la fin de la session. Enfin, nous avons réalisé des entrevues individuelles semi-dirigées avec dix étudiants sélectionnés parmi les 163 étudiants ayant participé à la recherche parce qu'un changement radical dans leur façon de concevoir la structure de l'atome avait été observé lors de l'analyse de leurs schémas. Ces entrevues avaient pour but de mettre en évidence certaines pratiques enseignantes qui avaient contribué, selon le point de vue de ces étudiants, à favoriser ce changement.

Notre méthodologie comportait certaines forces et certaines faiblesses. En premier lieu, l'utilisation de nombreux outils de collecte de données a permis la triangulation des données. Cette triangulation s'avérait primordiale dans l'objectif de comprendre un objet aussi complexe que les pratiques enseignantes. En effet, la combinaison des différentes techniques que nous avons utilisées nous ont permis de mieux comprendre certaines pratiques pour la transformation

et l'enseignement de savoirs scientifiques abstraits ainsi que les apprentissages réalisés par les étudiants.

Le choix de l'échantillonnage par choix raisonné ainsi que le choix de ne retenir que six enseignants participants constituent les principales limites de la méthodologie. Ces choix ne permettent pas de généraliser les résultats. Ainsi, nos résultats démontrent les pratiques de certains enseignants de chimie seulement. Ils ne peuvent donc expliquer les pratiques de l'ensemble des enseignants de chimie de niveau collégial. Ces limites sont toutefois inhérentes au choix que nous avons fait d'étudier en profondeur, dans leur complexité, un moins grand nombre de participants dans la perspective d'une recherche inspirée du paradigme interprétatif.

Enfin, nous sommes d'avis qu'une autre limite réside dans le choix de tenter de mettre en évidence les conceptions des étudiants seulement par les schémas expliqués réalisés en classe par les étudiants. La réalisation de ces schémas expliqués dans le cadre d'entrevues avec la chercheuse nous aurait permis d'apporter plus d'informations quant aux connaissances élaborées par les étudiants, mais nous ne pourrions malheureusement procéder de la sorte à cause de différentes contraintes telles qu'une contrainte de temps.

Le modèle de la transformation des savoirs de Shulman (1987), que nous avons utilisé lors de l'analyse pour l'étude des pratiques de transformations des savoirs, suggère que pour faciliter l'apprentissage de certains contenus, les enseignants préparent (ou interprètent) les contenus, choisissent certaines formes de représentation des contenus, élaborent une stratégie d'enseignement et adaptent leur planification aux caractéristiques de leurs étudiants. Nos résultats ont montré que lors de la préparation (ou l'interprétation) des contenus, les enseignants doivent faire différents choix et ceux-ci sont faits en fonction de prérogatives différentes selon les enseignants. Ils se réfèrent à différentes sources pour préparer leur leçon et leurs façons de faire évoluent avec l'expérience. Ils effectuent des choix pour les savoirs qui sont à enseigner en étant guidés par les indications données sur les savoirs prescrits (manuel, documents du programme, collègues), mais ces choix sont basés sur différents critères selon les enseignants. Ils choisissent des formes de représentation des contenus ainsi que des activités d'enseignement et d'apprentissage afin d'illustrer les concepts, de susciter l'intérêt des étudiants et afin que le maximum de liens soit fait entre ces concepts. Des choix ont aussi été faits en regard des activités

d'enseignement et d'apprentissage. Bien que l'exposé magistral soit l'activité d'enseignement que nous avons observé le plus fréquemment, d'autres activités d'apprentissage où les étudiants étaient plus actifs ont été prévues. Celles-ci visaient à ce que les étudiants puissent s'exercer, à les amener à faire eux-mêmes certains liens, à leur faire découvrir des concepts par eux-mêmes en s'entraînant et à vérifier leur compréhension. Enfin, ils connaissent bien les caractéristiques de leurs étudiants, notamment leurs caractéristiques cognitives, et ont développé différentes stratégies afin de favoriser un changement dans leur façon de concevoir la structure d'un atome. Nous avons observé, par ailleurs, une certaine diversité dans les pratiques de transformation des savoirs des six enseignants. Bien que plusieurs points communs aient été observés dans les pratiques déclarées, chaque enseignant possède un répertoire de connaissances et de valeurs qui lui permettent de planifier une séquence d'enseignement et d'apprentissage unique.

Par ailleurs, nous avons observé que les pratiques d'enseignement lors de la phase interactive en classe étaient très semblables à celles que nous avaient déclarées les enseignants lorsqu'ils nous ont fait part de la planification de leur leçon. Ainsi, bien que les pratiques observées en classe dépendent grandement de ce qui a été planifié par les enseignants, nous avons observé chez eux plusieurs moments de réflexion dans l'action. Dans certains cas, des dilemmes qui sont, en fait, des situations perçues comme étant problématiques dans lesquelles des croyances, des buts ou des indices contradictoires entrent en compétition, vont se poser et les enseignants ont alors à réfléchir rapidement en cours d'action afin de choisir la solution la mieux adaptée aux contraintes de la situation. Ainsi, les différents indices perçus, principalement chez les étudiants, amèneront les enseignants à porter un jugement sur la situation et à prendre une décision en considérant ce qui avait été planifié. À ces réflexions ayant cours pendant l'enseignement, s'ajoutent à nos résultats d'autres moments où la réflexion a lieu après l'action. À cet égard, les enseignants ont émis plusieurs commentaires critiques sur différents aspects de leur enseignement. Selon nous, ces réflexions dans l'action et sur l'action permettent aux enseignants d'améliorer leur plan au fil des années en le rendant beaucoup plus adapté aux étudiants. C'est ce qui explique, selon nous, que peu de différences aient été observées entre les pratiques déclarées par les enseignants et celles que nous avons effectivement observées.

Enfin, la présente recherche nous a permis de mettre en évidence certaines pratiques enseignantes visant à changer les conceptions des étudiants. Nos résultats nous permettent de conclure qu'en arrivant au cours les étudiants conçoivent la structure de l'atome à la manière du modèle « Rutherford-Bohr » enseigné au secondaire. Alors que différentes recherches ont montré que cette conception soit difficile à changer et que les enseignants en soient conscients, certaines pratiques semblent avoir contribué au changement telles que l'utilisation de formes de représentation des contenus visuelles ainsi que la mise en œuvre d'activités en classe. Nos résultats ont montré qu'à la fin de la session, la majorité des étudiants avaient vu leurs conceptions évoluer de manière importante en se représentant l'atome selon les concepts entourant le modèle probabiliste même si leurs représentations contiennent plusieurs erreurs.

Certaines avenues peuvent être envisagées pour de futures recherches en lien avec nos travaux. Même si nous nous sommes concentrés sur un objet d'enseignement spécifique dans notre recherche, celle-ci ouvre la voie aux études visant à trouver des solutions aux obstacles posés lors de l'apprentissage de concepts scientifiques difficiles à appréhender par les étudiants.

Notre étude ouvre la voie à d'autres recherches s'intéressant aux pratiques pour l'enseignement de contenus abstraits en chimie, mais aussi d'autres disciplines scientifiques. Ainsi, d'autres recherches pourraient s'intéresser à d'autres objets d'enseignement afin de mettre en évidence des pratiques visant à améliorer leur apprentissage.

Dans le contexte de l'enseignement des sciences où les méthodes transmissives semblent favorisées et que les approches constructivistes où les étudiants sont actifs sont peu répandues (Rosenfield et coll., 2005), des recherches permettent de comprendre les pratiques effectives d'enseignants expérimentés amènent de l'eau au moulin pour des dispositifs de formation favorisant le recours à ces dernières approches. Avec l'émergence de pédagogies nouvelles et actives telles que celles retrouvées dans les classes d'apprentissage actif ou lors du recours à la pédagogie inversée, nul doute que plusieurs pratiques enseignantes facilitant l'apprentissage de concepts scientifiques abstraits gagnent à être mises en lumière.

Nous espérons aussi que notre recherche pourra avoir un impact positif sur les pratiques des enseignants de sciences du collégial. D'abord, nous souhaitons que, par nos écrits et par les

présentations faites lors de différents colloques, certains enseignants puissent prendre conscience des différentes problématiques en lien avec l'enseignement et l'apprentissage des sciences et la chimie. Cette prise de conscience devrait, selon nous, amener les enseignants à réfléchir à leurs pratiques en considérant ces différentes problématiques. Par ailleurs, notre recherche aura permis de savoir ce que certains enseignants font afin de faciliter l'apprentissage de certains concepts considérés comme difficiles. Nous croyons qu'un partage des pratiques entre les enseignants de sciences du collégial permettra d'améliorer l'enseignement des sciences en général. Notre recherche, par la mise en évidence des pratiques de certains enseignants, constitue un bon point de départ pour ce partage de pratiques.

9 Bibliographie

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In *Handbook of Research on Science Education* (p. 1105-1149). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Adams, K. (2012). *Beginning Chemistry Teachers Use of the Triplet Relationship During their First Three Years in the Classroom*. Arizona State University, Tempe.
- Akram, T. M., Ijaz, A. et Ikram, H. (2017). Exploring the Factors Responsible for Declining Students' Interest in Chemistry. *International Journal of Information and Education Technology*, 7(2), 88-94. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2017.7.2.847>
- Alexandre, M. (2013). *La description du savoir didactique d'enseignantes expérimentées en Techniques d'éducation à l'enfance en situation de planification, d'intervention et de réflexion : trois études de cas* (PhD Thesis). Université de Sherbrooke.
- Allum, N., Besley, J., Gomez, L. et Brunton-Smith, I. (2018). Disparities in science literacy. *Science*, 360(6391), 861-862. <https://doi.org/10.1126/science.aar8480>
- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante: L'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, 138, 85–93. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2866>
- Altet, M. (2003). Caractériser, expliquer et comprendre les pratiques enseignantes pour aussi contribuer à leur évaluation. *Les dossiers des sciences de l'éducation. De l'efficacité des pratiques enseignantes?*, (10), 31–43.
- Altet, M., Bru, M. et Blanchard-Laville, C. (2011). *Observer les pratiques enseignantes*. L'Harmattan.
- Altet, M. et Mhereb, M. T. (2017). L'observation des pratiques enseignantes effectives en classe : recherche et formation. *Cadernos de Pesquisa*, 47(166), 1196-1223. <https://doi.org/10.1590/198053144321>
- Amade-Escot, C. (2000). The Contribution of Two Research Programs on Teaching Content: « Pedagogical Content Knowledge » and « Didactics of Physical Education. » *Journal of Teaching in Physical Education*, 20(1), 78.
- Astolfi, J., et Peterfaivi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, (16), 103–141.

- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles: De Boeck.
- Astolfi, J.-P. et Develay, M. (2002). *La didactique des sciences* (6e édition). Paris: Presses Universitaires de France.
- Atagana, H. et Engida, T. (2014). What make chemistry difficult? *AJCE*, 4(2), 13.
- Ausubel, D. (2000). *The acquisition and retention of knowledge : a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology : A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Bächtold, M., Boilevin, J. M. et Calmettes, B. (2017). *La pratique de l'enseignant en sciences: comment l'analyser et la modéliser ?* In *Recherches en formation des enseignants et en didactique*. Consulté à l'adresse <https://books.google.ca/books?id=-45wwAEACAAJ>
- Bédard, D. (2006). Enseigner autrement, oui mais pourquoi et comment? Le cas d'un cours universitaire de premier cycle. *La pratique enseignante en mutation à l'université*, 83–101.
- Berry, A., Friedrichsen, P. et Loughran (Éd.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. Routledge.
- Bizier, N. (2008). Choisir des contenus reconnus et pertinents: un geste professionnel didactique majeur. *Pédagogie collégiale*, 21(2), 13–18.
- Boesdorfer, S. B. (2015). Using Teacher's Choice of Representations to Understand the Translation of Their Orientation Toward Science Teaching to Their Practise. *Electronic Journal of Science Education*, 19(1), 1-20.
- Boisvert, M., Lacoursière, M. et Lallier, A. (2006). L'aventure collective du Renouveau de 1992 à 2004 : une maturation engageante. In L. Héon, D. Savard et T. Hamel (Éd.), *Les cégeps : une grande aventure collective québécoise* (p. 71–91). Québec: Les Presses de l'Université Laval.
- Bond-Robinson, J. (2005). Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(2), 83. <https://doi.org/10.1039/b5rp90003d>
- Boutin, G. (2004). L'approche par compétences en éducation : Un amalgame paradigmatique. *Connexions*, 81(1), 25. <https://doi.org/10.3917/cnx.081.0025>

- Borko, H. et Shavelson, R. J. (1990). Teacher decision making. *Dimensions of thinking and cognitive instruction*, 311.
- Boz, N. et Boz, Y. (2008). A qualitative case study of prospective chemistry teachers' knowledge about instructional strategies: Introducing particulate theory. *Journal of Science Teacher Education*, 19(2), 135–156. <https://doi.org/10.1007/s10972-007-9087-y>
- Bressoux, P. (2001). Réflexions sur l'effet-maître et l'étude des pratiques enseignantes. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 5(1), 35-52. <https://doi.org/10.3406/dsedu.2001.949>
- Bressoux, P. et Dessus, P. (2003). Les stratégies de l'enseignant en situation d'interaction. In M. Kail et M. Fayol, *Les sciences cognitives à l'école* (p. 213-257). Presses Universitaires de France.
- Bronckart, J.-P. et Plazaola Giger, I. (1998). La transposition didactique. Histoire et perspectives d'une problématique fondatrice. *Pratiques*, (97-98), 35–58.
- Brousseau, G. (1998). Les obstacles épistémologiques, problèmes et ingénierie didactique. In G. Brousseau (Éd.), *La théorie des situations didactiques* (p. 115–160). Grenoble: La pensée sauvage.
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : Des recherches à conforter et à développer. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 63–73. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2864>
- Calderhead, J. (1996). Teachers : Beliefs and knowledge. In D. C. Berliner et R. C. Calfee, *Handbook of educational psychology*. (p. 709-725). London, England: Prentice Hall International.
- Carlson, J., Cooper, R., Daehler, K. R., Friedrichsen, P. J., Heller, J. I., Kirschner, S., ... Wong, N. (2019). Vignettes Illustrating Practitioners' and Researchers' Applications of the Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge. In A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (Éd.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 93–113). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_3
- Carlson, J. et Daehler, K. R. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (Éd.),

- Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 77–92). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Casalfiore, S. (2000). L'activité des enseignants en classe. Contribution à la compréhension de la réalité professionnelle des enseignants. *Cahier de Recherche du GIRSEF*, (6).
- Cervellati, R. et Perugini, D. (1981). The understanding of the atomic orbital concept by Italian high school students. *Journal of Chemical Education*, 58(7), 568. <https://doi.org/10.1021/ed058p568>
- Chamberland, G., Lavoie, L. et Marquis, D. (1995). *20 formules pédagogiques*. Québec: Presse de l'Université du Québec.
- Chan, K. K. H. et 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 et A. Borowski (Éd.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 3–76). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_1
- Chan, K. K. H., Rollnick, M. et Gess-Newsome, J. (2019). A Grand Rubric for Measuring Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. In A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (Éd.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 251–269). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_11
- Chauvigné, C. et Coulet, J. (2010). L'approche par compétences : un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire ? *Revue française de pédagogie*, (172), 15–28.
- Chen, A. et Ennis, C. D. (1995). Content knowledge transformation : an examination of the relationship between content knowledge and curricula. *Teaching and Teacher Education*, 11(4), 389–401.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Çimer, A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students' views. *Educational Research and Reviews*, 7(3), 11.
- Clanet, J. et Talbot, L. (2012). Analyse des pratiques d'enseignement: Éléments de cadrages théoriques et méthodologiques. *Phronesis*, 1(3), 4. <https://doi.org/10.7202/1012560ar>

- Clark, C. et Yinger, J. (1978). Research on teacher thinking (Research series No. 12). East Lansing : Michigan State University. *Institute for Research on Teaching*.
- Cochran-Smith, M. (2003). *The unforgiving complexity of teaching : Avoiding simplicity in the age of accountability*. Sage Publications Thousand Oaks, CA.
- Cochran-Smith, M. (2005). *The politics of teacher education and the curse of complexity*. Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA.
- Cokelez, A. (2012). Junior High School Students' Ideas about the Shape and Size of the Atom. *Research in Science Education*, 42(4), 673–686. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9223-8>
- Cokelez, A. et Dumon, A. (2005). Atom and molecule : upper secondary school French students ' representations in long-term memory. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1987), 119–135. <https://doi.org/10.1039/b4rp90005g>
- Commission d'évaluation de l'enseignement collégial. (2008). *Rapport synthèse. Évaluation de programmes du renouveau de l'enseignement collégial*. Québec.
- Conseil de la science et de la technologie. (2004). *La culture scientifique et technique : une interface entre la technologie et la société*. Sainte-Foy.
- Cormier, C. (2013). *Les conceptions en géométrie moléculaire d'étudiants en Sciences de la nature*. Montréal: Rapport PAREA.
- Cormier, C. (2014a). Au-delà de la réussite scolaire : les étudiants comprennent-ils vraiment la chimie ? *Pédagogie collégiale*, 27(2), 7–13.
- Cormier, C. (2014b). *Étude des conceptions alternatives et des processus de raisonnement des étudiants de chimie du niveau collégial sur la molécule , la polarité et les phénomènes macroscopiques* (PhD Thesis). Université de Montréal.
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J. et Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8(3), 331-336.
- De Hosson, C., Décamp, N., et Colin, P. (2016). L'usage des exemples dans l'enseignement de la physique à l'université : Un marqueur de l'identité pédagogique des enseignants-chercheurs ? *Recherches en Éducation*, (27), 19–34.
- De Hosson, C. de, Manrique, A., Regad, L., et Robert, A. (2018). Du savoir savant au savoir enseigné, analyse de l'exposition des connaissances en cours magistral de physique :

- Une étude de cas. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 34, 23.
- De Jong, O. et Taber, K. S. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. In S. K. Abell et N. G. Lederman (Éd.), *Handbook of Research on Science Education* (p. 631-651). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dessus, P. (1995). Effets de l'expérience et de la matière dans l'utilisation de routines pour la planification de séquences d'enseignement. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 2(3), 499. <https://doi.org/10.7202/1018201ar>
- Dessus, P. (2006). Quelles idées sur l'enseignement nous révèlent les modèles d'Instructional Design ? *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 28(1), 137–157.
- Dessus, P. et Schneider, D. (2006). *Scénarisation de l'enseignement et contraintes de la situation*. 19-24. Lyon.
- Dolz, J. et Gagnon, R. (2016). Des outils pour saisir la complexité des objets à enseigner et des pratiques d'enseignement et de formation. In V. Lussi Borer et L. Ria, *Apprendre à enseigner*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Driver, R. et Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: a Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61–84. <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Duguet, A. (2018). Le cours magistral en première année universitaire : des pratiques pédagogiques rénovées ? *Carrefours de l'éducation*, 45(1), 93. <https://doi.org/10.3917/cdle.045.0093>
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (Éd.), *The psychology of learning science* (p. 65-83). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duit, R., Treagust, D. et Widodo, A. (2008). Teaching Science for Conceptual Change : Theory and Practice. In S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 629-646). New York: Routledge.
- Durand, M., Ria, L. et Veyrunes, P. (2010). Analyse du travail et formation : un programme de recherche empirique et technologique portant sur la signification de l'activité des enseignants. In F. Yvon et F. Saussez (Éd.), *Analyser l'activité enseignante. Des outils*

- méthodologiques et théoriques pour l'intervention et la formation* (p. 17–39). Québec: Presses de l'Université Laval.
- Eilam, B. et Gilbert, J. K. (2014). *Science teachers' use of visual representations*. New York: Springer.
- Emmerson, D. (2015). Chimie. In *The Canadian Encyclopedia*. Consulté à l'adresse <https://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/chimie>
- Espinosa, J. M. R. (2005). The importance of Scientific literacy in our Society. *Astrophysics, and How to Attract Young People into Physics*, 28-31. Liège, Belgique.
- Evagorou, M., Erduran, S., et Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices : From conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0024-x>
- Forget, M.-H. (2013). Le développement des méthodes de verbalisation de l'action : un apport certain à la recherche qualitative. *Recherches qualitatives*, 32(1), 57–80.
- Fortin, M.-F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche* (2e édition). Montréal: Chenelière éducation.
- Freeman, S., Eddy, S. L., Mcdonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. et Pat, M. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Frenay, M. et Paul, C. (2004). Le développement de projets pédagogiques : Reflet ou source de l'engagement de l'enseignant universitaire dans ses activités d'enseignement. *Cahiers de recherche en éducation et formation*, 34, 26.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548–553.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J. et Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry : a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.

- Geddis, A. N. (1993). Transforming subject-matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. *International Journal of Science Education*, 15(6), 673–683.
- Geddis, A. N., Onslow, B., Beynon, C. et Oesch, J. (1993). Transforming content knowledge: Learning to teach about isotopes. *Science Education*, 77(6), 575–591. <https://doi.org/10.1002/sce.3730770603>
- Geddis, A. N. et Wood, E. (1997). Transforming subject matter and managing dilemmas : a case study in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 13(6), 611–626.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK : Results of the thinking from the PCK Summit. In Amanda Berry, P. Friedrichsen et J. Loughran (Éd.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (p. 28–42). New York: Routledge.
- Gilbert, J. K. et Treagust, D. (2009a). *Multiple representations in chemical education* (J. K. Gilbert et D. Treagust, Éd.). s.l.: Springer.
- Gilbert, J. K. et Treagust, D. F. (2009b). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In J. K. Gilbert et D. F. Treagust (Éd.), *Multiple representations in chemical education* (p. 1-10). Dordrecht: Springer.
- Gilbert, J. K. et Watts, D. M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98. <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>
- Giordan, A. (1989). *Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage*. Consulté à l'adresse http://www.ldes.unige.ch/publi/rech/th_app.htm
- Giordan, A. et de Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Grave, W. S., Schmidt, H. G. et Boshuizen, H. P. a. (2001). Effects of problem-based discussion on studying a subsequent text: A randomized trial among first year medical students. *Instructional Science*, 29(1), 33-44. <https://doi.org/10.1023/A:1026571615672>
- Grosbois, M., Ricco, G. et Sirota, R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir (étude de la transposition didactique du concept de respiration)*. Paris: ADAPT.

- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher : teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Halim, L. et Meerah, S. M. M. (2002). Science Trainee Teachers' Pedagogical Content Knowledge and its Influence on Physics Teaching. *Research in Science et Technological Education*, 20(2), 215–225. <https://doi.org/10.1080/0263514022000030462>
- Harris, J. et Phillips, M. (2018). If There's TPACK, is There Technological Pedagogical Reasoning and Action? In E. Langran et J. Borup (Éd.), *Proceedings of Society for Information Technology et Teacher Education International Conference 2018* (p. 2051–2061). Consulté à l'adresse <https://www.learntechlib.org/p/182811>
- Hashweh, M. Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 33(1), 47–63.
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions : A reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 11(3), 273–292. <https://doi.org/10.1080/13450600500105502>
- Hattie, J. (2008). *Visible learning : A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Hill, H. C., Ball, D. L. et Schilling, S. G. (2008). Unpacking pedagogical content knowledge : Conceptualizing and measuring teachers' topic-specific knowledge of students. *Journal for research in mathematics education*, 372–400.
- Hirtt, P. N. (2009). L'approche par compétences : une mystification pédagogique. *L'École démocratique*, (39), 1-34.
- Holmberg, J., Fransson, G. et Fors, U. (2018). Teachers' pedagogical reasoning and reframing of practice in digital contexts. *International Journal of Information and Learning Technology*, 35(2), 130-142. <https://doi.org/10.1108/IJILT-09-2017-0084>
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Johsua, S. et Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses Universitaires de France.

- Jonnaert, P. (2009). *Compétences et socioconstructivisme. Un cadre théorique*. Consulté à l'adresse <https://www.cairn.info/competences-et-socioconstructivisme--9782804134587.htm>
- Jonnaert, P. (2017). La notion de compétence : Une réflexion toujours inachevée. *Éthique publique*, (vol. 19, n° 1). <https://doi.org/10.4000/ethiquepublique.2932>
- Jonnaert, P., Furtuna, D., Ayotte-Beaudet, J.P. et Sambote, J. (2015). *Vers une reproblématisation de la notion de compétence*.
- Justi, R. S. et Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387.
- Karsenti, T. et Demers, S. (2011). L'étude de cas. In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (Éd.), *La recherche en éducation* (p. 229–252). Saint-Laurent: ERPI.
- Kennedy, M. M. (2010). Attribution error and the quest for teacher quality. *Educational researcher*, 39(8), 591–598.
- Kidron, I. (2018). Students' Conceptions of Irrational Numbers. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 4(1), 94–118. <https://doi.org/10.1007/s40753-018-0071-z>
- Kleven, T. A. (1991). Interactive Teacher Decision-making—Still a basic skill? *Scandinavian journal of educational research*, 35(4), 287–294.
- Klopfer, L. E., Champagne, A. B. et Gunstone, R. F. (1983). Naive knowledge and science learning. *Research in Science & Technological Education*, 1(2), 173–183.
- Kober, N. (1993). *What we know about mathematics teaching and learning*. Washington: EdTalk. Concil for Educational Development and Research.
- Kousa, P., Kavonius, R. et Aksela, M. (2018). Low-achieving students' attitudes towards learning chemistry and chemistry teaching methods. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 431-441. <https://doi.org/10.1039/C7RP00226B>
- Krapp, A. et Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33(1), 27-50. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518645>
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A. et van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education.

- Physical Review Physics Education Research*, 13(1).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Kwok, S. (2018). Science Education in the 21st Century. *Nature Astronomy*, 2(7), 530-533.
<https://doi.org/10.1038/s41550-018-0510-4>
- Lapierre, L. (2008). Un cadre de référence pour le questionnement didactique au collégial. *Pédagogie collégiale*, 21(2), 1–8.
- Lasnier, F. (2001). Un modèle intégré pour l'apprentissage d'une compétence. *Pédagogie collégiale*, 15(1), 28–33.
- Le Boterf, G. (2010). *Repenser la compétence: pour dépasser les idées reçues: quinze propositions*. Paris: Editions Eyrolles.
- Lebrun, N. et De Hosson, C. de. (2017). Repérer des conceptions d'étudiants : un pas vers l'enrichissement des connaissances professionnelles didactiques d'enseignants-chercheurs de physique. *RDST*, (15), 59-96. <https://doi.org/10.4000/rdst.1489>
- Lederman, N. G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice : Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 36(8), 916–929.
- Lefeuvre, G. (2013). L'accès aux pratiques d'enseignement à partir d'une double lecture de l'action. *Journal international sur les représentations sociales*, 2(1), 78–88.
- Legendre, M.-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(4), 657.
<https://doi.org/10.7202/031761ar>
- Legendre, M.-F. (2001). Sens et portée de la notion de compétence dans le nouveau programme de formation. *Revue de l'AQEFLS*, 23(1), 12–30.
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation* (3e éd.). Montréal: Guérin.
- Lévy-Leblond, J.-M. (2014). La culture scientifique, pourquoi faire ? *Alliage*, (73).
- Licker, M. D. (2003). Atome. In *McGraw-Hill encyclopedia of chemistry* (2e éd., p. 31). New York: McGraw-Hill.
- Liepert, S. et Borowski, A. (2018). Testing the Consensus Model: relationships among physics teachers' professional knowledge, interconnectedness of content structure and student

- achievement. *International Journal of Science Education*, 1-21.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1478165>
- Magnusson, S., Krajcik, J. et Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome et N. G. Lederman (Éd.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*. (p. 95–132). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Malo, A. (2000). Savoirs de formation et savoirs d'expérience : un processus de transformation. *Éducation et francophonie*, XXVIII(2), 216–235.
- Marais, A. F. (2011). Overcoming conceptual difficulties in first-year chemistry students by applying concrete teaching tools. *South African Journal of Chemistry*, 64(1), 151-157.
- Marcel, J., Olry, P., Rothier-bautzer, É. et Sonntag, M. (2002). Les pratiques comme objet d'analyse. *Revue française de pédagogie*, 138(2), 135–170.
- Margolinas, C. et Wozniak, F. (2009). Usage des manuels dans le travail de l'enseignant : l'enseignement des mathématiques à l'école primaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(2), 59. <https://doi.org/10.7202/038729ar>
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
- Mashhadi, A. (1995). *Advanced Level Physics Students' Conceptions of Quantum Physics*. Présenté à Annual Meeting of the Singapore Educational Research Association, Singapore. Consulté à l'adresse <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED414197.pdf>
- Maubant, P. (2007). L'analyse des pratiques enseignantes: les ambiguïtés d'un bel objet de recherche. *Formation et Profession*, 13(12), 17–21.
- Maubant, P., Routhier, S., Oliveira Araújo, A., Lenoir, Y., Lisée, V. et Hassani, N. (2005). L'analyse des pratiques d'enseignement au primaire : le recours à la vidéoscopie. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 14(1), 61-75.
<https://doi.org/10.3406/dsedu.2005.1209>
- Mavhunga, E. (2016). Transfer of the pedagogical transformation competence across chemistry topics. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 1081-1097.
<https://doi.org/10.1039/C6RP00095A>
- Mcfarlane, D. A. (2013). Understanding the challenges of science education in the 21st century : new opportunities for scientific literacy. *International Letters of Social and Humanistic Sciences*, 2(2013), 35–44.

- Merriam, S. B. (1988). *Case Study Research in Education. A qualitative approach*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Meziane, O. A. A. (2014). *De la pédagogie par objectifs à l'approche par compétences : migration de la notion de compétence*. (9), 143-153.
- Miles, M. B. et Huberman, M. A. (2003). *Analyse des données qualitatives* (2e éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2008). *Guide pour l'évaluation des compétences et l'élaboration des épreuves aux fins de la sanction*. Repéré à l'adresse <http://www.formationsorel-tracy.qc.ca/.GUIDE%20ENSEIGNANT%20FP%20LOUISE/Annexe%208%20-%20Guide%20%C3%A9valuation%20des%20comp%C3%A9tences.pdf>
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2018). Anciens programmes d'études et cours de l'enseignement collégial | Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur [Site web gouvernemental]. Repéré à l'adresse Formation collégiale website: <http://www.education.gouv.qc.ca/colleges/etudiants-au-collegial/formation-collegiale/anciens-programmes-detudes-et-cours-de-lenseignement-collegial/>
- Moallem, M. (1994). *An Experienced Teacher's Model of Thinking and Teaching: An Ethnographic Study on Teacher Cognition*.
- Morge, L. et Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de notion de modèle : quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ? *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 52(1), 149-175. <https://doi.org/10.3406/spira.2013.1066>
- Morrissette, J. et Legendre, M.-F. (2012). L'évaluation des compétences en contexte scolaire: des pratiques négociées. *Education, sciences and society*, 13.
- Muchielli, A. (1996). *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines et sociales*. Paris: Armand Colin.
- Muniz, M. N., Crickmore, C., Kirsch, J. et Beck, J. P. (2018). Upper-division chemistry students' navigation and use of quantum chemical models. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(3), 767-782. <https://doi.org/10.1039/C8RP00023A>
- Neumann, K., Kind, V. et Harms, U. (2018). Probing the amalgam: the relationship between science teachers' content, pedagogical and pedagogical content knowledge.

- International Journal of Science Education*, 1-15.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1497217>
- Niess, M. L. et Gillow-Wiles, H. (2017). Expanding teachers' technological pedagogical reasoning with a systems pedagogical approach. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(3). <https://doi.org/10.14742/ajet.3473>
- OCDE. (2016). *Résultats du PISA 2015 (Volume I) : L'excellence et l'équité dans l'éducation*. Consulté à l'adresse <http://dx.doi.org/10.1787/9789264267534-fr>
- Oh, P. S. et Kim, K. S. (2013). Pedagogical Transformations of Science Content Knowledge in Korean Elementary Classrooms. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1590-1624. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.719246>
- Ornek, F., Robinson, W. R. et Haugan, M. P. (2008). What makes physics difficult? *Science Education*, 5.
- Ozden, M. (2009). Primary Student Teachers' Ideas of Atoms and Molecules : Using Drawings As a Research Method. *Education*, 129(4), 635-643.
- Paillé, P. et Muchielli, A. (2016). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales* (4e édition). Armand Collin.
- Pang, M. (2016). Pedagogical reasoning in EFL/ESL teaching: Revisiting the importance of teaching lesson planning in second language teacher education. *TESOL Quarterly*, 50(1), 246–263.
- Papageorgiou, G., Markos, A. et Zarkadis, N. (2016). Students' representations of the atomic structure – the effect of some individual differences in particular task contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(1), 209-219. <https://doi.org/10.1039/C5RP00201J>
- Papi, C. et Glikman, V. (2015). Les étudiants entre cours magistraux et usage des TIC. *Distances et médiations des savoirs*, 3(9). <https://doi.org/10.4000/dms.1012>
- Papi, C. et Glikman, V. (2015). Les étudiants entre cours magistraux et usage des TIC. *Distances et médiations des savoirs*, 3(9). <https://doi.org/10.4000/dms.1012>
- Paquette, D. (2005). L'instrumentation dans la collecte des données. *Recherches qualitatives*, (2), 9.

- Park, D.-Y. et Prommas, C. (2017). Development of Thai Teachers' Pedagogical Reasoning by Utilizing Metacognitive Reflections in STEM Professional Development. *Journal of Education and Human Development*, 6(3). <https://doi.org/10.15640/jehd.v6n3a15>
- Park, E. J. (2006). *Student perception and conceptual development as represented by student mental models of atomic structure* (PhD Thesis). The Ohio State University.
- Park, E. J., Light, G., Swarat, S. et Denise, D. (2009). Understanding learning progression in student conceptualization of atomic structure by variation theory for learning. *Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference*.
- Park, S. (2019). Reconciliation Between the Refined Consensus Model of PCK and Extant PCK Models for Advancing PCK Research in Science. In A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (Éd.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 117–128). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_4
- Park, S. et 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. et Suh, J. K. (2019). The PCK Map Approach to Capturing the Complexity of Enacted PCK (ePCK) and Pedagogical Reasoning in Science Teaching. In A. Hume, R. Cooper et A. Borowski (Éd.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (p. 185–197). https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_8
- Parker, W. C. et Gehrke, N. J. (1986). Learning activities and teachers' decisionmaking : Some grounded hypotheses. *American Educational Research Journal*, 23(2), 227–242.
- Parmentier, J. F., Lamine, B. et Bonnafé, S. (2015). *Changer les conceptions en mécanique des étudiants en LI à l'Université*. 4.
- Paun, E. (2006). Transposition didactique : Un processus de construction du savoir scolaire. *Carrefours de l'éducation*, 22(2), 3. <https://doi.org/10.3917/cdle.022.0003>
- Pella, S. (2015). Pedagogical Reasoning and Action: Affordances of Practice-Based Teacher Professional Development. *Teacher Education Quarterly*, 42(3), 81–101.
- Perrenoud, P. (1995). Des savoirs aux compétences: les incidences sur le métier d'enseignant et sur le métier d'élève. *Pédagogie collégiale*, 9(2), 6–10.

- Perrenoud, P. (1998a). *De la réflexion dans le feu de l'action à une pratique réflexive*. Genève: Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université de Genève.
- Perrenoud, P. (1998b). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487. <https://doi.org/10.7202/031969ar>
- Peterson, P. L., Marx, R. W. et Clark, C. M. (1978). Teacher planning, teacher behavior, and student achievement. *American educational research journal*, 15(3), 417–432.
- Petri, J. et Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075-1088. <https://doi.org/10.1080/0950069980200905>
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. et Boyle, R. A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167–199. <https://doi.org/10.3102/00346543063002167>
- Pôle de l'Est. (1996). *Processus de planification d'un cours centré sur le développement d'une compétence*. (s. l.): Délégation collégiale du comité mixte de PERFORMA.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. et Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/doi:10.1002/sce.3730660207>
- Potvin, P. et Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85–129. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>
- Poupart, J. (1997). L'entretien de type qualitatif: considérations épistémologiques, théoriques et méthodologiques. In J. Poupart, J.-P. Deslauriers, L. H. Groulx, A. Lapperrière, R. Mayer et A. P. Pires (Éd.), *La recherche qualitative: Enjeux épistémologiques et méthodologiques* (p. 173-209). Montréal: Gaëtan Morin éditeur.
- Prégent, R. (1990). *La préparation d'un cours*. Montréal: Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.
- Putnam, J. et Duffy, G. G. (1984). A Descriptive Study of the Preactive and Interactive Decision Making of an Expert Classroom Teacher. Research Series No. 148.

- Putnam, R. T. et Borko, H. (2000). What do new views of knowledge and thinking have to say about research on teacher learning? *Educational researcher*, 29(1), 4–15.
- Queloz, A. C., Hafen, E. et Köhler, K. (2018). Évaluation des conceptions alternatives en biologie par l'utilisation d'inventaires de concepts. *Journal international de recherche en éducation et formation*, 4(1), 17.
- Racine, C. (2016). Stratégies pédagogiques et leur effet sur la motivation et l'engagement des étudiants en sciences au collégial (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- Ravel, L. (2003). *Des programmes à la classe : Étude de la transposition didactique interne. Exemple de l'arithmétique en Terminale S spécialité mathématique*. (PhD Thesis, Université Joseph-Fourier, Grenoble). Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00162790/>
- Raymond, C. (2014). *Les pratiques effectives de transposition didactique dans la planification et l'enseignement de la danse à l'école primaire québécoise : un mouvement dialogique, intérieur et interactif*. (Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke). Consulté à l'adresse <http://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/5483>
- Reuter, Y., Cohen-Azra, C., Daunay, B., Delambre, I. et Lahanier-Reuter, D. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (3e éd.; Y. Reuter, Éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Riff, J. et Durand, M. (1993). Planification et décision chez les enseignants. *Revue Française de Pédagogie*, (100), 81–107.
- Roche Allred, Z. D. et Bretz, S. L. (2019). University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(2), 358-368. <https://doi.org/10.1039/C8RP00296G>
- Rollnick, M. et Mavhunga, E. (2016). The Place of Subject Matter Knowledge in Teacher Education. In J. Loughran et M. L. Hamilton (Éd.), *International Handbook of Teacher Education: Volume 1* (p. 423-452). https://doi.org/10.1007/978-981-10-0366-0_11
- Rosenfield, S., Dedic, H., Dickie, L., Rosenfield, E., Aulls, M. W., Koestner, R., ... Abrami, P. (2005). *Étude des facteurs aptes à influencer la réussite et la rétention dans les programmes de sciences aux cégeps anglophones*.

- Royer, C. (2016). Parmi les questions posées par l'utilisation des méthodes qualitatives : qu'est-ce que la profondeur? *Recherches qualitatives, Hors-série*(18), 17-26.
- Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Sharma, T., ... Andrew, C. M. (2001). Mapping motor inhibition : Conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *Neuroimage*, 13(2), 250–261.
- Sánchez, V. et Llinares, S. (2003). Four Student Teachers' Pedagogical Reasoning on Functions. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 6(1), 5–25.
- Santagata, R. et Yeh, C. (2016). The role of perception, interpretation, and decision making in the development of beginning teachers' competence. *ZDM*, 48(1-2), 153-165. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0737-9>
- Savoie-Zajc, L. (2011). La recherche qualitative/interprétative en éducation. In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (Éd.), *La recherche en éducation* (3e éd., p. 123–147). Saint-Laurent: ERPI.
- Shannon, J. C. (2006). How Is PCK Embodied In The Instructional Decisions Teachers' Make While Teaching Chemical Equilibrium? University of Washington, Washington.
- Shavelson, R. J. et Stern, P. (1981). Research on teachers' pedagogical thoughts, judgments, decisions, and behavior. *Review of educational research*, 51(4), 455–498.
- Schmidt, W. H., Porter, A. C., Floden, R. E., Freeman, D. J. et Schwille, J. R. (1987). Four patterns of teacher content decision-making. *Journal of Curriculum Studies*, 19(5), 439–455.
- Schneuwly, B. (2008). De l'utilité de la « transposition didactique ». In J.-L. Chiss, J. David et Y. Reuter (Éd.), *Didactique du français* (p. 47–59). Bruxelles: De Boeck Supérieur.
- Schön, D. A. (1994). *Le praticien réflexif. À la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal: Les éditions Logiques.
- Sherin, M., Jacobs, V. et Philipp, R. (2011). *Mathematics Teacher Noticing : Seeing Through Teachers' Eyes*. Consulté à l'adresse <https://books.google.ca/books?id=lgWsAgAAQBAJ>
- Shiland, T. W. (1997). Quantum mechanics and conceptual change in high school chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(5), 12535-12545.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand : knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.

- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Turkish Science Education*, 4(2), 2–20.
- Sjøberg, S. (2002). Science and Technology Education in Education: Current Challenges and Possible Solutions. *Connect (Unesco)*, XXVII(3/4), 1–5.
- Smart, V. L. (2016). *Technological pedagogical reasoning. The development of teachers' pedagogical reasoning with technology over multiple career stages*. Griffith University, Queensland, Australie.
- Snow, R. E. (1972). *A model teacher training system : An overview. Research and Development Memorandum 92*. Stanford, California : Stanford Center for Research and Development in Teaching.
- Stahnke, R., Schueler, S. et Roesken-Winter, B. (2016). Teachers' perception, interpretation, and decision-making: a systematic review of empirical mathematics education research. *ZDM*, 48(1-2), 1-27. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0775-y>
- Starkey, L. (2010). Teachers' pedagogical reasoning and action in the digital age. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 16(2), 233–244.
- Stefani, C. et Tsaparris, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry: A phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(5), 520–536. <https://doi.org/10.1002/tea.20279>
- Stojanovska, M., M. Petruševski, V. et Šoptrajanov, B. (2017). Study of the use of the three levels of thinking and representation. *Contributions, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences*, 35(1). <https://doi.org/10.20903/csnmbs.masa.2014.35.1.52>
- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions: the problem of human-machine communication*. Cambridge [Cambridgeshire] ; New York: Cambridge University Press.
- Taber, K. S. (2001). Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations From Educational Research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123. <https://doi.org/10.1039/b1rp90014e>
- Taber, K. S. (2002). Conceptualizing quanta : illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. *Chemistry education : research and practice in Europe*, 3(2), 145–158.

- Taber, K. S. (2005). Learning quanta: Barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89(1), 94–116. <https://doi.org/10.1002/sce.20038>
- Taber, K. S. (2014). *Thinking and learning in science. Perspectives on the nature and development of learners' ideas*. <https://doi.org/10.4324/9780203695081>
- Taber, K. S. (2016). Teaching and learning chemistry. In K. S. Taber et B. Akpan, *Science Education An international course companion*. The Netherlands: Sense Publishers.
- Taber, K. S. (2017). The Nature of Student Conceptions in Science. In K. S. Taber et B. Akpan (Éd.), *Science Education* (p. 119-131). https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_9
- Taber, K. S. (2018). Alternative Conceptions and the Learning of Chemistry. *Israel Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/ijch.201800046>
- Takahashi, S. G., Waddell, A., Kennedy, M. et Hodges, B. (2011). *Innovations, Integration and Implementation Issues in Competency-Based Education in Postgraduate Medical Education*.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tan, S. K. S. (1996). Differences between Experienced and Inexperienced Physical Education Teachers' Augmented Feedback and Interactive Teaching Decisions. *Journal of Teaching in Physical Education*, 15(2), 151-170. <https://doi.org/10.1123/jtpe.15.2.151>
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique*. Montréal: Éditions logiques.
- Tardif, J. (2003). Développer un programme par compétences : De l'intention à la mise en œuvre. *Pédagogie collégiale*, 16(3), 36-44.
- Tavignot, P. (1995). À propos de la transposition didactique en didactique des mathématiques. *Revue de Recherches en éducation*, (15), 31-60.
- Tippett, C. D. (2016). What recent research on diagrams suggests about learning with rather than learning from visual representations in science. *International Journal of Science Education*, 38(5), 725-746. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1158435>
- Theureau, J. (2010). Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action ». *Revue d'anthropologie des connaissances*, Vol 4, 2(2), 287. <https://doi.org/10.3917/rac.010.0287>

- Tochon, F. (1989). À quoi pensent les enseignants quand ils planifient leur cours? *Revue française de pédagogie*, (86), 23-33.
- Tochon, F. (1992). Trois épistémologies du bon enseignement. *Revue des sciences de l'éducation*, 18(2), 181. <https://doi.org/10.7202/900729ar>
- Tochon, F. (1993a). *L'enseignant expert*. Paris: Nathan.
- Tochon, F. (1993b). Le fonctionnement « improvisationnel » de l'enseignant expert. *Revue des sciences de l'éducation*, 19(3), 437. <https://doi.org/10.7202/031641ar>
- Tochon, F. (1996). Rappel stimulé, objectivation clinique, réflexion partagée. Fondements méthodologiques et applications pratiques de la rétroaction vidéo en recherche et en formation. *Revue des sciences de l'éducation*, 22(3), 467. <https://doi.org/10.7202/031889ar>
- Tochon, F. (2000). Recherche sur la pensée des enseignants: un paradigme à maturité. *Revue Française de Pédagogie*, 133(133), 129–157.
- Treagust, D. (2007). General instructional methods and strategies. In S. Abell et N. Lederman (Éd.), *Handbook of research on science education* (p. 373-391). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Treagust, D., Chittleborough, G. et Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368. <https://doi.org/10.1080/09500690110066485>
- Treagust, D., Duit, R. et Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 8.
- Tremblay, D. (1999). Aborder l'enseignement et l'apprentissage par le biais des compétences : les effets dans la pratique des enseignants et des enseignantes. *Pédagogie collégiale*, 13(2), 24–30.
- Trigwell, K., Prosser, M. et Waterhouse, F. (2007). Relations between teachers' approaches to teaching and students' approaches to learning. *Higher education*, 37(1), 57–70.
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and Molecular Structure in Chemical Education: A Critical Analysis from Various Perspectives of Science Education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922. <https://doi.org/10.1021/ed074p922>

- Tsaparlis, G. (2013). Learning and Teaching the Basic Quantum Chemical Concepts. In G. Tsaparlis et H. Sevian (Éd.), *Concepts of matter in science education* (p. 437-460). Dordrecht: Springer.
- Unal, R. et Zollman, D. (1999). *Students' description of an atom: a phenomenographic analysis*. Consulté à l'adresse <http://perg.phys.ksu.edu/papers/vqm/AtomModels.PDF>
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Bruxelles: Presses de l'Université de Montréal et de Boeck.
- van Dijk, E. M. et 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., Verloop, N. et DeVos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673–695.
- van Griethuysen, R. A. L. F., van Eijck, M. W., Haste, H., den Brok, P. J., Skinner, N. C., Mansour, N., ... BouJaoude, S. (2015). Global Patterns in Students' Views of Science and Interest in Science. *Research in Science Education*, 45(4), 581-603. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9438-6>
- Vermersch, P. (1996). *L'entretien d'explicitation*. Paris: ESF Éditeur.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études (Vol.1)*. Lille: Atelier Reproduction des thèses, UNiversité Lille III.
- Vienneau, R. (2011). *Apprentissage et enseignement, Théories et pratiques (2e éd.)*. Montréal: Gaëtan Morin éditeur.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. et Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 381-419. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00038-4)
- Wanlin, P., Laflotte, L. et Crahay, M. (sous presse). *Enseignants en formation : croyances épistémiques et conceptions sur l'apprentissage et l'enseignement*. <http://hdl.handle.net/20.500.12162/2157>
- Wanlin, P. et Crahay, M. (2012). La pensée des enseignants pendant l'interaction en classe. Une revue de la littérature anglophone. *Éducation et didactique*, 6(1), 9–46.
- Warner, D. R. (1987). An exploratory study to identify the distinctive features of experienced teachers' thinking about teaching. University of New England, Australia.

- Windschitl, M., Thompson, J. et Braaten, M. (2018). *Ambitious Science Teaching*. Cambridge: Harvard Education Press.
- Yammine, K. et Violato, C. (2016). The effectiveness of physical models in teaching anatomy : A meta-analysis of comparative studies. *Advances in Health Sciences Education*, 21(4), 883-895. <https://doi.org/10.1007/s10459-015-9644-7>
- Yoon, S., Anderson, E., Lin, J. et Elinich, K. (2019). *How Augmented Reality Enables Conceptual Understanding of Challenging Science Content*. 14.
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G. et Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 893-902. <https://doi.org/10.1039/C7RP00135E>

Annexe 1 : Grille d'entrevue semi-dirigée - enseignant

Titre de la recherche : Étude des pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques et leur enseignement en vue d'un changement des conceptions des étudiants

Chercheuse principale : Christine Marquis
Étudiante, Université de Montréal
Enseignante en chimie, Cégep de Saint-Jérôme

Votre participation à cette recherche consiste, entre autres, à participer à une entrevue semi-dirigée qui portera sur vos pratiques pour l'enseignement et l'apprentissage des notions liées au le modèle probabiliste de l'atome à l'intérieur du cours « chimie générale ». Cette participation devrait vous demander entre 30 et 45 minutes.

Je vous demande votre autorisation pour enregistrer cette entrevue. Répondez aux questions au meilleur de votre connaissance. L'objectif de cette entrevue n'est pas de porter un jugement votre enseignement, mais plutôt de décrire vos pratiques. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Je vous rappelle que tous les renseignements que vous fournirez demeureront entièrement confidentiels.

Informations

Quelle est votre formation disciplinaire ?

Vous avez combien d'années d'expérience en enseignement au collégial ?

Avez-vous d'autres expériences d'enseignement (secondaire, universitaire) ?

Détenez-vous une formation en pédagogie ?

Si oui, est-ce une formation initiale ou de la formation continue ?

Si oui, combien de crédits avez-vous obtenus ?

Combien de fois avez-vous donné ce cours ?

Description du projet

Le projet vise à mieux comprendre la trajectoire des savoirs partant des savoirs disciplinaires des enseignants jusqu'aux savoirs appris par les étudiants dans le cadre de la section qui porte sur le modèle probabiliste de l'atome du cours « chimie générale » du programme Sciences de la nature, en lien avec les pratiques pédagogiques et didactiques des enseignants.

Plus spécifiquement, la recherche vise à :

- Analyser les pratiques déclarées et les pratiques effectives des enseignants pour l'enseignement et l'apprentissage des notions liées au modèle probabiliste de l'atome.
- Vérifier les relations entre ces et les savoirs appris (changements conceptuels) des étudiants.

Pour atteindre l'objectif général de la recherche, des entrevues semi-dirigées seront faites avec les enseignants. Ensuite, l'enregistrement vidéo du cours sera analysé lors d'une entrevue de rappel stimulé. Enfin, des schémas seront réalisés par les étudiants avant et après le cours afin

de recueillir leurs conceptions à l'égard du modèle de l'atome. Quelques entrevues seront aussi réalisées avec un certain nombre d'étudiants.

Début de l'entrevue :

Pour cette entrevue, nous nous intéresserons à une séquence d'enseignement spécifique qui porte **sur le modèle probabiliste de l'atome (qui inclut ces grands thèmes: nature dualiste de l'électron, orbitales, nombres quantiques)**. On vous demande, pour l'entrevue, d'avoir en main le matériel utilisé pour planifier et pour donner le cours.

Thèmes :

1. **Qu'avez-vous à me dire au sujet des notions relatives au modèle probabiliste de l'atome ? (Quel est votre rapport ? Quelle est votre relation ?)**
 - Comment votre propre compréhension du modèle probabiliste de l'atome a-t-elle évolué avec l'expérience ? Comment la qualifiez-vous ?
 - À quel point trouvez-vous que ces notions sont importantes pour les étudiants ?
 - Quelles notions sont plus importantes selon vous ?
 - Trouvez-vous que ces notions sont difficiles à enseigner ? Pourquoi ?

2. **Quelles difficultés possibles anticipez-vous pour les apprentissages de cette matière par les étudiants?**
 - Les étudiants arrivent-ils selon vous avec certaines conceptions lors de cette séquence de cours ? Si oui, lesquelles ?
 - De quelle façon tenez-vous compte des conceptions (représentations) que les étudiants peuvent avoir de ces notions dans votre planification ?
 - Organisez-vous les contenus de façon particulière lors de la planification ?
 - Planifiez-vous des activités particulières ? Lesquelles ?
 - Favorisez-vous des interactions particulières entre les personnes (étudiants, prof...) ? Lesquelles ?
 - Quand considérez-vous que les étudiantes ont appris ou compris ? Quels sont les signes de compréhension ou d'incompréhension que vous percevez ?

3. **Pouvez-vous me décrire en détail tout ce que vous avez planifié pour votre cours en justifiant ces choix (me montrant votre matériel et en expliquant vos choix en parcourant ce matériel) ?**
 - Quelles notions enseignez-vous explicitement en lien avec le modèle probabiliste de l'atome ? Pourquoi ?
 - Quelles « activités » avez-vous planifié faire ou faire faire à vos étudiants ? Pourquoi ? Pourquoi ?
 - Y-a-t-il des modalités particulières : matériel, en équipe, ...

4. **Sur quoi vous basez-vous pour décider quelles notions vous enseignerez et quelles notions vous n'enseignerez pas ? (Comment délimitez-vous l'étendue des contenus enseignés ?)**

5. **Utilisez-vous des moyens pour connaître les caractéristiques de vos étudiants ?**
Lesquels ?
 - Pouvez-vous me parler de ces caractéristiques ?
 - À quel point ces caractéristiques influencent votre planification ?

Annexe 2 : Guide pour l'entrevue de rappel stimulé

Titre de la recherche : Étude des pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques et leur enseignement en vue d'un changement des conceptions des étudiants

Chercheuse principale : Christine Marquis
Étudiante, Université de Montréal
Enseignante en chimie, Cégep de Saint-Jérôme

Consignes pour les participants

Un enregistrement vidéo de la séquence de cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome a été fait dans le cadre de votre cours. Nous allons maintenant visionner cet enregistrement dans une entrevue de rappel stimulé. La durée de cette rencontre est de 1 heure 30 minutes. Comme l'enregistrement dure _____, j'ai choisi certains extraits.

Le but de cette entrevue est de faire en sorte que vous puissiez dire ce à quoi vous pensiez pendant votre enseignement et de mettre en évidence certaines décisions que vous avez prises en situation d'enseignement. Nous nous intéresserons particulièrement à ce qui a changé par rapport à ce que vous aviez planifié. Pour ce faire, nous visionnerons ensemble l'enregistrement vidéo et vous allez m'expliquer ce à quoi vous pensiez à différents moments de votre cours. Nous pourrions mettre l'enregistrement à pause de temps en temps et l'avancer plus rapidement à d'autres moments.

Cette entrevue de rappel stimulé est elle-même enregistrée en format audio. Cette entrevue sera transcrite, codée et analysée pour la recherche.

Annexe 3 : Schémas expliqués à réaliser par les élèves

Date : _____

Nom : _____

.....✂.....✂.....✂.....✂.....✂.....

Code (par la chercheuse) : _____

Faites une représentation schématique de comment vous imaginez un atome d'azote (7 électrons). Veuillez noter que ce travail ne sera PAS évalué et que votre professeur aura accès à votre schéma seulement après que toutes les évaluations auront été complétées.	Expliquez votre schéma de façon détaillée à l'aide de phrases complètes (vous pouvez utiliser le verso au besoin).

Annexe 4 : Grille d'entrevue semi-dirigée - étudiant

Titre de la recherche : Étude des pratiques enseignantes pour la transformation de savoirs scientifiques et leur enseignement en vue d'un changement des conceptions des étudiants

Chercheuse principale : Christine Marquis
Étudiante, Université de Montréal
Enseignante en chimie, Cégep de Saint-Jérôme

Votre participation à cette recherche consiste, entre autres, à participer à une courte entrevue non-dirigée qui portera sur les schémas que vous avez réalisés plus tôt dans le cadre de la recherche. Cette participation devrait vous demander entre 20 et 30 minutes.

Je vous demande votre autorisation pour enregistrer cette entrevue. Répondez aux questions au meilleur de votre connaissance. L'objectif de cette entrevue n'est pas de porter un jugement sur vos apprentissages. Vos réponses ne seront pas transmises à votre prof. Je vous rappelle que tous les renseignements que vous fournirez demeureront entièrement confidentiels.

Informations

Quand as-tu débuté tes études collégiales ?

Quels cours de chimie as-tu suivi avant ce cours-ci et à quel moment les as-tu suivis ?

Est-ce la première fois que tu suis ce cours ?

Description du projet

Le projet vise à mieux comprendre la trajectoire des savoirs partant des savoirs disciplinaires des enseignants jusqu'aux savoirs appris par les étudiants dans le cadre de la section qui porte sur le modèle probabiliste de l'atome du cours « chimie générale » du programme Sciences de la nature, en lien avec les pratiques pédagogiques et didactiques des enseignants.

Questions :

1. Peux-tu m'expliquer le dernier schéma réalisé ?
 - Peux-tu m'en dire plus à propos des électrons ?
 - Peux-tu me donner ta définition du mot orbitale ?
2. Si tu compares ce schéma à celui que tu as réalisé au début de la session,
 - Quelles activités d'enseignement (ce que ton professeur a pu faire ou dire) t'ont permis de changer la façon dont tu t'imagines l'atome? (Exemples, analogies, figures, méthodes d'enseignement)
 - Quelles activités d'apprentissage (ce que ton professeur t'a demandé de faire) t'ont permis de changer la façon dont tu t'imagines l'atome?
 - Est-ce qu'il y a autre chose que tu as fait et qui a aidé à changer ta conception

