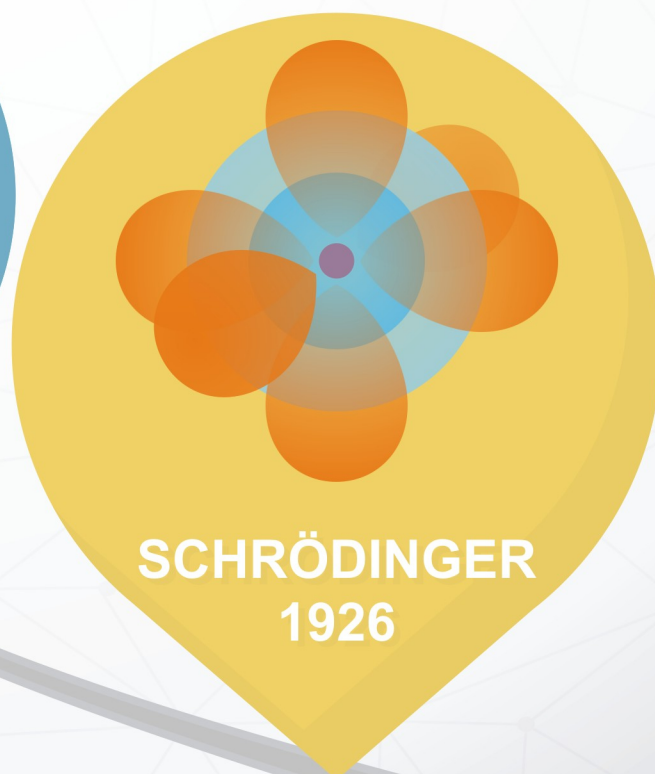
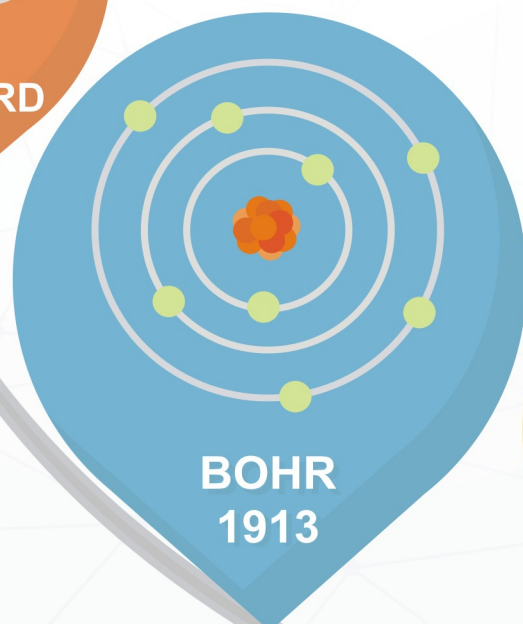
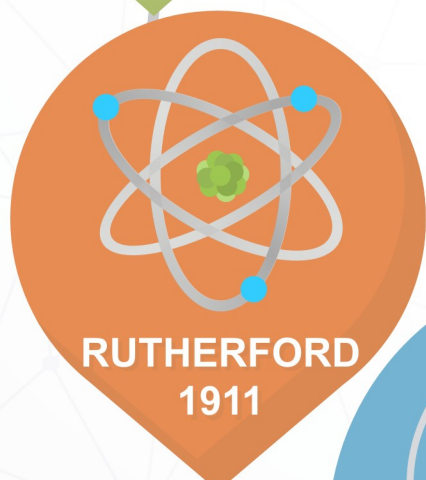


La TRAJECTOIRE des SAVOIRS

Étude des pratiques

LE CAS DU MODÈLE PROBABILISTE DE L'ATOME

Rapport de recherche
par **Christine Marquis**



La trajectoire des savoirs : étude des pratiques
PA2014-008

Christine Marquis

La présente recherche a été subventionnée par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage (PAREA).

Le contenu du présent rapport n'engage que la responsabilité de l'établissement et des auteurs.

Assistants de recherche : Annie Ferland
Stéphane Dufresne
Révision linguistique : Hélène Larue, Le crayon rouge enr.
Graphisme : Patrice Arpin
Traduction du résumé : Wendi Peterson

Dans le présent document, le générique masculin est utilisé sans aucune discrimination et uniquement dans le but d'alléger le texte.

Des noms fictifs ont été donnés aux enseignants qui ont participé à la recherche.

Les illustrations créées par les enseignants sont présentées dans le rapport avec la permission des auteurs.

Pour tout renseignement, s'adresser à
Christine Marquis
455, rue Fournier
Saint-Jérôme (Québec) J7Z4V2
cmarquis@cstj.qc.ca

Ce rapport de recherche est issu d'un travail effectué dans le cadre d'un doctorat réalisé à l'Université de Montréal, lui-même publié sous la licence Creative Commons CC-BY-NC 4.0 (détails : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.fr>), qui signifie que l'œuvre peut être reproduite en partie ou en totalité pour une utilisation non commerciale, à condition de citer la source.



Dépôt légal — Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2017

Dépôt légal — Bibliothèque et Archives Canada, 2017

ISBN 978-2-920459-01-4

Résumé

L'enseignement des sciences dans le contexte de l'approche par compétences au collégial comporte différents défis pédagogiques et didactiques. Les enseignants ont, entre autres, à choisir des contenus pertinents et des méthodes d'enseignement qui favoriseront le développement des compétences ciblées dans les cours de sciences. Par ailleurs, en chimie, 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, présente des obstacles à l'apprentissage particuliers. Les difficultés sont notamment dues fait que les apprentissages réalisés au secondaire sur les modèles atomiques précédents semblent persister et nuire aux nouveaux apprentissages.

Cette recherche vise à mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation des savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome durant la planification et pour leur 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* est le modèle théorique emprunté 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 (1983/1994) et un modèle intégré de pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012) sont mobilisés. Les savoirs appris sont interprétés avec la notion de niveaux de formulation.

Une étude multicas a été réalisée auprès de six enseignants en recourant à des entrevues semi-dirigées et des entrevues de rappel stimulé, ce qui permet de comparer leurs pratiques déclarées et effectives. Des schémas expliqués réalisés par leurs étudiants avant et après l'enseignement de la séquence permettent de mettre en évidence les changements dans leur façon de concevoir la structure de l'atome.

Les résultats témoignent d'une diversification 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) bien que certains fassent les choix des contenus essentiels selon d'autres critères. Différentes formes de représentation des contenus sont utilisés 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 choisissent 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 et utilisent certaines stratégies en considérant les connaissances antérieures qu'ils possèdent sur les modèles atomiques.

Les pratiques effectives en classe correspondent souvent à ce qui a été planifié pour la majorité des enseignants, mais ceux-ci doivent aussi prendre des décisions qui les conduiront, dans certains cas, à apporter des modifications à leur plan dans l'action. Ces décisions émergent d'une réflexion dans l'action initiée par des indices perçus principalement chez les étudiants. Dans d'autres cas, les modifications au plan sont faites après la leçon, ce qui contribue à améliorer celui-ci au fil des ans.

Les pratiques étudiées contribuent à favoriser un changement dans la façon dont les étudiants conçoivent l'atome. Cependant, les caractéristiques des étudiants semblent aussi influencer l'importance de ce changement.

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

Abstract

Teaching science using the competency-based approach at the college level entails a number of pedagogical and didactic challenges. Part of the teachers' task is to choose relevant content and methods that foster the development of the target competencies for the science courses. In chemistry, in particular, specific learning obstacles arise in teaching the probability model of the atom – in which electrons are described as being in orbitals that represent volumes of space where the probability of finding an electron is high. These difficulties are largely due to the fact that the learning achieved in high school on previous atomic models seems to persist and hinder new learning.

This study seeks to gain a better understanding of teachers' practices for the transformation of knowledge (related to the probability model of the atom) used during planning and teaching practices related to the knowledge learned by the students in the « General Chemistry » course in the Science pre-university program.

The transformation process in Shulman's pedagogical reasoning and action model (1987), derived from his work on pedagogical content knowledge, is the theoretical model used to study the transformational teaching practices. Schön's concepts of reflection-in-action and reflection-on-action (1983, 1994) and an integrated model of teachers' integrative thought (Wanlin & Crahay, 2012) are used to analyse the actual practices in the interactive phase of teaching. The knowledge learned is interpreted based on the concept of formulation levels.

A multiple case study was carried out with six teachers using semi-directed interviews and stimulated recall interviews, to compare their stated and actual practices. Annotated diagrams, made by their students before and after the sequence was taught, revealed the changes in the way the students conceived of the structure of the atom.

The results demonstrate differences in knowledge transformation practices, although many practices are shared by a certain number of teachers. To prepare the lesson and choose the basic content, the teachers essentially consult the same sources (textbook, program documentation, colleagues), but some choose the content based on other criteria. The content

is presented in a variety of ways, mainly with the goal of sparking the students' interest and explaining or illustrating the concepts. Even though this is largely achieved through lectures, the teachers choose activities in which the students can get more involved in order to help them put their knowledge into practice, establish certain connections for themselves and discover concepts on their own, by discussing together and verifying their understanding. Finally, the teachers are especially likely to adapt their planning to the cognitive characteristics of their students and use certain strategies that take the students' prior knowledge about atomic models into account.

For the majority of the teachers, the actual in-class practices generally correspond to what they planned, but they sometimes have to make decisions that oblige them, in some cases, to change their plan as they teach. These decisions arise mainly from reflection-in-action triggered by signs perceived in the students. In other cases, the changes are made after the lesson, improving the lesson plan over the years.

The practices studied foster change in the way the students conceive of the atom, but the students' characteristics also seem to influence the extent of this change.

Keywords: Teaching practices, content knowledge transformation, science education, case study, atomic models

Table des matières

Résumé	i
Abstract	iii
Table des matières	v
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	x
Liste des sigles et abréviations	xiii
Remerciements	xv
1 Introduction	2
2 Problématique	6
2.1 Les défis de l'enseignement dans le contexte de l'approche par compétences (APC)6	
2.1.1 Le défi de choisir des contenus pertinents	8
2.1.2 Le défi de choisir des méthodes d'enseignement qui favorisent le développement de compétences	9
2.2 Les obstacles à l'apprentissage de la chimie et du modèle probabiliste de l'atome .	10
2.2.1 Les obstacles épistémologiques et les conceptions alternatives	11
2.2.2 Les obstacles didactiques ou quand la transposition didactique devient problématique	15
2.3 L'objectif général de la recherche et la pertinence du projet	16
2.3.1 Objectif général de la recherche	16
2.3.2 Pertinence du projet de recherche	16
3 Cadre conceptuel	20
3.1 Les pratiques enseignantes	21
3.1.1 Une définition	21
3.1.2 Pourquoi étudier les pratiques enseignantes?	22
3.2 La transformation des savoirs pour l'enseignement	22
3.2.1 Le <i>pedagogical content knowledge</i> (PCK)	23
3.2.2 La transformation des savoirs	25
3.3 L'enseignement des savoirs scientifiques	31
3.3.1 Réflexion dans l'action et réflexion sur l'action	32
3.3.2 La pensée des enseignants durant l'interaction	33
3.4 Les savoirs appris et les niveaux de formulation	37
3.5 Une synthèse du cadre conceptuel	40
3.6 Objectifs spécifiques de la recherche	42
4 Méthodologie	44
4.1 Type de recherche	44
4.2 Sélection des participants	45
4.3 Outils de collecte de données	47
4.3.1 Entrevues individuelles semi-dirigées avec les enseignants (entrevues de planification)	49

4.3.2	Enregistrements vidéo de la séquence de cours et entrevues de rappel stimulé	50
4.3.3	Collecte du matériel didactique élaboré par l'enseignant	51
4.3.4	Schémas expliqués réalisés par les élèves	52
4.4	Analyse des données	52
4.4.1	Analyse qualitative des entrevues	53
4.4.2	Analyse qualitative des schémas des étudiants	55
4.5	Forces et limites de la méthodologie	56
4.6	Critères de rigueur	57
4.7	Aspects éthiques	57
5	La présentation et l'interprétation des résultats	60
	Présentation des résultats	60
	Le cas d'Yvan	64
	Le cas d'Antoine	84
	Le cas de Paul	102
	Le cas de Geneviève	122
	Le cas d'Évelyne	142
	Le cas de Philippe	164
	Interprétation des résultats	184
	Des pratiques déclarées pour la transformation des savoirs	184
	Des pratiques effectives pour l'enseignement des savoirs	195
	Des savoirs appris par les étudiants	200
6	Les retombées sur le développement de l'enseignement collégial	199
7	Conclusion	201
8	Bibliographie	207
	Annexe 1 : Grille d'entrevue semi-dirigée - enseignant	i
	Annexe 2 : Guide pour l'entrevue de rappel stimulé	iv
	Annexe 3 : Schémas expliqués à réaliser par les élèves	v
	Annexe 4 : Tableau résumant la planification de Yvan	i
	Annexe 5 : Tableau résumant la planification de Antoine	iv
	Annexe 6 : Tableau résumant la planification de Paul	viii
	Annexe 7 : Tableau résumant la planification de Geneviève	xi
	Annexe 8 : Tableau résumant la planification de Évelyne	xiii
	Annexe 9 : Tableau résumant la planification de Philippe	xvi
	Annexe 10 : Formulaire de consentement (enseignants)	i
	Annexe 11 : Formulaire de consentement (étudiants)	v

Liste des tableaux

Tableau 1 Niveaux de formulation de la structure atomique, adapté de Park et coll. (2009)...	39
Tableau 2 Outils de collecte de données utilisés pour les différentes variables de la recherche.	48
Tableau 3 Profils des six enseignants participants.....	61
Tableau 4 Éléments du contexte pour les six enseignants participants.	62
Tableau 5 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Yvan.	67
Tableau 6 Fréquence des justifications énoncées par Yvan pour le choix de ses formes de représentation.	67
Tableau 7 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Yvan.....	69
Tableau 8 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Yvan.	70
Tableau 9 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Yvan.....	73
Tableau 10 Pourcentage d'étudiants du groupe d'Yvan ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).	79
Tableau 11 Types de changement dans la façon dont les étudiants d'Yvan conçoivent l'atome.	80
Tableau 12 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Antoine	87
Tableau 13 Fréquence des justifications énoncées par Antoine pour le choix de ses formes de représentation.	87
Tableau 14 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Antoine.....	89
Tableau 15 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Antoine.....	90
Tableau 16 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé avec Antoine.....	94
Tableau 17 Pourcentage d'étudiants du groupe d'Antoine ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux de formulation au début (S1) et à la fin du cours (S2).	98
Tableau 18 Types de changement de la façon dont les étudiants d'Antoine conçoivent l'atome.	99
Tableau 19 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Paul.	105
Tableau 20 Fréquence des justifications énoncées par Paul pour le choix de ses formes de représentation.	105
Tableau 21 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Paul.	108
Tableau 22 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Paul.	108
Tableau 23 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Paul.	112
Tableau 24 Pourcentage d'étudiants du groupe de Paul ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).	117

Tableau 25 Types de changement dans la façon dont les étudiants de Paul conçoivent l'atome	118
Tableau 26 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Geneviève.	126
Tableau 27 Fréquence des justifications énoncées par Geneviève pour le choix de ses formes de représentation.	126
Tableau 28 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Geneviève.	129
Tableau 29 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Geneviève.	130
Tableau 30 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Geneviève.	133
Tableau 31 Pourcentage d'étudiants du groupe de Geneviève ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).	138
Tableau 32 Types de changement dans la façon dont les étudiants de Geneviève conçoivent l'atome.	139
Tableau 33 Fréquence des formes de représentation planifiées par Évelyne.	145
Tableau 34 Fréquence des justifications énoncées par Évelyne pour le choix de ses formes de représentation.	146
Tableau 35 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Évelyne.	147
Tableau 36 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Évelyne.	147
Tableau 37 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé avec Évelyne.	152
Tableau 38 Pourcentage d'étudiants du groupe d'Évelyne ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).	157
Tableau 39 Types de changement dans la façon dont les étudiants d'Évelyne conçoivent l'atome.	159
Tableau 40 Fréquence des différentes formes de représentation planifiées par Philippe.	167
Tableau 41 Fréquence des justifications énoncées par Philippe pour le choix de ses formes de représentation.	167
Tableau 42 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Philippe.	168
Tableau 43 Fréquence des justifications énoncées par Philippe pour l'utilisation des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage.	169
Tableau 44 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Philippe.	174
Tableau 45 Pourcentage d'étudiants du groupe de Philippe ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).	179
Tableau 46 Types de changement dans la façon dont les étudiants de Philippe conçoivent l'atome.	180
Tableau 47 Synthèse des éléments constituant le processus de transformation des savoirs pour l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome pour les six enseignants participants.	185
Tableau 48 Niveaux de formulation de la structure atomique, adapté de Park (2009).	201

Tableau 49 Niveaux de formulation établis pour les schémas expliqués réalisés en début de session (S1) et en fin de session (S2) par les étudiants.....	203
Tableau 50 Corrélation entre le niveau de formulation du schéma 1 et le niveau de formulation du schéma 2.....	196

Liste des figures

Figure 1 Modèles qui seront exposés dans le cadre conceptuel.....	20
Figure 2 Modèle consensuel des connaissances professionnelles de l'enseignant (incluant le PCK). Adapté de Gess-Newsome (2015)	25
Figure 3 Modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987). Figure adaptée de Malo (2000).....	26
Figure 4 Processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987). Figure adaptée de Malo (2000)	27
Figure 5 Les phases du processus de transformation.....	31
Figure 6 Un modèle intégré de la pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012)	35
Figure 7 Critères de sélection pour le choix des enseignants qui ont participé à la recherche.	46
Figure 8 Représentation réalisée par Yvan et inspirée d'une émission de télévision.	68
Figure 9 Représentation réalisée par Yvan et faisant référence à une série de télé.	68
Figure 10 Analogie réalisée par Yvan pour l'enseignement des nombres quantiques.	69
Figure 11 Exemple de processus décisionnel d'Yvan impliquant un dilemme et ayant mené à un ajustement léger du plan.	75
Figure 12 Exemple de processus décisionnel d'Yvan impliquant un dilemme et ayant mené à la poursuite du plan.	76
Figure 13 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 5 du groupe d'Yvan.....	81
Figure 14 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 2 du groupe d'Yvan.....	82
Figure 15 Représentation visant à expliquer la nature ondulatoire des électrons, conçue par Antoine.....	88
Figure 16 Représentation visant à expliquer la nature ondulatoire des électrons, conçue par Antoine.....	88
Figure 17 Représentation réalisée par Antoine et visant à favoriser le changement de la façon dont les étudiants conçoivent l'atome.....	92
Figure 18 Exemple de processus décisionnel d'Antoine ayant mené à un ajustement léger du plan.....	95
Figure 19 Exemple de processus décisionnel d'Antoine ayant mené à la décision d'ajuster le plan dans le futur.....	96
Figure 20 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 4 du groupe d'Antoine.	100
Figure 21 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 10 du groupe d'Antoine.	101
Figure 22 Représentation conçue par Paul et incluse dans la vision globale du cours.	106
Figure 23 Représentation réalisée par Paul et visant à démontrer la supériorité du modèle atomique de Schrödinger.	107
Figure 24 Analogie réalisée par Paul pour l'enseignement des nombres quantiques.	107

Figure 25 Représentation réalisée par Paul pour favoriser le changement de la façon dont les étudiants conçoivent l'atome.	110
Figure 26 Exemple de processus décisionnel dans l'action de Paul ayant mené à un ajustement léger du plan.	114
Figure 27 Exemple de processus décisionnel dans l'action de Paul ayant mené à la décision d'ajuster le plan.	115
Figure 28 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 2 du groupe de Paul.	119
Figure 29 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 17 du groupe de Paul.	120
Figure 30 Analogie réalisée par Geneviève pour l'enseignement des nombres quantiques. ...	127
Figure 31 Tableau réalisé par Geneviève pour l'enseignement des nombres quantiques	127
Figure 32 Représentation de type matériel utilisée par Geneviève pour l'enseignement des formes des orbitales.	128
Figure 33 Capture d'écran d'une représentation de type vidéo utilisée par Geneviève pour l'enseignement des formes des orbitales ainsi que leur superposition.	129
Figure 34 Exemple de processus décisionnel dans l'action de Geneviève ayant mené à la poursuite du plan.	135
Figure 35 Exemple de processus décisionnel de Geneviève ayant mené à la décision d'ajuster le plan dans le futur.	136
Figure 36 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 13 du groupe de Geneviève.	140
Figure 37 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 24 du groupe de Geneviève.	141
Figure 39 Exemple de questionnement à l'aide de télévotants réalisé par Évelyne.	148
Figure 40 Exemple de questionnement à l'aide de télévotants réalisé par Évelyne.	149
Figure 41 Exemple de processus décisionnel d'Évelyne impliquant un dilemme en lien avec les questions des étudiants et la gestion du temps.	154
Figure 42 Exemple de processus décisionnel d'Évelyne lié aux réponses des étudiants aux questions posées à l'aide des télévotants et qui a suscité un ajustement léger du plan. .	156
Figure 43 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 13 du groupe d'Évelyne.	160
Figure 44 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 14 du groupe d'Évelyne.	162
Figure 45 Figure réalisée par Philippe pour expliquer le concept d'orbitale atomique en lien avec les nombres quantiques à apprendre.	168
Figure 46 Questions posées aux étudiants par Philippe pour conclure sa leçon.	169
Figure 47 Activité réalisée par Philippe pour l'apprentissage des nombres quantiques.	170
Figure 49 Consignes présentées aux étudiants pour l'activité visant à déduire les règles de remplissage des orbitales.	171
Figure 50 Exemple de processus décisionnel de Philippe en lien avec une question d'une étudiante et ayant mené à une adaptation légère du plan.	176
Figure 51 Exemple de processus décisionnel de Philippe à la suite de la détection de signes non verbaux chez les étudiants et qui a suscité un ajustement léger du plan.	177

Figure 52 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 19 du groupe de Philippe.	181
Figure 53 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 24 du groupe de Philippe.	183

Liste des sigles et abréviations

APC : Approche par compétences

CEEC : Commission d'évaluation de l'enseignement collégial

PCK : *Pedagogical content knowledge*

Pour toi Amélia

Remerciements

Je veux d'abord remercier les six enseignants de chimie qui ont accepté de participer à ma recherche. Merci de m'avoir accordé votre confiance et d'avoir eu la gentillesse de m'ouvrir les portes de votre bureau et de votre salle de classe. Je vous suis reconnaissante d'avoir partagé avec moi votre matériel, votre travail, vos connaissances. Ce fut un grand privilège pour moi d'utiliser votre expérience comme matériau dans ma recherche.

Je remercie aussi tous les étudiants chimistes en herbe qui ont accepté de jouer le jeu et d'illustrer ou expliquer ce qu'ils avaient en tête à propos de l'atome.

Des remerciements, aussi, à toutes les personnes au cégep de Saint-Jérôme qui m'ont apporté leur aide à un moment ou l'autre de ce projet. Mille mercis à Mme Carole Rivest-Turgeon, directrice des études au moment du début de ma recherche, d'avoir cru en moi, de m'avoir encouragée à persévérer et, bien sûr, de m'avoir donné les moyens de réussir. Je remercie aussi Annie et Stéphane, qui m'ont aidée à analyser mes données. Un grand merci à Patrice qui a répondu oui à toutes mes demandes !

Je remercie M. Thierry Karsenti, mon directeur de recherche, pour ses commentaires toujours très pertinents, qui ont eu pour effet d'améliorer ma recherche.

Enfin, des mots tout spéciaux pour toi, Bruno. Je te remercie d'être si présent dans ma vie personnelle et professionnelle, et de m'encourager à me surpasser. Merci pour l'aide que tu m'as apportée dès la conception de ce projet. Merci d'avoir fait naître en moi la passion pour la recherche.

1 Introduction

Notre recherche porte sur la trajectoire des savoirs en jeu lors de l'enseignement et de l'apprentissage des concepts liés au modèle probabiliste de l'atome dans le cadre du premier cours de chimie du programme collégial Sciences de la nature.

La chimie est une science particulièrement importante, puisqu'elle nous informe sur la structure de la matière, ses propriétés et ses transformations. Compte tenu de la nature des concepts propres à cette discipline, l'enseignement et l'apprentissage ne se font pas sans difficulté. Le modèle probabiliste de l'atome, mettant en jeu le concept d'orbitale, se révèle l'un de ces objets difficiles à enseigner et à apprendre.

Dans ce contexte, il nous apparaît approprié d'étudier les pratiques d'enseignants expérimentés qui transforment et enseignent des savoirs relatifs à ces contenus afin de faciliter leur apprentissage.

Dans la problématique, nous exposerons comment, dans le contexte de l'enseignement collégial, l'approche par compétences comporte des défis qui ont trait, entre autres, au choix de contenus pertinents et de méthodes d'enseignement qui favoriseront le développement de compétences chez les apprenants. En effet, les enseignants ont à choisir, à organiser et à transformer les savoirs pour favoriser l'apprentissage. Nous expliquerons, ensuite comment, dans les contextes particuliers de l'enseignement des sciences et, plus spécifiquement, du modèle probabiliste de l'atome, différents obstacles tels que les conceptions alternatives chez les étudiants et des problèmes de transposition didactique, viennent s'ajouter à ces défis.

Considérant ces éléments problématiques, notre projet vise à mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation de savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome observées lors de la planification et de la prestation d'une leçon, et ce, en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Dans la section portant sur le cadre conceptuel, nous proposerons d'abord une définition des pratiques enseignantes. 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*, forme, selon nous, un cadre théorique pertinent pour l'étude des pratiques de transformation des savoirs à enseigner. Comme nous souhaitons aussi étudier les pratiques observées au cours de la phase interactive de l'enseignement, nous présenterons les concepts de réflexion dans l'action et de réflexion sur l'action issus des travaux de Schön (1983/1994) et un modèle intégré de pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012). Enfin, nous exposerons comment les savoirs appris peuvent être étudiés en lien avec la notion de niveaux de formulation.

Les objectifs spécifiques de la recherche sont de décrire les pratiques déclarées des enseignants durant les différentes phases de la transformation pédagogique des savoirs – c'est-à-dire la préparation, le choix des formes de représentation des contenus, le choix du type d'activité d'enseignement et d'apprentissage et l'adaptation aux caractéristiques des étudiants –, de mettre en lien ces pratiques déclarées avec les pratiques effectives en classe, et enfin, d'analyser les relations entre ces pratiques et les savoirs appris par les étudiants.

Dans la section suivante, nous exposerons nos choix méthodologiques et les justifierons compte tenu des objectifs de la recherche. Nous expliquerons ainsi pourquoi nous avons opté pour une recherche qualitative de type étude multicas et comment nous avons procédé pour la sélection des participants et le choix des outils de collecte et d'analyse des données. Nous discuterons enfin des forces et des limites de la méthodologie, des critères de rigueur et du respect des normes éthiques.

L'analyse des données montre une diversification des pratiques de transformation des savoirs et d'enseignement, bien que certaines soient partagées par des enseignants.

Pour la transformation des savoirs en vue de leur enseignement, nos résultats montrent comment les enseignants choisissent et préparent les contenus de leurs cours, sur quelles bases ils retiennent certaines formes de représentation des contenus et des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage, et comment ils adaptent leur planification aux caractéristiques de leurs étudiants. Les enseignants se réfèrent à différentes sources pour préparer leurs cours, et leurs façons de faire évoluent avec l'expérience. Les choix des savoirs

à enseigner sont d'abord guidés par les indications données sur les savoirs prescrits (manuel, documents du programme, collègues). Les enseignants utilisent ou conçoivent aussi plusieurs formes de représentation visuelle des contenus afin d'expliquer ou d'illustrer des concepts spécifiques ou d'attirer l'attention des étudiants. Les explications sous forme d'exposé magistral constituent l'activité d'enseignement que nous avons observé le plus fréquemment. Les enseignants planifient aussi des activités d'apprentissage où les étudiants sont plus actifs afin que ceux-ci puissent eux-mêmes établir des liens, découvrir des concepts par eux-mêmes en s'entraînant, et pour vérifier leur compréhension. Enfin, les enseignants connaissent bien leurs étudiants et adaptent leur planification principalement aux caractéristiques cognitives des élèves. Ils savent comment ceux-ci s'imaginent l'atome en arrivant au premier cours, ils sont conscients des difficultés que leurs conceptions engendrent et déploient différentes stratégies pour les pallier. Par exemple, ils demandent aux étudiants d'explicitier leurs connaissances sur l'atome avec un dessin, ils expliquent la nature des modèles et comment ils évoluent, et ils décrivent les liens avec le dernier modèle atomique appris par les étudiants.

Les enseignants, même s'ils ont bien planifié leurs cours, ont à prendre plusieurs décisions alors même qu'ils sont au cœur de l'action, et ce, principalement en réponse à des indices perçus chez les étudiants. Dans certains cas, ils feront face à des dilemmes. Certaines décisions se prennent aussi *a posteriori*, pour faire suite à des indices perçus dans le passé, ce qui rend le plan de la leçon beaucoup plus adapté aux étudiants au fil des années.

Enfin, alors que les données montrent que les étudiants concevaient l'atome selon les modèles de Rutherford ou de Bohr en début de session, nous observons qu'un très grand nombre d'entre eux se l'imaginaient de façon différente en fin de session en faisant appel à des concepts liés au modèle probabiliste. Les enseignants participants ont donc suscité un changement dans la façon dont les étudiants s'imaginent l'atome. Certains choix en lien avec les formes de représentation du contenu ainsi que les activités d'enseignement et d'apprentissage ont, selon nous, favorisé ce changement.

2 Problématique

Dans le premier chapitre, nous montrerons que les enseignants doivent relever certains défis particuliers dans le contexte de l'approche par compétences. Par exemple, ils doivent choisir des contenus pertinents et des méthodes d'enseignement favorisant le développement de compétences (Bizier, 2008; Chauvigné et Coulet, 2010; Perrenoud, 1995). Par ailleurs, nous évoquerons différents obstacles à l'apprentissage auxquels sont confrontés les enseignants lors de l'enseignement de la chimie en général et du modèle probabiliste de l'atome en particulier. Enfin, nous dévoilerons l'objectif général et justifierons la pertinence scientifique et sociale de notre projet.

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

Les programmes d'études collégiales furent révisés selon l'approche par compétences (APC) à l'occasion 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 l'écart entre les programmes de formation et le marché du travail (Takahashi, Waddell, Kennedy et Hodges, 2011).

Selon Boisvert, Lacoursière et Lallier (2006), « cette approche 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).

Pour bien comprendre l'essence de cette approche, il nous apparaît important de clarifier la notion de compétence. Plusieurs définitions existent, de telle sorte que, 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). Nous utiliserons les définitions du Pôle de l'Est (1996), de Lasnier (2001) et de Le Boterf (2010), puisque ce sont celles qui sont le plus fréquemment utilisées dans le contexte de l'approche par compétences au collégial.

Le Pôle de l'Est (1996), un groupe de travail formé dès les débuts de l'implantation de l'APC, a défini une compétence ainsi :

[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 cet auteur,

« [...] 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).

Enfin, Le Boterf (2010) différencie le fait d'avoir des compétences de celui d'être compétent, en insistant sur l'importance de savoir 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).

Nous retenons de ces définitions qu'une compétence se développe dans l'action avec 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 a des implications sur la gestion des programmes, mais aussi sur les étapes du processus d'enseignement, soit la planification, l'organisation, l'intervention et l'évaluation (Tremblay, 1999). 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 planifier des stratégies d'enseignement qui miseront davantage sur les approches relevant des pédagogies actives.

2.1.1 Le défi de choisir des contenus pertinents

Avant la réforme, les cours composant les programmes d'études étaient établis par le ministère de l'Éducation et consistaient en une liste de contenus plus ou moins intégrés (Boisvert et coll., 2006). Les « cahiers de l'enseignement collégial » se présentaient alors comme un répertoire comprenant, entre autres, la liste des différents cours composant chaque programme ainsi qu'une description des objectifs et des contenus se rapportant à chaque cours. Comme le souligne Goulet (1990), les enseignants se servaient alors de l'information contenue dans ces cahiers afin de rédiger leur plan de cours, et ce, souvent de manière isolée sans tenir compte des autres cours du programme.

Avec le Renouveau de l'enseignement collégial, et dans la perspective d'une « approche-programme », les programmes furent élaborés par compétences, chaque compétence étant présentée sous la forme d'objectifs (énoncé de la compétence et des éléments de compétence) et de standards (critères de performance), et seulement quelques précisions furent apportées en lien avec les contenus à traiter. Ainsi, avec l'APC, les enseignants se voient dans l'obligation de prendre plusieurs décisions relativement au choix et à l'organisation des contenus d'enseignement, et ce, tant à l'échelle des programmes que des cours (Lapierre, 2008). En effet, lors de l'élaboration des programmes, certains enseignants doivent déterminer les contenus essentiels et leur agencement dans des cours pour le développement de compétences particulières. Par la suite, tous les enseignants ont à établir l'étendue des contenus inscrits au plan-cadre lors de la planification de leurs cours (Bizier, 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 ces choix (Bizier, 2008).

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

L'approche par compétences suggère une diversification des méthodes d'enseignement en invitant les enseignants à utiliser des méthodes où les étudiants sont plus actifs, selon la prémisse qu'une compétence s'acquiert dans l'action (Chauvigné et Coulet, 2010; Perrenoud, 1995).

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 y 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, p. 26).

De plus, on peut lire dans une étude de Rosenfield et coll. (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 associées à la transmission du savoir. L'étude suggère 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, et ce, bien qu'un contexte favorisant la participation des étudiants favorise davantage la persévérance dans ces programmes.

Hormis ces défis inhérents à l'approche par compétences, les enseignants de sciences, et plus spécifiquement de chimie, doivent tenir compte de l'existence de certains obstacles à l'apprentissage, que nous exposerons maintenant.

2.2 Les obstacles à 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 aide à comprendre le monde qui nous entoure (Sirhan, 2007). Elle consiste en l'étude de la matière, de ses propriétés et des changements qu'elle peut subir. L'apprentissage de cette discipline particulièrement complexe cause des difficultés à plusieurs étudiants (Taber, 2001).

Ces difficultés seraient liées à la nature de la science elle-même, en raison non seulement des concepts abstraits et théoriques qu'elle sous-tend, mais aussi des méthodes habituellement utilisées pour son enseignement, méthodes qui ne tiennent pas compte de ce que les étudiants savent déjà sur le sujet (Johnstone, 1991; Duit, 1991).

Nous montrerons comment certains obstacles peuvent être à l'origine des difficultés éprouvées par les étudiants lors de l'apprentissage de concepts en chimie tels que le modèle probabiliste de l'atome. En didactique, les obstacles seraient « 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). 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 (1983), le système didactique peut comporter différents obstacles d'origine ontogénique, didactique ou épistémologique. Les obstacles d'origine ontogénique renvoient au niveau de développement cognitif de l'apprenant et résident dans les limitations, par exemple de type neurophysiologique, qui font en sorte qu'une personne apprend selon ses capacités. Les obstacles d'origine didactique résulteraient « d'un choix ou d'un projet éducatif » (Brousseau, 1983, p. 108). C'est donc dire que l'enseignement ou l'école sont à la base de ce type d'obstacles. Enfin, les obstacles d'origine épistémologique

sont, toujours selon Brousseau (1983), inhérents à la connaissance à acquérir, et on les retrouve dans l'histoire des concepts.

2.2.1 Les obstacles épistémologiques et les conceptions alternatives

Selon Astolfi et Peterfaivi (1993), l'idée d'obstacle entretient des relations avec l'idée de représentation (ou de conception¹), très importante en didactique des sciences. Ces idées partageraient quant à elles 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, pour ce qui est d'expliquer certains phénomènes scientifiques (Driver et Easley, 1978; Duit, Treagust et Widodo, 2008; Duit, 1991; Gabel, 1999; Taber, 2001). Ces conceptions sont désignées par divers 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 dernières 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 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; Champagne, Gunstone et Klopfer, 1983, cités dans Guzetti et

¹ Bien que le terme « représentation » ait 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).

coll., 1993). 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 plutôt être abordées relativement à la manière dont les étudiants comprennent les nouvelles notions enseignées compte tenu de ce qu'ils savent déjà.

L'identification de ces obstacles a amené les didacticiens à réfléchir sur les conditions pouvant favoriser leur franchissement (Reuter et coll., 2013). Selon Astolfi et Peterfaivi (1993), les pratiques d'enseignement en sciences ne prendraient pas assez en considération ces obstacles.

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 (p. 104).

Dans ce contexte, 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 se justifie par le fait que dans plusieurs études, on reconnaît que l'apprentissage des concepts reliés à ce modèle est problématique (Cervellati et Perugini, 1981; Cros et al., 1986, 1988; Jones, 1991; Mashhadi, 1994; Shiland, 1997, cités dans Taber, 2002).

Certaines recherches réalisées dans le cadre de cours préuniversitaires (Mashhadi, 1994; Petri et Niedderer, 1998, cités dans Taber, 2002) et universitaires (Cros et coll. 1986, 1988, cité dans Taber, 2002) montrent que les étudiants de collège et d'université conceptualisent souvent la structure de l'atome sur la base d'un modèle appris dans le passé, où les électrons gravitent sur des orbites de type planétaire, même si des modèles plus avancés

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.

Par ailleurs, Stefani et Tsaparlis (2009) ont étudié la construction des concepts de chimie quantique tels que les orbitales atomiques, l’équation de Schrödinger, les orbitales moléculaires, l’hybridation et la liaison chimique auprès de 19 étudiants de deuxième année issus du Département de chimie d’une université grecque. Les réponses des étudiants lors des entrevues ont montré différents niveaux d’explication et de façon de voir les modèles. Certains de ces niveaux renvoyaient à un apprentissage par cœur alors que d’autres révélaient un apprentissage significatif. Tous les étudiants possédaient des conceptions alternatives. La recherche a mis en évidence les conceptions alternatives suivantes liées à la définition d’une orbitale atomique et à la structure atomique.

1. *Une orbitale atomique (OA) comme une couche électronique* : une OA est une couche dans laquelle les électrons sont intégrés.
2. *Une OA comme une paire d’électrons* : une OA est une paire d’électrons.
3. *Une OA comme une région dans l’espace* : une OA est une région de l’espace où il y a une grande probabilité qu’un électron soit rencontré/où les électrons sont en mouvement continu.
4. *Une OA comme une forme graphique/ visuelle* : les orbitales atomiques sont des représentations graphiques/visuelles (formes) des fonctions d’onde.
5. *Une OA comme une probabilité* : une OA est une probabilité de rencontrer un électron en un point de l’espace à un moment précis.
6. *Les OA comme des nuages de forme spécifique* : une OA ressemble à un nuage d’une forme spécifique; la forme dépend de la couche externe de l’atome./Les orbitales de type *s* sont des cercles (2 dimensions); les orbitales de type *p* sont des lobes (3

dimensions).

7. *Les nuages électroniques comme des représentations exactes* : les nuages électroniques sont des représentations exactes des particules subatomiques./Dans les nuages électroniques, nous pouvons voir des « zones plus foncées ».
8. *L'identité des OA pour tous les atomes* : l'orbitale 1s de l'atome d'hélium est identique à l'orbitale 1s de l'atome d'hydrogène ; cela est dû au fait qu'elles sont toutes les deux des sphères./ Les OA sont les mêmes pour tous les atomes.
9. *Les OA comme des fonctions complexes* : il n'y a pas de différence entre ψ et ψ^2 .
10. *Les OA et la liaison covalente* : les OA se rapportent aux liaisons covalentes seulement.
11. *Les Os inoccupées* : l'atome d'hydrogène possède des orbitales 2s et 2p vides; les électrons occupent ces orbitales quand les liaisons sont formées. [traduction libre] (Stefani et Tsaparlis, 2009, p. 529).

Il importe de rappeler que cette étude a été réalisée avec des étudiants universitaires. Il est clair que les concepts liés aux orbitales atomiques ne sont pas étudiés dans le premier cours de chimie du collégial avec un tel niveau d'approfondissement. Ainsi, ce qui est considéré comme une conception alternative dans cette étude peut être lié au niveau de formulation ou de vulgarisation choisi par l'enseignant. On pense, par exemple, à la conception 11, qui dit qu'une orbitale atomique est une région de l'espace où il y a une grande probabilité de trouver un électron. Dans un souci de simplification, un enseignant peut dire qu'une orbitale est une région où la probabilité de trouver un électron est forte, alors qu'en fait cela renvoie plutôt à une fonction d'onde d'un électron. Cette dernière définition peut toutefois paraître dénudée de sens pour un étudiant qui en est à son premier contact avec la mécanique quantique... Malgré cela, nous croyons que certaines des conceptions relevées dans cette étude sont aussi susceptibles d'être entretenues par des étudiants du collégial.

Bien que nous ne voulions pas procéder au diagnostic des 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 difficultés éprouvées au 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.

2.2.2 Les obstacles didactiques ou quand la transposition didactique devient problématique

Les contextes dans lesquels les savoirs scientifiques sont produits et transmis par les établissements d'enseignement varient beaucoup. En effet, le contexte social dans lequel la science est produite diffère du contexte individuel dans lequel elle a longtemps été enseignée et apprise (Legendre, 1994). Outre cette différence, il s'avère que le savoir savant ne peut être enseigné tel quel. Il doit être transformé selon les objectifs de formation (Lapierre, 2008; Legendre, 1994). Alors que cette transformation, appelée « transposition didactique » par Chevallard (1991), devrait faciliter les apprentissages, il semble qu'elle puisse aussi entraîner des problèmes, 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 de l'apprentissage des concepts scientifiques.

En effet, comme Reuter et ses collaborateurs (2013) le soulignent, « les choix pédagogiques et les découpages dans les savoirs peuvent, eux aussi, générer des obstacles concernant les enseignements ultérieurs » (p. 149). Taber (2005) souligne la nécessité que les enseignants soient capables de simplifier suffisamment les concepts pour que ceux-ci puissent être facilement appris par les étudiants, mais constate qu'ils évitent de trop simplifier, puisque cela peut entraîner des obstacles à l'apprentissage par la suite. Cormier (2014) 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 le souligne, à la lumière des résultats d'une vaste étude portant sur les conceptions alternatives en géométrie moléculaire d'étudiants du collégial, le fait que cette simplification souvent présentée au secondaire – où l'on considère que tout regroupement d'atomes est une molécule – devient une difficulté conceptuelle très répandue au collégial.

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

Notre recherche s'intéresse aux transformations apportées à certains savoirs scientifiques dans le contexte spécifique d'un cours de chimie du programme d'études collégiales Sciences de la nature, formulé selon l'approche par compétences. Ces savoirs ont été sélectionnés en raison des obstacles à l'apprentissage qu'ils sous-tendent.

2.3.1 Objectif général de la recherche

L'objectif général de la recherche consiste à mieux comprendre les pratiques adoptées par les enseignants pour la transformation de savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome et pour l'enseignement de ceux-ci en lien avec les savoirs acquis par les étudiants dans le cadre du cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature.

2.3.2 Pertinence du projet de recherche

Il nous semble pertinent de nous interroger sur les actions mises en œuvre par les enseignants pour relever les défis, décrits dans la problématique, découlant de l'approche par compétences, et sur les défis liés aux obstacles à l'apprentissage que peuvent engendrer certains savoirs à enseigner.

De nombreuses recherches ont montré que le modèle de l'atome basé sur la mécanique quantique comporte plusieurs obstacles pour l'apprentissage. Elles font état de difficultés d'apprentissage 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 fait une recension des conceptions alternatives en géométrie moléculaire plutôt qu'une étude sur les moyens de les contrer.

Aussi, bien qu'il existe des recherches sur la transposition didactique d'objets d'enseignement spécifiques, nous n'en avons trouvé aucune qui portait sur les modèles atomiques.

Le manque de connaissances concernant les pratiques des enseignants de chimie du collégial adoptées pour la transformation des savoirs en vue de l'enseignement et de l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome, et ce, 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 ces pratiques parce que 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'appropriier la structure des molécules pour par être en mesure d'expliquer les transformations de la matière. On peut ainsi dire que la compréhension 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 d'effectuer des prédictions quant aux propriétés physiques et chimiques des substances, ou de les expliquer. Ces notions sont aussi préalables, selon nous, à la compréhension d'autres notions qui seront enseignées dans d'autres cours de chimie du programme.

Notre recherche pourrait avoir un effet sur la réussite du cours par les étudiants, mais nous voulons qu'elle ait d'abord un effet sur la compréhension qu'ont 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) le démontre : bien que les difficultés des étudiants ne les empêchent pas nécessairement de réussir leurs cours de chimie, il semble que plusieurs concepts de la discipline demeurent mal compris par certains d'entre eux.

Il nous semble opportun aussi de nous pencher sur un objet d'enseignement du programme Sciences de la nature parce que les étudiants de ce programme formeront les

scientifiques de demain, ceux qui, par exemple, amélioreront notre qualité de vie en développant des médicaments ou des énergies plus propres.

Enfin, les sciences et les technologies sont très importantes dans le monde d'aujourd'hui pour des raisons économiques, individuelles et sociales (Conseil de la science et de la technologie, 2004; Kober, 1993). Dans ce contexte, leur enseignement devient un enjeu de société majeur. Selon l'OCDE (2014), il est essentiel que les jeunes aient une bonne compréhension des sciences et des technologies afin qu'ils puissent prendre une part active dans les débats portant sur des sujets scientifiques ou technologiques ayant un impact dans leur vie.

3 Cadre conceptuel

Rappelons d'abord que l'objectif général de notre recherche consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation et d'enseignement de certains savoirs scientifiques, et ce, en lien avec les savoirs appris par les étudiants.

Dans ce chapitre, nous définirons d'abord les pratiques enseignantes et nous exposerons le modèle théorique de la transformation, un processus issu du modèle d'action et de raisonnement pédagogique de Shulman (1987). Nous exposerons ensuite les concepts de réflexion dans l'action et sur l'action (Schön, 1983) ainsi que le modèle intégré de la pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012), un modèle qui s'intéresse aux processus cognitifs en jeu pendant l'enseignement. Nous traiterons enfin des savoirs appris par les étudiants en lien avec la notion de niveaux de formulation. La figure 1 illustre les modèles auxquels nous nous référerons en lien avec l'objectif général de la recherche.

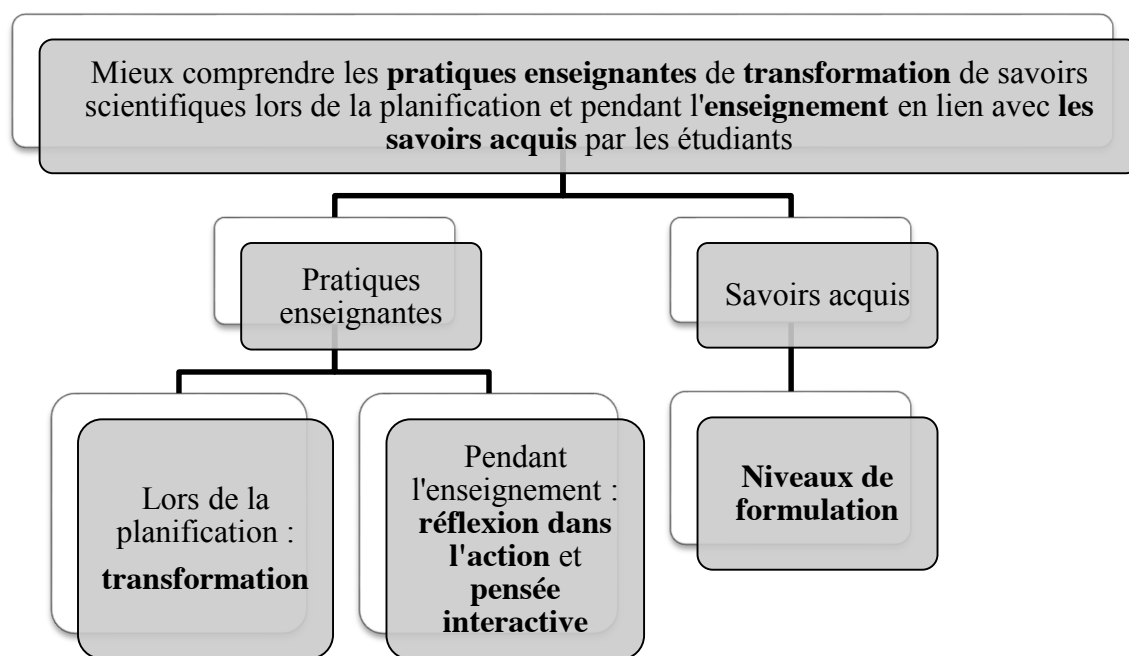


Figure 1 Modèles qui seront exposés dans le cadre conceptuel.

3.1 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.

3.1.1 Une définition

Avant de traiter spécifiquement des pratiques enseignantes, il nous apparaît pertinent de définir le terme « pratique ». Selon Reuter (2005, cité dans Reuter, Cohen-Azra, Daunay, Delambre et Lahanier-Reuter, 2013), une pratique est définie ainsi :

« [...] 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. Elle illustre 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, l'auteure 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 aux interactions se produisant dans la classe, et 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 ainsi 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, 2002, dans Dupin de Saint-André, Montésinos-Gelet et Morin, 2010). Dans un autre article, Altet 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). 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).

Nous retenons de ces définitions que les pratiques enseignantes 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.

3.1.2 Pourquoi étudier les pratiques enseignantes ?

Différents objectifs motivent les recherches sur les pratiques enseignantes. Certaines recherches viseront à déterminer 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 seconde 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 le cadre de la présente recherche, nous nous intéresserons spécifiquement aux pratiques de transformation des savoirs utilisées, d'une part, lors de la planification de l'enseignement et, d'autre part, aux pratiques pendant la phase interactive de l'enseignement.

3.2 La transformation des savoirs pour l'enseignement

Il existe différents modèles de planification de l'enseignement, tels les modèles d'*instructional design* (Dessus, 2006). Nous avons opté pour le modèle de la transformation de

Shulman (1987) parce qu'il porte spécifiquement sur la transformation des savoirs en vue de leur enseignement et de façon à faciliter les apprentissages.

La théorie de la transposition didactique, issue de la didactique des mathématiques et de la didactique des sciences, aborde, avec le concept de transposition didactique interne, la distance, les écarts entre, d'une part, les savoirs à enseigner contenus dans les programmes et les manuels scolaires et, d'autre part, les savoirs véritablement enseignés. Mais cette théorie n'est pas celle que nous avons choisie ici. En effet, le modèle de Shulman permet mieux, selon nous, d'opérationnaliser les objectifs spécifiques de la recherche. Nous croyons que cette théorie pourrait tout de même nous en apprendre beaucoup sur les pratiques de transformation des savoirs, et nous considérons l'utiliser comme cadre dans un autre travail.

3.2.1 Le *pedagogical content knowledge* (PCK)

Avant de traiter spécifiquement du processus de transformation, nous présenterons le courant de recherches duquel il est issu, soit le *pedagogical content knowledge* (PCK).

Les travaux de Shulman (1986/2007, 1987) sont à l'origine du concept de PCK. Cet auteur distinguait, en 1986, trois catégories de connaissances afin de décrire les savoirs développés par les enseignants : a) la connaissance disciplinaire du contenu (*subject matter content knowledge*), b) la connaissance pédagogique du contenu² (*pedagogical content knowledge*), et c) la connaissance du curriculum (*curricular knowledge*) (Shulman, 1986/2007, p. 104).

La connaissance pédagogique du contenu, qui présente un intérêt particulier, inclut, selon Shulman (1987), la connaissance des représentations utiles pour l'enseignement d'un contenu spécifique et celle des éléments qui rendent facile ou non l'apprentissage d'un contenu.

² Bien que plusieurs expressions telles que « connaissance des contenus pédagogiques » (Amade-Escot, 2000), « savoir pédagogique de la matière » (Malo, 2000) et « savoir pédagogique » (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.

Depuis 1987, plusieurs autres chercheurs ont tenté de définir ce type particulier de connaissance et d'en déterminer les composantes (Abell, 2007; Grossman, 1990; Magnusson et coll., 1999; Park et Oliver, 2008). Bien que les auteurs n'incluent pas exactement les mêmes types de connaissances dans le PCK, la majorité s'entendent pour y placer deux types de connaissances, soit les connaissances relatives aux stratégies d'enseignement et celles relatives à la compréhension des étudiants (*student understanding*) (Park et Oliver, 2008).

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

Le dernier modèle élaboré pour expliquer le PCK (figure 2), qui prend en compte les modèles précédents, inclut des connaissances professionnelles générales de l'enseignant (connaissance de l'évaluation, du contenu, des caractéristiques des étudiants, du curriculum et connaissances pédagogiques). Ces connaissances générales seraient influencées par d'autres connaissances professionnelles reliées à un contenu disciplinaire spécifique (celles liées aux stratégies pédagogiques et aux formes de représentation pour un contenu spécifique, par exemple), et les influenceraient. Elles seraient affectées par des filtres ou amplificateurs tels que les croyances et les orientations des enseignants par rapport à l'enseignement des sciences, avant d'être transformées lors de la pratique en classe, elle-même influencée par le contexte. C'est à ce moment que le PCK, considéré dans ce modèle comme une base de connaissances pour la planification et l'enseignement d'un contenu spécifique et comme une

compétence au moment de la prestation en classe, entre en jeu dans le contexte de la pratique en classe. Enfin, d'autres filtres et amplificateurs liés aux étudiants, tels que leurs connaissances antérieures et leurs croyances, agiraient sur leurs résultats. Ce modèle est représenté à la figure 2.

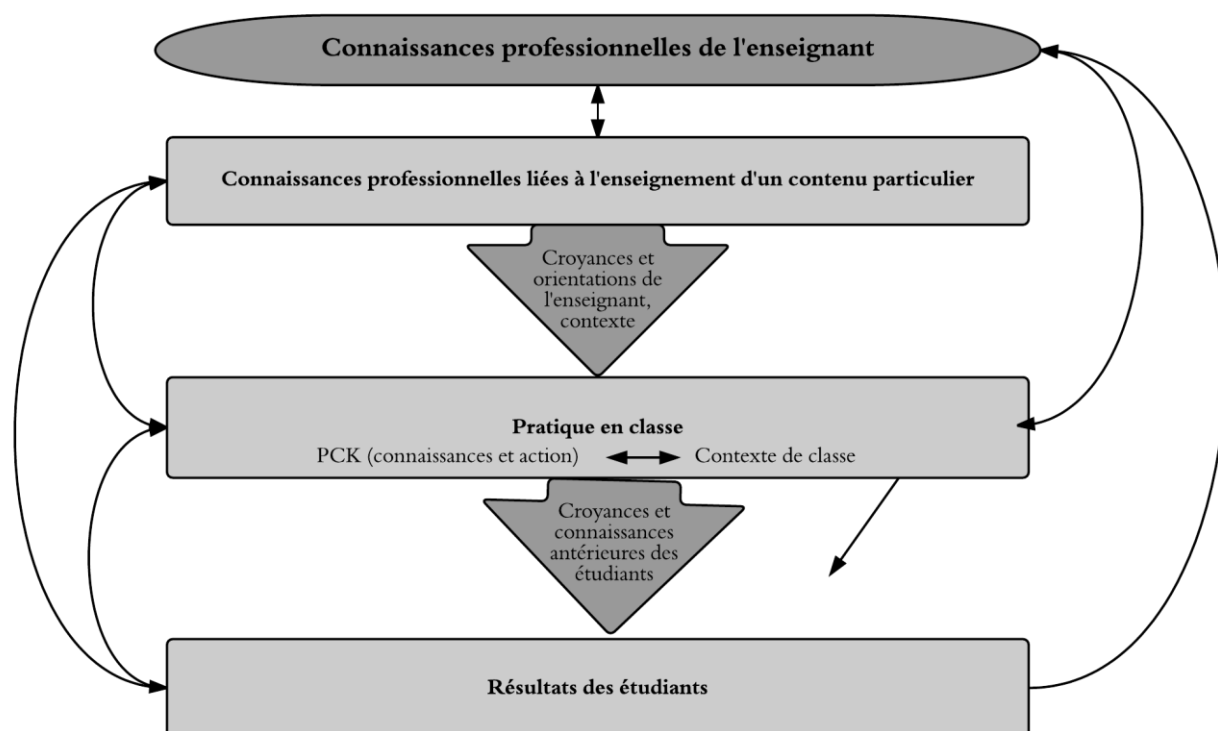


Figure 2 Modèle consensuel des connaissances professionnelles de l'enseignant (incluant le PCK). Adapté de Gess-Newsome (2015)

Après avoir examiné différentes visions de ce que peut être la connaissance pédagogique du contenu, nous présenterons un modèle pour la transformation des savoirs par les enseignants considérant le fait que cette transformation serait réalisée grâce à la connaissance pédagogique du contenu qu'ils possèdent.

3.2.2 La transformation des savoirs

Shulman (1987) situe la transformation des savoirs des enseignants dans un processus plus large, le 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 3). 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.

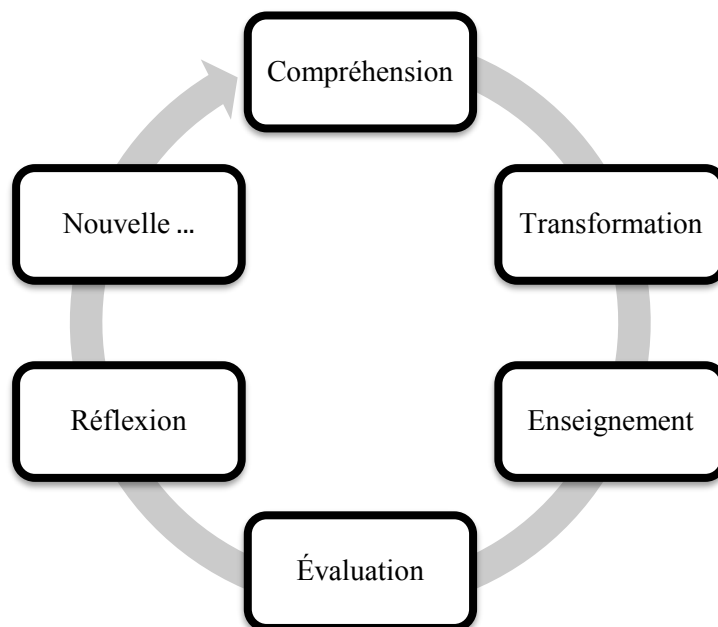


Figure 3 Modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987). Figure adaptée de Malo (2000)

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

Compte tenu du fait que notre objectif est, entre autres, de décrire les pratiques enseignantes de 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, Onslow, Beynon et Oesch, 1993; Geddis et Wood, 1997; Geddis, 1993; Sánchez et Llinares, 2003; Shulman, 1987; Van Driel et autres, 1998). Pour ces auteurs, la connaissance pédagogique du contenu serait mobilisée lors de la transformation des savoirs.

Selon Shulman (1987), la transformation, cette étape où l'enseignant part de sa compréhension personnelle du contenu pour la transformer 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 4, la combinaison ou la mise en œuvre des sous-processus suivants :

- 1) la préparation (*preparation*);
- 2) le choix des formes de représentation des notions (*representation*);
- 3) la sélection d'une stratégie d'enseignement (*selection*);
- 4) l'adaptation des représentations aux caractéristiques générales des étudiants et l'adaptation pour un groupe spécifique d'étudiants (*adaptation and tailoring to student characteristics*) (Shulman, 1987, p. 15).

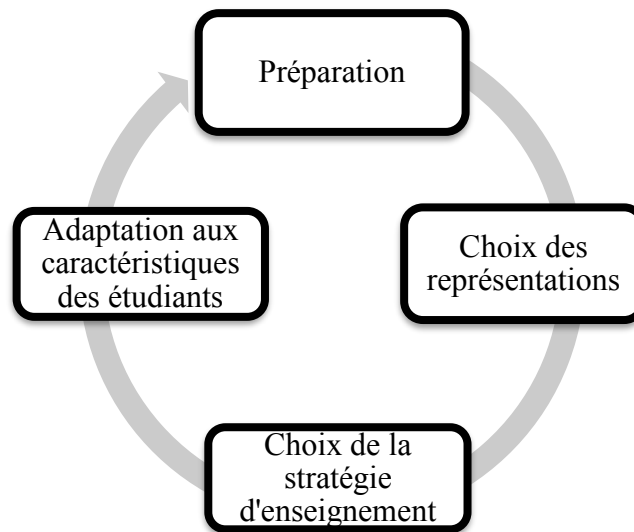


Figure 4 Processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987). Figure adaptée de Malo (2000)

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.

Préparation

Selon Shulman (1987), la préparation, aussi appelée « interprétation critique », implique que l'enseignant procède à un examen critique du matériel pédagogique (*teaching material*) disponible à partir de la compréhension qu'il a de la matière. Il doit juger si ce matériel est adapté pour l'enseignement. La préparation inclut ainsi la détection des erreurs et des oublis dans le matériel, et la structuration et la segmentation des contenus en des formes mieux adaptées à la compréhension personnelle du professeur, et donc, à l'enseignement de la matière. Les 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 sur le PCK de professeurs de sciences, la préparation correspond à l'analyse de l'objet à enseigner. Elle 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'un cours 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 professeurs aient une profonde connaissance des contenus. Il faut aussi qu'ils soient en mesure d'identifier les notions les plus importantes en lien avec leur enseignabilité (*teachability*). Cette recherche de nature interprétative a été menée auprès de trois enseignants expérimentés (de 14 à 32 ans d'expérience) en éducation physique. Elle comprenait de l'observation participante, des entrevues, l'évaluation de connaissances importantes parmi une liste de concepts donnés (*knowledge importance evaluation*) et la réalisation de réseaux de concepts 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. 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. Enfin, 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) ou de l'importance de ces notions (Schmit, Porter, Floden, Freeman et Schwille, 1987, cité dans Chen et Ennis, 1995).

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, de structurer les contenus et de choisir ceux qui sont essentiels.

Choix des formes de représentation

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.

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 tirée 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 en incluant d'autres méthodes plutôt centrées sur l'étudiant (Shulman, 1987).

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

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 demande si des aspects tels que les capacités de ses étudiants, le sexe, le langage, la culture, les motivations, les connaissances antérieures affecteront les réactions des étudiants face aux représentations sélectionnées. Il se questionne relativement aux conceptions erronées ou aux difficultés qui pourraient nuire à la compréhension des concepts. Enfin, il adapte sa planification aux caractéristiques précises de son groupe d'étudiants (Shulman, 1987).

Dans une étude réalisée en 2004 avec 12 stagiaires issus de différents domaines et qui suivaient un programme de formation à l'enseignement, Halim et Meerah ont observé, avec des questionnaires et des entrevues, qu'à cause de leur faible connaissance de la matière, ces professeurs étaient peu conscients des conceptions alternatives des étudiants et éprouvaient ainsi des difficultés à utiliser des stratégies appropriées pour l'enseignement des concepts scientifiques.

Ainsi, 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 5.

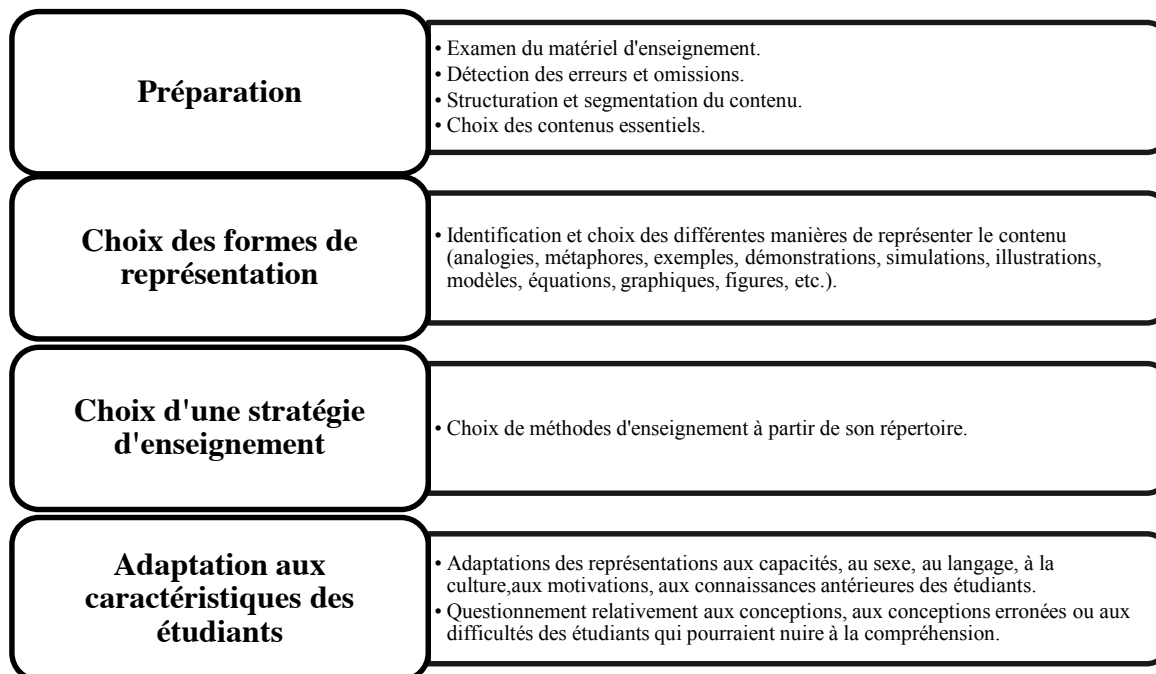


Figure 5 Les phases du processus de transformation.

Basées sur la conception du PCK de Shulman, des études de cas réalisées par Geddis et ses collaborateurs ont montré que certaines connaissances étaient nécessaires pour transformer des contenus à enseigner en des formes plus accessibles aux étudiants (Geddis et coll., 1993; Geddis et Wood, 1997). Ces connaissances formant le PCK sont celles 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).

3.3 L'enseignement des savoirs scientifiques

Dans le but de comprendre comment se déroule l'enseignement des savoirs transformés, soit la période d'interaction, nous avons consulté des modèles théoriques qui s'intéressent tout particulièrement aux processus cognitifs des enseignants.

Bien que différents modèles existent pour décrire « l'activité » des enseignants pendant leur intervention, nous choisissons de nous attarder aux travaux de Schön (1983/1994) 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 indiqué de nous référer à des modèles expliquant ces processus.

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

Schön (1983/1994) met en évidence des formes de pensée 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 entreprendre 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 étant en mode verbal, mais peut prendre différentes formes – par exemple, en musique). Schön ne tranche pas réellement entre la vision selon laquelle ces savoirs résident véritablement dans l'action, d'une part, 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 observe que dans l'exercice professionnel se glissent 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, nous réfléchissons, par exemple, à ce que l'on fait habituellement pour réussir à exécuter si bien une action particulière. Schön précise, par ailleurs, que ces réflexions dans ou sur l'action ont plutôt tendance à se produire lorsqu'une action ne donne pas les résultats 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, en l'activité mentale exercée lors de la prise de nombreuses microdécisions en lien, notamment, avec la gestion de classe et le déroulement du cours.

Perrenoud (1998a) précise toutefois que lors d'activités telles que 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 a, 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 auxquelles il réfléchira plus tard. À l'inverse, celles-ci pourront aiguiller l'enseignant à réfléchir plus rapidement dans l'action.

Nous avons retenu un autre modèle théorique qui décrit la pensée des enseignants pendant qu'ils donnent le cours.

3.3.2 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.

Dans le cadre du courant du *teacher thinking*, plusieurs auteurs ont modélisé les processus des décisions prises durant la phase interactive de l'enseignement – Snow (1972), Peterson et Clark (1978), Shavelson et Stern (1981), Kleven (1991), cités dans Wanlin et Crahay (2012). Alors que les premiers modèles proposaient, en gros, que les décisions prises durant l'enseignement en classe seraient fortement basées sur l'observation du comportement des élèves en lien avec les « seuils de tolérance » des enseignants, ces décisions, dans le modèle de Shavelson et Stern, 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 des différents modèles décisionnels ont été formulées (Riff et Durand, 1993; Wanlin et Crahay, 2012). Par exemple, on dénonce le fait 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 (Wanlin et Crahay, 2012; Riff et Durand, 1993). Ensuite, selon Riff et Durand (1993), la métaphore de l'enseignant-décideur serait erronée, car 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 considérés, surtout 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 qui fondent les 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 liées, par exemple, à l'environnement, au temps disponible, etc.

Le modèle de Wanlin et Crahay (2012) prend en compte plusieurs de ces critiques; il cerne les éléments auxquels pensent les enseignants quand ils donnent leur cours et les facteurs influençant 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 6, 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.

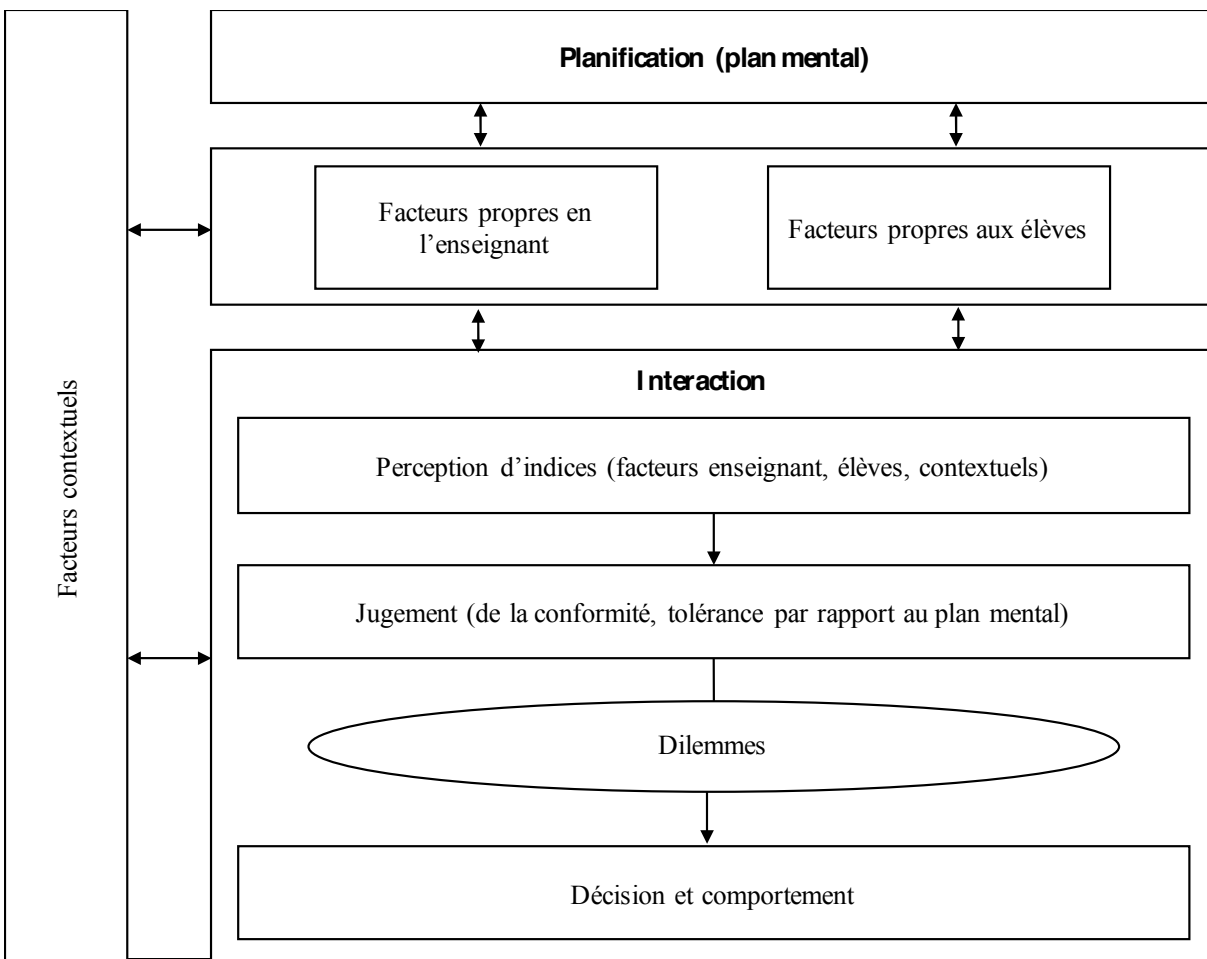


Figure 6 Un modèle intégré de la pensée interactive des enseignants (Wanlin et Crahay, 2012)

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, 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 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 – par exemple, la compréhension des élèves et leur participation. Ces indices pourraient donner lieu à des constats d'imprévus ou à des dilemmes à gérer. Selon Wanlin et Crahay (2012), les dilemmes sont « des situations perçues par l'enseignant comme étant problématiques, dans lesquelles des croyances, des buts ou des indices contradictoires entrent en compétition ». 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, il 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 que les pratiques enseignantes sont fortement influencées par le contexte dans lequel elles s'inscrivent, et donc, que ce contexte aura un impact sur ce que l'enseignant décidera lors de l'intervention.

Par ailleurs, notre choix est aussi effectué en fonction de la cohérence du modèle avec notre objectif de recherche, qui consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes de transformation de savoirs scientifiques lors de la planification et en vue de l'enseignement. Ainsi, nous ne souhaitons pas étudier en détail l'activité des enseignants pendant l'interaction, 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, selon Riff et Durand (1993), ce modèle est particulièrement utile pour l'analyse des événements dérogeant du plan, tels des incidents ou des imprévus.

3.4 Les savoirs appris et les niveaux de formulation

Pour mettre en évidence les savoirs appris par les étudiants, nous nous reporterons à la notion de niveaux de formulation. Ces niveaux 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, p. 112). 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, en effet, ne consisterait pas seulement dans la mémorisation mécanique de contenus, mais aussi dans une réorganisation de savoirs souvent déjà disponibles (Astolfi et coll., 2008, p. 113).

Il importe ainsi de prendre en compte les résultats des nombreuses recherches sur les conceptions alternatives des étudiants discutées plus tôt dans le chapitre présentant notre problématique. Selon Duit, Treagust et Wikodo (2008), les premiers travaux portant sur leurs conceptions alternatives reposaient sur deux perspectives théoriques. La première est liée aux idées cognitivistes d'Ausubel (1968, cité dans Duit et coll., 2008), voulant que le 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 se rapporte 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 cognitive et socioconstructiviste démontrent que les connaissances antérieures jouent un rôle important dans la cognition (Ausubel, 2000; Pintrich, Marx et Boyle, 1993) et se révèlent particulièrement persistantes (Tardif, 1992).

Il nous semble pertinent d'utiliser la notion de niveaux de formulation afin 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 des conceptions a eu lieu.

Park (2006, 2009) a établi différents niveaux de formulation pour la structure atomique dans sa thèse de doctorat, 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 1 présente ces niveaux de formulation de la structure atomique par les étudiants ainsi que les modèles scientifiques auxquels ils renvoient. Il importe de spécifier que ces niveaux augmentent en complexité et en précision.

Tableau 1 Niveaux de formulation de la structure atomique, adapté de Park et coll. (2009)

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 l'idée 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 elles ne sont pas représentées de façon superposée.	
9b	L'étudiant décrit différentes formes d'orbitales, et elles sont représentées de façon superposée.	
10	L'étudiant décrit les concepts principaux de la mécanique quantique (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.	

3.5 Une synthèse du cadre conceptuel

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, et bien que Shulman ne soit pas vraiment clair quant aux théories sur lesquelles il se fonde pour établir son concept de *pedagogical content knowledge*, Gess-Newsome (2015) fait valoir que le PCK a pris racine dans des théories cognitivistes.

De plus, 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 référé à deux cadres s'intéressant à la réflexion menée pendant l'enseignement, soit la réflexion dans l'action (Schön, 1983/1994) 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 l'avantage de bien 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.

Voyons maintenant les concepts et modèles d'où émergeront 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 autant dans la classe que hors de la classe et elles englobent aussi les processus cognitifs à l'origine de ces activités.

Ensuite, 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 en vue de leur enseignement et de leur apprentissage (Chevallard, 1991; Perrenoud, 1998; Shulman, 1987). Nous avons décrit les concepts clés liés au *pedagogical content knowledge* et à la transformation. Nous croyons que le processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987), issu du courant de recherches portant sur le *pedagogical content knowledge*, nous aidera à mieux comprendre comment les enseignants s'y prennent pour transformer certains savoirs scientifiques de sorte qu'ils soient plus faciles à apprendre.

Pour ce qui est de l'enseignement des savoirs transformés, nous avons emprunté, considérant notre posture théorique, le concept de réflexion dans l'action à Schön (1983/1994) et nous nous sommes reportés 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 plus ou moins complexe. Ils doivent prendre une série de décisions quant à la poursuite ou à l'adaptation de ce plan après avoir perçu des indices pouvant provenir des élèves, du contexte, mais aussi de perceptions relatives à eux-mêmes.

En ce qui concerne les savoirs acquis, nous avons choisi 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.

Bref, de ces différents concepts et modèles que nous avons exposés découlent les objectifs spécifiques de notre recherche visant à mieux comprendre les pratiques enseignantes utilisées pour la transformation des savoirs et pour l'enseignement de contenus scientifiques en lien avec les savoirs acquis par les étudiants.

3.6 Objectifs spécifiques de la recherche

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 les pratiques déclarées par les enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs, c'est-à-dire la préparation, le choix des formes de représentation des contenus, le choix du type d'activité d'enseignement et d'apprentissage, et enfin, l'adaptation aux caractéristiques des étudiants.
2. Analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive en lien, notamment, avec les pratiques déclarées par les enseignants.
3. Analyser les relations entre ces pratiques et les savoirs appris par les étudiants.

4 Méthodologie

Dans ce chapitre, nous justifierons nos choix méthodologiques dans l'objectif de mieux comprendre les pratiques pour la transformation de savoirs scientifiques lors de la planification et pour leur enseignement en lien avec les savoirs appris par les étudiants. 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 les mesures adoptées pour le respect des normes éthiques.

4.1 Type de recherche

Les 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, parce qu'une telle étude analyse en profondeur un phénomène en contexte naturel (Karsenti et Demers, 2011). Ce phénomène concernera ici des enseignants de chimie du collégial ainsi que leurs groupes d'étudiants. En lien avec le résultat final attendu, notre étude de cas sera 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, dans Karsenti et Demers, 2011) 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 la nature du concept, de l'action, de la valeur » (p. 239). Notre problème de recherche, qui concerne le manque observé dans la somme de connaissances touchant les pratiques des enseignants de chimie du collégial utilisées pour la transformation des savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome et leur enseignement, partage plusieurs de ces caractéristiques. Nous nous intéressons, 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.

4.2 Sélection des participants

Six enseignants ont été sélectionnés pour la recherche, ainsi que leurs étudiants à raison d'un groupe-cours par enseignant pour le cours « Chimie générale : la matière » (total d'environ 150 étudiants). Nous avons limité le nombre de participants, puisque la recherche qualitative ne vise pas à obtenir un échantillon représentatif, comme le veut la recherche quantitative; elle s'intéresse plutôt aux expériences des participants, ceux-ci étant choisis en fonction de la pertinence de leurs expériences en lien avec l'objectif de la recherche. Les enseignants ont été recrutés au moyen d'un courriel présentant la recherche, envoyé par la chercheuse.

La sélection des enseignants participants a été effectuée 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, 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 sont des hommes et des femmes qui donnent le cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la nature et qui ont suffisamment d'expérience tant en enseignement (au moins cinq ans) qu'avec ce 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 avaient suivi une formation créditée en pédagogie, ou encore, parce qu'ils sont reconnus dans leur milieu pour

leur intérêt envers la pédagogie. Ils proviennent de différents collèges, ce qui fournit une diversité de milieux et de cultures malgré l'homogénéité des cas. La figure 7 résume nos critères de sélection.

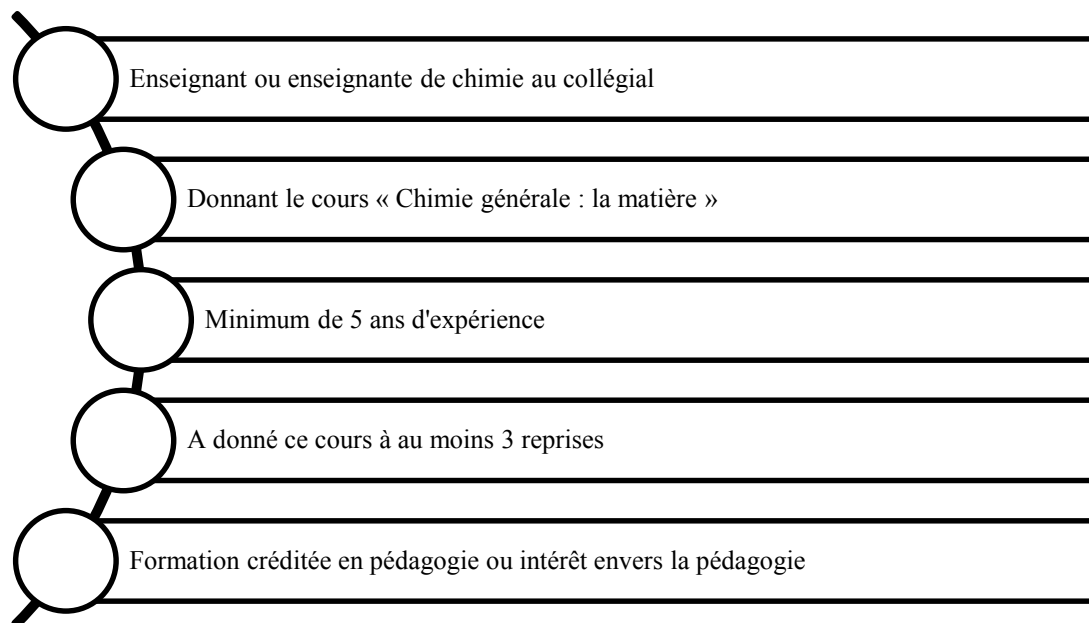


Figure 7 Critères de sélection pour le choix des enseignants qui ont participé à la recherche.

Les autres personnes retenues sont les étudiants d'un groupe de chaque enseignant participant qui ont accepté de collaborer à la recherche. Le seul critère ici était qu'ils soient inscrits au cours « Chimie générale : la matière ».

4.3 Outils de collecte de données

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

Pour recueillir les données sur les pratiques enseignantes déclarées pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous avons mené des entrevues individuelles semi-dirigées et consulté le matériel didactique élaboré 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 afin de mettre en évidence les délibérations des enseignants au moment où ils dérogent de leur plan durant l'interaction.

Enfin, pour l'étude des savoirs acquis par les étudiants, nous avons demandé à ces derniers de réaliser des schémas illustrant la façon dont ils s'imaginaient un atome et de rédiger une explication de ce schéma.

Le tableau 2 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 suit le tableau.

Tableau 2 Outils de collecte de données utilisés pour les différentes variables de la recherche.

Outils de collecte de données		entrevues semi-dirigées	enregistrement vidéo	collecte du matériel didactique	entrevues rappel stimulé	schéma expliqué initial	schéma expliqué final
Variables de la recherche et liens avec les objectifs spécifiques		P	P	P	P	É	É
	n	6	6	6	6	150	150
Pratiques déclarées pour la préparation des contenus à enseigner lors de la planification (objectifs 1 et 3)		X		X			
Pratiques déclarées pour l'élaboration de la stratégie d'enseignement (choix des représentations et méthodes d'enseignement) lors de la planification, (objectifs 1 et 3)		X		X			
Pratiques déclarées pour l'adaptation aux caractéristiques des étudiants lors de la planification (objectifs 1 et 3)		X		X			
Pratiques effectives en lien avec les contenus réellement enseignés durant l'enseignement (objectifs 2 et 3)			X	X	X		
Pratiques effectives en lien avec le type d'activité d'enseignement et d'apprentissage utilisé (formes de représentation et méthodes d'enseignement) (objectifs 2 et 3)			X	X	X		
Pratiques d'adaptation aux caractéristiques des étudiants durant l'enseignement (objectifs 2 et 3)			X	X	X		
Savoirs appris par les étudiants (objectif 3)						X	X

P = Enseignant

É = Étudiants

4.3.1 Entrevues individuelles semi-dirigées avec les enseignants (entrevues de planification)

Nous avons utilisé l'entrevue semi-dirigée comme technique de collecte de données pour connaître 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 aux adaptations aux caractéristiques des étudiants en vue de l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome. Ces entrevues avaient une durée de 45 à 60 minutes.

L'entrevue semi-dirigée 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).

De ce point de vue, les acteurs sont vus comme les meilleures personnes pour parler en détail de leur expérience et expliquer leurs comportements. Le choix de l'entrevue est donc cohérent avec l'objectif général de notre recherche, mais aussi avec l'objectif spécifique, qui est d'analyser les pratiques déclarées des enseignants pour les différentes phases de la transformation de leurs savoirs disciplinaires en savoirs qui seront acquis par les étudiants. En effet, selon Marcel et ses collaborateurs (2002), l'entrevue s'avère un instrument pertinent pour recueillir des pratiques déclarées.

Nos entrevues semi-dirigées ont été réalisées à partir d'une grille d'entrevue réunissant, entre autres, de grands thèmes tirés du cadre conceptuel 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). Les enseignants avaient, entre autres, à décrire lors de l'entrevue tout ce qu'ils avaient planifié pour leur cours 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 du contenu de la grille d'entrevue a été vérifiée par des experts, soit un professeur de

psychopédagogie et un enseignant de chimie au collégial qui n'a pas participé à la recherche. Les propos recueillis ont été enregistrés en format audio et transcrits. Les transcriptions en verbatim seront analysées par la suite.

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, à ses pensées, à ses expériences – à savoir, ici, les pratiques déclarées par l'enseignant. Ce dispositif méthodologique doit donc être jumelé à d'autres sources, notamment quand l'objectif concerne l'étude de pratiques enseignantes, puisque les verbalisations à elles seules ne peuvent être considérées comme le reflet exact des pratiques (Bru, 2002).

Pour importantes qu'elles soient, les verbalisations ne peuvent être considérées comme le témoignage complet, strictement fidèle et exclusif de la pratique de celle ou celui qui les formule. Les comparaisons entre pratiques déclarées et pratiques constatées ont montré qu'elles [les verbalisations] n'étaient pas superposables, ce qui justifie, pour connaître les pratiques, un double regard : celui du praticien et celui du chercheur extérieur (p. 67).

Considérant que les pratiques déclarées 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. Cette opération nous donnerait, estimions-nous, 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).

4.3.2 Enregistrements vidéo de la séquence de cours et entrevues de rappel stimulé

Un enregistrement vidéo de la séquence du cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome a été réalisé dans un groupe-cours de chaque enseignant participant. En moyenne, les enregistrements étaient d'une durée d'environ trois heures. Ils 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 la personne en cours d'action pour l'étude des pratiques et des activités (Forget, 2013).

Il nous a donc semblé pertinent 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 méta-cognitifs) 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). Elle portait sur le visionnement de l'enregistrement. Une consigne a été préalablement lue de sorte que les enseignants puissent bien comprendre qu'ils devaient expliquer ce qu'ils avaient en tête à différents moments de leur enseignement (annexe 2). La chercheuse avait sélectionné quelques extraits précis à visionner, mais a laissé aussi la possibilité aux enseignants de commenter d'autres extraits qui leur semblaient pertinents.

Ce choix nous a permis de reconstituer des processus mentaux des enseignants qui avaient eu cours durant leur prestation. L'entrevue de rappel stimulé a été particulièrement intéressante pour, entre autres, mettre en évidence comment les enseignants réagissaient aux imprévus. Ils avaient alors l'occasion de verbaliser certaines des idées à l'origine de leurs réactions afin de les justifier.

4.3.3 Collecte du matériel didactique élaboré par l'enseignant

Une collecte du matériel didactique élaboré par l'enseignant a été effectuée dans le cadre de la recherche : plan de leçon, notes de cours ou présentations PowerPoint. Les enseignants participants ont été invités à consulter, lors de l'entrevue semi-dirigée, les

documents qu'ils utilisent pour préparer et enseigner la section du cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome et à les remettre ensuite à la chercheuse. Ce matériel a servi de support pour l'analyse des données issues des entrevues de planification et de rappel stimulé, mais n'est pas l'objet d'une analyse qualitative à proprement parler.

4.3.4 Schémas expliqués réalisés par les élèves

Les étudiants ont eu à réaliser un schéma illustrant comment ils s'imaginaient 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). La technique utilisée s'apparente à la technique du rappel libre (De Grave, Schmidt et Boshuizen, 2001), qui consiste à recueillir des propositions, c'est-à-dire des explications et descriptions de concepts théoriques appris par les étudiants. La création d'un schéma a facilité 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 la façon dont chaque étudiant conçoit un atome.

Ozden (2009) a utilisé le dessin comme technique de recherche pour connaître l'état des connaissances et les conceptions alternatives d'étudiants à l'égard des atomes et des molécules. La représentation est souvent utilisée en recherche pour connaître la compréhension des étudiants ou leurs conceptions alternatives (Cokelez et Dumon, 2005; Cokelez, 2012; Unal et Zollman, 1999). Park (2006), pour sa part, a 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'analyser la progression des apprentissages.

4.4 Analyse des données

Nous décrivons ici les analyses qualitatives des données recueillies lors des entrevues portant sur la planification, lors des entrevues de rappel stimulé et lors de la rédaction des schémas expliqués par les étudiants.

4.4.1 Analyse qualitative des entretiens

Nous avons utilisé le modèle interactif d'analyse de données de Miles et Huberman (2003) pour l'analyse qualitative du contenu des entretiens. Ce modèle comprend trois composantes, soit la condensation des données, la présentation des données, et l'élaboration et la vérification des conclusions (Miles et Huberman, 2003). Le logiciel QDA Miner a été employé pour mener le processus d'analyse qualitative des données des entretiens.

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 à réduire le nombre des données brutes issues de la collecte afin de leur apporter du sens. Pour faciliter le codage, une synthèse structurée des propos recueillis a d'abord été rédigée après chacune des entretiens, à partir des transcriptions. Ces synthèses sont une première tentative d'appropriation des propos en vue de la codification et des analyses subséquentes. Ensuite, nous avons procédé à la codification du matériel en apposant un code à chaque partie significative de l'ensemble. Les codes sont des mots ou expressions qui servent d'étiquettes pour les différentes parties (Van der Maren, 1996). Nous avons effectué un codage mixte (Van der Maren, 1996) : une liste de codes a été établie à partir du cadre conceptuel et cette liste a été complétée au cours de l'analyse avec les propos des enseignants. Nous nous sommes inspirés des phases du codage décrites par Van Der Maren (1996) pour réaliser la codification. Les prochains points résument les étapes.

1. Relecture du cadre conceptuel 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. Calcul de l'accord interjuge : accord interjuge de 86 % pour la première entrevue portant sur la planification et de 90 % pour la deuxième entrevue portant sur la planification, accord interjuge de 71 %³ pour la première entrevue de rappel stimulé et de 76 % pour la deuxième entrevue de rappel stimulé.
8. Codage de la troisième entrevue (étapes 2 et 3) et modification de l'arbre de codes, s'il y a lieu.
9. Retour au codage des premières entrevues avec l'arbre de code final.
10. Codage des trois autres entrevues.

La présentation des données, soit 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 (Miles et Huberman, 2003) ou l'interprétation. Cette dernière phase est caractérisée par le dégagement de sens à partir des données au moyen des régularités, des patterns, des explications, des configurations possibles, des flux de causalité et des propositions, mais aussi par la vérification de ces significations (Miles et Huberman, 2003). Pour cette dernière opération, nous opterons 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).

³ Nous avons accepté d'avoir un accord interjuge plus faible lors du contre-codage des entrevues de rappel stimulé en raison de la nature de l'entrevue.

Rappelons que le matériel didactique produit par les enseignants et que nous avons examiné 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 entrevues de planification et de rappel stimulé.

4.4.2 Analyse qualitative des schémas des étudiants

Les schémas réalisés par les étudiants ont aussi été analysés de manière qualitative avec le logiciel QDA Miner. En utilisant le terme « schémas », nous faisons référence aux dessins que les étudiants ont faits pour illustrer leur façon de s'imaginer un atome, mais aussi aux phrases qu'ils ont 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 nous a permis d'établir un arbre de codes préliminaire et de choisir 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 coll. (2009).

Nous avons procédé à un codage mixte en suivant les étapes suivantes :

1. Élaboration d'un arbre de codes à partir des concepts liés aux modèles atomiques ainsi qu'aux difficultés éprouvées par les étudiants et 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), puis 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. Calcul de l'accord interjuge (accord interjuge de 94 % pour les schémas des étudiants du premier enseignant, accord interjuge de 93 % pour ceux des étudiants du deuxième enseignant).

5. 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.
6. Contre-codage des schémas des étudiants du deuxième enseignant participant et adaptation de l'arbre de codes.
7. Retour aux codages des schémas des deux premiers enseignants participants.
8. Codage des schémas des étudiants des autres enseignants participants.

Après le codage, nous avons traité les données relatives à la façon de se représenter un atome chez les étudiants par chaque enseignant participant à l'aide des niveaux de formulation établis par Park et ses collaborateurs (2009) ainsi que d'après les types de changements observés avant de procéder à l'interprétation des données.

4.5 Forces et limites de la méthodologie

La principale force de la méthodologie choisie a trait à l'utilisation de nombreux outils de collecte de données, ce qui rend possible la triangulation de celles-ci afin de comprendre un objet aussi complexe que les pratiques enseignantes. En effet, les techniques que nous employons devraient nous aider à mieux saisir certaines pratiques utilisées pour la transformation et l'enseignement de savoirs scientifiques abstraits, et à connaître le produit des apprentissages réalisés par les étudiants

La limite principale de la méthodologie concerne le choix de l'échantillonnage par choix raisonné, qui ne permet pas une généralisation des résultats. Les résultats obtenus démontrent les pratiques de quelques enseignants de chimie seulement et ne peuvent prétendre expliquer celles de l'ensemble de ces professeurs. 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 étudiés ne sont donc pas généralisables à proprement parler. Toutefois, plusieurs éléments de ces contextes sont typiques de ceux d'autres enseignants de chimie.

Enfin, nous sommes d'avis qu'une autre limite réside dans le choix de mettre en évidence les savoirs acquis par les étudiants seulement par l'examen des schémas expliqués

qu'ils ont réalisés en classe. La réalisation des schémas expliqués dans le cadre d'entrevues avec la chercheuse aurait fourni plus d'informations quant aux connaissances élaborées par les étudiants, mais nous ne pouvions malheureusement procéder de la sorte à cause de certaines contraintes.

4.6 Critères de rigueur

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

D'abord, la combinaison des pratiques observées lors des entrevues de rappel stimulé avec les pratiques déclarées lors des entretiens semi-dirigés permet la triangulation des données et limite le biais de désirabilité sociale lié à l'utilisation exclusive des pratiques déclarées. Ce moyen assure le critère méthodologique de crédibilité. Pour Merriam (1988, dans Karsenti et Demers, 2011), 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 qui a été utilisée pour s'assurer de la validité des interprétations liées aux opérations de codage. Ce moyen assure le critère de confirmation visant à faire en sorte que les données recueillies soient objectivées grâce à l'utilisation de procédures d'analyse clairement justifiées, bien appliquées et vérifiées (Savoie-Zajc, 2011).

4.7 Aspects éthiques

Différentes mesures ont été prises afin d'assurer que la recherche était menée dans le respect des normes éthiques.

Nous avons d'abord obtenu 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. Il 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 avait 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 présentée aux comités d'éthique des collèges des enseignants recrutés (lorsqu'un tel comité existait au sein de l'établissement).

Différentes mesures ont assuré le respect de la vie privée et de la confidentialité des participants. Un code formé des lettres A, B, C, D, E et F a servi à identifier chacun des six enseignants participants tout le long 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 et l'identité de la personne qu'il désignait. Aussi, les données de la recherche ont été recueillies dans plusieurs collèges pour, entre autres, s'assurer qu'on ne pouvait pas identifier le collègue d'appartenance et l'identité des participants. Enfin, nous avons utilisé des pseudonymes pour la présentation des résultats.

5 La présentation et l'interprétation des résultats

Dans ce chapitre, nous présenterons et interpréterons les résultats de l'analyse des données recueillies lors de la collecte dans l'objectif de mieux comprendre les pratiques des enseignants utilisées pour la transformation des savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome et pour l'enseignement de ces savoirs en lien avec ceux appris par les étudiants.

Présentation des résultats

Pour chacun des six enseignants ayant participé à l'étude multicas, nous présenterons les résultats de l'analyse des propos recueillis, d'une part, lors de l'entrevue portant sur la transformation des savoirs effectuée lors de la planification, et, d'autre part, lors de l'entrevue de rappel stimulé, où l'enregistrement d'une leçon était visionné par chaque enseignant en compagnie de la chercheuse. Enfin, pour chacun des groupes d'étudiants des enseignants participants, nous présenterons les résultats de l'analyse des schémas expliqués que ces élèves ont réalisés.

Nous avons sélectionné six enseignants provenant de cinq collèges ainsi que leurs étudiants d'un groupe-cours de « Chimie générale : la matière », du programme Sciences de la nature. Le tableau 3 présente les caractéristiques de chacun des enseignants participants.

Tableau 3 Profils des six enseignants participants.

	Formation disciplinaire	Expérience en enseignement au collégial	Autres expériences d'enseignement	Formation en pédagogie	Nombre de fois qu'il ou elle a donné le cours
Yvan	Baccalauréat en chimie, maîtrise et doctorat en chimie organique	5 ans (dans le même collège)	Auxiliaire d'enseignement (maîtrise) et encadrement de stagiaires (doctorat)	Non	10 fois (3 ^e fois dans la classe active d'apprentissage)
Antoine	Baccalauréat en biochimie et maîtrise en biochimie	Un peu plus de 6 ans (dans plus d'un collège)	Chargé de cours en biochimie et démonstrateur à l'université	Microprogramme en enseignement post-secondaire (15 crédits obtenus)	5 fois
Paul	Baccalauréat en chimie, maîtrise et doctorat en chimie organique	Un peu plus de 7 ans (dans plus d'un collège)	Auxiliaire d'enseignement et chargé de cours en chimie à l'université	Formation non créditée de 15 heures offerte par son collège	5 fois
Geneviève	Baccalauréat en biochimie et maîtrise en biochimie (études doctorales non complétées)	11 ans (dans plus d'un collège)	Auxiliaire d'enseignement à l'université	Programme court de deuxième cycle en pédagogie de l'enseignement supérieur	Plus de 10 fois
Evelyne	Baccalauréat en biochimie, maîtrise en microbiologie agricole (chimie organique)	13 ans (dans plus d'un collège)	Auxiliaire d'enseignement à l'université	Micro-programme en enseignement post-secondaire (15 crédits obtenus) + cours crédités Performa	Plus de 10 fois
Philippe	Baccalauréat et maîtrise en chimie	12 ans (dans plus d'un collège)	Auxiliaire d'enseignement à l'université	Diplôme de 2 ^e cycle en enseignement collégial (30 crédits complétés)	Plus de 10 fois

Chacun des enseignants évoluait dans un contexte particulier dont nous illustrons les principaux éléments au tableau 4.

Tableau 4 Éléments du contexte pour les six enseignants participants.

	Collège	Étudiants	Environnement de la classe	Moment de la session où le cours a été donné	Nombre d'élèves dans la classe	Force relative du groupe (selon le prof)
Yvan	Collège anglophone de la grande région de Montréal	Étudiants inscrits dans une option « enrichissement » (sélectionnés d'après leurs résultats scolaires)	Classe d'apprentissage actif	Semaine 8	31	Fort
Antoine	Collège francophone de la grande région de Montréal	Cohorte « en dentelle ¹ », beaucoup d'étudiants effectuant un retour aux études	Classe régulière	Semaine 7	31	Faible
Geneviève	Collège francophone de la grande région de Montréal	Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours	Classe régulière	Semaine 4	47	Moyen
Evelyne	Collège francophone de la grande région de Montréal	Cohorte « en dentelle »	Classe régulière	Semaine 2	10	Moyen-faible
Philippe	Collège francophone de la grande région de Montréal	Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours	Classe régulière	Semaine 4	20	Moyen
Paul	Collège francophone de la grande région de Montréal	Étudiants avec cheminement régulier selon la grille de cours	Classe régulière	Semaine 4	24	Moyen

¹ L'expression *cohorte en dentelle* signifie que les étudiants suivent un cours à un moment différent de celui normalement prévu dans la grille de cours.

Le cas d'Yvan

Yvan enseigne la chimie dans un collège anglophone de la région de Montréal depuis cinq ans. Il est titulaire d'un baccalauréat en chimie, d'une maîtrise et d'un doctorat en chimie organique. Dans la prochaine section, nous décrirons certains éléments de son rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome, nous mettrons en lumière ses pratiques déclarées pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous discuterons des écarts entre les pratiques déclarées et celles observées en classe, et enfin, nous analyserons les savoirs acquis par les étudiants.

Le rapport aux savoirs des enseignants

Les enseignants participants ont été interrogés relativement à certaines dimensions de leur rapport aux savoirs touchant le modèle probabiliste de l'atome.

Une réappropriation des savoirs pour l'enseignement

Yvan, qui est titulaire d'un doctorat en chimie organique, a précisé qu'il avait dû revoir les savoirs en prévision de ce qu'il allait enseigner, mais aussi, de façon plus large, en prévision des questions qui pourraient être posées par les étudiants.

« Ce que j'ai essayé de faire en retournant, en définissant mieux certains termes ou des zones grises qui étaient [...], que l'on ne considérait pas si importants que cela. Puis là, c'est important parce que même si ce n'est pas nécessairement directement lié au cours ou pas directement lié à une question d'examen, il y a des étudiants qui sont intéressés par cela. Il y a toujours des questions qui viennent d'étudiants par rapport à ça. Des fois, on n'a pas le temps d'en parler dans le cours, mais on peut en parler à l'extérieur du cours quand ils viennent à nos bureaux. Ma connaissance a complètement, pas complètement, mais a changé parce qu'il fallait que je redéfinisse certains termes et puis que je sois sûr du rôle de chaque aspect dans toutes ces relations-là. »

Il juge que ses connaissances en lien avec la dualité onde-particule de l'électron sont relativement limitées, mais qu'elles dépassent le niveau du cours.

La connaissance des savoirs difficiles à enseigner

Yvan souligne que les savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome sont difficiles à enseigner en raison, entre autres, de leur niveau d'abstraction.

« Ces notions sont difficiles à enseigner parce que c'est sûr que c'est des concepts qui sont plus abstraits. On n'a pas une image physique en 3D macroscopique de ce que c'est. À cause de ça, ça devient un peu plus difficile. »

Toutefois, selon Yvan, même si ces notions peuvent être difficiles à enseigner, le fait qu'elles soient nouvelles pour les étudiants rend ceux-ci plus réceptifs, ce qui a pour effet de faciliter l'enseignement.

La transformation des savoirs lors de la planification

Avec le modèle de la transformation de Shulman (1987) comme cadre d'analyse, nous avons décrit les processus empruntés par Yvan pour transformer les savoirs à enseigner ainsi que les justifications derrière ses choix.

La préparation

Yvan a abordé l'examen du matériel d'enseignement, le choix des contenus essentiels ainsi que l'élaboration de matériel didactique.

- Examen du matériel d'enseignement

Yvan raconte que la première fois qu'il a donné le cours, il avait seulement un manuel pour le préparer, et ses collègues lui avaient dit qu'il devait enseigner tout ce qui se trouvait dedans. Il s'est rendu compte avec les années qu'il n'avait pas suffisamment de temps pour couvrir toute cette matière.

« La première fois que j'ai enseigné le cours, j'avais juste le livre. On m'a dit on enseigne tout. Alors j'enseignais tout. Puis je suis arrivé un peu serré pour finir dans l'année. Donc, je réalise que bien que ce soit ça qui soit dicté, il y a peut-être un peu trop de notions à évoquer en tant que professeur dans un cours. Donc, on doit faire des choix, il y a des choses qui ne peuvent pas être enseignées. Donc ils y ont accès au livre, aux notes de cours. En classe, on n'a pas le temps de couvrir nécessairement tout. »

Yvan a alors décidé de faire des choix.

- Choix des contenus essentiels

Il choisit d'enseigner explicitement en classe des notions pour lesquelles une application (mathématique) est possible.

« J'ai choisi de conserver des notions peut-être, avec le temps, qui sont peut-être plus... qui ont une application derrière, si tu veux. Quand je dis application, ça peut être une question d'examen, mais aussi qu'on peut faire un exercice avec eux là-dessus. Les notions de Schrödinger, De Broglie, je ne peux pas faire d'exercices numériques là-dessus. Donc, j'ai préféré passer du temps en classe pour préparer, essayer, puis répondre aux questions portant sur les problèmes numériques. »

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.

« On pourrait argumenter, mais ce n'est pas que ce n'est pas important, mais de ne pas parler de ça, ça 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 autre chose... J'essaie de choisir des choses qui me servent par la suite et qui ont une application directement en classe. Comme s'il y a un problème, on va pouvoir le poser parce qu'il va y avoir des répercussions sur tout le reste. Si c'est des notions où il n'y a pas de répercussion sur le reste, j'ai peut-être tendance à moins mettre d'accent là-dessus.

« Puis quand ils vont aller en chimie des solutions, ça va les aider et surtout quand ils vont aller en chimie organique : essayer de comprendre toutes les interactions du carbone, pourquoi est-ce qu'il fait quatre liens, etc. C'est là que c'est important, je pense, les chiffres quantiques, la configuration électronique, etc. C'est important parce que ça va leur permettre de comprendre les hybridations. Bon, c'est là que moi je veux les amener, peut-être parce que justement j'ai un *background* en chimie organique. »

- Rédaction de matériel didactique

Yvan a réalisé des présentations PowerPoint ainsi que des notes de cours pour ses étudiants. Il expose les contenus qu'il souhaite enseigner explicitement dans ses PowerPoint, et les étudiants ont des notes de cours où tous les concepts à apprendre sont présents.

Le choix des formes de représentation

Les enseignants ont été invités à décrire tout ce qu'ils avaient planifié pour leur cours et à justifier leurs choix. Ces informations ont été consignées dans un tableau de planification (annexe 4). Nous avons ainsi pu mettre en évidence différentes formes de représentation utilisées par les enseignants ainsi que les raisons derrière leur choix. Le tableau 5 illustre la fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Yvan.

Tableau 5 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Yvan.

Types de représentations	
Analogie	2
Figure	4
Dessin (à la main)	1
Représentation tirée d'un film ou d'une émission	3
Animation (vidéo)	2
Matériel (ballons, modèles en 3D)	0
Équation mathématique	0
Truc du prof	0

Le tableau 6 illustre la fréquence des justifications énoncées par Yvan pour le choix de ses formes de représentation.

Tableau 6 Fréquence des justifications énoncées par Yvan pour le choix de ses formes de représentation.

Justifications	
Champs d'intérêt personnels du prof	1
Attirer l'attention des étudiants	3
Illustrer, expliquer	5
Humour	0

Dans la planification d'Yvan, les figures et les représentations tirées de films ou d'émissions sont les formes les plus utilisées.

Yvan précise que plusieurs des représentations qu'il a conçues sont en lien avec ses champs d'intérêt personnels pour la télévision, le cinéma et les *comic books*. Les figures 8 et 9 en présentent deux.

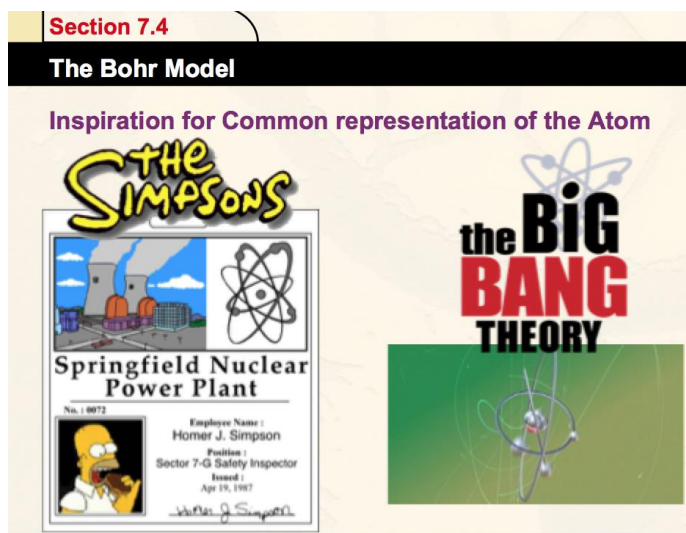


Figure 8 Représentation réalisée par Yvan et inspirée d'une émission de télévision.

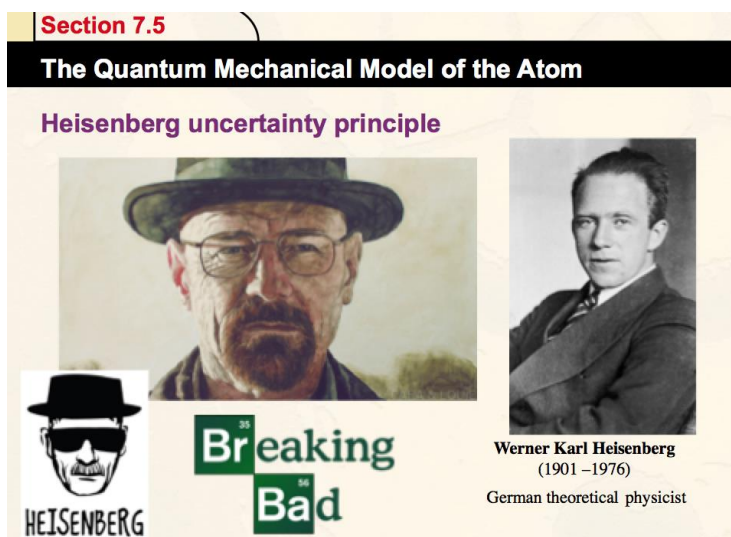


Figure 9 Représentation réalisée par Yvan et faisant référence à une série de télé.

Yvan explique que ces représentations, qui n'ont pas un pouvoir explicatif très grand, ont plutôt été choisies pour attirer l'attention des étudiants. Il sait que ceux-ci ont beaucoup d'intérêt pour ces émissions.

Yvan utilise aussi une analogie avec le jeu Battleship (figure 10) pour expliquer que les nombres quantiques sont en quelque sorte des coordonnées pour l'électron, coordonnées semblables à celles utilisées pour décrire la position des bateaux dans le jeu.

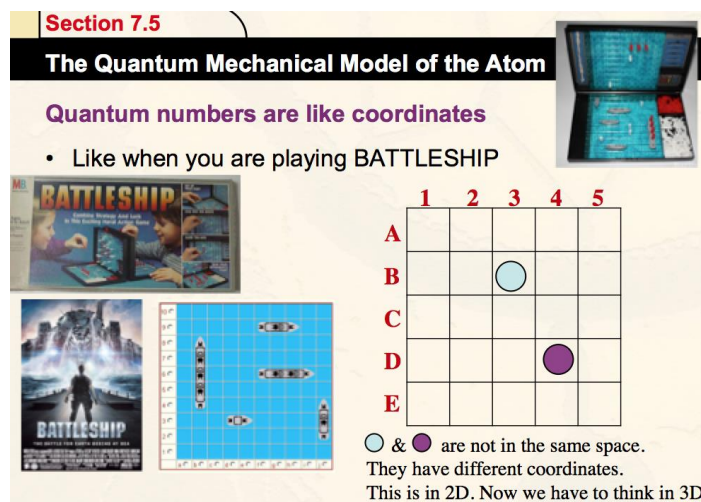


Figure 10 Analogie réalisée par Yvan pour l'enseignement des nombres quantiques.

Enfin, Yvan présente plusieurs figures, tirées pour la plupart du manuel, afin d'illustrer et d'expliquer les probabilités de présence, les formes ainsi que l'orientation des orbitales.

Le choix d'une stratégie d'enseignement

Le tableau 7 illustre la fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Yvan.

Tableau 7 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Yvan.

Activités d'enseignement et d'apprentissage	
Introduction	0
Rappel	1
Vision globale des thèmes de la leçon	0
Questionnement	0
Explications (exposé magistral)	11
Exemples (par le prof)	1
Exercices (individuels, en équipe ou en groupe)	4
Résumé	0

Les explications sous la forme d'exposés magistraux sont le type d'activité d'enseignement le plus souvent utilisé par Yvan.

Viennent ensuite les exercices faits individuellement, en équipe ou en groupe. Rappelons, à cet effet, que cet enseignant donnait son cours dans une classe d'apprentissage actif, une classe aménagée souvent en îlots de tables de façon à favoriser la collaboration ou la coopération et avec, généralement, un accès à des technologies (par des tableaux blancs interactifs). Il lui arrivait donc d'envoyer aux étudiants des exercices à résoudre sur les tableaux blancs.

« Et puis après, par contre, après ces deux exercices d'application rapides, là, je vais leur envoyer un exercice où ils ont les 3 chiffres qu'on a appris, les 3 premiers chiffres quantiques, et ils doivent me dire si c'est des chiffres possibles ou impossibles. Donc ça, ils vont résoudre ça en équipe. On peut voir leurs réponses sur les tableaux et puis moi je peux voir leurs réponses sur les tableaux. Et ensuite, je vais circuler. Je vais leur laisser 5 minutes pour faire cela. Je vais circuler si, des fois, ils m'interpellent. S'ils ne m'interpellent pas, je regarde. Ça va bien sauf qu'en même temps, ça va se faire vite. Il y a des tables qui vont finir avant d'autres. »

Le tableau 8 illustre la fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Yvan.

Tableau 8 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Yvan.

Justifications	
Vérification de la compréhension des étudiants	1
Faire des liens	3
Résolution en groupe	1
Répétitions	1
Pour s'exercer	0
Autres justifications	1

La principale justification énoncée est de faire des liens. Yvan nous a expliqué à quelques reprises comment sa façon de présenter les contenus lui permettait de faire des liens

entre ceux-ci. Il nous a expliqué que le fait de donner des exercices aidait aussi les étudiants à atteindre cet objectif.

Yvan a aussi précisé qu'il lui arrivait de préparer des diapos dans sa présentation PowerPoint seulement en prévision des questions des étudiants – par exemple, une diapo décrivant la provenance des lettres utilisées pour le nombre quantique secondaire, un élément qu'il n'abordera pas à moins d'avoir une question sur ce sujet. Il sait, par contre, qu'il y a de grandes chances que cette question lui soit posée, puisque cela est arrivé souvent dans le passé. C'est dans cette perspective qu'il a choisi d'intégrer du matériel à sa planification.

L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Avant de discuter des moyens mis en place par Yvan pour l'adaptation de sa planification aux caractéristiques des étudiants, nous exposerons certaines de celles-ci. Les étudiants d'Yvan étaient inscrits dans une option « enrichissement » du programme Sciences de la nature, une option où les élèves sont sélectionnés sur la base de leurs résultats scolaires, ce qui leur confère certaines particularités.

« Et je t'avertis, le groupe que j'ai aujourd'hui, c'est un groupe *enrichi*. Des étudiants qui ont eu normalement de meilleurs résultats scolaires au secondaire. Ils sont tous mis ensemble. C'est les meilleurs... C'est ce qu'on dit, c'est ce qu'on aimerait... Il y a une différence avec ces étudiants-là, c'est-à-dire que ce sont des étudiants qui sont très bons dans le par cœur, qui ont été très bons dans le par cœur durant le parcours secondaire. Le fait qu'ils étaient bons en par cœur, ils ont pu bien performer parce que par rapport au reste, c'était suffisant. Avec la compréhension, ils sont extrêmement *inséures*, extrêmement *inséures*. »

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

Il dit prendre en compte le fait que ses étudiants sont « inséures » et adapter sa planification en leur fournissant davantage de ressources et de documents.

Lorsqu'interrogé relativement aux conceptions que les étudiants pouvaient entretenir à l'égard des modèles atomiques, Yvan a expliqué que, selon lui, la plupart voyaient l'atome comme un noyau fait de protons et de neutrons, encerclé d'électrons à la manière du modèle de Rutherford-Bohr enseigné au secondaire.

Yvan a commencé par dire qu'il ne prenait pas vraiment en considération ces conceptions entretenues par ses étudiants pour planifier et donner son cours.

« 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. Donc, oui, je pars de zéro. »

Il a par la suite précisé qu'il faisait des liens avec le modèle de Bohr – pour lequel, par ailleurs, même s'il possède plusieurs limites, nous conserverons quelques idées telles que la notion de couche électronique.

L'enseignement des savoirs

Dans l'objectif d'analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive en lien, notamment, avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous avons procédé à des entretiens de rappel stimulé où ceux-ci étaient invités à expliquer ce qu'ils avaient en tête au moment où ils enseignaient, et ce, au moyen du visionnement de l'enregistrement vidéo de leur leçon. Ces entretiens ont révélé certains écarts entre les pratiques déclarées et les pratiques effectives.

Yvan nous a confirmé ce que nous avons pu observer, soit qu'il y avait peu de différences entre ce qu'il avait planifié et ce qui s'est réellement passé en classe.

Par contre, les propos recueillis lors de l'entretien de rappel stimulé ont mis en évidence certains moments où Yvan avait eu à réfléchir dans l'action et, dans certains cas, à prendre certaines décisions dans l'action. Nous avons aussi noté des moments où Yvan réfléchissait a posteriori sur son action. Le tableau 9 présente la fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entretien de rappel stimulé réalisée avec Yvan.

Tableau 9 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Yvan

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

On voit que plusieurs prises de décision ont été relevées pendant la réflexion dans l'action et que plusieurs thèmes étaient plutôt liés à la réflexion sur l'action.

Les indices à la base des décisions les plus fréquents que nous avons relevés étaient liés aux étudiants : leurs réactions face aux questions du prof ainsi que des questions que ceux-ci ont posées. Nous donnerons deux exemples.

L'extrait suivant illustre une réflexion dans l'action engendrée par la question d'un étudiant, ce qui a suscité l'apparition d'un dilemme pour l'enseignant. Nous avons souligné les éléments clés de la réflexion dans l'action des enseignants.

« Donc, lui, il me parle justement des nœuds. [...] Donc, lui, c'est ça, il y en a quelques-uns qui ont fait de l'enrichissement au secondaire, donc qui ont vu ces petites choses-là! Donc, ils me glissent des petites questions qui me font comprendre qu'ils ont vu ça. Mais je sais où il s'en allait, puis je sais que dans mettons dans 5 diapos, on va en parler, des nœuds. Donc, c'est pour ça que je réponds, mais en sachant très bien qu'on va y répondre plus en détail plus tard là. C'est pour ça que je disais par rapport à 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, bon, je veux interagir avec lui, donc je trouve ça bien. 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 ils viennent tous de rentrer au cégep, c'est différent pour eux, ils ne se connaissent pas. Ils sont tous dans ce cours-là, ils savent qu'ils sont tous forts. Quand il y en a qui posent des questions, par rapport à un groupe d'enrichissement, c'est que les autres qui n'ont jamais vu ça, ils semblent 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. Il y a de l'attitude aussi. Ces jeunes sur la testostérone, c'est fort, là! Il faut qu'ils impressionnent. »

Nous avons illustré le processus décisionnel d'Yvan à la figure 11 d'après le modèle intégré de la pensée interactive de Wanlin et Crahay (2012).

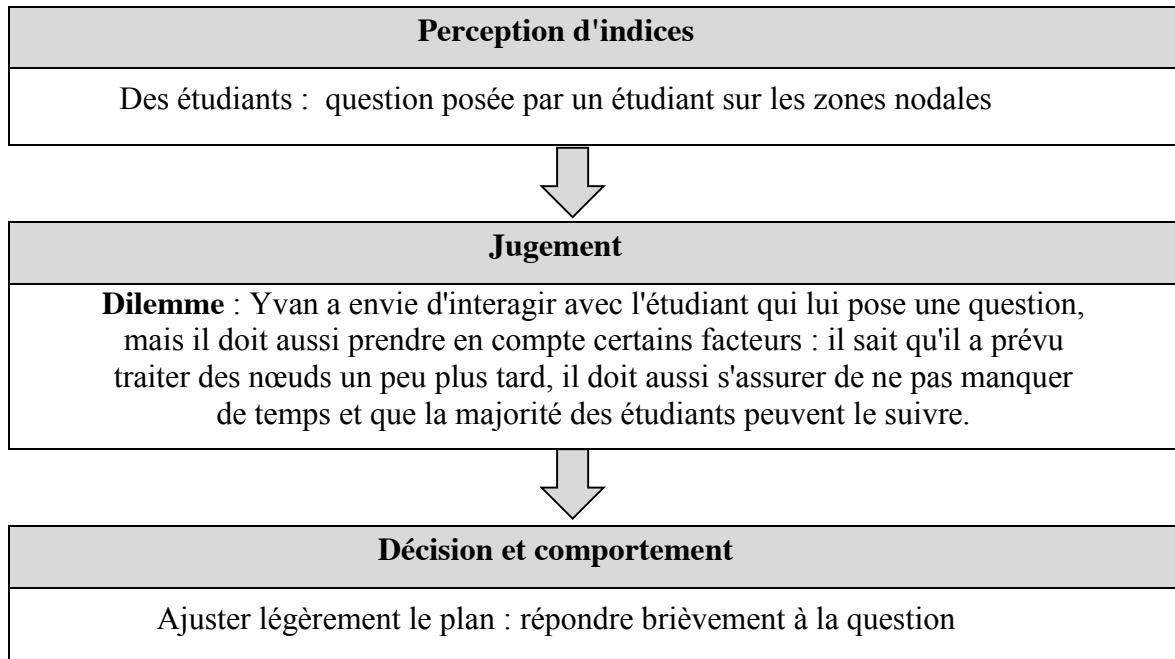


Figure 11 Exemple de processus décisionnel d'Yvan impliquant un dilemme et ayant mené à un ajustement léger du plan.

L'extrait suivant d'un échange entre l'interlocutrice (C) et Yvan (Y) illustre un exemple de réflexion dans l'action suscitée par les réactions des étudiants à une question posée par l'enseignant. En effet, cet extrait contient les propos de l'enseignant en lien avec une question qu'il a posée aux étudiants et à laquelle il n'a pas eu de réponse.

« - C : Ça, c'est un genre de question ouverte, interactive; tu t'attends à ce que les étudiants vont te répondre. Puis là, le niveau de réponse...

- Y : N'est pas... Oui, mais c'est très informatif, ça me donne une information dont j'ai besoin. Dans le sens que s'ils ne me répondent pas, c'est ou bien ils ne comprennent pas, ou bien c'est que c'est juste trop plate. Let's go! C'est beau! on peut-tu passer à autre chose?

- C : Faut que tu les stimules aussi.

- Y : Oui... donc c'est ça. Ça me dit que bon, ils ont compris ça, pis je sais qu'il y d'autres choses qu'ils vont moins bien comprendre.

- C : Donc ça se peut que... On aurait tendance à penser : ils ne répondent pas, donc ils ne comprennent pas! Mais ça se peut que ce soit tout à fait le contraire.

- Y : Oui... Ils ont compris, c'est beau, là! On peut voir là, le nombre de fois que j'ai demandé : *C'est quoi les valeurs de M_i ?*, ils vont me le dire au début : -3, ils ne vont pas me dire : -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3... Ils ont compris, si on dit -3, c'est -3 jusqu'à 3, là! Donc, je les faisais répéter, mais...

- C : Peut-être dans le ton? Tu vas chercher une information dans le ton?
- Y : Oui, oui. Le ton et le niveau de participation. Parce qu'au début, les vite ils vont répondre ; après, quand ça fait trois fois que je pose la même question, les vite ils ne veulent plus répondre : Ok, tu me demandes des choses trop simples, là, est-ce qu'on peut passer à autre chose? Donc, ça, je comprends, donc j'essaie d'accélérer, vu que ce n'est pas la première fois que je le donne, j'ai de la matière, ce n'est pas comme la première fois où tu donnes un cours puis que tu as peur de manquer de matière. J'en ai de la matière, donc on a juste à avancer plus vite! »

Le processus décisionnel d'Yvan est illustré à la figure 12.

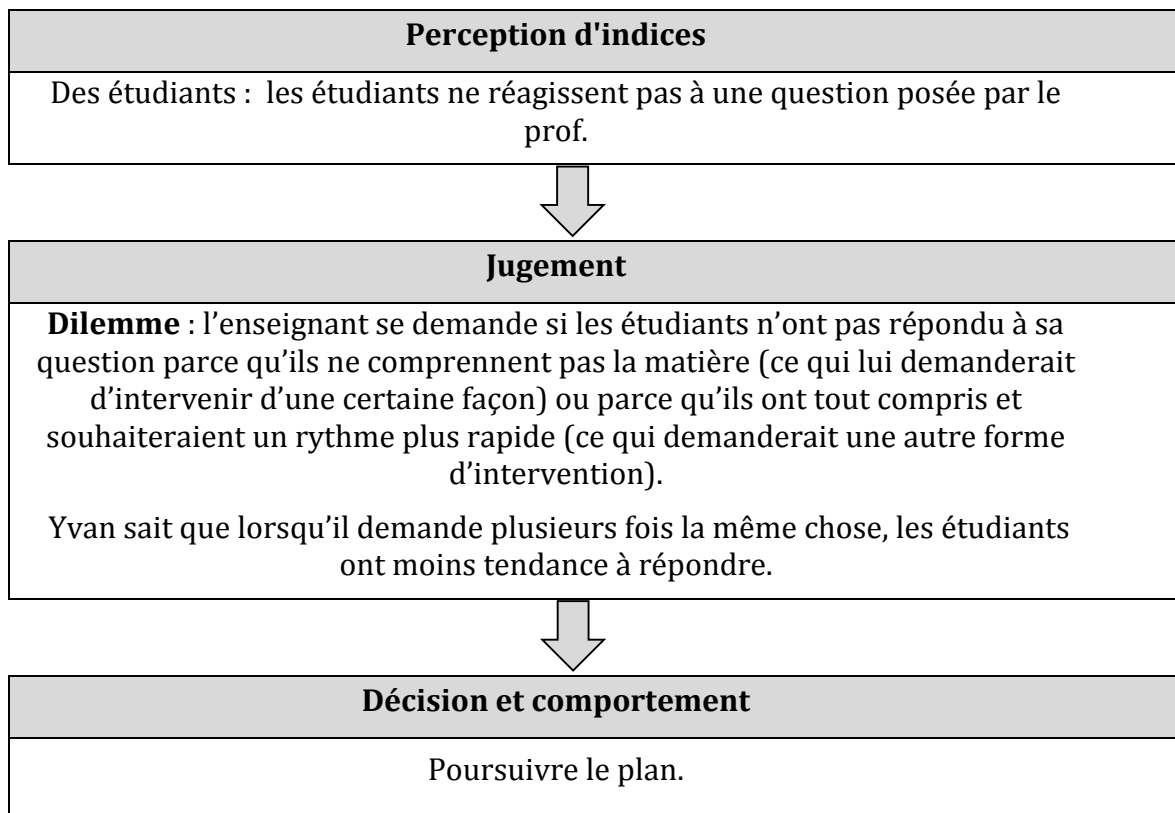


Figure 12 Exemple de processus décisionnel d'Yvan impliquant un dilemme et ayant mené à la poursuite du plan.

L'analyse des propos d'Yvan lors de l'entrevue de rappel stimulé a aussi mis en évidence des moments de réflexion sur l'action, c'est-à-dire des moments après l'action où l'enseignant réfléchit à ce qui s'est passé. Dans le cas du prochain extrait, Yvan discute, après-coup, d'une question qu'il croyait que ses étudiants poseraient et des raisons qui ont pu faire en sorte que les étudiants n'ont pas posé la question.

« - Y : Je pense que le concept passe moins bien quand tu leur dis après : *Ok, mais là, il y a un 3p, un 4p, un 5p*, là, comment ils s'emboîtent l'un dans l'autre, là, [ils] sont moins sûrs. Je t'avoue que j'aurais cru que, qu'ils m'auraient demandé pourquoi est-ce... Pourquoi est-ce qu'ils se combinent un sur l'autre? Pourquoi il n'y a pas d'interactions? Ça, j'avais vraiment prévu ça; le fait qu'ils ne me l'aient pas demandé, je me suis demandé : est-ce que c'est parce que ce n'est pas clair? Donc ils n'arrivent pas à faire ce raisonnement-là? Ou, c'était déjà clair pour eux? J'ai un peu peur...

- C : Ou peut-être juste qu'ils ne se posent pas la question.

- Y : C'est ça... Mais s'ils ne se posent pas la question, je me demande moi, est-ce que c'est que j'ai mal enseigné, pour que ça se rende jusque-là? Pourquoi ils ne se sont pas posé la question? Je n'ai peut-être pas encouragé l'apprentissage de la bonne manière... J'aurais cru que ça aurait dû susciter ce type de question-là. »

On peut voir dans cet extrait qu'Yvan se questionne quant à la compréhension de ses élèves et quant à son enseignement en faisant un commentaire critique sur sa prestation, à savoir si sa façon de faire était la meilleure pour favoriser les apprentissages.

Enfin, nous avons relevé quelques situations où Yvan a, après une réflexion sur l'action concernant des événements passés, a décidé d'apporter certaines modifications. Par exemple, dans l'extrait suivant, Yvan raconte qu'il a décidé d'intégrer une nouvelle diapo à sa présentation, diapo qu'il ne présente pas à moins que des étudiants lui posent la question, à la suite d'une question qui lui avait été posée et pour laquelle il n'avait pas eu de réponse.

« - Y : Ils n'ont pas posé la question, puis je pense qu'on va le voir, là, je vais passer par-dessus la diapo, mais cinq minutes plus tard, il y a un gars qui va me poser la question, puis je vais revenir à cette diapo-là.

- C : Tu me l'avais dit.

- Y : Oui, je te l'avais dit d'avance.

- C : Donc, ce que j'en comprends, c'est que ce qui aurait pu être déstabilisant, bien là, tu te l'es probablement déjà fait faire, donc tu prévoies quelque chose dont peut-être tu ne te serviras pas, mais...

- Y : Oui, c'est exactement ça! C'est une question qui m'a déjà été posée, je ne savais pas trop... Puis tu as beau avoir un doctorat, cette affaire-là, tu ne t'es pas nécessairement interrogé là-dessus. Tu n'es pas à 100 % sûr que t'en avais entendu parler! Je pensais que c'étaient des lettres qui signifiaient quelque chose en allemand en fait, et je m'étais sûrement mélangé avec quelque chose d'autre! Et puis j'avais répondu... donc je m'étais dit, il faudrait quand même que je fasse une diapo là-dessus, le jour qu'on me le demande, et c'est ça la beauté de PowerPoint,

c'est que si tu n'as pas la question, tu passes... »

Maintenant que nous avons décrit les pratiques déclarées par Yvan lors de l'entrevue de planification ainsi que les changements dans les pratiques effectives par rapport à ce qui avait été planifié en lien avec les décisions prises, nous présenterons les résultats liés aux savoirs acquis par ses étudiants.

Les savoirs appris

Nous avons demandé aux étudiants de chacun des enseignants participants de représenter schématiquement comment ils s'imaginaient un atome d'azote et de fournir une explication écrite à ce schéma, et ce, au début et à la fin du cours.

Les niveaux de formulation selon Park (2009)

Nous avons ensuite classé chacun des schémas selon les niveaux de formulation établis par Park (2009). Ces niveaux ont été définis en détail au tableau 1. Le tableau 10 illustre le pourcentage d'étudiants du groupe d'Yvan ayant représenté l'atome selon chacun de ces niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Tableau 10 Pourcentage d'étudiants du groupe d'Yvan ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Niveaux de formulation selon Park (2009)	Fréquence (%)	
	S1	S2
1 Atome = particule		
2 Particules subatomiques		
3 Électrons autour du noyau	3,2	
4 Orbites circulaires		
5a Électrons sur orbites circulaires de différents niveaux	90,3	9,7
5b Électrons sur orbites de différentes formes	3,2	3,2
6 Modèle de Bohr (quantification de l'énergie)		
7 Électrons dans régions		
8 Électrons : probabilité de présence	3,2	
9a Électrons dans orbitales de différentes formes (non-superposées)		
9b Électrons dans orbitales de différentes formes (superposées)		74,2
10 Concepts (dualité, probabilité, ect)		
Autre		9,7

On remarque que, au début du cours, un peu plus de 90 % des étudiants ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 5a : les électrons se trouvent sur les orbites circulaires permises de différents niveaux, à la manière du modèle de Bohr. Ce résultat concorde bien avec ce qu'Yvan nous avait expliqué lorsque nous l'avons interrogé à propos des conceptions alternatives de ses étudiants.

À la fin du cours, près de 75 % des étudiants ont imaginé l'atome selon le niveau 9b, voulant que les électrons se retrouvent dans des orbitales de différentes formes, un niveau de formulation qui appartiendrait au modèle probabiliste, en faisant une représentation qui mettait en évidence la superposition des orbitales.

Ces données montrent qu'une très grande proportion des étudiants d'Yvan ont changé leur façon de décrire la structure de l'atome à la fin de la session. Rappelons, à cet effet, que ses étudiants faisaient partie d'un groupe très fort inscrit dans une option « enrichissement », ce qui peut, en grande partie, expliquer ces résultats.

Un changement dans la façon de concevoir l'atome ?

Lors de l'analyse des schémas expliqués, nous avons catégorisé les types de changement possibles entre la représentation du début de la session et celle de la fin, selon le modèle atomique enseigné auquel le schéma correspondait. Le tableau 11 montre que pour près de 90 % des étudiants, il y a eu un changement positif vers un modèle plus complexe (qui n'est pas nécessairement le modèle probabiliste).

Tableau 11 Types de changement dans la façon dont les étudiants d'Yvan conçoivent l'atome.

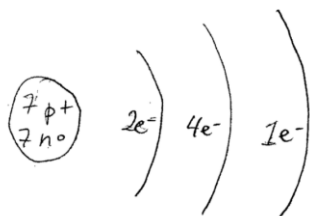
	Pourcentage d'étudiant
	%
Changement négatif (vers un modèle moins complexe)	
Aucun changement	9,7
Changement positif (à l'intérieur du même modèle)	3,2
Changement positif (vers un modèle plus complexe)	87,1
On ne peut pas dire	

Nous présenterons un exemple de chacun des deux types de changements les plus fréquents, soit le cas d'un changement positif vers un modèle plus complexe et le cas où aucun changement n'est observé.

Un cas où l'on observe un changement positif vers un modèle plus complexe

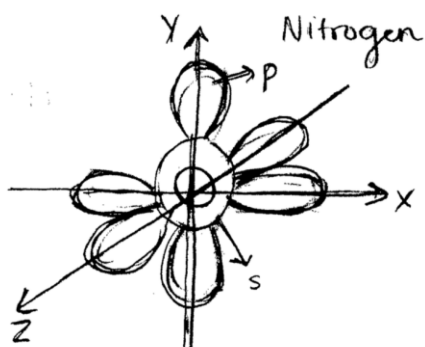
L'étudiant 5, dont les schémas sont présentés à la figure 13, a changé sa façon de concevoir l'atome en passant d'un niveau de formulation 5a pour le premier schéma (bien qu'il contienne des erreurs) à un niveau de formulation 9b pour le schéma 2. Cela correspond, selon notre classification, à un changement positif vers un modèle scientifique plus complexe.

Schéma 1 fait par l'étudiant 5 (niveau de formulation 5a)



The nucleus contains 7 protons and 7 neutrons. There are 3 "levels" where the electrons are: the first one has 2 electrons, the second one has 4 electrons and the last one has 1 electron.

Schéma 2 fait par l'étudiant 5 (niveau de formulation 9b)



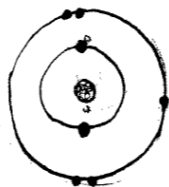
Nitrogen has different orbitals (s and p). s orbitals are spheric. p orbitals are in all 3 dimensions (x, y, z). Orbitals represent the zones where electrons have the biggest probability to be in.

Figure 13 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 5 du groupe d'Yvan.

Un cas où l'on observe une absence de changement

La figure 14 illustre les schémas réalisés par l'étudiant 2. On peut voir que celui-ci conçoit l'atome de la même façon au début et à la fin de la session. Ses représentations coïncident avec le niveau de formulation 5a de Park (2009).

Schéma 1 fait par l'étudiant 2 (niveau de formulation 5a)

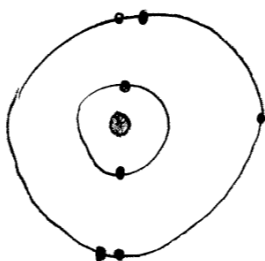


The nitrogen atom has 5 valence electrons because it is in group IIIA and $8-3=5$.

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 fait par l'étudiant 2 (niveau de formulation 5a)

$\cdot \bar{N} |$



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 those electrons are in the 2nd shell, and the other two in the first. We know there are two shells due to its period.

Figure 14 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 2 du groupe d'Yvan.

Le cas d'Antoine

Antoine enseigne la chimie dans un collège de la région de Montréal depuis un peu plus de six ans. Il détient un baccalauréat et une maîtrise en biochimie. Dans la prochaine section, nous décrirons certains éléments de son rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome, nous mettrons en lumière ses pratiques déclarées pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous discuterons de pratiques observées en classe, et enfin, nous analyserons les savoirs appris par les étudiants.

Le rapport aux savoirs des enseignants

Les enseignants participants ont été interrogés relativement à certaines dimensions de leur rapport aux savoirs touchant le modèle probabiliste de l'atome.

Une réappropriation des savoirs pour l'enseignement

Antoine a raconté avoir dû revoir les savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome, puisque, selon lui, ceux-ci n'avaient pas été vus en profondeur dans sa formation disciplinaire en biochimie. Il juge que ses connaissances dépassent maintenant le niveau du cours, bien qu'il avoue en avoir encore beaucoup à apprendre. La lecture d'articles scientifiques portant sur le sujet lui a permis d'augmenter grandement sa compréhension de ces notions.

« Surtout des articles... au départ, c'était vraiment des articles scientifiques, pas vraiment récents, mais vulgarisés dans des revues scientifiques, mais maintenant, c'est dans des nouvelles scientifiques plus générales de Radio-Canada, des choses comme ça, il y a souvent des articles... qui portent là-dessus. »

D'autres sources l'ont amené à mettre à jour ses connaissances, telles que, entre autres, le visionnement de conférences d'un professeur de physique réputé pour ses talents d'enseignant et de vulgarisateur scientifique.

« C'est un sujet qui est très à la mode en ce moment, il y a beaucoup de... on entend souvent parler de... même des fois des trucs un peu paranormaux qui utilisent le mot *quantique* pour... souvent dans des romans qu'on va lire. [...] je me souviens, entre autres, d'un livre de Michael Crichton, où il utilisait le modèle quantique pour voyager dans le temps, puis il décrivait des expériences dans ce livre-là qui m'avait vraiment surpris et j'étais allé m'informer après ça. Donc, après ça j'avais éventuellement d'autres amis avec qui on jasait de ça

occasionnellement... Puis j'ai vu une chose qui m'avait beaucoup impressionné : des conférences de Feynman. Feynman, c'est un physicien quantique... un physicien quantique très fort, mais il était très fort en enseignement aussi. Puis lui, il enseignait des cours d'université, puis, il avait été filmé, puis en écoutant ses conférences ça m'avait donné quelques idées, puis il montrait, il parlait exactement de la dualité et tout ça. Ça m'avait pas mal inspiré. »

La connaissance des savoirs difficiles à enseigner

Lorsque nous avons demandé à Antoine si les savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome étaient difficiles à enseigner, il a expliqué qu'ils pouvaient l'être, puisque si ces concepts ne sont pas bien expliqués, les étudiants ne comprendront les concepts que de façon très superficielle.

Toutefois, selon Antoine, ces savoirs supposent une part de mystère qui suscite l'intérêt des étudiants, ce qui facilite leur enseignement.

La transformation des savoirs lors de la planification

Avec le modèle de la transformation de Shulman (1987) comme cadre d'analyse, nous avons décrit les processus empruntés par Antoine pour transformer les savoirs à enseigner, ainsi que les justifications derrière ces choix.

La préparation

Antoine a abordé l'examen du matériel d'enseignement, le choix des contenus essentiels ainsi que l'élaboration de matériel didactique.

- Examen du matériel d'enseignement

Antoine a consulté différents manuels afin de préparer son cours la première fois. Il a alors constaté que les manuels contenaient à peu près les mêmes contenus, décrits dans un ordre assez semblable.

- Choix des contenus essentiels

Antoine s'est d'abord basé sur les manuels pour choisir les contenus essentiels de son cours. 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. L'extrait suivant décrit ces ajouts ainsi que les raisons qui les ont motivés.

« Après ça, au fil du temps, j'ai ajouté certaines choses parce que je voulais relier ça aussi aux expériences qui pouvaient rendre ça plus intéressant. Donc, ce que j'ai ajouté, c'est des genres d'expériences scientifiques qui permettent de montrer... parce que je ne voulais pas juste le dire : c'est ça, puis croyez-moi sur parole. Des expériences qui n'étaient pas nécessairement dans le livre, donc j'ai essayé de les ajouter comme ça pour qu'ils voient d'où ça vient, pas juste leur dire c'est comme ça. J'aurais pu faire ça aussi, mais pour moi, c'est important qu'ils comprennent un peu plus l'origine de ça. Donc, je suis pas mal l'ordre qui est là, mais c'est ça, j'ai ajouté quelques petites notions à ce sujet... »

- Rédaction de matériel didactique

Antoine a préparé une présentation PowerPoint, qu'il partage avec ses étudiants. Il explique dans l'extrait suivant qu'une transformation s'est opérée sur les contenus qu'il a interprétés et simplifiés en préparant sa présentation.

« En fait, mes PowerPoint reprennent un peu ce qui est dans le livre, 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, mais... tu vas voir que mes PowerPoint n'ont rien à voir avec le livre, pis ils n'ont rien à voir avec d'autres livres non plus, c'est vraiment fait par moi-même. »

Antoine a aussi préparé, pour le dernier tiers de sa leçon, un problème synthèse contenant plusieurs questions. La mise en contexte de ce problème était basée sur un fait d'actualité, soit une expérience de téléportation quantique réalisée en 2014 par des chercheurs de Genève.

Le choix des formes de représentation

Les enseignants ont été invités à décrire tout ce qu'ils avaient planifié pour leur cours et à justifier leurs choix. Nous avons consigné ces informations dans un tableau de planification (annexe 5). Nous avons ainsi pu mettre en évidence différentes formes de représentation utilisées par les enseignants ainsi que les raisons derrière leurs choix. Le tableau

12 illustre la fréquence d'utilisation des formes de représentation des contenus planifiées par Antoine.

Tableau 12 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Antoine

Types de représentation	
Analogie	2
Figure	10
Dessin (à la main)	0
Représentation tirée d'un film ou d'une émission	0
Animation (vidéo)	0
Matériel (ballons, modèles en 3D)	0
Équation mathématique	2
Truc du prof	1

Le tableau 13 illustre la fréquence des justifications énoncées par Antoine pour le choix de ses formes de représentation.

Tableau 13 Fréquence des justifications énoncées par Antoine pour le choix de ses formes de représentation.

Justifications	
Champs d'intérêt personnels du prof	
Attirer l'attention des étudiants	4
Illustrer, expliquer	4
Humour	0

Les figures sont le type de représentation le plus fréquemment utilisé par Antoine. Parmi ces figures, plusieurs illustrent des expériences scientifiques expliquant d'où viennent certains concepts à l'étude, tels que la nature ondulatoire de l'électron. La figure 15 illustre l'expérience de Young réalisée avec de la matière. Antoine présente à ses étudiants d'autres figures montrant les résultats de cette expérience afin de faire le lien entre ce qui a été appris au sujet de la lumière. Antoine pense, par ailleurs, que ces représentations devraient mystifier les étudiants...

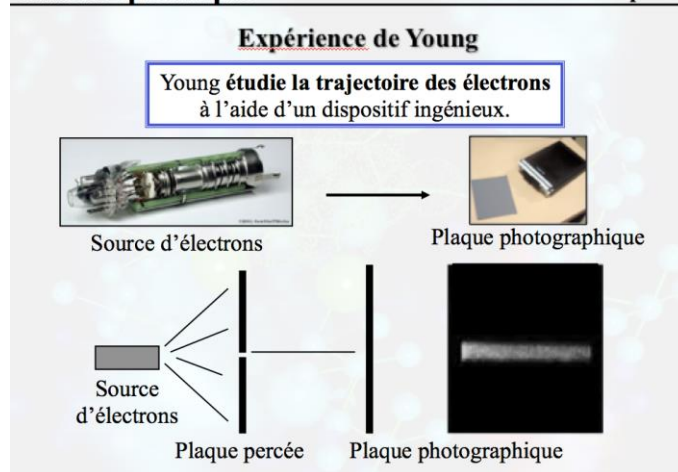


Figure 15 Représentation visant à expliquer la nature ondulatoire des électrons, conçue par Antoine.

Antoine a choisi d'utiliser deux analogies dans le cadre de son cours. Il présente celle du chat de Schrödinger afin d'expliquer la nature quantique de l'électron (figure 16). Outre son pouvoir explicatif, Antoine considère que cette analogie, connue par certains étudiants, contribuera à susciter l'intérêt.



Chat de Schrödinger

Le chat de Schrödinger est une **analogie** pour expliquer la **nature quantique de l'électron**.

Tant que la boîte n'est pas ouverte, le **chat est à la fois mort ET vivant!**

L'électron est à la fois onde ET particule.

C'est l'ouverture de la boîte (**l'observation**) qui **induit l'état mort ou vivant** du chat.

Figure 16 Représentation visant à expliquer la nature ondulatoire des électrons, conçue par Antoine.

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.

Le choix d'une stratégie d'enseignement

Le tableau 14 illustre la fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Antoine.

Tableau 14 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Antoine.

Activités d'enseignement et d'apprentissage	
Introduction	0
Rappel	1
Vision globale des thèmes de la leçon	1
Questionnement	3
Explications (exposé magistral)	13
Exemples (par le prof)	4
Exercices (individuels, en équipe ou en groupe)	4
Résumé	2

Les explications sous la forme d'exposés magistraux sont la méthode d'enseignement la plus souvent utilisée par Antoine.

Le questionnement, les exemples réalisés par l'enseignant et les exercices (faits individuellement, en équipe ou en groupe) sont les autres d'activités d'enseignement et d'apprentissage les plus fréquemment choisies.

Le tableau 15 illustre la fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Antoine.

Tableau 15 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Antoine

Justifications	
Vérification de la compréhension des étudiants	1
Faire des liens	9
Résolution en groupe	0
Répétitions	0
Pour s'exercer	3
Autres justifications	2

Nous avons classé les justifications d'Antoine dans la catégorie « faire des liens » à neuf reprises. Yvan a fourni cette justification pour différentes activités : un retour sur le dernier cours, une question qu'il posera à ses étudiants et le choix des contenus qu'il présente (et l'ordre dans lequel il les présente).

L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Rappelons que la collecte de données auprès d'Antoine a été effectuée à la session d'hiver alors que le cours « Chimie générale : la matière » est prévu à l'automne dans la grille de cours du programme. Antoine a expliqué que quelques étudiants reprenaient le cours, mais que la grande majorité faisait un retour aux études. Pour connaître les caractéristiques de ses étudiants, Antoine leur demande de remplir un questionnaire qu'il a lui-même rédigé. Certaines des questions sont basées sur les marqueurs de la réussite répertoriés dans différentes sources.

« Au début du cours, je leur fais passer un questionnaire. Au début, c'est juste des questions : le nom, nationalité, c'est juste voir un peu par curiosité. Puis, je leur demande... en fait pour toutes les autres questions, je ne leur dis pas, mais c'est des marqueurs de réussite que j'avais identifiés selon différentes sources, là. Par exemple, le premier, c'est dans quoi ils veulent étudier [...] Ici, mathématiques, SN ou TS, on a beaucoup de TS au collège... Il y a une étude qui montrait que ceux qui avaient fait SN étaient plus forts que TS [...] Ça, ici, c'est tous ceux qui ont déjà fait le cours, pis qui ont échoué. [...] Ici, c'est combien d'heures ils travaillent par semaine ; ceux qui travaillent plus que 25 heures, ils vont avoir de la misère. Ceux qui considèrent que la chimie c'est *plate à mort*, par exemple. C'est rare ceux qui écrivent *c'est plate 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, plusieurs difficultés d'ordre mathématique, et enfin, la difficulté de comprendre les nombres quantiques.

Pour tenir compte des caractéristiques des étudiants, Antoine planifie un problème synthèse d'une durée relativement longue, de façon qu'ils puissent évoluer à leur rythme et selon leurs forces. Bien que cela ne s'applique pas nécessairement à la leçon sur les modèles atomiques, il dit concevoir certains exemples, lors de la planification, en tenant compte des caractéristiques des étudiants telles que les professions envisagées par ceux-ci.

Selon Antoine, plusieurs de ses étudiants arrivent au cours en concevant l'atome selon le modèle de Rutherford, le dernier modèle qu'ils ont appris au secondaire.

« Je pense que la plupart, ils ont vu le modèle de Rutherford-Bohr... Ils s'imaginent..., comme la majorité de la planète, j'imagine, que les électrons c'est des petites boules qui tournent autour du noyau, puis c'est... d'après moi, c'est ça leur conception. »

Toutefois, Antoine pense que certains de ses étudiants n'ont aucune conception à l'égard de la structure de l'atome, aucune idée de ce que c'est et des particules qui le composent.

Considérant les conceptions de ses étudiants à l'égard de la structure de l'atome, Antoine 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, mais 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 ré-inclus... Puis c'est ça qu'il faut qu'ils comprennent selon moi, c'est qu'on ne peut pas..., même si tu considères que le modèle est faux, ce n'est pas grave parce que... les faits restent là, et c'est pour ça que dans mes cours je leur montre les faits comme cela. [...] Donc, ça, c'est ce que je fais au niveau

des modèles, donc quand ils arrivent à cette partie-là, je leur dis : *Qu'est-ce qu'on fait si on découvre un nouveau fait qui ne peut pas être expliqué par un modèle actuel?* Ils devraient répondre : *On fait un nouveau modèle, mais on garde ce qui avait été fait avant.* »

Antoine a choisi de concevoir une figure comme forme de représentation visant à changer la façon dont les étudiants conçoivent l'atome (figure 17). Cette représentation met en évidence, par un X rouge, le fait que le modèle de Rutherford-Bohr, bien connu des étudiants, a été invalidé (on lui a reconnu certaines limites), ce qui fait qu'un nouveau modèle venant le remplacer doit être acquis.

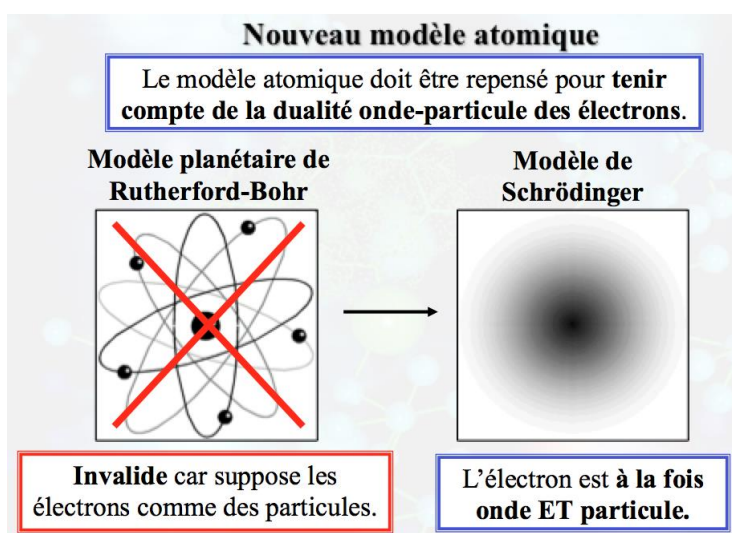


Figure 17 Représentation réalisée par Antoine et visant à favoriser le changement de la façon dont les étudiants conçoivent l'atome.

L'enseignement des savoirs

Pour analyser les pratiques effectives d'enseignement au cours de la phase interactive, en lien notamment avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous avons procédé à des entretiens de rappel stimulé : ceux-ci étaient invités à expliquer ce qu'ils avaient en tête au moment où ils enseignaient, et ce, au moyen du visionnement de l'enregistrement vidéo de leur leçon. Ces entretiens ont révélé certains écarts entre les pratiques déclarées et les pratiques effectives.

Les propos recueillis lors de l'entrevue de rappel stimulé nous ont permis de relever quelques moments où Antoine avait eu à réfléchir dans l'action et, dans certains cas, à prendre certaines décisions. Nous avons aussi noté des moments où Antoine réfléchissait a posteriori sur son action. Le tableau 16 présente la fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé avec Antoine.

Tableau 16 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entretien de rappel stimulé avec Antoine.

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

On voit que quelques prises de décision ont été relevées pendant la réflexion dans l'action et que plusieurs thèmes étaient plutôt liés à la réflexion sur l'action.

Les indices à la base des décisions les plus fréquents étaient liés aux difficultés éprouvées par les étudiants au moment des exercices. Nous donnerons deux exemples.

L'extrait suivant illustre une réflexion dans l'action engendrée par les difficultés des étudiants durant la résolution d'un exercice.

« Antoine (A) : J'étais un peu surpris du fait qu'ils (les étudiants) n'étaient pas capables de convertir les grammes en kilogrammes alors qu'on avait déjà fait des exercices beaucoup plus compliqués de conversion d'unités. Mais c'est parce qu'au lieu de faire la règle de trois ils le faisaient mentalement et ils se trompaient, alors je leur disais de faire la règle de trois. [...] Je leur ai expliqué la règle de trois au tableau parce que dans mon animation, elle n'était pas faite. Puis j'ai vu qu'ils n'arrivaient pas à le faire non plus.

- Christine (C) : Alors t'as décidé de le faire.

- A : Ça a pris plus de temps convertir en grammes.

- C : Oui, et comme tu as dit que c'est la principale difficulté, tu as pris le temps de faire ça. »

Nous avons illustré le processus décisionnel d'Antoine à la figure 18.

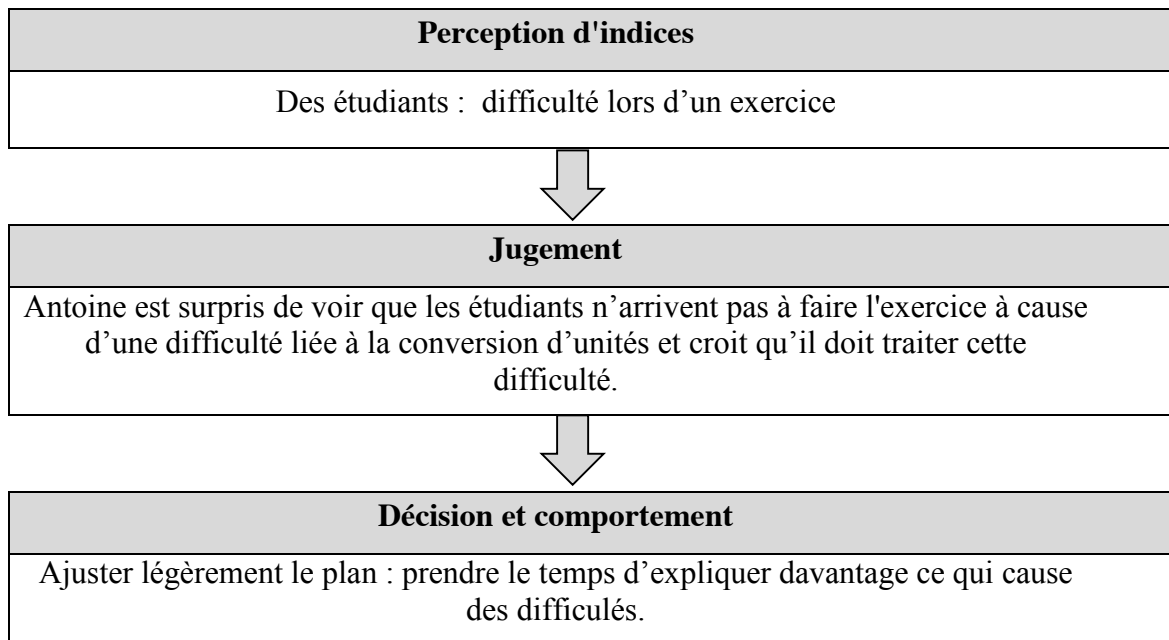


Figure 18 Exemple de processus décisionnel d'Antoine ayant mené à un ajustement léger du plan.

L'extrait suivant illustre aussi une décision qu'Antoine a dû prendre dans l'action à cause de difficultés des étudiants lors d'un exercice particulier.

« - A : J'ai remarqué qu'une de mes questions n'était pas très claire parce que tout le monde m'a demandé, je ne comprends pas cette question, c'était : combien y a-t-il de combinaisons de 4 nombres quantiques possibles? Ils ne comprenaient pas, j'avais posé cette question parce que plus tard ça va devenir important, mais je pense que je vais la retirer parce qu'à ce stade-ci ça complexifie, ou il faudrait que je fasse un exemple, je n'ai pas décidé. En tout cas, cette question-là, environ au moins 10 étudiants m'ont dit qu'ils ne comprenaient pas la question.

- C : Ils ont pas beaucoup vu en termes de combinaisons à part le dernier tableau.

- A : Oui, c'est ça, je n'ai pas donné d'exemple de ça. Peut-être ce serait quelque chose à rajouter. »

Le processus décisionnel d'Antoine est illustré à la figure 19.

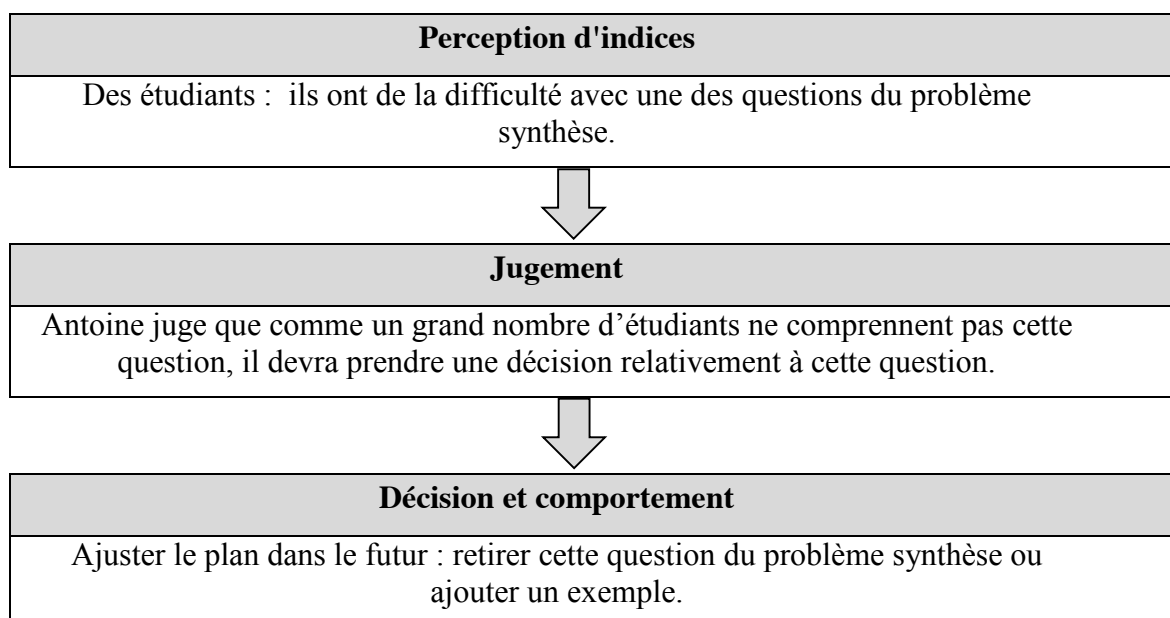


Figure 19 Exemple de processus décisionnel d'Antoine ayant mené à la décision d'ajuster le plan dans le futur.

L'analyse des propos d'Antoine a aussi mis en évidence des moments de réflexion sur l'action, c'est-à-dire des moments après l'action où l'enseignant réfléchit à ce qui s'est passé. Au tableau 16, nous avons relevé plusieurs extraits où Antoine faisait un commentaire sur les formes de représentation qu'il avait utilisées et sur les activités d'enseignement ou

d'apprentissage qu'il avait prévues. Dans l'extrait suivant, Antoine fait un commentaire critique sur une représentation qu'il a utilisée lors de sa leçon.

« - A : Cette image-là, je ne sais pas si j'aurais dû la mettre... elle est du livre, mais ça leur garde en tête que les électrons voyagent comme une espèce de forme d'onde, donc, je me pose la question : *Est-ce que je devrais enlever cette affaire-là?*, mais comme elle est dans le livre...

- C : Puis est-ce que t'as senti que ça les avait mêlés?

- A : Hum... (hésitation)... Pas particulièrement, parce que je ne me suis pas beaucoup attardé là-dessus.

- C : Mais tu doutes peut-être qu'elle...

- A : N'est peut-être pas pertinente. Ça leur montre l'idée du nombre de particules quand même... »

On peut voir dans cet extrait que l'enseignant remet en question après-coup une représentation qu'il présente à ses étudiants et qui pourrait potentiellement les embrouiller.

Maintenant que nous avons décrit les pratiques déclarées par Antoine lors de l'entrevue de planification ainsi que les changements dans les pratiques effectives par rapport à ce qui avait été planifié en lien avec les décisions prises, nous présenterons les résultats liés aux savoirs appris par ses étudiants.

Les savoirs appris

Nous avons demandé aux étudiants de chacun des enseignants participants de représenter schématiquement comment ils s'imaginaient un atome d'azote et de fournir une explication écrite à ce schéma, et ce, au début et à la fin du cours.

Les niveaux de formulation selon Park (2009)

Nous avons ensuite classé chacun des schémas selon les niveaux de formulation établis par Park (2009), définis dans le tableau 1. Le tableau 17 illustre le pourcentage d'étudiants du groupe d'Antoine ayant représenté l'atome selon chacun de ces niveaux au début du cours (S1) et à la fin du cours (S2).

Tableau 17 Pourcentage d'étudiants du groupe d'Antoine ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux de formulation au début (S1) et à la fin du cours (S2).

Niveaux de formulation selon Park (2009)	Fréquence (%)	
	S1	S2
1 Atome = particule		
2 Particules subatomiques	6,5	9,7
3 Électrons autour du noyau	6,5	
4 Orbites circulaires	3,2	
5a Électrons sur orbites circulaires de différents niveaux	74,2	6,5
5b Électrons sur orbites de différentes formes		3,2
6 Modèle de Bohr (quantification de l'énergie)		
7 Électrons dans régions		
8 Électrons : probabilité de présence		12,9
9a Électrons dans orbitales de différentes formes (non-superposées)		
9b Électrons dans orbitales de différentes formes (superposées)		16,1
10 Concepts (dualité, probabilité, ect)		
Autre	9,7	51,6

On remarque que, au début du cours, près de 75 % des étudiants ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 5a : les électrons se trouvent sur les orbites circulaires permises de différents niveaux tels que décrits dans le modèle de Bohr. C'est d'ailleurs ce qu'Antoine nous avait expliqué lorsque nous l'avons interrogé à propos des conceptions alternatives de ses étudiants.

À la fin du cours, seulement 16,1 % des étudiants ont imaginé l'atome selon le niveau 9b, voulant que les électrons se retrouvent dans des orbitales de différentes formes, un niveau de formulation qui appartiendrait au modèle probabiliste, en faisant une représentation qui mettait en évidence la superposition de ces orbitales.

Toutefois, il importe de spécifier qu'il n'a pas été possible de classer les schémas de la moitié des étudiants du groupe. Leurs schémas ont été classés dans « autre niveau de formulation » : les représentations consistaient en des structures de Lewis illustrant souvent tous les électrons, des cases quantiques, des orbitales de molécules, ou encore, plusieurs représentations étaient non cohérentes entre elles.

Rappelons que les étudiants d'Antoine faisaient partie d'un groupe plutôt faible dans lequel plusieurs faisaient un retour aux études.

Un changement dans la façon de concevoir l'atome?

Lors de l'analyse des schémas expliqués, nous avons catégorisé les types de changement possibles entre la représentation du début de la session et celle de la fin de la session selon le modèle atomique enseigné auquel le schéma correspondait (tableau 18).

Tableau 18 Types de changement de la façon dont les étudiants d'Antoine conçoivent l'atome.

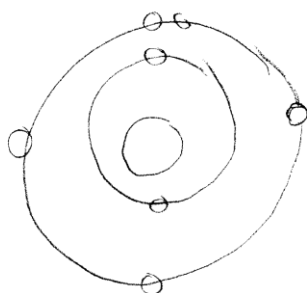
	Pourcentage d'étudiants
	%
Changement négatif (vers un modèle moins complexe)	25,8
Aucun changement	3,2
Changement positif (à l'intérieur du même modèle)	6,5
Changement positif (vers un modèle plus complexe)	54,8
On ne peut pas dire	9,7

Le tableau 18 montre que pour près de 55 % des étudiants, il y a eu un changement positif vers un modèle plus complexe (qui n'est pas nécessairement le modèle probabiliste). Fait plus inquiétant, on voit aussi que 25 % des étudiants conçoivent l'atome selon un modèle scientifique moins complexe qu'en début de session. Il importe de rappeler ici certains éléments du contexte dans lequel le cours d'Antoine s'est donné. En effet, le cours pour la collecte a eu lieu à la session d'hiver (alors qu'il se donne à l'automne dans la grille de cours régulière du programme, ce qui a eu pour effet, selon Antoine, que plusieurs de ses étudiants étaient des personnes qui faisaient un retour aux études). Le groupe d'Antoine était donc relativement faible.

Un cas représentant un changement négatif vers un modèle moins complexe

La figure 20 illustre les schémas réalisés par l'étudiant 4 du groupe d'Antoine. On peut voir que cet étudiant conçoit l'atome selon un modèle scientifique moins complexe à la fin du cours : sa première représentation coïncide avec le niveau de formulation 5a de Park alors que la deuxième coïncide plutôt avec le niveau de formulation 2.

Schéma 1 fait par l'étudiant 4 (niveau de formulation 5a)



un atome d'azote a
5 électrons de valence, 2
couche.

Schéma 2 fait par l'étudiant 4 (niveau de formulation 2)

• Azote •



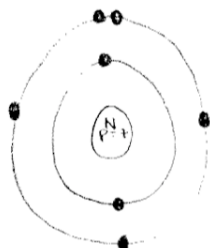
l'atome est une petite
sphère, on l'on ne voit
pas les électrons. La
sphère grossit avec le
nombre d'électron.

Figure 20 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 4 du groupe d'Antoine.

Un cas représentant un changement positif vers un modèle plus complexe

L'étudiant 10, dont les schémas sont présentés à la figure 21, a changé sa façon de concevoir l'atome en se référant à un modèle scientifique plus avancé. Alors que son premier schéma correspondait au niveau de formulation 5a, nous n'avons pu classer le deuxième schéma selon l'un des niveaux de formulation de Park. En effet, bien que cette deuxième représentation semble référer à une conception probabiliste de la structure atomique en y empruntant plusieurs concepts, nous ne pouvons cerner clairement comment cet étudiant s'imaginait l'atome.

Schéma 1 fait par l'étudiant 10 (niveau de formulation 5a)



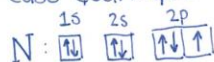
L'atome d'azote possède 7 électrons dont 5 sont des électrons de valence. Cet atome compte deux couches électroniques et à le même nombre de protons que d'électrons.

Schéma 2 fait par l'étudiant 10 (niveau de formulation : autre)

représentation de Lewis



case quantique



Dessin de l'orbital p



Premièrement, j'ai fait la représentation de Lewis de l'atome d'azote avec ses 7 électrons.

Deuxièmement, j'ai dessinée ses cases quantiques en plaçant ses 7 électrons. Il se rend jusqu'à l'orbital 2p alors j'ai dessiné l'orbital p.

Je sais aussi que l'azote aura tendance à avoir un arrangement tétraédrique et une géométrie courbée à cause des 2 paires d'électrons.

Figure 21 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 10 du groupe d'Antoine.

Même si son illustration et son explication sont relativement confuses et erronées, il apparaît que cet étudiant ne place plus les électrons sur les orbites circulaires de Bohr, mais emprunte les concepts d'orbitales et de cases quantiques au modèle probabiliste.

Le cas de Paul

Paul est professeur de chimie depuis plus de sept ans. Il enseigne actuellement dans un collège de la grande région de Montréal. Il détient un baccalauréat en chimie, une maîtrise et un doctorat en chimie organique. Dans la prochaine section, nous décrirons les éléments de son rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome, nous mettrons en lumière ses pratiques déclarées pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous discuterons de certaines pratiques observées en classe, et enfin, nous analyserons les savoirs acquis par les étudiants.

Le rapport aux savoirs des enseignants

Les enseignants participants ont été interrogés relativement à certaines dimensions de leur rapport aux savoirs touchant au modèle probabiliste de l'atome.

Une réappropriation des savoirs pour l'enseignement

Paul a expliqué à plusieurs reprises comment il concevait les savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome. Il a bien spécifié que selon lui, ces savoirs constituaient un genre de « prétexte » : les étudiants peuvent oublier certains des contenus enseignés lors de cette leçon, mais ils ne risquent pas d'oublier le fait que les modèles ou théories utilisés en sciences sont constamment en évolution.

« Je vois ça comme un prétexte scientifique ; dans le fond, ils vont peut-être oublier la moitié de leur cours dès l'année prochaine et la prochaine session, mais ce que je trouve intéressant, c'est qu'ils ne vont peut-être pas oublier qu'on présente des modèles que sont toujours remis en question [...]. Dans cette matière-là, donc, la chimie quantique répondait à un problème, répondait vraiment à quelque chose qu'on n'arrivait pas à expliquer et là on arrive à une solution et je trouve que c'est bon pour l'étudiant qu'on veut former en sciences de dire que oui c'est des théories qui fonctionnent, mais qui peuvent toujours être renversées. »

La connaissance des savoirs difficiles à enseigner

Pour Paul, qui a donné tous les cours de chimie du programme Sciences de la nature, les savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome sont les plus difficiles à enseigner, et ce, en raison de leur nature très complexe :

« On les plonge... Je vais le dire plus tard, si on dit que l'on comprend la chimie quantique, ça veut dire qu'on l'a pas comprise. Les étudiants ne peuvent pas se mettre dans un mode, même moi j'ai de la misère à me mettre dans un mode, je ne peux pas savoir tout, mais je dois naviguer là-dedans... Je trouve que c'est difficile d'amener les étudiants dans l'imprécision. »

Selon lui, l'atome n'étant pas un objet visible, il est difficile à conceptualiser.

Toutefois, Paul précise que malgré cela, les étudiants éprouvent une certaine fascination à l'égard des concepts liés à la mécanique quantique, ce qui rend ceux-ci plus faciles à enseigner.

La transformation des savoirs lors de la planification

Avec le modèle de la transformation de Shulman (1987) comme cadre d'analyse, nous décrirons les processus empruntés par Paul pour transformer les savoirs à enseigner ainsi que les justifications derrière ses choix.

La préparation

Paul a abordé l'examen du matériel d'enseignement, le choix des contenus essentiels, l'élaboration de matériel didactique ainsi que la place laissée à l'improvisation.

- Examen du matériel d'enseignement

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.

- Choix des contenus essentiels

Le manuel était une source que Paul utilisait pour choisir les contenus à enseigner au tout début. Avec le temps, il s'est basé ensuite surtout sur la cohérence (ou la cohésion) des savoirs. Il souhaite ainsi traiter de tous les éléments et avancées scientifiques importants pour la compréhension du développement de la chimie quantique.

- Rédaction de matériel didactique

Pour la leçon qui nous intéresse, Paul a préparé une présentation PowerPoint qu'il partage avec ses étudiants. En support à sa présentation, Paul rédige aussi un guide de l'étudiant, qui consiste en des notes de cours à compléter.

- Préparation des savoirs laissant de la place à l'improvisation

Paul spécifie que lors de sa planification, il laisse beaucoup de place à l'improvisation. Bien que ses présentations soient bien préparées, il garde en tête que lors de l'interaction, il pourra traiter différemment certains savoirs dépendamment du « pouls » de sa classe.

Le choix des formes de représentation

Après avoir ainsi interrogé Paul, nous avons consigné les informations recueillies dans un tableau de planification (annexe 6). L'analyse de ce tableau montre que certaines formes de représentation et certaines activités d'enseignement sont davantage utilisées par cet enseignant, et ce, pour différentes raisons.

Le tableau 19 illustre la fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Paul.

Tableau 19 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Paul.

Types de représentation	
Analogie	12
Figure	11
Dessin (à la main)	0
Représentation tirée d'un film ou d'une émission	1
Animation (vidéo)	5
Matériel (ballons, modèles en 3D)	0
Équation mathématique	1
Truc du prof	1

On voit que Paul a prévu un très grand nombre de représentations visuelles de type analogie, de type figure et de type animation ou vidéo.

Le tableau 20 illustre la fréquence des justifications énoncées par Paul pour le choix de ses formes de représentation.

Tableau 20 Fréquence des justifications énoncées par Paul pour le choix de ses formes de représentation.

Justifications	
Champs d'intérêt personnels du prof	0
Attirer attention des étudiants	0
Illustrer, expliquer	10
Humour	2

On y voit que les justifications *Illustrer, expliquer* sont celles qui ont été le plus fréquemment fournies par Paul. Il a aussi spécifié que certaines de ces représentations visaient à traiter les savoirs avec humour.

Nous présenterons quelques exemples des types de représentation conçues par Paul.

La figure 22 montre une forme de représentation réalisée par Paul alors qu'il expose une vision globale des thèmes qui seront abordés lors de la leçon. On y voit la contribution d'Heisenberg avec l'énoncé global du principe d'incertitude, et celui-ci dans une analogie avec

la vitesse d'une voiture et sa position sur une carte, deux informations que l'on ne peut connaître simultanément.



Figure 22 Représentation conçue par Paul et incluse dans la vision globale du cours.

On trouve à la figure 23 une représentation très humoristique réalisée par Paul pour expliquer aux étudiants la supériorité du modèle atomique proposé par Schrödinger (le boxeur très musclé) par rapport au modèle de Bohr (le boxeur tout frêle) : le modèle de Schrödinger prend en compte plusieurs variables pour décrire le comportement énergétique de l'électron et peut s'appliquer à tous les atomes du tableau périodique. Cette forme de représentation n'a donc pas seulement une visée humoristique dans le but d'attirer l'attention des étudiants, mais a aussi un pouvoir explicatif très fort relativement aux limites du modèle que les étudiants connaissent bien.



Figure 23 Représentation réalisée par Paul et visant à démontrer la supériorité du modèle atomique de Schrödinger.

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. Par exemple, il utilise une analogie avec une console afin d'expliquer que chacun des nombres quantiques agit comme un paramètre dans l'équation de Schrödinger pour déterminer la probabilité de retrouver l'électron dans une certaine région de l'espace (figure 24).



Figure 24 Analogie réalisée par Paul pour l'enseignement des nombres quantiques.

Le choix d'une stratégie d'enseignement

Le tableau 21 illustre la fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Paul.

Tableau 21 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Paul.

<u>Activités d'enseignement et d'apprentissage</u>	
Introduction (objectifs de la leçon)	1
Rappel	0
Vision globale des thèmes de la leçon	1
Questionnement	1
Explications (exposé magistral)	14
Exemples (par le prof)	0
Exercices (individuels, en équipe ou en groupe)	2
Résumé	0

Les explications sous la forme d'exposés magistraux sont la méthode d'enseignement la plus souvent utilisée par Paul. Il va de soi que ce type d'activité visait l'explication de concepts de chimie à enseigner. Comme nous l'avons mentionné plus tôt, dans le cas de Paul, ces explications sous la forme d'exposé incluaient un très grand nombre de types de représentation de type analogie, entre autres. Nous avons alors rapporté les justifications derrière ces choix. Le tableau 22 illustre la fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Paul.

Tableau 22 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Paul.

<u>Justifications</u>	
Vérification de la compréhension des étudiants	0
Faire des liens	1
Résolution en groupe	0
Répétitions	0
Pour s'exercer	0
Autres justifications	3

Le tableau 22 montre que Paul n'a pas beaucoup eu tendance à justifier le choix de ses activités d'enseignement. Les quelques justifications amenées (codées sous Autres

justifications) concernaient ses choix de présenter les objectifs de la leçon avec plusieurs représentations et d'amorcer son cours avec une vision globale des thèmes à traiter.

L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Les données ayant été collectées auprès de Paul à l'automne, sa classe est formée d'étudiants qui suivent le cheminement régulier selon la grille de cours du programme. Il s'agit, selon lui, d'un groupe de force moyenne. 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.

« Non, je leur demande leur nom, ce qu'ils ont fait cet été, en quoi ils veulent s'en aller et leurs attentes par rapport au cours. Et moi je fais l'exercice, mon nom, ce que j'ai fait cet été et là ils vont parler d'emploi. Je leur demande s'ils travaillent beaucoup, s'ils vont y arriver... »

Tout comme d'autres enseignants participants, Paul souligne que ses étudiants arrivent au cours en concevant l'atome selon le modèle de Rutherford. Bien qu'il ait lui-même planifié de nombreuses analogies, il souligne que celles-ci peuvent engendrer des difficultés, par exemple la fameuse analogie du système solaire pour décrire l'atome.

« - P : Et là, à ce moment-là, l'association avec ce qu'on voit et ce qui est présenté avec des objets, on va dire quasiment c'est une planète qui tourne autour du Soleil, et puis là, le défaut aussi que si c'est une planète qui tourne autour du Soleil, ça doit se comporter comme une planète, comme un soleil. Donc, les raccourcis qu'on fait cristallisent un peu l'objet, le lien qu'on fait pour présenter quelque chose et les comportements. Dans le fond, l'analogie est mauvaise parce qu'on l'a utilisée juste pour schématiser quelque chose, mais l'étudiant peut dire : bon, c'est une balle de tennis, donc je vais faire bondir un électron, il va rebondir comme une balle.

- C : Donc, il y a des impacts à utiliser les analogies.

- P : Ah oui! Et il y a une prof de biologie qui disait qu'elle évitait d'utiliser des analogies, même si c'était un plus sur bien des sujets, parce que le piège de l'analogie, c'est qu'on prend tout au pied de la lettre et on a de la misère à se restreindre à cette analogie-là. »

Paul a conçu une représentation afin de changer la façon dont les étudiants s'imaginent l'atome. Il pense qu'une telle représentation devrait rester dans leur esprit. La figure 25 illustre une capture d'écran d'une animation réalisée par Paul pour faire comprendre

aux étudiants qu'ils devront délaissier le modèle atomique, qu'ils connaissent bien, pour en apprendre un autre. Dans cette animation, on voit Jabba le Hut qui conçoit l'atome avec le modèle planétaire et Han Solo qui vient détruire cette image avec son sabre laser. Cette représentation impliquant des personnages de *Star Wars* illustre que le nouveau modèle explique mieux la structure atomique, ce qui favorise le changement de la façon dont les étudiants conçoivent l'atome en utilisant l'humour.



Figure 25 Représentation réalisée par Paul pour favoriser le changement de la façon dont les étudiants conçoivent l'atome.

De façon plus générale, Paul dit aussi adapter 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.

L'enseignement des savoirs

Dans l'objectif d'analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive, en lien notamment avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous avons procédé à des entretiens de rappel stimulé où ceux-ci étaient invités à expliquer ce qu'ils avaient en tête au moment où ils enseignaient (grâce au visionnement de l'enregistrement

vidéo de leur leçon). Cela nous a permis de comprendre certains écarts entre les pratiques déclarées et effectives.

Les propos recueillis lors de l'entrevue de rappel stimulé ont mis en évidence certains moments où Paul avait eu à réfléchir dans l'action et, dans certains cas, à prendre des décisions dans l'action. Nous avons aussi noté des moments où Paul réfléchissait *a posteriori* sur son action. Le tableau 23 présente la fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Paul.

Tableau 23 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entretien de rappel stimulé réalisé avec Paul.

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

Nous avons relevé plusieurs extraits montrant que Paul jugeait du déroulement de son cours pendant l'action. Par exemple, dans l'extrait suivant, Paul raconte ce qu'il avait en tête

après avoir improvisé une activité de retour sur le dernier cours sous la forme d'une question posée aux étudiants.

« Oui, j'étais content qu'ils se soient souvenus de quelques trucs et c'est clair que ça, c'est juste un échantillon de la classe. Je n'avais pas le pouls de tout le monde. Ça me servait de levier pour partir le cours. »

D'autres extraits montrent que Paul n'est pas satisfait de ce qui se passe pendant qu'il donne son cours. Par exemple, dans l'extrait suivant, il explique qu'il n'était pas particulièrement satisfait, pendant son cours, du choix d'un certain exercice.

« Là il y a peut-être eu confusion... Je le sentais, bon, tu vois, là, je suis en train de faire ça et puis je n'y crois plus à mon exercice... »

Quelques prises de décision ont été relevées pendant la réflexion dans l'action et plusieurs thèmes étaient plutôt liés à la réflexion sur l'action.

Les indices à la base des décisions les plus fréquents étaient liés aux questions des étudiants ainsi qu'à leur niveau de compréhension. Nous illustrerons avec deux exemples.

L'extrait suivant est un exemple de réflexion dans l'action engendrée par les nombreuses questions des étudiants à la suite de la présentation d'une vidéo portant sur la mécanique quantique.

« - Christine (C) : Après ça, ça a été beaucoup l'observateur et toutes sortes de questions... Qu'est-ce que tu te disais pendant ce temps-là ?

- Paul (P) : À quel point on s'en va sur un terrain excessivement dangereux, et je savais qu'aucune réponse n'allait les satisfaire. Je voulais juste, dans le fond, crever l'abcès et au pire-aller... je sentais que je me répétais souvent.

- C : Est-ce que tu te sentais pressé par le temps ?

- P : Pendant l'exercice d'avant, pendant qu'ils écrivaient, j'avais été revoir le calendrier, de combien de temps ils disposaient pour les prochains cours. Les questions qu'ils posaient, souvent, c'est 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, ils vont peut-être même pas retenir exactement l'expérience parce que de toute façon j'ai pas été capable de l'expliquer, ce n'est pas explicable, à la limite.... Quelque chose se passait là. La discussion était vraiment le 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. J'ai croisé du monde dans le corridor et il a fallu que je les reconforte, que je leur dise que c'est de la garniture... Je pense qu'il faudrait quasiment qu'on revienne là-dessus pour dire qu'est-ce qu'on garde pour le cours. Mais dans le fond, mes objectifs étaient tous soulignés en jaune.

- P : Ils étaient comme à un autre niveau, ils étaient plus en train de se poser la question de la cote R. Ou le danger de poser une question qui peut avoir l'air ridicule... non, ils étaient rendus plus loin. C'est rare que l'on voie ça. Je n'ai pas vu ça souvent ce genre de dynamique-là. J'ai un groupe incroyable! »

Nous avons illustré le processus décisionnel de Paul à la figure 26.

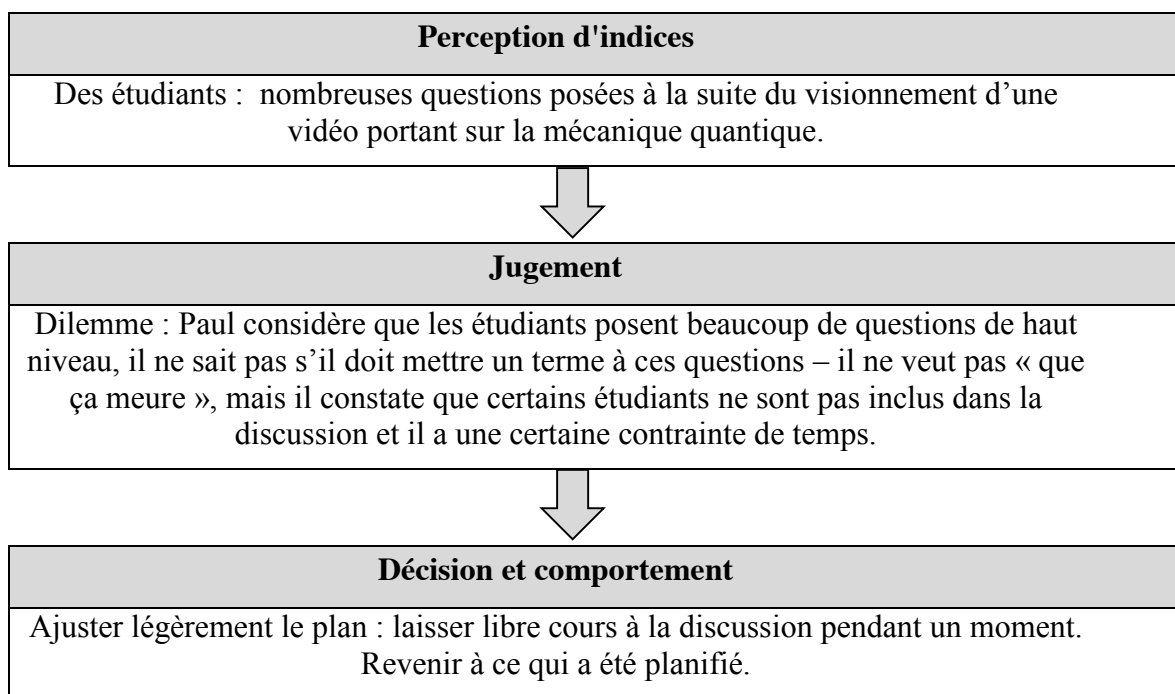


Figure 26 Exemple de processus décisionnel dans l'action de Paul ayant mené à un ajustement léger du plan.

L'extrait suivant illustre aussi une décision prise dans l'action par Paul, selon qui le niveau de compréhension de ses étudiants était très faible.

« – P : Ah non, je n'avais pas prévu faire ça, je n'avais pas prévu le refaire. Je le faisais les années passées. Là, le niveau de compréhension me disait que c'était 10 %, je me disais ah non, ah non. En termes de compréhension dans la classe, ça n'allait pas.

– C : C'est pour ça que tu as décidé de faire ça ?

– P : Ouais, je ne voulais pas les laisser là. [...] Mais moi, je voulais dans le fond,

je voulais comme un peu qu'ils atterrissent, on était partis dans l'espace, je voulais qu'ils atterrissent, et la meilleure façon c'était qu'on atterrisse sur le tableau périodique. *Il va-tu être à l'examen ?* Puis, c'est comme on dirait encore un objet concret dans le cours.

–C : Oui, ton tableau, il comprenait vraiment tout, même le tableau périodique, les blocs du tableau périodique. Mais tu n'avais pas l'impression que ça aidait les étudiants ?

– P : Bien, c'est que je n'avais pas l'impression qu'ils étaient avec moi, il y en a quelques-uns qui sont restés dans l'espace pendant que moi j'essayais de faire l'atterrissage. »

Le processus décisionnel de Paul est illustré à la figure 27.

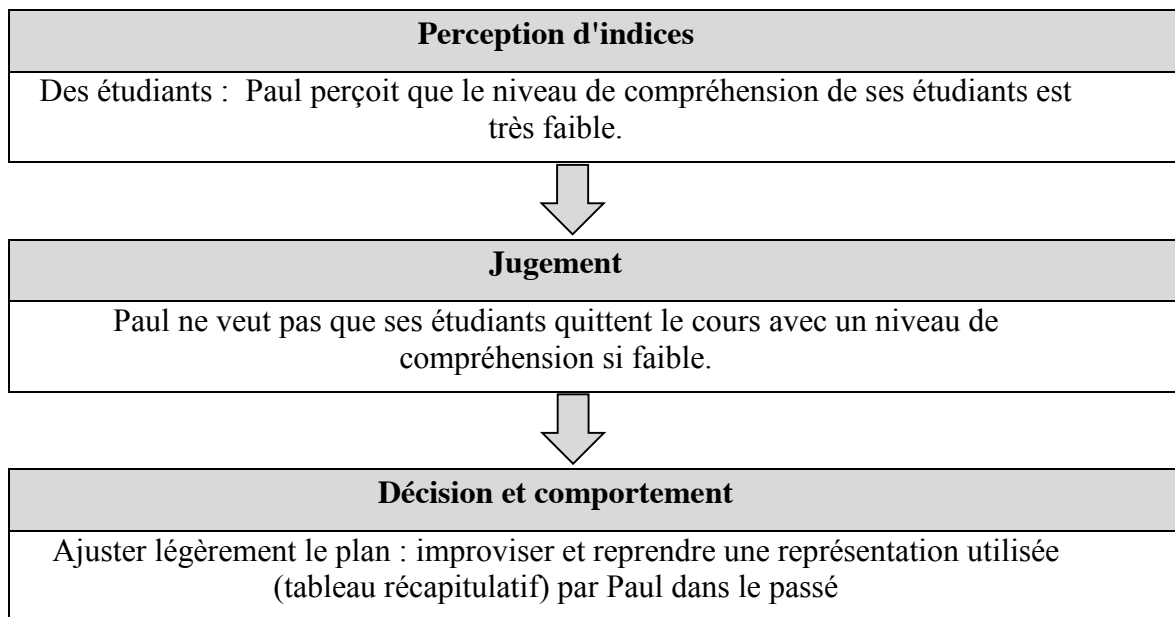


Figure 27 Exemple de processus décisionnel dans l'action de Paul ayant mené à la décision d'ajuster le plan.

L'analyse des propos de Paul lors de l'entrevue de rappel stimulé a mis en évidence des moments de réflexion sur l'action, c'est-à-dire des moments après l'action où l'enseignant réfléchit à ce qui s'est passé.

Dans le prochain extrait, Antoine fait un commentaire critique sur certaines de ses activités d'enseignement et d'apprentissage et pointe des modifications qu'il serait souhaitable qu'il apporte à son cours.

- « – P : Moi, je n'ai pas aimé ma dernière partie, c'est clair que les nombres quantiques, ce n'est pas comme ça qu'il faudrait que je montre ça. Ça, c'est clair.
- C : Tu voudrais peut-être modifier ta façon de faire ?
- P : Changer. Oui, ben je le vois, on a eu le temps d'en jaser, mais ça, je change au complet, c'est pas correct. Le reste, c'est bon, le reste j'aime ça.
- C : Toute ta vision globale de ça ?
- P : Et de mettre un climat de poser des questions aussi, ça, je suis content avec ce groupe-là, ça a vraiment bien collé. Je suis moins *rushé*, alors je leur laisse poser des questions. Parce que des fois, on est pressés, on a des questions normales et on répond sec et après ils ne posent plus de questions, c'est plate... [...]
- P : C'est des choses, j'ai bien aimé le début, mais les nombres quantiques... Moi, c'est clair que je revire ça à l'envers, c'est clair que ça ne marche pas. Ça ne marche pas parce qu'ils ne participent pas assez. La première partie était *l'fun* parce qu'ils sont toujours en train de poser des questions et ils apprennent en même temps. Mais les nombres quantiques, on dirait qu'ils passent en mode passif et ça, ce n'est pas *l'fun*. »

Cet extrait tiré de la fin de l'entrevue réalisée avec Paul montre que ce dernier était, *a posteriori*, satisfait de certaines des activités qui s'étaient déroulées dans son cours, mais que d'autres étaient moins satisfaisantes selon lui.

Les savoirs appris

Nous avons demandé aux étudiants de chacun des enseignants participants de représenter schématiquement comment ils s'imaginaient un atome d'azote et de fournir une explication écrite à ce schéma, et ce, au début de la session et à la fin de la session.

Les niveaux de formulation selon Park (2009)

Nous avons ensuite classé chacun des schémas selon les niveaux de formulation établis par Park (2009). Le tableau 24 illustre le pourcentage d'étudiants du groupe de Paul ayant représenté l'atome selon chacun de ces niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Tableau 24 Pourcentage d'étudiants du groupe de Paul ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Niveaux de formulation selon Park (2009)	Fréquence (%)	
	S1	S2
1 Atome = particule		
2 Particules subatomiques	4,2	8,3
3 Électrons autour du noyau	20,8	
4 Orbites circulaires		
5a Électrons sur orbites circulaires de différents niveaux	75,0	12,5
5b Électrons sur orbites de différentes formes		4,2
6 Modèle de Bohr (quantification de l'énergie)		
7 Électrons dans régions		20,8
8 Électrons : probabilité de présence		20,8
9a Électrons dans orbitales de différentes formes (non-superposées)		4,2
9b Électrons dans orbitales de différentes formes (superposées)		20,8
10 Concepts (dualité, probabilité, ect)		
Autre		8,3

On remarque que, au début du cours, 75 % des étudiants ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 5a : à la manière du modèle de Bohr, on considère que les électrons se trouvent sur les orbites circulaires permises de différents niveaux; environ 20 % des étudiants ont plutôt fourni une représentation typique du modèle nucléaire. Ces résultats concordent bien avec ce que Paul nous avait expliqué en lien avec les conceptions alternatives de ses étudiants, à savoir que ceux-ci pouvaient entretenir des conceptions proches des modèles de Rutherford et de Bohr.

À la fin du cours, on peut voir, dans cette même figure, que seulement environ 21 % des étudiants ont imaginé l'atome selon le niveau 9b voulant que les électrons se retrouvent dans des orbitales de différentes formes, un niveau de formulation qui appartiendrait au modèle probabiliste, en faisant une représentation qui mettait en évidence la superposition de ces orbitales. Une proportion semblable d'étudiants ont effectué une représentation liée au modèle probabiliste en affirmant que les électrons se retrouvent dans certaines régions, sans toutefois avoir été en mesure de discuter ou de représenter ces régions. Une même proportion d'étudiants ont quant à eux ajouté la notion de probabilité à cette idée de région dans laquelle

se trouve l'électron. On peut ainsi dire qu'un peu plus de 65 % des étudiants ont fait une représentation en lien avec le modèle probabiliste, même si ces représentations offraient un niveau de complexité variable.

Un changement dans la façon de concevoir l'atome ?

Lors de l'analyse des schémas expliqués, nous avons catégorisé les types de changements possibles entre la représentation du début de la session et celle de la fin selon le modèle atomique enseigné auquel le schéma correspondait. Le tableau 25 montre que pour près de 70 % des étudiants, il y a eu un changement positif vers un modèle plus complexe (qui n'est pas nécessairement le modèle probabiliste).

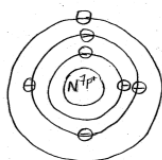
Tableau 25 Types de changement dans la façon dont les étudiants de Paul conçoivent l'atome

	Pourcentage d'étudiants
	%
Changement négatif (vers un modèle moins complexe)	8,3
Aucun changement	8,3
Changement positif (à l'intérieur du même complexe)	4,2
Changement positif (vers un modèle plus complexe)	66,7
On ne peut pas dire	12,5

Deux cas représentant un changement positif vers un modèle plus complexe

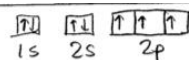
Les schémas réalisés par l'étudiant 2 sont présentés à la figure 28. Celui-ci a changé sa façon de concevoir l'atome en passant d'un niveau de formulation 5a pour le premier schéma (bien qu'il contienne des erreurs) à un niveau 8 pour le schéma 2. Malgré que l'étudiant n'ait ni décrit ni représenté les orbitales atomiques, ce schéma correspond, selon notre classification, à un changement positif vers un modèle scientifique plus complexe en empruntant certains concepts de la mécanique quantique.

Schéma 1 fait par l'étudiant 2 (niveau de formulation 5a)



Le "N" au centre est le symbole de l'azote (je crois).
Le rond au centre est le noyau, le 7p+ est le nombre de protons indiqués, les anneaux à l'extérieur représentent les "couches" sur lesquelles les 7 électrons sont répartis.
Je crois me souvenir qu'il n'y a pas plus de deux électrons sur la première strate, mais pour les autres, je ne le sais pas.

Schéma 2 fait par l'étudiant 2 (niveau de formulation 8)

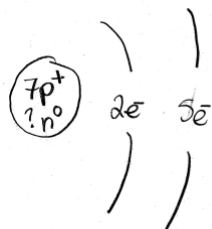


Puisque l'électron est à la fois une onde et une particule, on ne peut déterminer avec exactitude où ils se trouvent, alors nous devons nous contenter de dessiner l'espace où on a le plus de probabilités de le trouver. (Donc l'électron se trouve à quelque part dans une «bulle»).

Figure 28 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 2 du groupe de Paul.

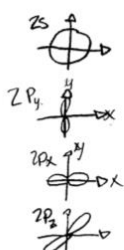
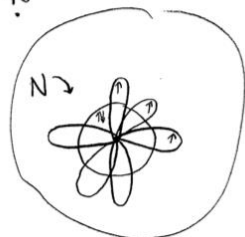
La figure 29 montre les schémas réalisés par l'étudiant 17. Cet étudiant conçoit l'atome selon le niveau de formulation 5a au début et selon le niveau de formulation 9b à la fin de la session. Cela correspond à un changement positif vers un modèle plus complexe. On remarque que sur le deuxième schéma, l'étudiant a représenté les cases quantiques, les orbitales non superposées et les orbitales superposées.

Schéma 1 fait par l'étudiant 17 (niveau de formulation 5a)



- Le cercle représente le noyau de l'atome d'azote, qui est composé de 7 protons ($7p^+$) et de ? neutrons (n°) *à calculer à l'aide du tableau périodique (nb. de masse - numéro atomique)
 - Les 2 courbes représentent les couches électroniques de l'atome, qui ont respectivement 2 électrons et 5 électrons.

Schéma 2 fait par l'étudiant 17 (niveau de formulation 9b)



L'atome d'azote possède 5 électrons de valence qui sont dans les orbitales 2s, 2py, 2px et 2pz.

Figure 29 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 17 du groupe de Paul.

Le cas de Geneviève

Geneviève est professeure de chimie au collégial depuis 11 ans. Elle enseigne actuellement dans un collège de la grande région de Montréal. Titulaire d'un baccalauréat et d'une maîtrise en biochimie, Geneviève a amorcé des études doctorales en biochimie, qu'elle n'a pas terminées. Dans la prochaine section, nous décrirons certains éléments de son rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome, nous mettrons en lumière ses pratiques déclarées pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous discuterons des écarts entre les pratiques déclarées et celles observées en classe, et enfin, nous analyserons les savoirs appris par les étudiants.

Le rapport aux savoirs des enseignants

Les enseignants participants ont été interrogés relativement à certaines dimensions de leur rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome.

Une réappropriation des savoirs pour l'enseignement

Geneviève, qui détient une formation en biochimie, avoue qu'elle a dû revoir les savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome afin de parfaire sa propre compréhension de ces concepts.

« Au début, c'était ma hantise. C'était peut-être justement le bout qui me posait le plus de tracas. Puis, en fait, c'était plus le pont entre le modèle de Bohr et le modèle probabiliste... Parce que je m'étais plongée dans comment j'avais vu ça au cégep, puis on n'avait pas vraiment fait de pont, nous on était rentrés dans le modèle probabiliste, puis on s'était fait dire *c'est ça, prenez ça pour du cash* ! Puis ça avait très bien fonctionné avec moi et je me suis rendu compte aussi, n'en ayant pas fait dans mon programme universitaire, je n'ai pas fait de quantique moi, que c'était ça mes bases. Donc, je me rendais compte que mes bases n'étaient pas nécessairement solides. Je ne saisisais pas nécessairement très bien moi-même tous les liens, mais là, ça s'est clarifié et tout l'échafaudage de connaissances qu'on fait, je suis confortable avec ça. C'était un défi, c'était quelque chose qui me faisait peur, mais c'est un beau défi en même temps. Maintenant, j'aime ça, je peux dire que j'aime ça. »

L'extrait montre que Geneviève évolue, elle passe d'un rapport de peur à un rapport où elle se sent plus en confiance avec les savoirs, au point même de les aimer. Elle souligne, par ailleurs que bien qu'elle ne prétende pas tout connaître de la mécanique quantique, elle est

satisfaite du niveau actuel de ses connaissances et considère faire un bon travail de vulgarisation pour l'enseignement de notions si complexes.

« Exactement. Puis, c'est sûr que ça demeure que je ne suis pas un maître de la quantique, mais au niveau où je l'enseigne, je pense que j'arrive à faire quand même un bon travail de vulgarisation, de démystification de la chose et d'acceptation chez les étudiants de leurs limites face à la compréhension de ce modèle-là. Parce que, moi aussi ça a été ça, c'est d'accepter que c'est complexe, c'est extrêmement complexe, et il pouvait y avoir une limite à ce que j'en comprenais, mais elle était déjà supérieure à la limite que mes étudiants allaient rencontrer. »

La connaissance des savoirs difficiles à enseigner

Geneviève souligne que les savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome sont difficiles à enseigner en raison, entre autres, de leur grande complexité, bien qu'ils soient très simplifiés pour leur enseignement.

« Parce que, justement, c'est un système extrêmement complexe qu'on vient à simplifier à l'extrême. Je pense les profs aussi..., du moins au début, et c'est ça que je te disais... le jour où j'ai compris que, mon Dieu, c'est pas parce que je suis pourrie qu'ils ont les sourcils froncés comme ça, c'est vraiment parce que c'est compliqué, c'est compliqué, peu importe qui est le prof ! »

Elle considère que ces savoirs sont plus faciles à enseigner aux étudiants plus curieux, qui seront fascinés par ces notions, mais précise que cela ne correspond pas à la majorité des élèves.

« D'un autre côté, il y a des étudiants très curieux de nature. Justement, il y en a qui sont fascinés, on est en train de défaire les dogmes, ils font des ponts avec ce qu'ils font en physique, puis je trouve ça beau de voir ça, mais ce n'est vraiment pas la majorité. »

La transformation des savoirs lors de la planification

Avec le modèle de la transformation de Shulman (1987) comme outil analytique, nous avons relevé les processus empruntés par Geneviève pour transformer les savoirs à enseigner, ainsi que les justifications derrière ses choix.

La préparation

Geneviève a abordé l'examen du matériel d'enseignement, le choix des contenus essentiels ainsi que l'élaboration de matériel didactique.

- Examen du matériel d'enseignement

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 à compléter et de ses présentations PowerPoint, afin de suivre un certain fil conducteur.

« 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... Mais, peu importe, 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! »

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.

En plus, elle considère que les savoirs à enseigner sont si complexes qu'ils doivent être simplifiés, ce qui, dans certains cas, pourra l'amener à « mentir » un peu sur certaines choses.

« Donc, même des fois, on ment un petit peu pour que ça soit *gobable* et compréhensible par les étudiants. [...] Des fois, quand j'explique la dualité des particules, je ne suis pas sûre que je dis exactement la vérité, mais ça a du sens, ça se tient. [...] pour qu'ils n'accrochent pas sur un détail finalement qui fait qu'il n'y a pu rien qui va bien rentrer après. J'essaie de les rendre confortables, parce que c'est vraiment une matière inconfortable, qui rend tout le monde inconfortable. »

- Choix des contenus essentiels

Pour faciliter la compréhension chez ses étudiants, Geneviève a élagué ou épuré certains contenus. Elle réalise ses choix d'après l'échafaudage des connaissances, 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.

« C'est beaucoup l'échafaudage des connaissances, en fait. J'ai toujours, et ça depuis le début, j'ai toujours eu la vision de mon cours au complet et du cours qui s'en vient après. Mais, de quoi ils ont besoin dans la séquence, de l'information que je vais donner, je sais que les connaissances ultérieures dans le cours vont s'appuyer là-dessus. Donc, j'ai toujours ça en tête quand je fais de la planification. [...] J'ai toujours ma finalité en tête. Donc, avec ça, sachant c'est quoi l'essentiel, c'est quoi l'objectif poursuivi dans le cours ou l'objectif que j'estime qui est important pour que ça se passe bien. Je pense plus au cours de chimie organique qu'au cours de chimie des solutions. Mais c'est ça qui *m'enligne*. »

Geneviève évite d'aborder des concepts accessoires qui pourraient causer des difficultés aux étudiants et qui ne seraient pas essentiels à l'échafaudage des connaissances qu'elle construit.

- Rédaction de matériel didactique

Geneviève a rédigé des notes de cours pour ses étudiants. Dans ce document, elle présente les savoirs qu'elle considère importants dans l'ordre qui lui convient, comme elle l'expliquait plus tôt. Ces notes contiennent des parties à remplir par les étudiants ainsi que de nombreux exercices. Une courte présentation PowerPoint a aussi été réalisée par Geneviève pour cette leçon.

Le choix des formes de représentation

Nous avons invité Geneviève à décrire sa planification et à justifier ses choix. Les informations recueillies ont été consignées dans un tableau de planification (annexe 7). La fréquence d'utilisation de différentes formes de représentation par Geneviève ainsi que les raisons derrière leur utilisation figurent aux tableaux 26 et 27.

Tableau 26 Fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Geneviève.

Types de représentation	
Analogie	1
Figure	6
Dessin (à la main)	0
Représentation tirée d'un film ou émission	0
Animation (vidéo)	2
Matériel (ballons, modèles en 3D)	1
Équation mathématique	0
Truc du prof	0

Le tableau 27 illustre la fréquence des justifications énoncées par Geneviève pour le choix de ses formes de représentation.

Tableau 27 Fréquence des justifications énoncées par Geneviève pour le choix de ses formes de représentation.

Justifications	
Champs d'intérêt personnels du prof	0
Attirer attention des étudiants	0
Illustrer, expliquer	6
Humour	0

Les figures et les vidéos sont les formes de représentation les plus fréquemment planifiées. Les justifications fournies se résument à expliquer/illustrer. Nous présenterons quelques exemples.

La figure 30 illustre une analogie réalisée par Geneviève afin d'expliquer que les combinaisons de nombres quantiques servent à décrire les orbitales de la même manière que l'on peut situer une personne en précisant à quel étage de l'immeuble elle se trouve, le numéro d'appartement ainsi que la pièce dans l'appartement.

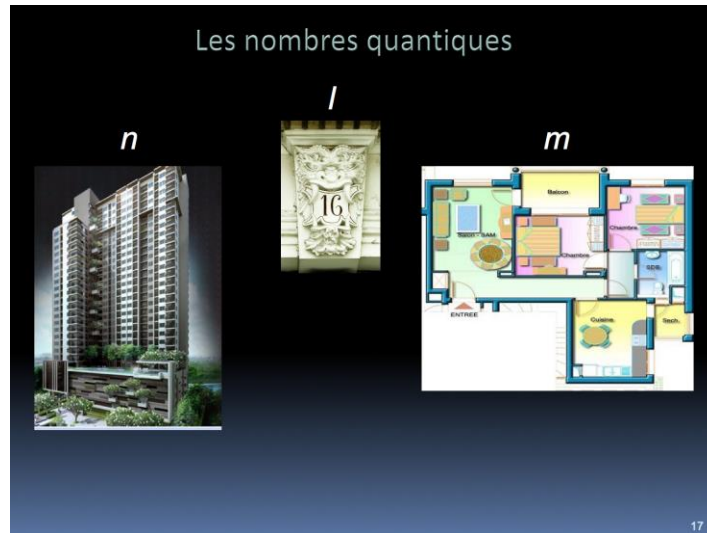


Figure 30 Analogie réalisée par Geneviève pour l'enseignement des nombres quantiques.

La figure 31 présente un tableau réalisé par Geneviève pour l'enseignement des nombres quantiques. Ce tableau lui sert à expliquer ce que caractérise chacun des nombres quantiques ainsi que les valeurs permises pour chacun.


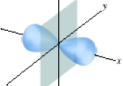

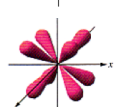
	Nombre quantique principal n (section 5.4.1)		Nombre quantique secondaire l (section 5.4.2)		Nombre quantique magnétique m_l (section 5.4.3)	
Valeurs permises	$n = 1, 2, 3, \dots$		$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$		$m = -l, \dots, 0, \dots, +l$	
Détermine...	Le niveau énergétique et la taille des orbitales		La forme des orbitales		L'orientation des orbitales	
Caractérise ...	Un niveau électronique		Un sous-niveau électronique		L'orbitale d'un sous-niveau	
	Valeur de n	Énergie Proximité du noyau	Valeur de l	Identification du sous-niveau	Type d'orbitale	Valeurs de m_l Nombre d'orbitales
	1 2 3 4 5 ...	+ basse + près + élevée + éloignée	0 1 2 3	s p d f	   	s p d f $l = 0$ $m_l = 0$ 1 orbitale s $l = 1$ $m_l = -1, 0, +1$ 3 orbitales p $l = 2$ $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ 5 orbitales d $l = 3$ $m_l = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ 7 orbitales f

Figure 31 Tableau réalisé par Geneviève pour l'enseignement des nombres quantiques

Geneviève a prévu utiliser une forme de représentation de type matériel afin d'illustrer chacun des types d'orbitale prise isolément, et les orbitales lorsqu'elles sont superposées. La figure 32 montre comment elle illustre les formes des orbitales avec différents types de ballons.

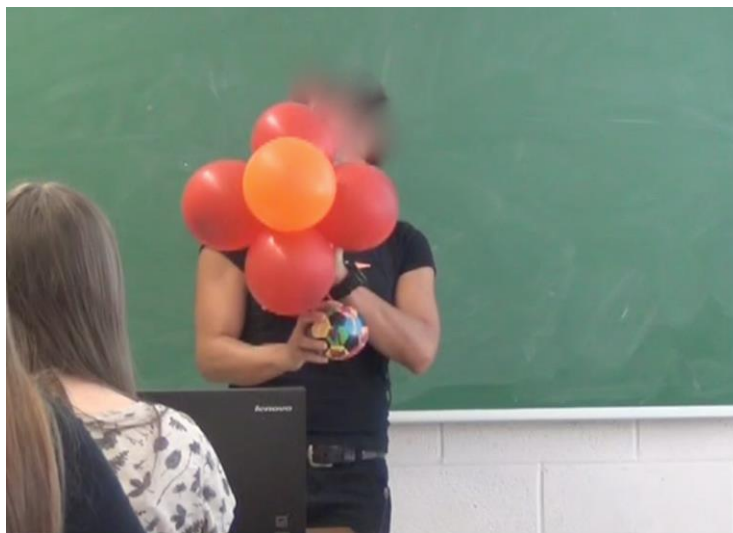


Figure 32 Représentation de type matériel utilisée par Geneviève pour l'enseignement des formes des orbitales.

Enfin, Geneviève prévoit utiliser deux formes de représentation de type vidéo qui sont, en fait, des animations, toujours pour illustrer les orbitales de différentes formes et leur superposition. La figure 33 présente une capture d'écran d'un exemple de vidéo utilisée.

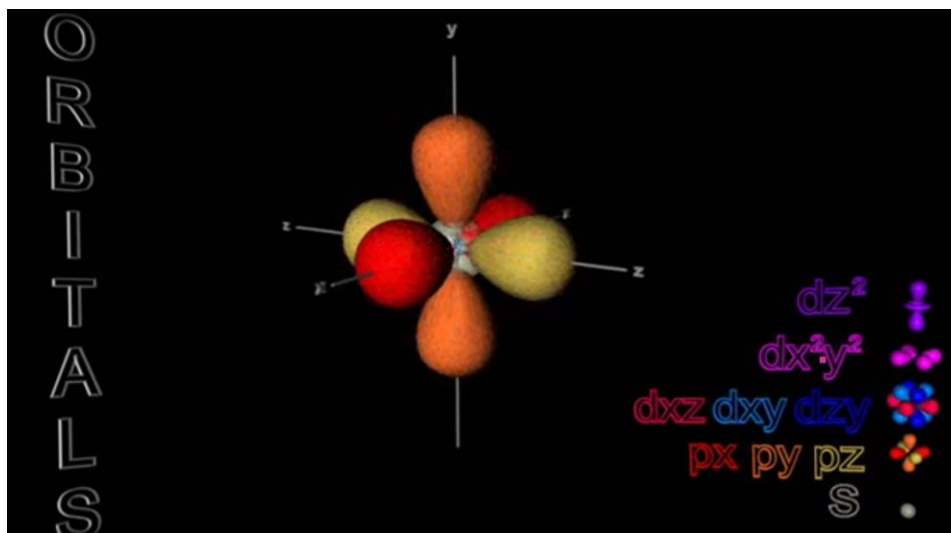


Figure 33 Capture d'écran d'une représentation de type vidéo utilisée par Geneviève pour l'enseignement des formes des orbitales ainsi que leur superposition.

Le choix d'une stratégie d'enseignement

Le tableau 28 illustre la fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Geneviève.

Tableau 28 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Geneviève.

Activités d'enseignement et d'apprentissage	
Introduction	0
Rappel	0
Vision globale des thèmes de la leçon	0
Questionnement	0
Explications (exposé magistral)	8
Exemples (par le prof)	1
Exercices (individuels, en équipe ou en groupe)	2
Résumé	0

Les explications sous la forme d'exposés magistraux sont la méthode d'enseignement la plus fréquemment utilisée par Geneviève selon le tableau de planification que nous avons réalisé (annexe 7).

Ensuite viennent les exercices faits soit individuellement, soit en équipe ou en groupe. Il convient de préciser que nous avons utilisé le code « exercices » une fois alors qu'il s'agissait plutôt d'un bloc d'exercices. Ainsi, bien que la fréquence du code « exercices » ne soit pas très élevée, une période de temps relativement longue a été planifiée pour la résolution d'exercices.

Le tableau 29 illustre la fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Geneviève.

Tableau 29 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Geneviève.

<u>Justifications</u>	
Vérification de la compréhension des étudiants	0
Faire des liens	4
Résolution en groupe	0
Répétitions	1
Pour s'exercer	1
Autres justifications	1

La justification la plus fréquemment énoncée par Geneviève est de faire des liens. Cette justification toucherait non seulement les explications sous forme d'exposés, mais aussi le choix de faire réaliser des exercices par les étudiants. Dans le premier cas, ses explications lui permettraient de faire des liens entre certains éléments de contenu alors que les exercices qu'elle avait planifiés aidaient les étudiants à faire des liens entre toutes les notions apprises.

L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Les étudiants de Geneviève suivent le cheminement régulier selon la grille de cours du programme (nous avons recueilli les données à l'automne) du collège. Selon l'enseignante, les étudiants du groupe sont de force moyenne. Pour connaître leurs caractéristiques, elle leur demande de remplir un questionnaire au début de la session. Elle les interroge relativement à leurs champs d'intérêt personnels, mais aussi aux raisons justifiant leur choix de programme.

En ce qui concerne les conceptions qu'entretiennent ses étudiants à l'égard de la structure de l'atome, Geneviève fait mention de conceptions relatives aux connaissances en lien avec le modèle de Rutherford et Bohr, modèle qui, selon elle, est bien ancré chez les étudiants.

Pour tenir compte de ces conceptions, Geneviève dit faire le maximum de parallèles entre le modèle de Bohr et le modèle probabiliste qu'elle doit enseigner, comme le démontre l'extrait suivant.

« En débutant avec le modèle de Bohr (on y va quand même assez à fond ici) [...]. Donc, ça, ça me permet quand j'arrive au modèle probabiliste de dire : maintenant on connaît l'énergie avec certitude, mais on n'est plus sûr où ils (*les électrons*) sont exactement. Mais je fais le parallèle toujours. Je leur dis que c'est des *ballounes* dans lesquelles on peut retrouver les électrons, mais je leur dis : vous pouvez quand même le voir en termes de couches parce que ça reste quand même grosso modo une question de couches. 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, moi, 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. »

Par exemple, elle cherchera à ce que les étudiants fassent le lien entre le nombre d'électrons sur chaque couche électronique, tel qu'ils l'ont appris auparavant, et le nombre d'électrons sur chaque niveau d'énergie selon les valeurs permises pour les nombres quantiques.

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.

L'enseignement des savoirs

Dans l'objectif d'analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive, en lien notamment avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous avons procédé à des entrevues de rappel stimulé où les professeurs étaient invités à expliquer ce qu'ils avaient en tête au moment où ils enseignaient (grâce au visionnement de l'enregistrement vidéo de leur leçon). Cela nous a permis de comprendre certains écarts entre les pratiques déclarées et effectives.

Les propos recueillis lors de l'entrevue de rappel stimulé ont mis en évidence certains moments où Geneviève avait eu à réfléchir dans l'action et, dans certains cas, à prendre des décisions pendant son cours. Nous avons aussi noté des moments où elle réfléchissait *a posteriori* sur son action. Le tableau 30 présente la fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Geneviève.

Tableau 30 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Geneviève.

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

On voit que plusieurs prises de décision ont été relevées pendant la réflexion dans l'action et que plusieurs thèmes étaient plutôt liés à la réflexion sur l'action.

Les indices à la base des décisions les plus fréquents que nous avons relevés étaient liés aux étudiants : leurs réactions face aux questions du prof ainsi que leurs signes non verbaux. Nous donnerons deux exemples.

L'extrait suivant illustre une réflexion dans l'action où, devant l'absence de réponse des étudiants et la lecture de signes non verbaux d'incompréhension, Geneviève décide de poursuivre son plan et de passer à l'étape suivante.

« – C : Maintenant, tu demandes la même affaire : *Ça marche?*

– G : Ils ne sont pas sûrs que ça marche. Oui, ils n'ont pas l'air de dire que ça marche, je ne peux pas dire que non, non ça ne marche pas du tout, mais je lis de l'incertitude dans leur visage.

– C : Parce que dans cet exemple-là, il y a beaucoup de choses quand même, il y a les valeurs permises, les correspondances l et s, et là, il y a le nombre d'orbitales.

– G : Oui, c'est ça, c'est beaucoup de choses en même temps. Mais, en même temps, ils consignent l'information et ce que j'aime, c'est qu'après, quand ils font les exercices, ça leur donne des exemples où tout est rassemblé.

– G : Ce n'est peut-être pas parfait, mais en même temps, ça ne m'étonne pas, il y a peut-être une façon de faire pour qu'ils comprennent plus rapidement et tout ça, mais je n'ai pas trouvé la tournure pour ça. Je sens qu'ils comprennent un peu le sens que ça commence à prendre, mais il y a encore de l'incertitude. Mais je sens qu'ils font confiance que ça va aboutir. Des fois, il y a de la résistance instantanée, mais là, il n'y a pas ça. On ne me répond pas ça va, mais on ne me répond pas ça ne va pas. Ok, je pense qu'elle nous amène quelque part même si on n'est pas sûrs. On va la suivre (ce que les étudiants se disent, selon Geneviève). »

Nous avons illustré le processus décisionnel de Geneviève à la figure 3.

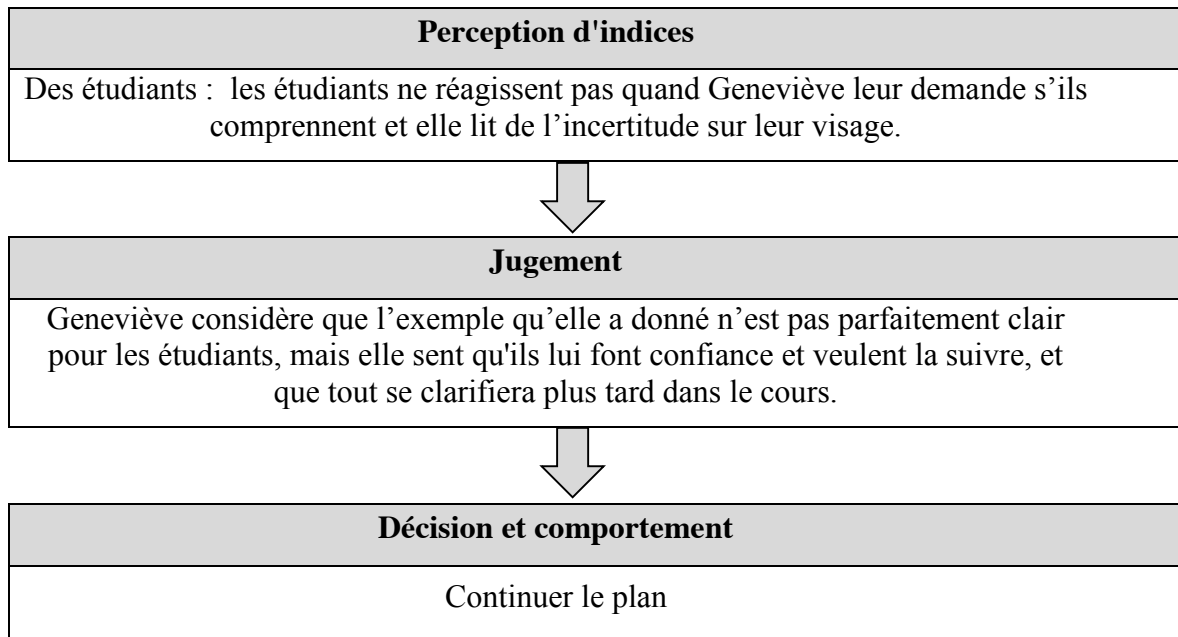


Figure 34 Exemple de processus décisionnel dans l'action de Geneviève ayant mené à la poursuite du plan.

Ainsi, Geneviève aurait pu décider de revenir sur l'exemple et d'expliquer davantage, mais elle poursuit avec ce qu'elle a prévu. Elle sait qu'il est normal qu'il y ait un peu d'incompréhension à ce moment, et surtout, elle sent que ses étudiants lui font confiance et elle est convaincue que tout s'éclaircira sous peu.

L'extrait suivant illustre un exemple de réflexion dans l'action suscitée par les réactions des étudiants à une question, qui amènent l'enseignante à considérer de changer sa planification dans le futur.

- « – C : Tu demandes aux élèves combien d'électrons dans la première couche.
- G : Oui, je ne sais pas pourquoi, parce que ça marche plus à partir de la troisième.
- C : Ils ne se font pas dire 18?
- G : Oui, je ne sais pas pourquoi. Il me semble que je m'étais fait dire 18 au secondaire.
- C : Je ne sais pas s'ils voient la troisième période... Ça fait plusieurs fois que tu demandes ça ?

- G : Oui. Les premières fois, j’avais les bonnes réponses, c’est plus récemment dans les dernières années que là...
- C : Tu leur poses la question d’après ce qu’ils ont appris avec Bohr, mais tu es avec ton nombre d’orbitales.
- G : Oui, parce que je me rappelle les premières années où je parlais de ça, c’était pour dire : vous avez appris les nombres d’électrons sur chaque couche, mais ces nombres-là viennent du modèle probabiliste, mais là, ça ne marche plus...
- C : En tout cas, quand même, ils ont répondu à ta question en grand nombre.
- G : Oui, quand même ils ont suivi, ils étaient encore là.
- C : Tu te sers de ça, ton nombre d’orbitales et ton nombre d’électrons pour les trois premières couches. Tu tentes quand même de faire un lien.
- G : Je pense que je vais arrêter... »

Le processus décisionnel de Geneviève est illustré à la figure 35.

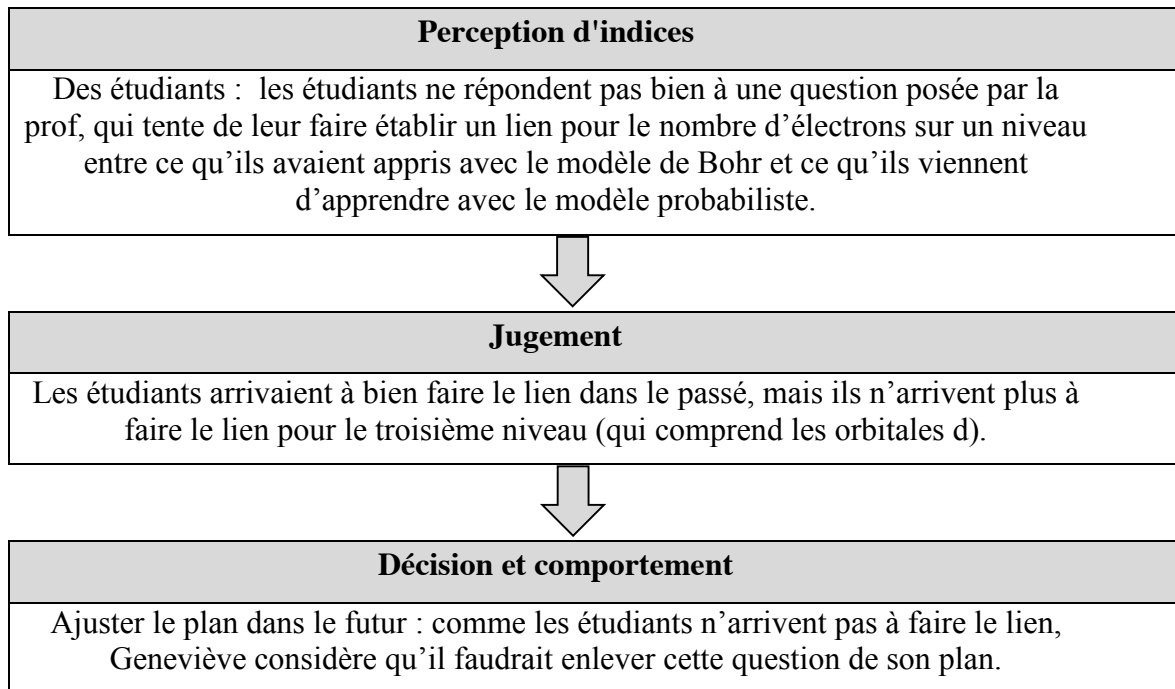


Figure 35 Exemple de processus décisionnel de Geneviève ayant mené à la décision d’ajuster le plan dans le futur.

L’analyse des propos de Geneviève lors de l’entrevue de rappel stimulé a aussi mis en évidence des moments de réflexion sur l’action, c’est-à-dire des moments après l’action où

l'enseignant réfléchit à ce qui s'est passé. Dans le prochain extrait, Geneviève discute, après-coup, et pense aux représentations matérielles (balles, ballons et ballons gonflés qu'elle utilise et à l'effet de ces formes de représentation sur la compréhension des étudiants.

« – G : C'est comme si ça met un peu de plaisir dans le sérieux. Je sors les objets d'une boîte à surprises. On sort du contexte du cours. Peu importe ce qui sort, ça brise le rythme du cours un peu et puis ça détend l'atmosphère.

– C : Puis là, tu leur montres ça, on va parler juste des sphères...

– C : Je leur montrais que quand on passe d'un niveau à l'autre et qu'on observe un type de sous-niveau comme le s, tout ce qui différencie, c'est la taille, et on les retrouve emboîtés les uns dans les autres comme un système de poupées russes. C'est l'image que je veux donner.

– C : Pis ça, les objets, tu trouves que ça va bien pour montrer ça?

– G : Avec les sphères oui, quand on arrive aux poupées russes... le système de poupées russes avec les p, ça commence à être compliqué.

– C : Là t'arrives avec les orbitales p toutes prêtes! Ça, ça te permet aussi de voir les orbitales p en trois axes. Pendant que tu le fais, est-ce que tu penses que pour les élèves ça veut dire quelque chose?

– G : Oui, ça se déride, là. Oui, je pense que ça les aide. »

Geneviève critique ainsi les représentations matérielles qu'elle utilise pour illustrer les formes et la superposition des orbitales, en admettant aussi les limites de ces représentations.

Maintenant que nous avons décrit les pratiques déclarées par Geneviève lors de l'entrevue de planification ainsi que les changements dans les pratiques effectives par rapport à ce qui avait été planifié en lien avec les décisions prises, nous présenterons les résultats liés aux savoirs acquis par ses étudiants.

Les savoirs appris

Pour étudier les savoirs acquis, nous avons demandé aux étudiants de chacun des enseignants participants de représenter schématiquement comment ils s'imaginaient un atome d'azote et de fournir une explication écrite à ce schéma, et ce, au début de la session et à la fin.

Les niveaux de formulation selon Park (2009)

Nous avons ensuite classé chacun de ces schémas selon les niveaux de formulation établis par Park (2009). Ces niveaux ont été définis dans le cadre conceptuel. Le tableau 31 illustre le pourcentage d'étudiants du groupe de Geneviève ayant représenté l'atome selon chacun de ces niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Tableau 31 Pourcentage d'étudiants du groupe de Geneviève ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Niveaux de formulation selon Park (2009)	Fréquence (%)	
	S1	S2
1 Atome = particule		
2 Particules subatomiques		
3 Électrons autour du noyau	12,8	
4 Orbites circulaires		
5a Électrons sur orbites circulaires de différents niveaux	85,1	6,4
5b Électrons sur orbites de différentes formes	2,1	6,4
6 Modèle de Bohr (quantification de l'énergie)		
7 Électrons dans régions		8,5
8 Électrons : probabilité de présence		4,3
9a Électrons dans orbitales de différentes formes (non-superposées)		2,1
9b Électrons dans orbitales de différentes formes (super posées)		53,2
10 Concepts (dualité, probabilité, ect)		6,4
Autre		12,8

On remarque qu'au début du cours, 85 % des étudiants ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 5a : les électrons se trouvent sur les orbites circulaires permises de différents niveaux, à la manière du modèle de Bohr. Rappelons que lorsque nous avons interrogé Geneviève à propos des conceptions alternatives de ses étudiants, elle avait fait mention de conceptions relatives aux connaissances en lien avec le modèle de Rutherford et Bohr, modèle qu'elle considérait comme très bien ancré chez les étudiants.

On peut voir dans la même figure qu'à la fin de la session, un peu plus de 50 % des étudiants ont imaginé l'atome selon le niveau 9b voulant que les électrons se retrouvent dans des orbitales de différentes formes, un niveau de formulation qui appartiendrait au modèle probabiliste, en faisant une représentation qui mettait en évidence la superposition de ces orbitales. On remarque aussi que 6 % des étudiants ont, en plus de cette représentation

correspondant au niveau 9b, expliqué différents concepts de la mécanique quantique tels que la dualité de l'électron ainsi que la notion de probabilité de présence.

Un changement dans la façon de concevoir l'atome ?

Lors de l'analyse des schémas expliqués, nous avons catégorisé les types de changements possibles entre la représentation du début de la session et celle de la fin selon le modèle atomique enseigné auquel le schéma correspondait. Le tableau 32 montre que pour 85 % des étudiants, il y a eu un changement positif vers un modèle plus complexe (qui n'est pas nécessairement le modèle probabiliste).

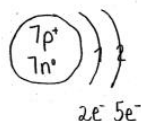
Tableau 32 Types de changement dans la façon dont les étudiants de Genève conçoivent l'atome.

	Pourcentage d'étudiants
	%
Changement négatif (vers un modèle moins complexe)	0,0
Aucun changement	10,6
Changement positif (à l'intérieur du même modèle)	4,2
Changement positif (vers un modèle plus complexe)	85,1
On ne peut pas dire	4,3

Un cas représentant un changement positif vers un modèle plus complexe.

L'étudiant 13, dont les schémas sont présentés à la figure 36, a changé sa façon de concevoir l'atome en passant du niveau de formulation 5a pour le premier schéma au niveau de formulation 10 pour le schéma 2. Cela correspond, selon notre classification, à un changement positif vers un modèle scientifique plus complexe.

Schéma 1 fait par l'étudiant 13 (niveau de formulation 5a)



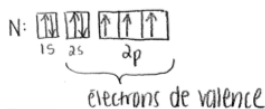
De ce que je me souviens, elle s'appelle la représentation Rutherford-Bohr simplifiée. Le cercle représente le noyau de l'atome, et il contient les nucléons. Les protons sont présents en même quantité que les électrons (p^+) et pour trouver les neutrons (n^0) c'est avec le nombre de masse de l'atome (masse molaire arrondie à l'unité). Il faut lui soustraire le nombre de protons.

Pour les électrons (e^-), ils sont répartis sur plusieurs couches électroniques (#Arabe des rangées indique combien de couches l'atome possède). Pour trouver le nombre d'électrons* possible par couche c'est avec la formule $2n^2$.

maximum ←

Schéma 2 fait par l'étudiant 13 (niveau de formulation 10)

orbitale s ○
orbitale p ∞



Les électrons de valence se déplacent dans des orbitales de sous-niveaux différents.

* Il est impossible de prédire sa position ainsi que sa vitesse.

Le modèle probabiliste est basé sur la mécanique quantique (nombre quantique n, m_l, l, s)

Figure 36 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 13 du groupe de Geneviève.

Un cas où l'on observe une absence de changement

La figure 37 illustre les schémas réalisés par l'étudiant 24. On peut voir qu'il conçoit l'atome de la même façon au début et à la fin de la session. Ses représentations coïncident avec le niveau de formulation 5a de Park (2009).

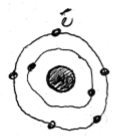
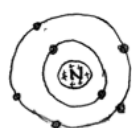
Schéma 1 fait par l'étudiant 24 (niveau de formulation 5a)	
 <p>e^- = électron (7) N = Neutron (7) P^+ = proton (7)</p>	<p>Il y a deux couches dont 5 électrons de valence. Dans le noyau il y a 7 protons⁺ et 7 neutrons. Sur les deux couches il y a un total de 7 électrons. Les électrons circulent sur les couches (un peu comme les planètes tournent autour du soleil / leur étoile). Les électrons sont de charge négative et les protons de charge positive.</p>
Schéma 2 fait par l'étudiant 24 (niveau de formulation 5a)	
 <p>+ → proton • → electron</p>	<p>Mon idée n'a pas changé, il y a un noyau avec des protons et des neutrons ainsi que des électrons qui circulent sur les couches électroniques.</p>

Figure 37 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 24 du groupe de Geneviève.

Le cas d'Évelyne

Évelyne enseigne la chimie dans un collège de la région de Montréal, et ce, depuis plus de 14 ans. Elle est titulaire d'un baccalauréat en biochimie et d'une maîtrise en microbiologie agricole (chimie organique). Dans la prochaine section, nous décrirons certains éléments de son rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome, nous mettrons en lumière ses pratiques déclarées pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous discuterons des écarts entre les pratiques déclarées et celles observées en classe, et enfin, nous analyserons les savoirs appris par les étudiants.

Le rapport aux savoirs des enseignants

Les enseignants participants ont été interrogés relativement à certaines dimensions de leur rapport aux savoirs touchant au modèle probabiliste de l'atome.

La perception de l'enseignant pour ces savoirs

Évelyne souligne le caractère particulier des notions relatives au modèle probabiliste de l'atome en précisant qu'il faut beaucoup de temps pour se familiariser avec elles. Elle utilise les adjectifs « choquants » et « contre-intuitifs » pour qualifier ces savoirs issus de la mécanique quantique.

« L'atome probabiliste, c'est un peu..., c'est particulier, ça prend du temps, je pense que c'est quelque chose qui prend du temps à assimiler complètement. Tu en vois un petit bout, après ça, un autre petit bout et, à l'université, encore un autre petit bout parce que... c'est choquant. C'est choquant de savoir que l'électron est une onde et une particule, qui se promène de façon aléatoire, on ne sait pas exactement il est où [...]. C'est un peu... c'est déstabilisant. [...] C'est quelque chose qui est contre-intuitif et la physique quantique en général c'est contre-intuitif. »

Évelyne précise qu'elle avait elle-même éprouvé ce sentiment au cégep au moment d'apprendre ces notions.

Une réappropriation des savoirs pour l'enseignement

Évelyne avoue qu'il lui a fallu travaillé à mieux comprendre ces notions de façon à bien faire les liens entre elles, avant de les enseigner. Pour ce, la préparation de son cours et des recherches dans différentes sources l'ont aidée. Elle ajoute avoir amélioré sa

compréhension au fur et à mesure qu'elle enseignait et que ses étudiants lui posaient des questions. Bien qu'elle enseigne depuis plus de dix ans, Évelyne affirme en apprendre encore chaque année et pense qu'on n'a jamais fini d'en apprendre, avec ce modèle-là...

La connaissance des savoirs difficiles à enseigner

Évelyne considère que les savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome sont difficiles à enseigner en raison, entre autres, du niveau d'abstraction des concepts en jeu. Ces savoirs, qu'elles qualifient de contre-intuitifs, contrastent, selon elle, avec le côté rationnel de ses étudiants. Ceux-ci, qui ont davantage étudié des faits observables dans le passé, doivent maintenant accepter d'apprendre des concepts non observables qui dérogent aux lois de la physique classique.

La transformation des savoirs lors de la planification

Avec le modèle de la transformation de Shulman (1987) comme cadre d'analyse, nous avons décrit les processus empruntés par Évelyne pour transformer les savoirs à enseigner, ainsi que les justifications derrière ces choix.

La préparation

Évelyne a abordé l'examen du matériel d'enseignement, le choix des contenus essentiels et la rédaction de matériel didactique.

- Examen du matériel d'enseignement

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

- Choix des contenus essentiels

Après avoir pris connaissance des savoirs à enseigner décrits dans les manuels, 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.

« Mais en fait, je parle que c'est une onde, mais je ne mets pas la fonction d'onde parce qu'on ne la calcule pas et ça n'amène pas tant de choses que ça pour comprendre. Je pense que le modèle probabiliste, première session, ils arrivent au cégep... c'est juste comprendre la base de l'atome. Puis moi, ce que je veux, c'est qu'ils soient capables d'utiliser ça pour l'appliquer après pour former des molécules et faire autre chose... »

Évelyne choisit aussi d'insister sur les applications en lien avec les concepts. Par exemple, elle accordera beaucoup d'importance à l'écriture des configurations électroniques et à l'analyse des propriétés périodiques des éléments en lien avec leur structure électronique.

« Oui, aller à l'essentiel, mais je vais quand même loin, souvent c'est dans les applications, puis dans les liens qu'on peut faire avec le reste. Dans le fond, c'est plus quand on va faire la configuration électronique, à la fin, je fais une activité où on a tous les atomes et on fait le lien avec le tableau périodique, mais là, après, c'est de voir le lien avec les configurations électroniques et les différentes propriétés des atomes des éléments. »

Enfin, Évelyne 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 plus et sur quoi il faut plus insister et de 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 l'atome 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... »

- Rédaction de matériel didactique

Évelyne a préparé une présentation PowerPoint dans laquelle sont intégrées les questions posées avec les télévotants. En accompagnement, elle a préparé des notes de cours à

remplir contenant quelques indications, questions et exercices. Évelyne considère que ce type de matériel aide l'étudiant à suivre le cours et à prendre des notes.

Le choix des formes de représentation

Les enseignants ont été invités à décrire tout ce qu'ils avaient planifié pour leur cours et à justifier leurs choix. Nous avons consigné les informations recueillies dans un tableau de planification (annexe 8).

Les formes de représentation utilisées par les enseignants ont été mises en évidence ainsi que les raisons derrière leur utilisation. Le tableau 33 illustre la fréquence d'utilisation des formes de représentation planifiées par Évelyne.

Tableau 33 Fréquence des formes de représentation planifiées par Évelyne.

Types de représentations	
Analogie	1
Figure	8
Dessin (à la main)	0
Représentation tirée d'un film ou émission	0
Animation (vidéo)	1
Matériel (ballons, modèles en 3D)	1
Équation mathématique	1
Truc du prof	1

On voit qu'Évelyne a prévu utiliser un très grand nombre de représentations visuelles de type figure. La plupart de ces figures sont tirées du manuel. Elle utilise aussi une vidéo extraite d'un épisode de la série *Space Time Odyssey* et des modèles en 3D des types d'orbitales.

Le tableau 34 illustre la fréquence des justifications énoncées par Évelyne pour le choix de ses formes de représentation.

Tableau 34 Fréquence des justifications énoncées par Évelyne pour le choix de ses formes de représentation.

Justifications	
Champs d'intérêt personnels du prof	0
Attirer attention des étudiants	0
Illustrer, expliquer	4
Humour	0

La seule justification évoquée pour le choix de ces formes de représentation (figures, vidéo et modèles en 3D) était illustrer/expliquer.

La figure 38 est une captation d'écran d'un extrait vidéo qu'Évelyne a choisi de présenter à ses étudiants afin d'illustrer certains principes des modèles de Bohr et probabiliste.

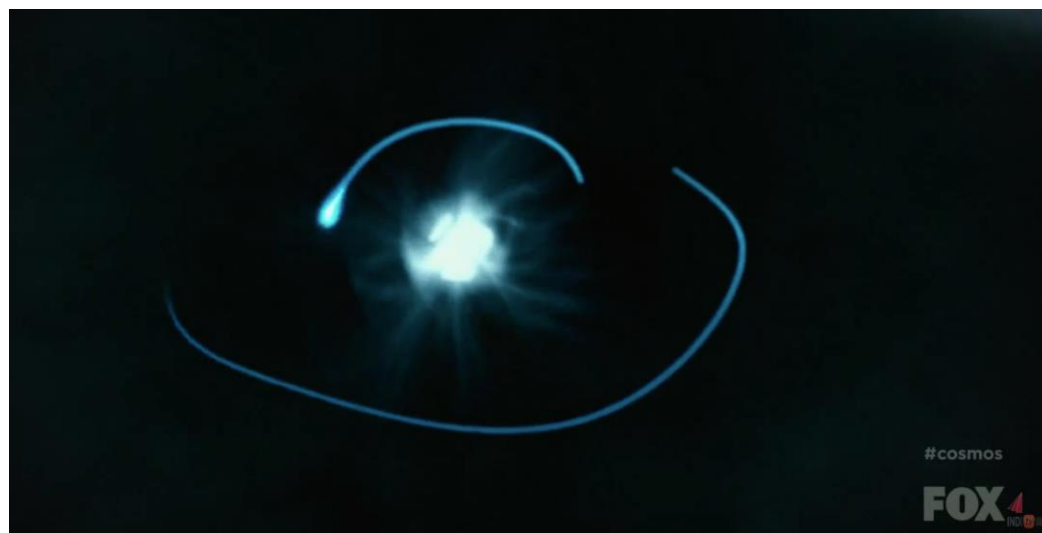


Figure 38 Captation d'écran d'un extrait de la vidéo tirée de la série Space Time Odyssey.

Le choix d'une stratégie d'enseignement

Le tableau 35 illustre la fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Évelyne.

Tableau 35 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Évelyne.

Activités d'enseignement et d'apprentissage	
Introduction	1
Rappel	0
Vision globale des thèmes de la leçon	0
Questionnement	9
Explications (exposé magistral)	13
Exemples (par le prof)	1
Exercices (individuels, en équipe ou en groupe)	4
Résumé	0

Les explications sous la forme d'exposés magistraux sont la méthode d'enseignement la plus fréquemment utilisée par Évelyne.

Le questionnement est une méthode aussi fréquemment choisie par Évelyne. Celle-ci utilise des télévotants, qui intègrent les questions et réponses des étudiants à l'intérieur de sa présentation PowerPoint.

La fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Évelyne est présentée au tableau 36.

Tableau 36 Fréquence des justifications des activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Évelyne.

Justifications	
Vérification de la compréhension des étudiants	4
Faire des liens	2
Résolution en groupe	0
Répétitions	0
Pour se pratiquer	0
Autres justifications	4

La principale justification, qui est de vérifier la compréhension des étudiants, concerne bien sûr les questions posées à l'aide des télévotants. Comme la proportion des étudiants ayant choisi chacune des réponses est indiquée sur son écran, Évelyne peut juger à quel point les notions abordées par chaque question sont bien comprises.

La figure 39 présente un exemple de questionnement, réalisé à l'aide des télévotants, en lien avec les orbitales et les nombres quantiques. Cette question permet de vérifier la compréhension des étudiants, puisqu'on voit le taux de réponse sous la forme d'un diagramme à barres.

Quelles sont les orbitales possibles sur le niveau 3?

- A. S
- B. S et p
- C. S, p et d
- D. S, p, d et f
- E. D seulement

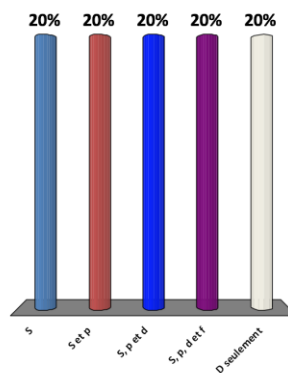


Figure 39 Exemple de questionnement à l'aide de télévotants réalisé par Évelyne.

La figure 40 présente un autre exemple de questionnement. Le but de cette question est plutôt d'aider les étudiants de juger eux-mêmes de leur niveau de compréhension des nombres quantiques et d'entrevoir des moyens d'améliorer leur compréhension si nécessaire (élément que nous avons classé sous Autre justification).

Comment vous sentez-vous face aux nombres quantiques?

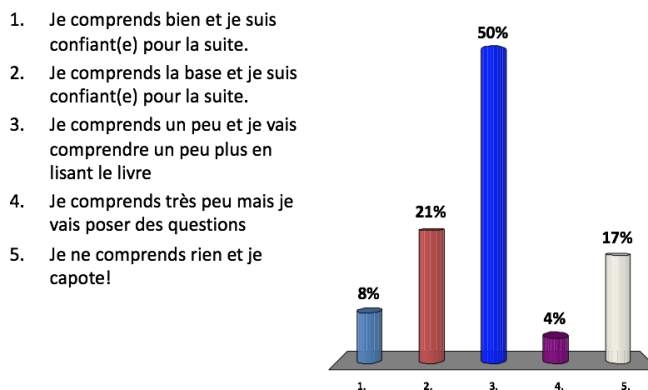


Figure 40 Exemple de questionnement à l'aide de télévoteurs réalisé par Évelyne.

L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Les étudiants d'Évelyne ne suivent pas le cheminement régulier selon la grille de cours du programme, puisque la collecte de données a été faite à la session d'hiver. Ce cours est habituellement placé à la première session. Son groupe, selon elle, est de force moyenne-faible.

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...

Évelyne 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.

Selon Évelyne, ses étudiants arrivent au cours en concevant l'atome selon le modèle de Bohr.

« Souvent, ils arrivent avec l'idée que l'atome est au cœur de la matière. Ils ont les protons au centre, les électrons autour. Ça, ça va généralement. Avec les neutrons, il y en a quelques-uns qui sont mêlés des fois, mais leur modèle de Bohr

est quand même correct. Je dirais qu'il y a les niveaux, il arrive qu'ils ne se souviennent plus du nombre d'électrons par niveau, mais c'est un détail. Ils se souviennent qu'il y a un centre avec des particules positives, des particules neutres (des fois ils savent pas trop à quoi ça sert), puis il y a des couches de particules négatives, et ça, je dirais que c'est généralement assez bien placé du secondaire. »

Au premier cours, Évelyne 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 – considérant le fait que certains n'ont pas fait de chimie depuis plusieurs années. Évelyne révise et réactive ainsi certaines notions vues au secondaire.

Pour favoriser le changement dans la façon dont les étudiants conçoivent l'atome, Évelyne établit 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.

« Je pars de ce qu'ils connaissent, Rutherford, Bohr. Je le ramène, je dis ce qui était bon dans le modèle et ce qui n'était pas bon. Et j'explique aussi un peu pourquoi il faut changer le modèle, donc, ça amène la démarche scientifique. Ça, c'est important de les sensibiliser à cette démarche-là. Avec le modèle, là on se rend compte qu'on avait une façon d'expliquer la réalité qui n'est pas tout à fait correcte et là je leur dis : on a le choix, soit on change notre façon de se représenter la réalité, soit on change la réalité (rires). On est des scientifiques, donc, on change notre modèle. [...] J'essaie qu'il y ait une suite logique. Je trouve ça important parce que sinon tu as l'impression que c'est sorti d'une boîte de Cracker Jack. C'est tellement contre-intuitif qu'il faut qu'il y ait une logique. »

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.

L'enseignement des savoirs

Dans l'objectif d'analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive, en lien notamment avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous avons procédé à des entrevues de rappel stimulé où les professeurs étaient invités à expliquer ce qu'ils avaient en tête au moment où ils enseignaient (grâce au visionnement de

l'enregistrement vidéo de leur leçon). Cela nous a permis de comprendre certains écarts entre les pratiques déclarées et effectives.

Les propos d'Évelyne lors de l'entrevue de rappel stimulé ont mis en évidence certains moments de réflexion dans l'action et, dans certains cas, certaines décisions. Nous avons aussi noté des moments où Évelyne réfléchissait *a posteriori* sur son action. Le tableau 37 présente la fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé avec Évelyne.

Tableau 37 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé avec Évelyne.

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

On voit que plusieurs prises de décision ont été relevées pendant la réflexion dans l'action et que plusieurs thèmes étaient plutôt liés à la réflexion sur l'action.

Les indices à la base des décisions les plus fréquents que nous avons relevés étaient liés aux étudiants : leurs réactions face aux questions du prof ainsi que des questions que ceux-ci ont posées. Nous donnerons deux exemples.

L'extrait suivant illustre une réflexion dans l'action engendrée par les questions des étudiants qui peuvent susciter un dilemme chez l'enseignante.

« – É : Oui, je me souviens qu'il y a eu beaucoup de questions. Ce groupe-là, c'est un groupe qui pose beaucoup de questions et, des fois, je ne veux pas manquer de temps. C'est bien qu'ils posent des questions, là, parce que ça permet de régler au fur et à mesure des petits détails. Parce que, des fois, il y a des cours complets où ils ne posent aucune question. Là tu dis, *Oh c'est quoi, qu'est-ce qui se passe?* Quand ils posent quelques questions, tu dis *ça va*. Mais eux qui posent beaucoup de questions, tu te dis *est-ce que je vais avoir le temps de me rendre à la fin de mon cours et de voir tout ce que j'avais prévu de voir?* Donc là, des fois, j'ai ce souci-là aussi et je ne veux pas trop répondre aux questions non plus et là il y en a qui, des fois, j'ai l'impression qu'ils reposent la même question, mais pas toujours.

– C : Souvent des questions sur des choses qui vont venir un petit peu plus tard?

– É : Oui. Oui, c'est ça.

– C : Et dans ce temps-là?

– É : Quand c'est quelque chose que je sais qui va venir tout de suite après, je réponds globalement et ça amène ce qu'il y a après, des fois je dis *très bonne question, c'est justement l'objet de la prochaine diapo*. »

Nous avons illustré le processus décisionnel d'Évelyne à la figure 41.

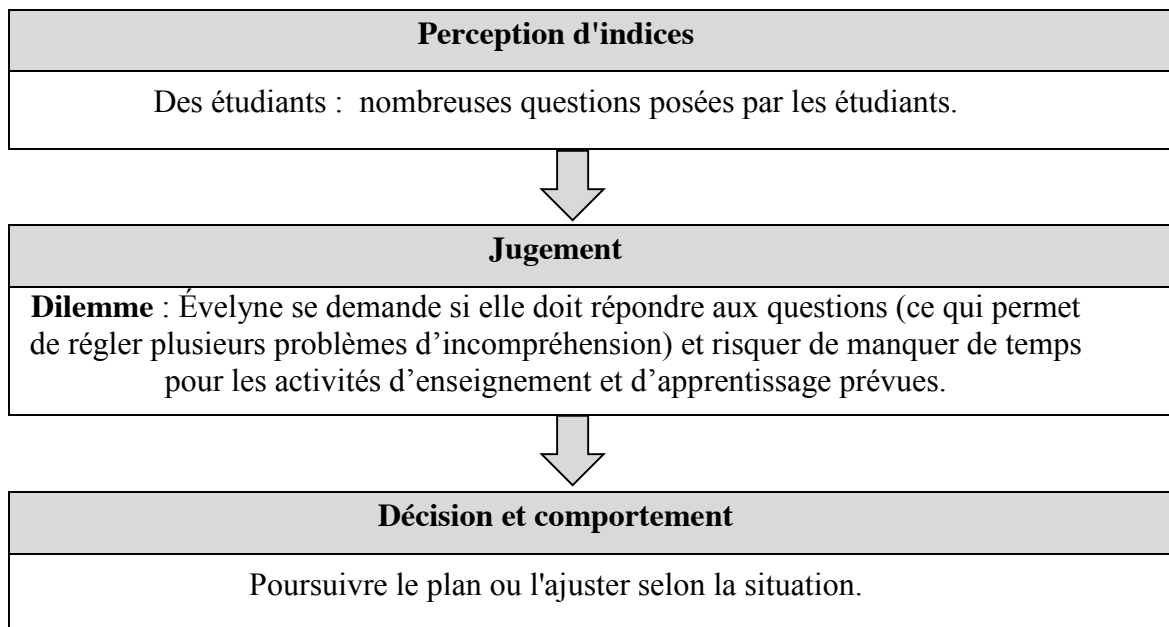


Figure 41 Exemple de processus décisionnel d'Évelyne impliquant un dilemme en lien avec les questions des étudiants et la gestion du temps.

Évelyne s'est demandé comment intervenir dans une situation où elle doit négocier entre les interrogations des étudiants et le temps restreint dont elle dispose pour atteindre ses objectifs pédagogiques, en se référant à son expérience.

L'extrait suivant illustre un exemple de réflexion dans l'action suscitée par les réactions des étudiants à une question posée par Évelyne à l'aide des télévotants. Celle-ci a pu constater que plus de 40 % des étudiants n'ont pas donné la bonne réponse.

« – C : Puis là, tu poses une question pour le calcium.

– É : Oui, combien, sur quels niveaux sont les électrons de valence? Comme on n'a pas encore vu les formes, je ne voulais pas les déstabiliser avec les orbitales s et p. *C'est comme les niveaux que vous avez vus au secondaire* parce que je voulais vraiment faire le lien avec ce qu'ils avaient vu parce que je ne voulais pas les déstabiliser davantage parce que les formes des orbitales c'est hyper déstabilisant. La s ça va, ça correspond à ce qu'ils comprennent déjà comme conception. L'orbitale p, oh! L'orbitale d! L'orbitale f!

– C : Tu l'enseignes en reprenant avec Bohr, et là, quand t'as vu que dans ce cas-ci

c'est 58 % de bonnes réponses?

– É : Dans le fond, il y avait 58 % des étudiants qui avaient la bonne réponse et là j'ai vu qu'il y avait plusieurs affaires... et c'est pour ça que j'ai pris le temps de le réexpliquer. Parce que ça, j'ai trouvé ça spécial parce qu'habituellement...

– C : Tu t'attendais à ce que ce soit parfaitement réussi?

– É : Oui, peut-être pas 100 %, mais souvent c'est 80-90%

– C : Quand tu as vu que le taux de réponse était moins élevé que les autres, tu as choisi de...

– É : D'expliquer plus.

– C : Oui, de passer un petit peu plus de temps.

– É : Puis, vu que dans le fond, ils ont quelque chose qu'ils n'ont pas bien réalisé ou il y en a peut-être qui n'ont pas pris le temps de bien regarder dans leur tableau périodique...

– C : Donc en expliquant les différentes causes possibles.

– É : Parce qu'il y en a qui ont mis deux parce qu'ils se sont dit : ah, c'est deux électrons de valence.

– C : Tu prends vraiment le tableau périodique pour leur montrer vu que c'est moins bien réussi, tu leur expliques bien. »

Ainsi, l'utilisation des télévotants pour vérifier la compréhension des étudiants à différents moments de son cours amène Évelyne à réfléchir dans l'action à différents moments de son cours, dépendamment des réponses des étudiants aux questions posées.

Le processus décisionnel d'Évelyne est illustré à la figure 42.

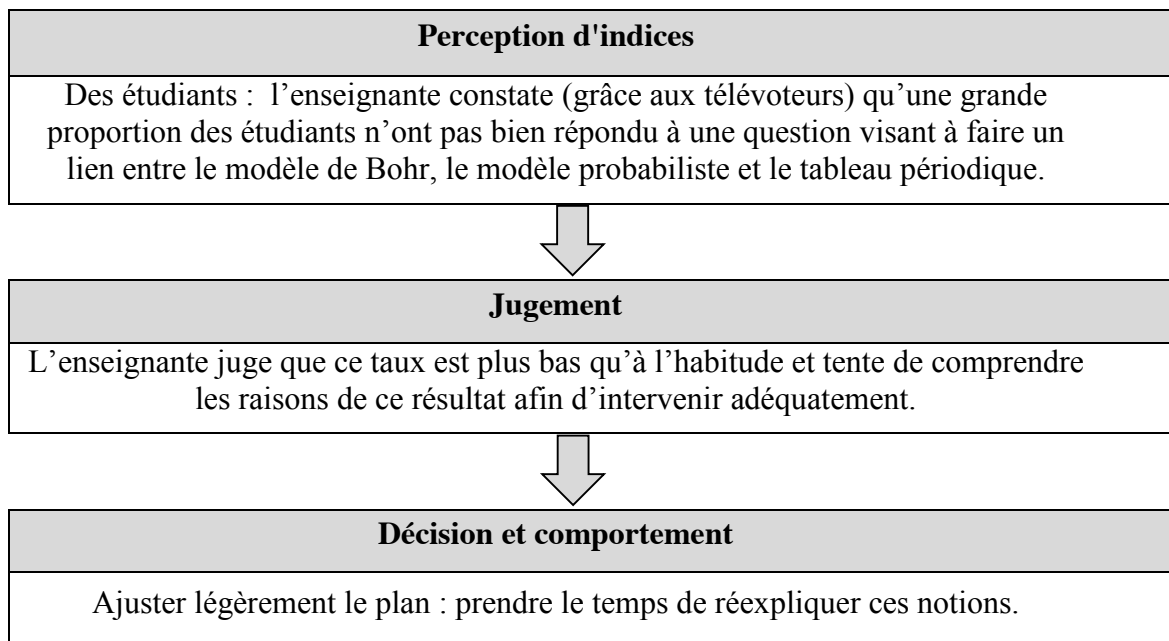


Figure 42 Exemple de processus décisionnel d'Évelyne lié aux réponses des étudiants aux questions posées à l'aide des télévotants et qui a suscité un ajustement léger du plan.

L'analyse des propos d'Évelyne lors de l'entrevue de rappel stimulé a aussi mis en évidence quelques moments de réflexion sur l'action. Elle a décidé d'intégrer certaines modifications à sa planification. Par exemple, dans l'extrait suivant, elle explique qu'avec les années, elle a constaté qu'il était important de « gérer l'affectif » chez les étudiants pour des notions comme celles qui nous intéressent pour notre recherche. Ainsi, après ces réflexions passées, elle commence son cours en discutant ouvertement de la situation avec ses étudiants de façon à les rassurer et à créer un climat propice aux apprentissages.

« – C : Tu expliques un petit peu l'aspect émotif...

– É : Oui, ça, je trouve ça important, j'y vais aussi avec comment ils réagissent pour les rassurer aussi. C'est normal s'ils ne comprennent pas du premier coup certaines choses, il ne faut pas s'en faire. Il y a des clés qu'on a après et ça c'est important parce que, selon les groupes, il y a des fois des étudiants qui ont tendance à angoisser. Alors, gérer l'affectif, c'est quelque chose que j'ai vraiment ajusté au fil du temps parce que ça, au début, on ne le fait pas nécessairement et là, à un moment donné, on se rend compte que c'est important. Et surtout pour ça (les notions relatives au modèle probabiliste de l'atome) parce que c'est tellement destabilisant pour certains étudiants. »

Maintenant que nous avons décrit les pratiques déclarées par Évelyne lors de l'entrevue de planification ainsi que les changements dans les pratiques effectives par rapport à ce qui avait été planifié en lien avec les décisions prises, nous présenterons les résultats liés aux savoirs acquis par ses étudiants.

Les savoirs acquis

Pour l'étude des savoirs acquis par les étudiants, nous leur avons demandé de représenter schématiquement comment ils s'imaginaient un atome d'azote et de fournir une explication écrite à ce schéma, et ce, au début de la session et à la fin du cours.

Les niveaux de formulation selon Park (2009)

Nous avons classé chacun des schémas selon les niveaux de formulation établis par Park (2009). Le tableau 38 illustre le pourcentage d'étudiants du groupe d'Évelyne ayant représenté l'atome selon chacun de ces niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Tableau 38 Pourcentage d'étudiants du groupe d'Évelyne ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Niveaux de formulation selon Park (2009)	Fréquence (%)	
	S1	S2
1 Atome = particule		
2 Particules subatomiques		
3 Électrons autour du noyau		
4 Orbites circulaires		
5a Électrons sur orbites circulaires de différents niveaux	90,0	
5b Électrons sur orbites de différentes formes		
6 Modèle de Bohr (quantification de l'énergie)		
7 Électrons dans régions		
8 Électrons : probabilité de présence		
9a Électrons dans orbitales de différentes formes (non-superposées)		
9b Électrons dans orbitales de différentes formes (superposées)		80,0
10 Concepts (dualité, probabilité, ect)		
Autre	10,0	20,0

D'abord, il importe de préciser que seulement 10 étudiants du groupe d'Évelyne ont accepté de participer à la recherche et de réaliser les deux schémas. Cela nous amène à croire

que seuls les étudiants qui étaient capables de répondre à la question ont accepté de réaliser le schéma à la fin de la session. Il nous faut donc être très prudents pour l'analyse de ces données.

Le tableau montre qu'au début de la session, 90 % de ces étudiants ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 5a : les électrons se trouvent sur les orbites circulaires permises de différents niveaux, à la manière du modèle de Bohr. Ce résultat concorde bien avec ce qu'Évelyne nous avait expliqué lorsque nous l'avons interrogée à propos des conceptions alternatives de ses étudiants.

À la fin du cours, près de 80 % des étudiants ont imaginé l'atome selon le niveau 9b voulant que les électrons se retrouvent dans des orbitales de différentes formes, un niveau de formulation qui appartiendrait au modèle probabiliste, en faisant une représentation qui mettait en évidence la superposition de ces orbitales. Ce pourcentage peut sembler très élevé considérant le fait que l'enseignante avait jugé la force relative de ses étudiants comme moyenne-faible, mais le fait que nous ayons eu seulement 10 répondants peut expliquer ce résultat. En effet, on peut penser que seulement les étudiants les plus forts du groupe ont accepté de participer à la recherche, ce qui vient biaiser les résultats.

Un changement dans la façon de concevoir l'atome ?

Lors de l'analyse des schémas expliqués, nous avons catégorisé les types de changements possibles entre la représentation du début de la session et celle de la fin de la session selon le modèle atomique enseigné auquel le schéma correspondait. Le tableau 39 montre que pour près de 90 % des étudiants, il y a eu un changement positif vers un modèle plus complexe (le modèle probabiliste dans ce cas-ci).

Tableau 39 Types de changement dans la façon dont les étudiants d'Évelyne conçoivent l'atome.

	Pourcentage d'étudiant
	%
Changement négatif (vers un modèle moins complexe)	0,0
Aucun changement	0,0
Changement positif (à l'intérieur du même modèle)	10,0
Changement positif (vers un modèle plus complexe)	90,0
On ne peut pas dire	0,0

Un cas représentant un changement positif vers un modèle plus complexe

Les schémas réalisés par l'étudiant 13 sont présentés à la figure 43. Cet étudiant a changé sa façon de concevoir l'atome en passant d'un niveau de formulation 5a au premier schéma (bien qu'il contienne des erreurs) à un niveau de formulation 9b au schéma 2 (bien qu'il contienne aussi des erreurs).

Schéma 1 fait par l'étudiant 13 (niveau de formulation 5a)

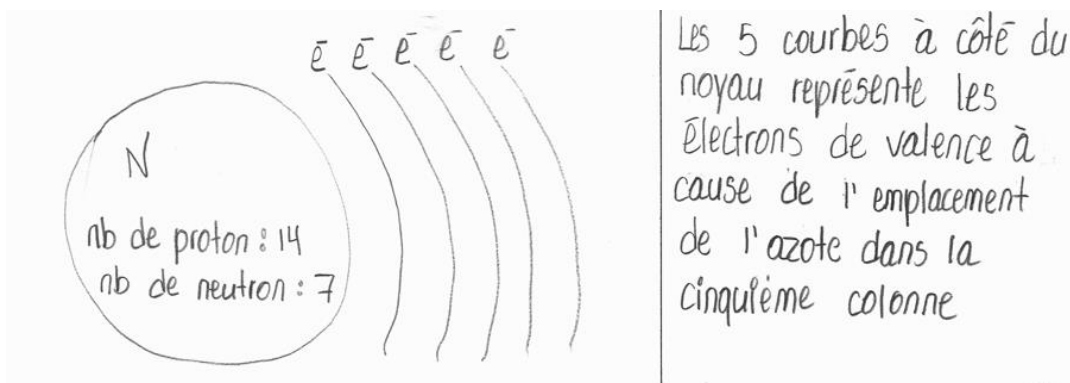


Schéma 2 fait par l'étudiant 13 (niveau de formulation 9b):

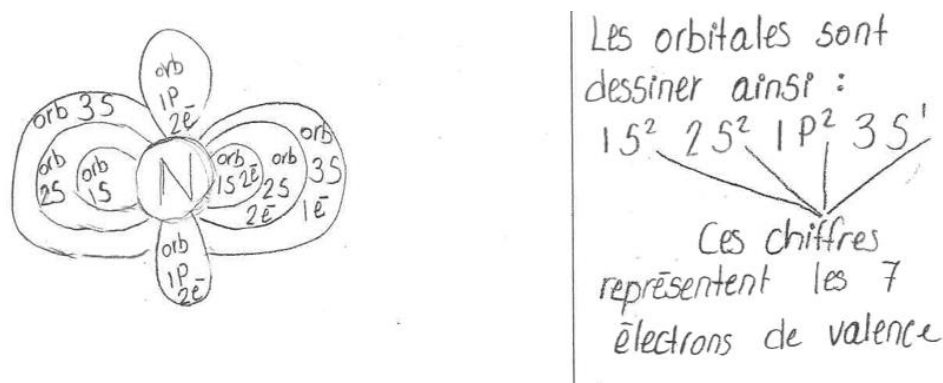


Figure 43 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 13 du groupe d'Évelyne.

L'étudiant 13 conçoit que l'atome d'azote contient 5 électrons de valence, chacun placé sur sa propre couche électronique, alors que, selon ce modèle, on se serait attendu à ce que l'étudiant place les 7 électrons de l'azote sur 2 couches électroniques (2 sur la première et 5 sur la deuxième). À la fin du cours, cet étudiant conçoit l'atome selon les principes du modèle probabiliste ; il mentionne la présence des orbitales en faisant des erreurs, toutefois,

relativement aux formes de celles-ci et à l'emplacement des 7 électrons de l'azote dans ces orbitales.

Un cas représentant un changement positif à l'intérieur d'un même modèle

La figure 44 illustre les schémas réalisés par l'étudiant 14. Alors que l'on ne pouvait classer le premier schéma dans l'un des niveaux de formulation (à cause de la représentation sphérique montrant les particules contenues dans l'atome accompagnée de cases quantiques erronées), on remarque que dans le deuxième schéma, il a voulu répartir les électrons dans les orbitales s et p en tentant d'illustrer ces orbitales (bien que le schéma contienne plusieurs erreurs). Nous avons jugé que cela correspond à un changement positif même si les deux représentations réfèrent au même modèle scientifique.

Schéma 1 fait par l'étudiant 14 (niveau de formulation : autre)

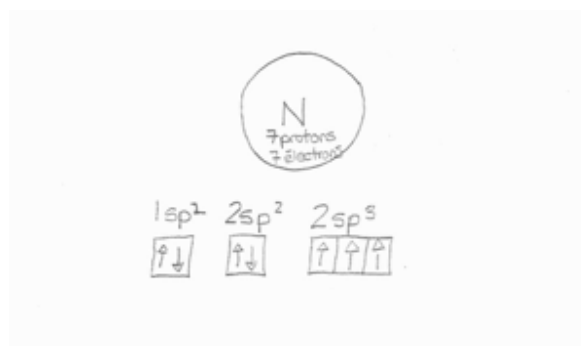


Schéma 2 fait par l'étudiant 14 (niveau de formulation 9b)

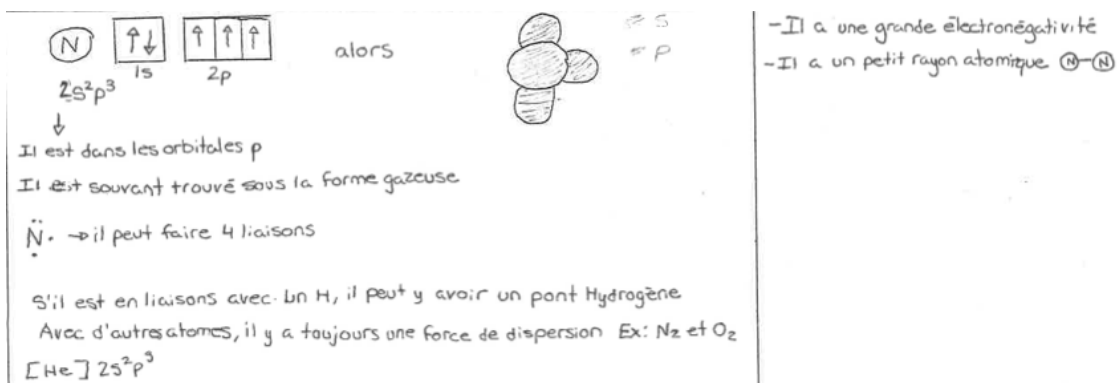


Figure 44 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 14 du groupe d'Évelyne.

Le cas de Philippe

Philippe est professeur de chimie au collégial depuis 12 ans. Il enseigne actuellement dans un collège de la grande région de Montréal. Il détient un baccalauréat et une maîtrise en chimie. Dans la prochaine section, nous décrirons certains éléments de son rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome, nous mettrons en lumière ses pratiques déclarées pour la transformation des savoirs lors de la planification, nous discuterons des pratiques observées en classe, et enfin, nous analyserons les savoirs appris par les étudiants.

Le rapport aux savoirs des enseignants

Les enseignants participants ont été interrogés relativement à certaines dimensions de leur rapport aux savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome.

Une réappropriation des savoirs pour l'enseignement

Philippe explique avoir dû se réapproprier les savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome bien qu'il détienne un baccalauréat et une maîtrise en chimie.

« Avec l'enseignement, je te dirais que ça demande quand même un retour aux sources assez important. Parce que quand j'ai suivi les cours moi-même au collégial, mon prof nous avait enseigné le modèle d'une certaine façon, puis, à l'université, on passe quand même assez rapidement, on passe les équations et à l'Université XXX, c'est assez rigoureux sur le traitement mathématique, en fait, la résolution du modèle probabiliste, mais après ça, ça tombe dans le vide... »

Pour y arriver, Philippe dit avoir consulté, à l'époque, un manuel rédigé par un membre de son département, manuel qui était utilisé avec les étudiants. Depuis ce temps, il consulte tous les nouveaux ouvrages envoyés par les éditeurs pour le cours de chimie générale. Il se tient à l'affût, aussi, lorsque c'est possible, par le visionnement de documentaires tel celui sur les scientifiques qui ont découvert le boson de Higgs.

La connaissance des savoirs difficiles à enseigner

Philippe estime que les savoirs relatifs au modèle probabiliste de l'atome sont difficiles à enseigner parce que, entre autres, ils sont très abstraits, tout simplement.

Le fait que les étudiants aient déjà une idée de la structure de l'atome vient aussi rendre sa tâche plus difficile. Philippe pense, en effet, que « cela brise leur conception confortable que l'électron se promène sur une orbite ».

La transformation des savoirs lors de la planification

Avec le modèle de la transformation de Shulman (1987) comme cadre d'analyse, nous avons décrit les processus empruntés par Philippe pour la transformation des savoirs à enseigner ainsi que les justifications derrière ses choix.

La préparation

Philippe a abordé l'examen du matériel d'enseignement, le choix des contenus essentiels ainsi que l'élaboration de matériel didactique.

- Examen du matériel d'enseignement

Comme nous l'avons mentionné plus tôt, Philippe s'est référé au manuel utilisé dans son département (manuel rédigé par un collègue) pour préparer son cours les premières fois qu'il l'a donné. Il a aussi consulté d'autres manuels dans le passé et en consulte encore.

- Choix des contenus essentiels

Bien qu'il ait donné le cours à de nombreuses reprises, Philippe réfléchit encore à la pertinence des contenus traités. Il a choisi 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, et en particulier avec un nouveau collègue, ce qui lui permet d'ajuster le tir relativement aux notions qu'il est pertinent d'enseigner.

« Juste en discutant avec des collègues, c'est une façon pour moi de me questionner par rapport à ce que je devrais enseigner. Donc, c'est sûr que l'équipe ici elle change un petit peu. J'ai des discussions avec X (*anonymat*) par rapport à ce qu'il voit, puis ça m'aide à ajuster le tir. Sinon, je me réfère tout le temps aux manuels des éditeurs québécois au collégial pour décider ce qui me semble pertinent ou non et j'essaie vraiment tout le temps d'y aller au plus simple dans ce domaine-là. Je sais que les chapitres sont bondés d'équations et de trucs super

intéressants, pertinents, mais je pense qu'on a davantage avec les étudiants à recentrer et à garder les œillères un petit peu sur certains concepts importants. »

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

- Rédaction de matériel didactique

Pour la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome, Philippe a préparé une présentation PowerPoint. Il a aussi élaboré le matériel pour deux activités en équipe, soit une activité où les étudiants doivent placer des combinaisons de nombres quantiques sur un diagramme d'énergie et une autre, sous la forme d'un jeu, où les étudiants doivent découvrir les règles de remplissage des orbitales atomiques.

Le choix des formes de représentation

Nous avons invité les enseignants à décrire tout ce qu'ils avaient planifié pour leur cours et à justifier leurs choix. Nous avons consigné ces informations dans un tableau de planification (annexe 9), ce qui a mis en évidence différentes formes de représentation utilisées par les enseignants ainsi que les raisons derrière leurs choix. Le tableau 40 illustre la fréquence d'utilisation de différentes formes de représentation planifiées par Philippe.

Tableau 40 Fréquence des différentes formes de représentation planifiées par Philippe.

Types de représentations	
Analogie	0
Figure	10
Dessin (à la main)	0
Représentation tirée d'un film ou émission	0
Animation (vidéo)	0
Matériel (ballons, modèles en 3D)	0
Équation mathématique	1
Truc du prof	1

Le tableau 41 illustre la fréquence des justifications énoncées par Philippe pour le choix de ses formes de représentation.

Tableau 41 Fréquence des justifications énoncées par Philippe pour le choix de ses formes de représentation.

Justifications	
Champs d'intérêt personnels du prof	0
Attirer attention des étudiants	0
Illustrer, expliquer	7
Humour	0

Les figures sont la principale forme de représentation utilisée par Philippe et la principale justification est d'illustrer ou expliquer. Les figures sont issues du manuel utilisé ou ont été conçues par Philippe. On trouve à la figure 45 un exemple de figure conçue par Philippe afin d'expliquer le concept d'orbitale et de faire la différence entre une orbite et une orbitale.

MODÈLE PROBABILISTE (1926)

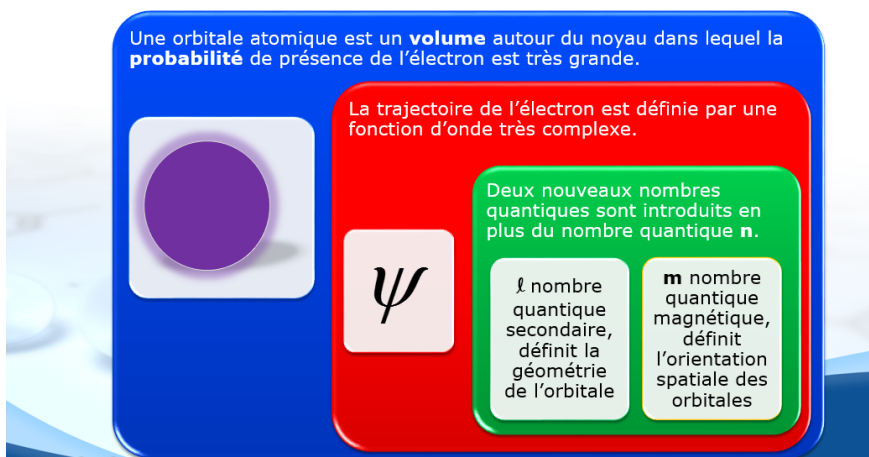


Figure 45 Figure réalisée par Philippe pour expliquer le concept d'orbitale atomique en lien avec les nombres quantiques à apprendre.

Le choix d'une stratégie d'enseignement

Le tableau 42 illustre la fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Philippe.

Tableau 42 Fréquence des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage planifiées par Philippe.

Activités d'enseignement et d'apprentissage	
Introduction	0
Rappel	0
Vision globale des thèmes de la leçon	0
Questionnement	3
Explications (exposé magistral)	10
Exemples (par le prof)	0
Exercices (individuels, en équipe ou en groupe)	2
Activités en équipe	2
Résumé	0

La fréquence des justifications énoncées par Philippe pour le choix de ses activités d'enseignement et d'apprentissage est présentée dans le tableau 43.

Tableau 43 Fréquence des justifications énoncées par Philippe pour l'utilisation des types d'activités d'enseignement et d'apprentissage.

Justifications	
Vérification de la compréhension des étudiants	1
Faire des liens	2
Résolution en groupe	1
Répétitions	0
Pour s'exercer	0
Autres justifications	2

Le tableau 42 montre que les explications sous la forme d'exposés magistraux sont la méthode d'enseignement la plus fréquemment utilisée par Philippe selon le tableau de planification que nous avons réalisé. Bien que Philippe n'ait pas beaucoup justifié ses choix, on peut voir dans le tableau que sa justification la plus fréquente est de faire des liens entre les éléments de contenu.

Le questionnement est aussi une technique que cet enseignant prévoit utiliser. Philippe prépare des questions qu'il pose à ses étudiants au moment de conclure sa leçon. La figure 46 illustre les questions qui seront posées à la fin de la leçon si le temps le permet.

CONCLUSION

·Comment se comporte l'électron dans un atome ?

·Qu'est-ce qu'une orbitale ?



Figure 46 Questions posées aux étudiants par Philippe pour conclure sa leçon

Enfin, Philippe a conçu deux activités où les étudiants doivent travailler en équipe.

Pour la première activité, les étudiants disposent d'une grande feuille contenant un diagramme d'énergie avec des cases, ainsi que des petits cartons sur lesquels on trouve des nombres quantiques (par exemple : $n = 2$, $l = 0$, etc.). Le but est de disposer les bonnes combinaisons de nombres quantiques dans les cases du diagramme. L'activité sert à bien comprendre la notion de combinaison pour les nombres quantiques ainsi les règles déterminant les valeurs permises pour chaque nombre. La figure 47 illustre cette activité.

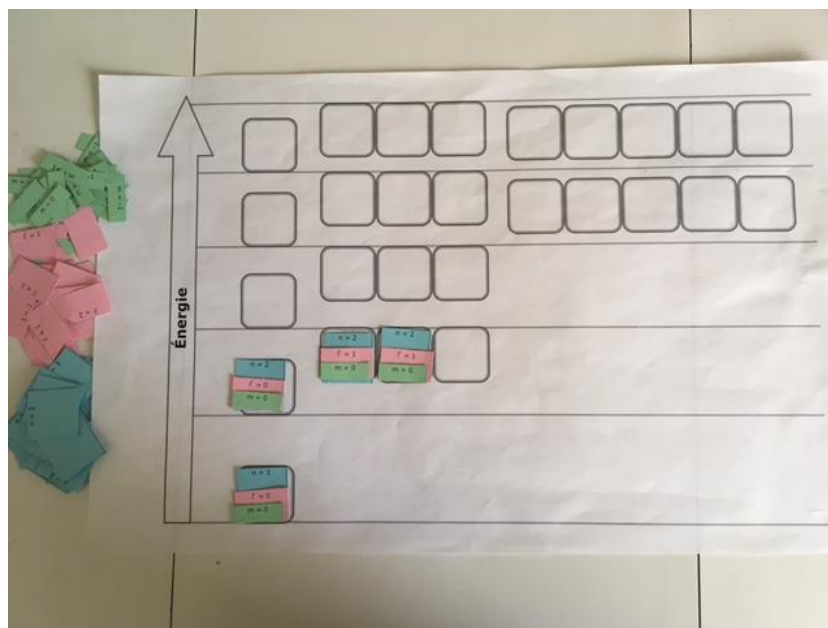


Figure 47 Activité réalisée par Philippe pour l'apprentissage des nombres quantiques.

Bien qu'il ne s'agisse pas de notions sélectionnées pour notre recherche, une deuxième activité conçue par Philippe mérite d'être illustrée ici.

Cette activité vise à ce que les étudiants découvrent par eux-mêmes les règles de remplissage des orbitales des atomes polyélectroniques, et ce, par le jeu. Les trois étudiants de l'équipe disposent d'un diagramme d'énergie comme table de jeu et doivent placer correctement des électrons sur ce diagramme en se servant de cartes sur lesquelles sont inscrites les trois règles. Le matériel du jeu est illustré à la figure 48.

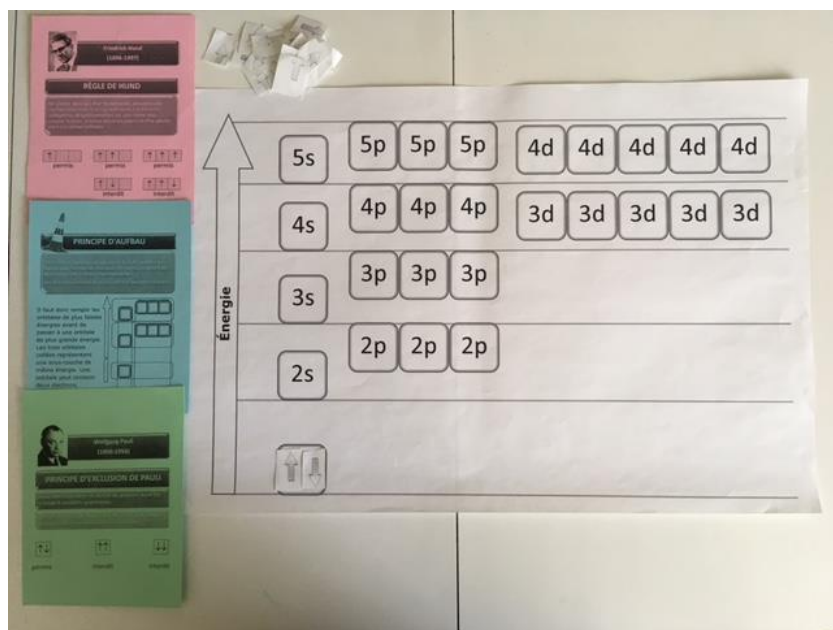


Figure 48 Matériel conçu par Philippe pour le jeu OUIOUIOUI/NONNONNON visant à ce que les étudiants déduisent les règles de remplissage des orbitales atomiques,

Les consignes pour le fonctionnement du jeu sont illustrées à la figure 49.

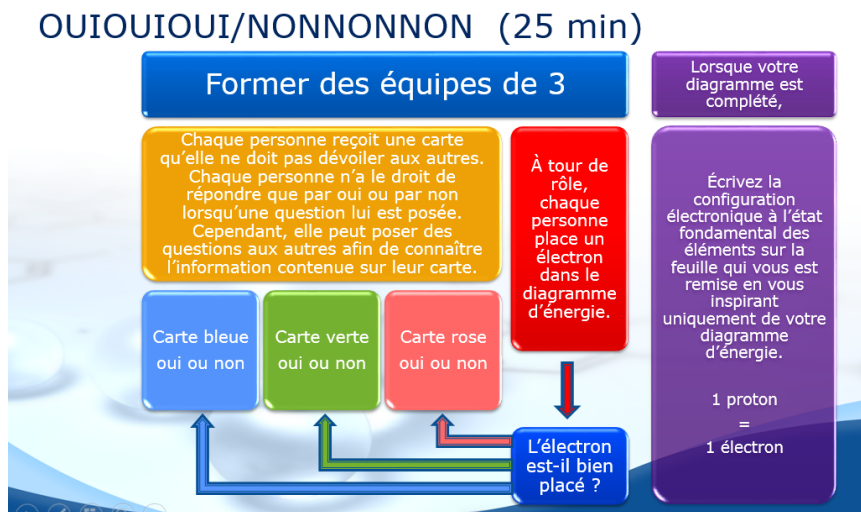


Figure 49 Consignes présentées aux étudiants pour l'activité visant à déduire les règles de remplissage des orbitales.

Avec ces deux activités, Philippe souhaite que les étudiants découvrent par eux-mêmes certains concepts et qu'ils s'entraident en équipe (« autres justifications »). L'extrait suivant montre comment Philippe justifie le choix de sa première activité.

« – P : Ils devraient comprendre que ça, ici, ça correspond à l'adresse potentielle d'un électron, qu'il y a plein de rues et plein de maisons.

– C : Ça montre bien les combinaisons...

– P : Oui, les valeurs permises d'un nombre quantique. Puis, le fait qu'ils travaillent en équipe, ceux qui ont fait les lectures peuvent l'expliquer, ça m'aide en fait à répondre à plusieurs questions simultanément plutôt que moi le faire en avant de la classe et de répondre partiellement aux questions de plusieurs étudiants. Mais là, ils ont des réponses au sein de leur propre équipe et moi, ça me permet de juste valider si c'était correct ou non. C'est pour ça que je passais rapidement la première partie pour leur donner les outils pour qu'ils puissent réaliser l'activité. »

L'adaptation aux caractéristiques des étudiants

Comme nous avons fait la collecte de données à l'automne, les étudiants de Philippe sont des étudiants qui suivent le cheminement régulier selon la grille de cours du programme. Ce groupe était de force moyenne, selon l'enseignant. 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. Philippe utilise aussi l'outil Socratique 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. Comme l'opération est anonyme, il obtient un portrait global et peut encourager ses élèves à consacrer du temps à leurs études.

Selon Philippe, ses étudiants arrivent au cours avec des conceptions relatives aux connaissances en lien avec le modèle de Rutherford et Bohr.

« Je pense qu'ils comprennent assez bien que le noyau est composé de protons et de neutrons, qu'il y a des électrons qui gravitent autour. Ils sont capables de verbaliser l'expérience de la feuille d'or, mais ils ne l'expliquent pas dans le détail. Ils se souviennent qu'il y avait des particules qui frappaient une feuille d'or, qu'il y avait du vide et que c'était dense, ça, ce serait leur conception initiale du modèle atomique. Certains se souviennent avoir vu le modèle de Bohr, mais ça ne semble pas que ce soit tout le monde qui l'ait vu, ça dépend des écoles. Mais la feuille d'or, ça marque l'imaginaire, ils se souviennent de la feuille d'or. Puis, ils se souviennent assez bien des conclusions de la feuille d'or aussi. »

Au début de la session, Philippe demande à ses étudiants de dessiner un atome. Il leur demande ensuite d'échanger entre eux, puis fait un retour en grand groupe sur les différentes conceptions. Cela lui indique ce que ses étudiants savent à propos de l'atome.

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

Lorsque nous avons demandé à Philippe comment il adaptait sa planification aux caractéristiques de ses étudiants, il a expliqué qu'il n'était pas vraiment enclin à le faire, puisque ces caractéristiques sont très variables dans ses classes.

L'enseignement des savoirs

Pour analyser les pratiques effectives d'enseignement au cours de la phase interactive, en lien notamment avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous avons procédé à des entretiens de rappel stimulé : les enseignants étaient invités à expliquer ce qu'ils avaient en tête au moment où ils enseignaient, et ce, au moyen du visionnement de l'enregistrement vidéo de leur leçon. Ces entretiens ont révélé certains écarts entre les pratiques déclarées et les pratiques effectives.

Les propos recueillis lors de l'entretien de rappel stimulé nous ont permis de relever quelques moments où Philippe avait eu à réfléchir dans l'action et, dans certains cas, à prendre des décisions prises. Nous avons aussi noté des moments où Philippe réfléchissait *a posteriori* sur son action. Le tableau 44 présente la fréquence des codes utilisés pour catégoriser ces processus.

Tableau 44 Fréquence des codes utilisés pour l'analyse des données recueillies lors de l'entrevue de rappel stimulé réalisée avec Philippe.

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

Plusieurs prises de décision ont été relevées pendant la réflexion dans l'action et plusieurs thèmes étaient plutôt liés à la réflexion sur l'action.

Les indices les plus fréquents à la base des décisions étaient liés aux étudiants, soit les questions posées par eux ainsi que leurs signes non verbaux, et à la gestion du temps. Nous présenterons des exemples illustrant ces cas.

L'extrait suivant donne un exemple de réflexion dans l'action engendrée par une question posée par une étudiante. Celle-ci cherche un raccourci, un moyen facile de déterminer le nombre d'orbitales d'un certain niveau.

« – P : Et là, est-ce que c'est dans cette classe-là que j'ai dit : c'est-tu ça que tu veux entendre? (rires). Elle voulait savoir le truc 3^2 , 4^2 ...

– C : Là, on est rendu au nombre d'orbitales.

– P : Pis là, est-ce qu'il y a une façon de le savoir, Monsieur ? (question posée par une étudiante) Et là, je pense que je peux me permettre d'être plus sarcastique parce qu'on commence à se connaître de mieux en mieux. Je deviens plus caustique avec la session qui progresse, mais là, je suis encore raisonnable.

– C : En fin de compte, elle voulait avoir une formule...

– P : Oui, une recette.

– C : Mais toi, tu lui as dit que c'était correct, qu'il y en avait une, mais qu'il fallait qu'elle puisse comprendre que c'était en fonction du nombre de valeurs de n.

– P : C'est ça, parce que le fait de savoir combien d'orbitales, ça ne sert à rien finalement. Aussi, l'exercice, il parle d'états quantiques que je n'aborde pas parce que sinon, ça allait briser l'activité que je veux faire après. Parce que quand ils complètent le diagramme avec l'autre activité, ils ne savent pas tous qu'il peut y avoir seulement deux électrons dans une orbitale. Donc, je ne voulais pas le dire d'emblée. »

Le processus décisionnel de Philippe est illustré à la figure 50.

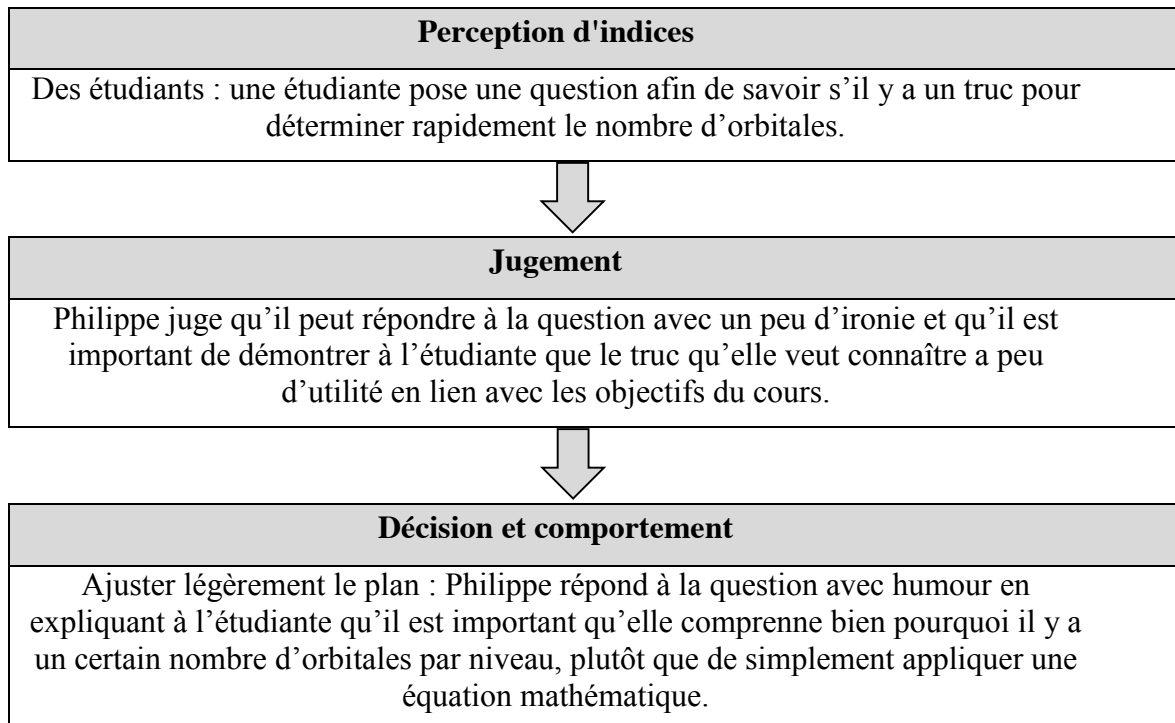


Figure 50 Exemple de processus décisionnel de Philippe en lien avec une question d'une étudiante et ayant mené à une adaptation légère du plan.

L'extrait suivant donne un exemple de réflexion dans l'action engendrée par la détection de signes non verbaux chez les étudiants.

- P : Pour l , ça a relativement bien été... Je dirais moins bien que dans les autres groupes.
- C : T'as décidé de commencer à faire un tableau.
- P : Oui, je fais toujours ça, on commence avec $n=1$ et ensuite c'est quoi les valeurs de l permises quand $n=1$. Rendu à $n=3$, habituellement c'est clair, mais dans cette classe-là, j'ai dû me rendre à 5 parce que ce n'était pas clair. Je ne sais pas pourquoi, mais habituellement je sens que c'est clair.
- C : Là, tu avais l'impression que ce l'était moins qu'à l'habitude
- -P : Oui, pour l'avoir donné deux fois lundi, cette partie-là, c'était bien, mais dans ce groupe-là, j'ai senti que quelque chose n'avait pas été saisi, je sais pas pourquoi.
- C : Mais tu sens que ça accroche?
- P : Oui, quand je fais cette face-là, c'est qu'il y a des regards qui ne sont pas...

Ça fait 5 fois que je le dis!

– C : Mais tu vois que ça accroche, alors tu passes le temps qu’il faut?

– P : C’est ça, et juste le non verbal, le visage, j’en ai une qui fait comme des grimaces. Quand elle ne comprend pas, elle fait une grimace. C’est un bon baromètre. Là, tu vois, je suis en train de la regarder.

– C : Ok, donc, avec certains étudiants comme ça...

– P : J'utilise le non verbal.

– P : Oui, ils sont encore un peu gênés. Habituellement, plus tard dans la session, ils sont moins gênés de manifester l’incompréhension, mais là, on est encore en train de s’apprivoiser. On passe du temps sur les valeurs de l permises alors que ça devrait être...

– P : Là, j’en ai une qui a compris, qui me dit de 0 à 5. Il y en a d’autres qui avaient compris, mais là, elle, je pense qu’elle voulait passer à autre chose. »

Nous avons illustré le processus décisionnel de Philippe à la figure 51.

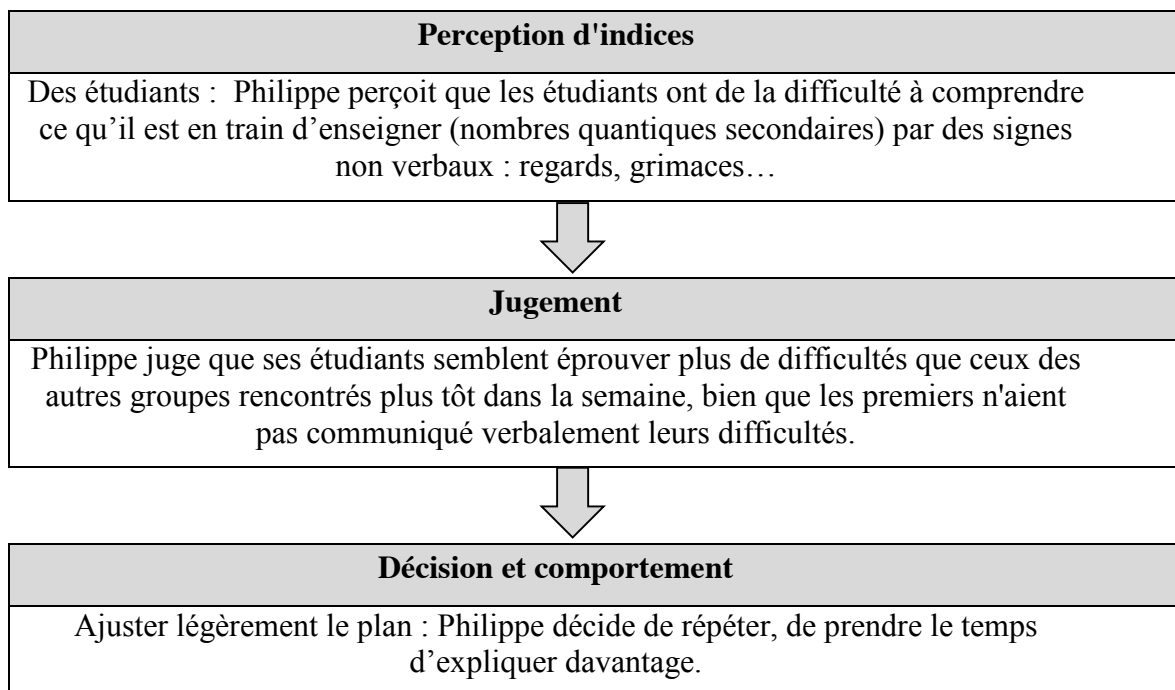


Figure 51 Exemple de processus décisionnel de Philippe à la suite de la détection de signes non verbaux chez les étudiants et qui a suscité un ajustement léger du plan.

L’analyse des propos de Philippe a aussi mis en évidence des moments de réflexion sur l’action, c’est-à-dire des moments après l’action où l’enseignant réfléchit à ce qui s’est

passé. Dans le prochain extrait, Philippe discute de son activité dans laquelle, sous la forme d'un jeu avec un diagramme à remplir et des cartes, les étudiants doivent découvrir les règles de remplissage des orbitales atomiques. Puisque le jeu demandait aux étudiants de bien comprendre la règle inscrite sur leur carte, Philippe appelait dans le corridor les étudiants par équipe, à tour de rôle, pour leur donner des explications. Cela a pris beaucoup de temps!

– P : Oui, je circulais. J'aurais pu faire un groupe d'experts aussi. Peut-être pas un vrai groupe d'experts, mais les mettre en équipe et les laisser s'approprier davantage la carte, 15 minutes, peut-être ça aurait été une solution gagnante. Tu les organises dans chaque coin de la classe, tu leur donnes tout de suite leur carte et tu leur donnes 5 minutes et tu vas d'équipe en équipe et au moins ils auraient eu la possibilité d'échanger sur leur compréhension tous en même temps. Peut-être qu'ils auraient... Je pense que ça aussi ça peut être gagnant l'année prochaine, ils peuvent sortir par la suite, mais au moins ils auraient la possibilité d'échanger, de comprendre par eux-mêmes le contenu de leur carte. Comme ça, quelqu'un qui a fait les lectures, qui a fait les exercices...

– C : Ça pourrait mettre à profit tout le monde et que toi tu sois moins monopolisé.

– P : C'est ça, pour que tout le monde participe. Parce que là, ils sont sur *Pause* pendant 10 minutes ! »

On voit que Philippe jette un regard critique sur son activité et propose des modifications pour les sessions à venir afin de mettre à profit le temps nécessaire pour que chaque étudiant comprenne bien sa règle.

Maintenant que nous avons décrit les pratiques déclarées par Philippe lors de l'entrevue de planification ainsi que les changements dans les pratiques effectives par rapport à ce qui avait été planifié en lien avec les décisions prises, nous présenterons les résultats liés aux savoirs acquis par ses étudiants.

Les savoirs appris

Nous avons demandé aux étudiants de chacun des enseignants participants de représenter schématiquement comment ils s'imaginaient un atome d'azote et de fournir une explication écrite à ce schéma, et ce, au début de la session et à la fin.

Les niveaux de formulation selon Park (2009)

Nous avons ensuite classé chacun des schémas selon les niveaux de formulation établis par Park (2009), définis au tableau 1. Le tableau 45 montre le pourcentage d'étudiants du groupe de Philippe ayant représenté l'atome selon chacun de ces niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Tableau 45 Pourcentage d'étudiants du groupe de Philippe ayant représenté l'atome selon chacun des niveaux au début de la session (S1) et à la fin (S2).

Niveaux de formulation selon Park (2009)	Fréquence (%)	
	S1	S2
1 Atome = particule		
2 Particules subatomiques		
3 Électrons autour du noyau	10,0	
4 Orbites circulaires		
5a Électrons sur orbites circulaires de différents niveaux	85,0	
5b Électrons sur orbites de différentes formes		
6 Modèle de Bohr (quantification de l'énergie)		
7 Électrons dans régions		5,0
8 Électrons : probabilité de présence		
9a Électrons dans orbitales de différentes formes (non-superposées)		
9b Électrons dans orbitales de différentes formes (super posées)		55,0
10 Concepts (dualité, probabilité, ect)		
Autre	5,0	40,0

On remarque que, au début du cours, 85 % des étudiants ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 5a : les électrons se trouvent sur les orbites circulaires permises de différents niveaux, à la manière du modèle de Bohr. C'est d'ailleurs ce que Philippe nous avait expliqué lorsque nous l'avions interrogé à propos des conceptions alternatives de ses étudiants.

À la fin du cours, 55 % des étudiants ont imaginé l'atome selon le niveau 9b voulant que les électrons se retrouvent dans des orbitales de différentes formes, un niveau de formulation qui appartiendrait au modèle probabiliste, en faisant une représentation qui mettait en évidence la superposition de ces orbitales.

Nous n'avons pas été en mesure de classer 40 % des schémas réalisés en fin de session selon l'un des 10 niveaux de formulation de Park. Nous illustrerons le contenu de ces schémas dans les exemples plus bas.

Un changement dans la façon de concevoir l'atome ?

Lors de l'analyse des schémas expliqués, nous avons catégorisé les types de changement possible entre la représentation du début de la session et celle de la fin selon le modèle atomique enseigné auquel le schéma correspondait. Le tableau 46 montre que pour 95 % des étudiants, il y a eu un changement positif vers un modèle plus complexe (qui n'est pas nécessairement le modèle probabiliste).

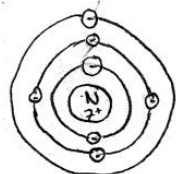
Tableau 46 Types de changement dans la façon dont les étudiants de Philippe conçoivent l'atome.

	Pourcentage d'étudiants
	%
Changement négatif (vers un modèle moins complexe)	0,0
Aucun changement	0,0
Changement positif (à l'intérieur du même modèle)	0,0
Changement positif (vers un modèle plus complexe)	87,5
On ne peut pas dire	12,5

Deux cas représentant un changement positif vers un modèle plus complexe

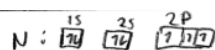
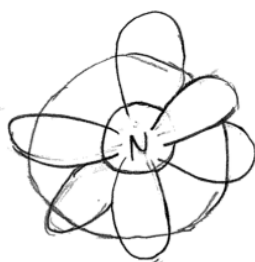
Les schémas réalisés par l'étudiant 19 sont présentés à la figure 52. Cet étudiant a changé sa façon de concevoir l'atome en passant d'un niveau de formulation 5a au premier schéma (bien qu'il contienne des erreurs) à un niveau de formulation 9b au schéma 2.

Schéma 1 fait par l'étudiant 19 (niveau de formulation 5a)



Le noyau est constitué de sept protons et de neutrons. Sept électrons gravitent autour de celui-ci. Chaque "couche" d'électron peut en contenir 2^n (n =numéro de la couche). Les électrons sur la dernière couche sont appelés électrons de valence. L'Azote n'en possède qu'un. On place les atomes sur les couches toujours en commençant en haut et en suivant le sens horaire.

Schéma 2 fait par l'étudiant 19 (niveau de formulation 9b)



L'azote à un orbitale 1s (petit cercle) contenant deux électrons, un orbitale 2s (gros cercle) contenant deux électrons, et un orbital 2p contenant 3 électrons, un dans un p_x , un dans un p_y et l'autre dans un p_z .



Les électrons se promène dans leurs orbitale. Un orbitale représente l'endroit où les électrons sont tout le temps.

Figure 52 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 19 du groupe de Philippe.

Dans le premier schéma, l'étudiant conçoit que l'atome d'azote contient des électrons répartis sur des couches électroniques, bien que, selon ce modèle, on se serait attendu à ce que l'étudiant place les 7 électrons de l'azote sur 2 couches électroniques (2 sur la première et 5 sur la deuxième). Dans le schéma réalisé à la fin de la session, l'étudiant a représenté les électrons dans les cases quantiques ainsi que les différentes orbitales atomiques. Notons qu'il conçoit l'orbitale comme un endroit où les électrons se trouvent tout le temps plutôt que de parler de probabilité de présence.

L'étudiant 24, dont les schémas sont présentés à la figure 53, a changé sa façon de concevoir l'atome en passant d'une représentation correspondant au niveau de formulation 5a au premier schéma (bien qu'il soit erroné) à une représentation que nous n'avons pu classer dans aucun niveau de formulation de Park au schéma 2. Malgré cela, nous avons considéré qu'il y avait eu un changement positif vers un modèle scientifique plus complexe.

Schéma 1 fait par l'étudiant 24 (niveau de formulation 5a)

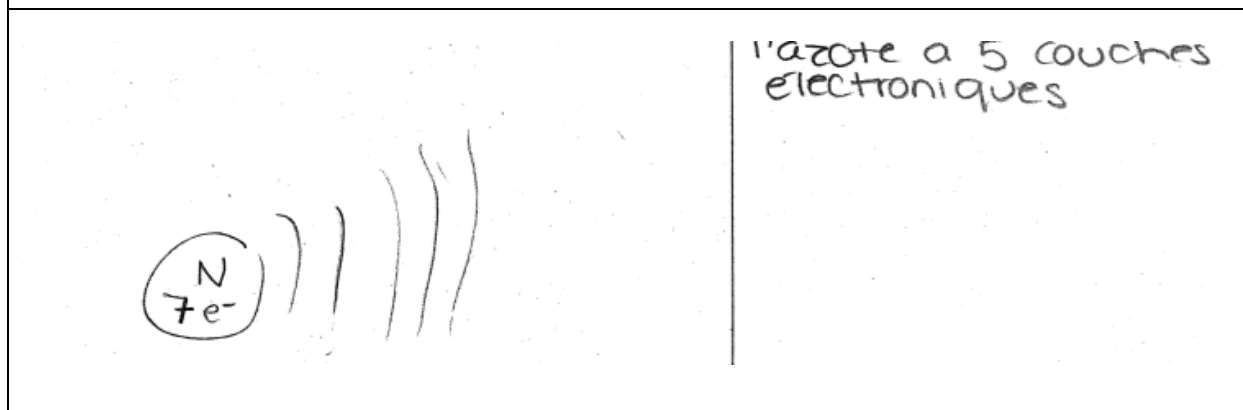


Schéma 2 fait par l'étudiant 24 (niveau de formulation : autre)

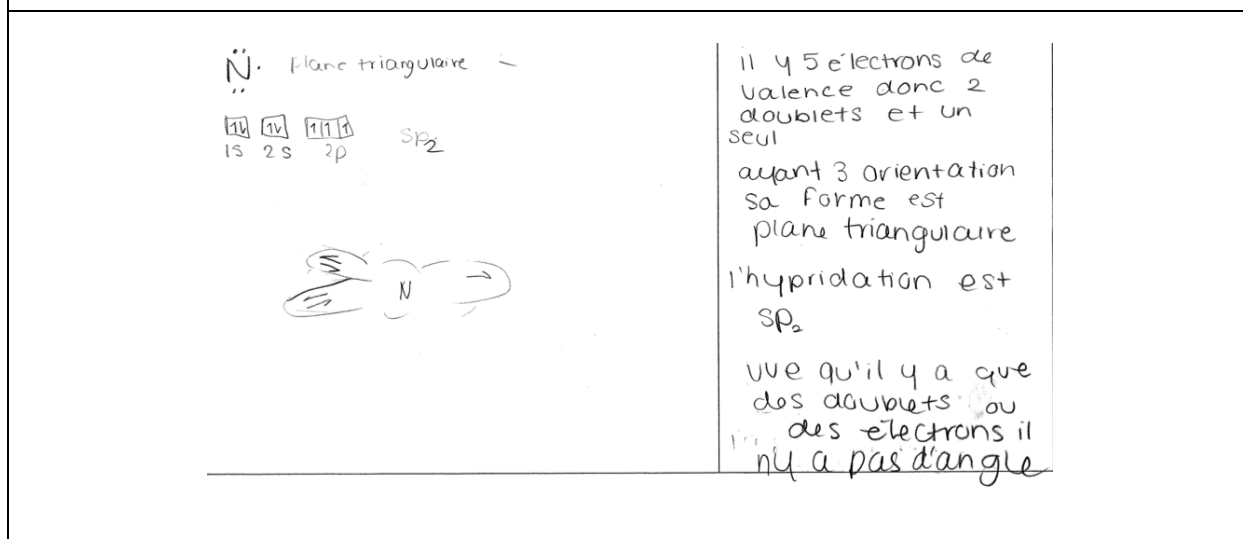


Figure 53 Schémas expliqués réalisés en début et en fin de session par l'étudiant 24 du groupe de Philippe.

Alors que cet étudiant concevait l'atome en termes de couches électroniques dans le premier schéma, sa deuxième représentation mobilise différents concepts en lien avec les cases quantiques, avec la théorie RPEV ainsi qu'avec l'hybridation des orbitales atomiques. Cet étudiant n'arrive donc pas à bien représenter les orbitales atomiques de l'azote, puisqu'il inclut des notions vues plus tard dans la session, qui ont plutôt trait aux molécules.

Interprétation des résultats

Rappelons d'abord que l'objectif général de la recherche consiste à mieux comprendre les pratiques enseignantes utilisées pour la transformation de savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome et pour l'enseignement de ceux-ci en lien avec les savoirs acquis par les étudiants dans le cadre du cours « Chimie générale » du programme Sciences de la nature.

En lien avec les concepts et les modèles présentés dans la section « Cadre conceptuel », les objectifs spécifiques de la recherche sont :

1. Décrire les pratiques déclarées des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs, c'est-à-dire la préparation, le choix des formes de représentation, le choix des stratégies d'enseignement et les adaptations aux caractéristiques des étudiants.
2. Analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive en lien, notamment, avec les pratiques déclarées par les enseignants.
3. Analyser les relations entre les pratiques effectives et les savoirs appris par les étudiants.

Ainsi, nous avons présenté les résultats de la collecte de données auprès de six enseignants (et leurs étudiants) qui ont accepté de participer à notre recherche. Voici maintenant une synthèse des principaux résultats et leur interprétation sous forme d'hypothèses.

Des pratiques déclarées pour la transformation des savoirs

Pour le premier objectif spécifique de la recherche, qui est de décrire les pratiques que déclarent utiliser les enseignants pour la transformation de savoirs lors de la planification de leurs cours, nous avons analysé ce qui est ressorti des entrevues individuelles avec eux et du matériel didactique qu'ils ont fourni. Le tableau 47 résume les propos des enseignants pour les quatre phases du processus de transformation de Shulman (1987).

Tableau 47 Synthèse des éléments constituant le processus de transformation des savoirs pour l'enseignement du modèle probabiliste de l'atome pour les six enseignants participants.

	Yvan	Antoine	Paul	Geneviève	Évelyne	Philippe
Préparation	Seulement avec le manuel la première fois. Collègues.	Avec le manuel au début.	Avant le cours, il relit différents documents, visionne des vidéos , revoit les critiques exprimées face aux modèles. <i>Place pour l'improvisation.</i>	Avec le manuel et les notes de cours d'une collègue au départ. <i>Son organisation des contenus, son fil conducteur.</i> Simplification des contenus.	Très près du manuel au départ, elle s'en est distancée avec les années.	Avec un manuel écrit par un membre du département les premières fois, ensuite autres manuels.
	Choix de contenus selon leur application (mathématique) , échafaudage des connaissances , évaluation.	Choix des contenus selon les documents du programme et ceux des collègues et <i>ajouts personnels (expériences).</i>	Choix des contenus selon le manuel et la cohésion des savoirs (échafaudage des connaissances à l'intérieur d'une leçon).	Choix des contenus selon leur importance , selon l'échafaudage des connaissances , afin d' éviter certaines difficultés avec des notions accessoires.	Choix des contenus selon l'importance (échafaudage des connaissances) , les applications et afin d' éviter les difficultés avec des notions accessoires.	Choix des contenus selon les manuels, les nouveaux collègues, pour simplifier et afin d' éviter les difficultés avec des notions accessoires.
	Matériel didactique : PowerPoint et notes de cours. <i>Anticipation des questions des étudiants (préparation de matériel au cas où).</i>	Matériel didactique : PowerPoint (son interprétation des contenus, contenus simplifiés) et problème synthèse.	Matériel didactique : PowerPoint et notes de cours à remplir (guide de l'étudiant).	Matériel didactique : notes de cours à remplir et PowerPoint.	Matériel didactique : PowerPoint et notes de cours à remplir.	Matériel didactique : PowerPoint et élaboration du matériel pour activités en équipe.

Choix des formes de représentation	Beaucoup de figures et de représentations tirées de films ou d'émissions . Vidéo.	Beaucoup de figures.	Très grand nombre d' analogies et de figures . Vidéos.	Beaucoup de figures . Vidéos et matériel (balles et ballons)	Beaucoup de figures . Vidéo et matériel (modèles en 3D).	Beaucoup de figures.
	Pour expliquer, illustrer. Choix faits selon ses champs d'intérêt personnels (représentations tirées d'émissions et de films) et en rejoignant ceux des étudiants.	Pour attirer l'attention des étudiants et pour expliquer/illustrer.	Pour expliquer/illustrer. Humour.	Pour expliquer/illustrer.	Pour expliquer/illustrer.	Pour expliquer/illustrer.
Choix de la stratégie d'enseignement	Principalement, explications , ensuite exercices (classe d'apprentissage actif).	Principalement, explications , ensuite exercices (problème synthèse) et exemples.	Explications (avec beaucoup de formes de représentations visuelles).	Explications, exercices.	Explications et questionnement (télévoteurs). Exercices.	Explications. Questionnement. Activités en équipe (dont un jeu).
	Faire des liens (prof : contenus / étudiants : exercices).	Faire des liens (prof : retour, questions, contenus).	Faire des liens (prof : contenus).	Faire des liens (prof : contenus / étudiants : exercices).	Vérifier la compréhension des étudiants. Faire des liens (étudiants : questionnement, exercices).	Faire des liens (prof : contenus). Découverte des concepts par les étudiants et entraide.

Adaptation aux caractéristiques des étudiants	<p>Groupe «enrichissement» avec caractéristiques particulières (forts, insécures).</p>	<p>Groupe avec cheminement « en dentelle » (retour aux études, difficultés).</p>	<p>Groupe de force moyenne (cheminement régulier dans le programme).</p>	<p>Groupe de force moyenne (cheminement régulier dans le programme).</p>	<p>Groupe de force moyenne-faible (cheminement « en dentelle » dans le programme).</p>	<p>Groupe de force moyenne (cheminement régulier dans le programme).</p>
	<p>Connaissance des caractéristiques grâce à des échanges informels au laboratoire.</p>	<p>Connaissance des caractéristiques grâce à un questionnaire (à partir d'indicateurs de la réussite).</p>	<p>Présentations au 1^{er} cours, échanges personnalisés.</p>	<p>Questionnaire (champs d'intérêt personnels et scolaires).</p>	<p>Questionnaire (champs d'intérêt en chimie) et échanges.</p>	<p>Présentations au 1^{er} cours, questionnaire avec Socrative (habitudes d'étude).</p>
	<p>Ses étudiants conçoivent l'atome selon le(s) modèle(s) de Rutherford et/ou Bohr.</p>	<p>Ses étudiants conçoivent l'atome selon le(s) modèle(s) de Rutherford et/ou Bohr.</p>	<p>Ses étudiants conçoivent l'atome selon le(s) modèle(s) de Rutherford et/ou Bohr.</p>	<p>Ses étudiants conçoivent l'atome selon le(s) modèle(s) de Rutherford et/ou Bohr.</p>	<p>Ses étudiants conçoivent l'atome selon le(s) modèle(s) de Rutherford et/ou Bohr.</p>	<p>Ses étudiants conçoivent l'atome selon le(s) modèle(s) de Rutherford et/ou Bohr.</p>
	<p>Il dit partir de zéro (difficile d'adapter vs diversité), mais fait certains liens avec le modèle de Bohr.</p>	<p>Explication de la nature et de l'évolution des modèles. Représentation visuelle. Problème synthèse de durée variable.</p>	<p>Représentation visuelle (Star War). Exemples selon les champs d'intérêt des étudiants (pour d'autres contenus).</p>	<p>Liens (parallèles) faits avec le modèle de Bohr. Exemples selon les champs d'intérêt des étudiants (pour d'autres contenus).</p>	<p>Les étudiants doivent représenter l'atome. Liens faits avec le modèle de Bohr, évolution des modèles. Exemples selon les champs d'intérêt des étudiants (pour d'autres contenus).</p>	<p>Les étudiants doivent représenter l'atome et échanger. Évolution des modèles. Difficile d'adapter vs diversité.</p>

Une préparation des contenus nécessitant de faire des choix

En ce qui concerne la phase de préparation des contenus telle que modélisée par Shulman (1987), on note l'importance de l'utilisation du manuel comme outil, notamment en début de carrière, et ce, pour tous les participants.

La place du manuel pour la préparation et le choix des contenus devient moins grande avec les années. Les enseignants, avec l'expérience, vont davantage se fier à leurs connaissances pour choisir de ne pas enseigner certains contenus même si ceux-ci figurent dans le manuel et pour proposer une séquence dans les contenus, un ordonnancement qui ne sera pas nécessairement le même que celui du manuel.

Geneviève expliquait justement l'importance que les contenus soient organisés selon un ordre qui soit logique pour elle, ce qui l'aide à bien les enseigner. Elle change l'ordre dans lequel les savoirs sont présentés dans le manuel, changements qui s'incarnent dans le matériel didactique qu'elle conçoit. Antoine a aussi soulevé ce point lorsqu'il nous a parlé des présentations PowerPoint qu'il avait conçues, qu'il a décrites comme étant sa propre interprétation des contenus à enseigner.

Tous les enseignants ont spécifié qu'ils avaient conçu du matériel didactique pour leurs étudiants, mais ceux-ci utilisaient quand même tous un manuel. Ce matériel consiste en des présentations PowerPoint (partagées ou non avec les étudiants) et en des notes de cours. Les présentations PowerPoint des six enseignants différaient tant sur le plan de la longueur que de la façon dont les notions étaient présentées. Cinq des six enseignants ont rédigé des notes de cours pour leurs étudiants. Ces notes, aussi très différentes les unes des autres, se présentaient sous forme de texte continu ou sous la forme de notes à compléter par les étudiants durant le cours.

En ce qui concerne le choix des savoirs à enseigner, quatre des six enseignants participants nous ont parlé de l'échafaudage des connaissances comme facteur considéré. Ils nous ont expliqué qu'ils choisissent de traiter des contenus qui seront utiles aux étudiants pour les prochains apprentissages à faire dans le même cours, mais aussi dans d'autres cours du

programme. Ils sont donc au fait des connaissances qui sont préalables aux autres à l'intérieur du cours et à l'intérieur du programme, et cela devient un facteur sur lequel ils se basent pour choisir quels contenus enseigner.

Certains enseignants (Yvan et Évelyne) nous ont aussi dit qu'ils choisissaient d'enseigner davantage des contenus pour lesquels il y avait des applications (mathématiques ou autres). Par exemple, Yvan confiait ne pas enseigner explicitement l'historique du développement de la mécanique quantique à ses élèves (bien que ceux-ci doivent lire la section correspondante dans leurs notes de cours et leur manuel) afin d'utiliser le temps de classe dont il dispose pour mieux traiter des notions utiles à la réalisation d'autres tâches du cours (comme l'écriture de cases quantiques pour les orbitales atomiques et les orbitales hybrides), tâches souvent retrouvées dans les évaluations. A contrario, d'autres enseignants choisissent d'enseigner explicitement des contenus plus « conceptuels ». Par exemple, Antoine a choisi d'expliquer plusieurs expériences réalisées pour découvrir la nature ondulatoire de l'électron : il souhaitait non seulement que ses étudiants sachent que l'électron avait des propriétés ondulatoires, mais aussi qu'ils comprennent l'origine de cet énoncé. Paul a aussi choisi de traiter des contributions importantes des scientifiques à l'élaboration du dernier modèle atomique dans ce qu'il appelle sa « vision globale ». Il compare ces savoirs à une histoire à raconter qui doit être cohérente, et donc, qui doit contenir toutes les sections pertinentes pour être compréhensible.

Il y a donc deux grandes visions observées pour le choix des contenus dépendamment des croyances des enseignants : certains privilégient l'enseignement de notions plus pratiques, plus algorithmiques, alors que d'autres choisiront d'enseigner d'abord des concepts théoriques.

Enfin, Geneviève, Évelyne et Philippe ont décidé d'exclure certains contenus jugés moins importants et pouvant causer des difficultés aux étudiants. Avec l'expérience, les enseignants découvrent les notions difficiles pour les étudiants. À titre d'exemple, Geneviève et Philippe ont décidé de ne plus traiter de l'effet photoélectrique.

Ce geste didactique de choisir d'enseigner ou non certaines notions est 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 la chimie en général.

Des formes de représentation choisies dans le but d'expliquer ou de susciter l'intérêt

Les figures sont la forme de représentation la plus fréquemment utilisée par les enseignants participants pour la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome. Ces figures peuvent être tirées du manuel utilisé ou conçues par eux-mêmes.

Certaines formes de représentation sont toutefois priorisées par certains enseignants. Par exemple, Yvan utilise de nombreuses représentations tirées de films ou d'émissions de télévision correspondant à ses champs d'intérêt personnels, mais aussi à ceux de ses étudiants, (*The Simpsons*, *The Big Bang Theory* et *Breaking Bad*). Il considère que ces représentations attirent l'attention de ses étudiants et que ceux-ci sont ainsi plus réceptifs aux contenus du cours.

Paul utilise, pour sa part, un très grand nombre d'analogies où il compare des concepts scientifiques à des observations tirées de la vie de tous les jours, expliquant ainsi aux étudiants des notions qu'ils ne connaissent pas à partir de notions qu'ils connaissent.

Quelques enseignants ont aussi utilisé des vidéos afin, entre autres, d'illustrer les formes des orbitales et leur superposition, alors que d'autres se sont servi d'objets matériels tels que des balles et des ballons ou des modèles en 3D.

Bien que l'atome soit invisible à l'œil nu, les enseignants ont utilisé de nombreuses formes de représentation visuelle, et ce, pour différentes raisons. Ils mettent beaucoup d'énergie pour trouver ou même concevoir des façons de représenter à leurs étudiants des concepts imperceptibles. Nous avons observé, par ailleurs, un grand nombre de représentations visuelles ou verbales de type analogies, différentes pour chaque enseignant, pour expliquer les nombres quantiques comme étant des coordonnées dans l'espace.

Le choix des formes de représentation des contenus s'appuie sur deux grandes justifications, soit des justifications d'ordre motivationnel et des justifications d'ordre cognitif.

En effet, Yvan, Antoine et Paul ont conçu, dans le but de susciter l'intérêt des étudiants, certaines formes de représentation ayant souvent un pouvoir explicatif limité, mais attirant l'attention. Par ailleurs, tous les enseignants ont justifié le choix de leurs formes de représentation par le besoin d'illustration ou d'explication de concepts. Le choix de formes de représentation prend toute son importance pour les enseignants, selon nous, dans le contexte de l'enseignement de concepts abstraits tels ceux liés au modèle probabiliste de l'atome.

Le choix de la stratégie d'enseignement

Nous avons constaté que, après la fragmentation de la leçon en étapes dans les tableaux de planification, les explications sous la forme d'exposé magistral étaient le type d'activité d'enseignement qui revenait le plus souvent. Bien que nous ayons souhaité au départ recruter des enseignants ayant recours aux pédagogies actives, il semble que l'exposé magistral soit une méthode souvent utilisée pour l'enseignement de concepts difficiles tels que ceux qui nous intéressent dans le cadre de cette recherche.

La justification amenée le plus fréquemment par les enseignants pour le choix de leurs activités d'enseignement et d'apprentissage est de faire des liens entre les éléments de contenu. Pour Yvan et Geneviève, le choix de certains exercices permet aussi aux étudiants de faire eux-mêmes certains liens.

Les enseignants ont tout de même mis en place des activités où les étudiants étaient plus actifs. Par exemple, Yvan, qui enseigne dans un local de type classe d'apprentissage actif (classe aménagée avec des tables en îlots et où chaque équipe possède un tableau blanc), propose plusieurs exercices à résoudre en équipe sur les tableaux blancs interactifs. Comme les réponses aux exercices apparaissent sur les tableaux, il peut juger la capacité des étudiants des différentes équipes à réaliser les exercices et ainsi adapter ses interventions. Antoine a, quant à lui, planifié un problème synthèse à résoudre par ses étudiants, d'une durée d'une cinquantaine de minutes, à la fin de son cours. Geneviève a planifié de nombreux exercices d'application. Elle considère que pour l'apprentissage des règles concernant les nombres quantiques, il est très important que les élèves s'exercent à appliquer les règles avant même de comprendre ce qu'elles signifient. Évelyne a prévu solliciter la participation de ses étudiants à l'aide, entre autres, de questions posées avec des télévotants. Ces appareils lui permettent de

juger du niveau de compréhension de la matière par ses étudiants, puisqu'ils lui fournissent automatiquement les statistiques des réponses données. Enfin, Philippe a conçu deux « activités » à réaliser en équipe. La première consiste en un diagramme d'énergie où les étudiants doivent placer des combinaisons de nombres quantiques. L'autre, qui se présente davantage sous la forme d'un jeu, permet aux étudiants de découvrir par eux-mêmes les règles pour le remplissage des orbitales des atomes polyélectroniques. Ces activités sont très importantes pour Philippe, car il considère qu'elles aident les étudiants à s'appropriier les concepts en s'entraînant.

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 évoluent les enseignants participants et peut-être aussi par des expériences et des préférences pédagogiques qui varient de l'un à l'autre. Les choix faits dépendent, selon nous, des croyances des enseignants envers la discipline, envers la science, mais aussi et surtout envers l'enseignement de façon générale. Certains enseignants préfèrent « garder le contrôle » sur les savoirs alors que d'autres le laissent aux étudiants.

Une adaptation aux caractéristiques des étudiants

Les données recueillies montrent que les enseignants participants connaissent bien les caractéristiques de leurs étudiants, et ce, grâce à la mise en place de différents moyens pour les découvrir. Alors que certains favorisent les échanges plus ou moins informels, d'autres construisent des questionnaires afin de recueillir l'information. Antoine pose des questions en lien avec certains marqueurs de réussite identifiés, d'autres enseignants en posent sur les champs d'intérêt des étudiants (personnels ou pour la chimie).

Les enseignants connaissent aussi les caractéristiques cognitives de leurs étudiants et ont eux-mêmes une représentation des conceptions des élèves et des difficultés qu'elles peuvent entraîner. Ils savent que leurs étudiants s'imaginent l'atome avec un modèle proche des modèles de Rutherford et de Bohr, et que cette conception est très stable, ce qu'ont confirmé les schémas faits en début de session.

Lorsque nous avons demandé aux enseignants comment ils adaptaient leur planification aux caractéristiques de leurs étudiants, ceux-ci nous ont fourni des réponses relativement différentes. Ils semblent avoir davantage tendance à adapter leur planification quand les étudiants ont des caractéristiques particulières, ce qui a été le cas pour Yvan et Antoine notamment. Tous les enseignants nous ont surtout expliqué comment ils adaptaient leur planification aux caractéristiques cognitives de leurs étudiants.

Mentionnons d'abord que Philippe et Évelyne demandent à leurs étudiants de représenter comment ils s'imaginent un atome lors du premier cours. Philippe demande aux siens de réaliser un schéma illustrant comment ils s'imaginent l'atome, puis d'échanger entre eux sur les schémas produits afin de faire ressortir leurs conceptions. Selon Évelyne, cela permet aux étudiants d'explicitier leurs connaissances antérieures et de se rendre compte, pour la majorité d'entre eux, qu'ils possèdent déjà plusieurs connaissances relativement à l'atome. À l'inverse, d'autres étudiants qui n'ont pas fait de chimie depuis de nombreuses années et qui n'ont plus vraiment de souvenir de ce qu'est un atome, pourront aller chercher de l'aide auprès de l'enseignante. Enfin, cette activité indique aussi à Évelyne si ces connaissances sont exactes ou erronées et si elle doit intervenir, selon le cas.

Bien qu'Yvan et Philippe aient commencé par dire qu'il n'était pas vraiment possible d'adapter leur planification aux caractéristiques de leurs étudiants compte tenu de la diversité de ceux-ci, nous avons noté plusieurs façons de faire montrant le contraire.

Antoine, Évelyne et Philippe traitent des modèles en expliquant aux étudiants ce qu'ils sont et en précisant que, de par leur nature, les modèles sont appelés à évoluer. Antoine et Philippe ont expliqué qu'ils évitent de discréditer les modèles atomiques antérieurs ou de dire qu'ils sont faux, puisque cela peut avoir tendance à frustrer certains étudiants, ce qui ne favorise pas l'apprentissage. Pour tous ces enseignants, les étudiants doivent absolument comprendre qu'avec le temps et les progrès scientifiques, de nouveaux modèles expliquent mieux la réalité.

Nous avons aussi observé qu'Yvan, Geneviève et Évelyne planifiaient établir de nombreux liens avec le modèle de Bohr lors de l'enseignement du modèle probabiliste de

l'atome. Plutôt que de laisser croire à leurs étudiants que le modèle de Bohr est un ancien modèle erroné qu'il faut laisser tomber, ceux-ci tenteront plutôt de bien mettre en évidence les principes qui demeurent dans le modèle probabiliste. On peut penser que, pour ces enseignants, il est essentiel de construire les nouveaux apprentissages sur les bases déjà établies que sont les connaissances antérieures des étudiants.

Synthèse générale pour les pratiques de transformation

De façon générale, on observe une diversité dans les pratiques de transformation des savoirs chez les six enseignants, bien que nous nous soyons concentrés sur un sujet très spécifique, soit le modèle probabiliste de l'atome. Il y a plusieurs points communs dans les pratiques déclarées, mais chaque enseignant possède un répertoire de connaissances et de valeurs qui lui permet de planifier une séquence d'enseignement et d'apprentissage unique. Les points communs peuvent être liés à la façon dont ont été choisis les participants. En effet, à cause de nos critères de sélection, les caractéristiques de ces derniers (formation, nombre d'années d'expérience et nombre de fois qu'ils ont donné le cours) sont assez semblables. Les contextes dans lesquels les enseignants évoluent sont aussi relativement proches, sauf dans les cas d'Yvan (qui enseigne dans un collège anglophone à un groupe d'étudiants de l'option « enrichissement ») et d'Antoine (qui enseigne à un groupe d'étudiants de force relativement faible, dont plusieurs font un retour aux études).

Ainsi, on remarque que les enseignants se réfèrent à différentes sources pour préparer leur cours, que les façons de faire peuvent évoluer avec l'expérience. Ils ont à effectuer différents choix, entre autres, pour les savoirs à enseigner. Ces choix sont guidés par les indications données sur les savoirs prescrits (manuel, documents du programme, collègues), mais aussi selon d'autres critères.

Les enseignants cherchent et conçoivent, dans de nombreux cas, plusieurs formes de représentation. Celles-ci visent à expliquer ou à illustrer des concepts spécifiques, ou encore, à attirer l'attention des étudiants.

Bien que les explications sous forme d'exposé magistral soient l'activité d'enseignement la plus fréquente, les enseignants ont planifié différentes activités

d'apprentissage où les étudiants étaient plus actifs. Ces activités permettaient aux élèves de s'exercer, de faire eux-mêmes certains liens, de découvrir des concepts par eux-mêmes en s'entraînant, et enfin, de vérifier leur compréhension.

Enfin, nous avons constaté que les enseignants connaissent bien les caractéristiques de leurs étudiants et adaptent leur planification principalement à leurs caractéristiques cognitives. Ils savent comment les étudiants s'imaginent l'atome en arrivant au cours, ils sont conscients des difficultés que cela peut engendrer, et déploient différentes stratégies dans ce contexte.

Des pratiques effectives pour l'enseignement des savoirs

Pour ce qui concerne le deuxième objectif spécifique de la recherche, qui est d'analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive en lien, notamment, avec les pratiques déclarées par les enseignants, nous avons comparé les pratiques déclarées et les pratiques effectives que nous avons observées en classe.

Les propos recueillis lors des entrevues de rappel stimulé (où l'enseignant visionnait l'enregistrement de sa prestation en compagnie de la chercheuse) ont été analysés avec le modèle intégré de la pensée interactive des enseignants proposé par Wanlin et Crahay (2012) comme outil analytique. La consigne générale donnée aux enseignants pour cette entrevue consistait, en gros, à leur demander d'exprimer ce qu'ils avaient en tête pendant qu'ils enseignaient, et ce, idéalement lorsque leur enseignement était différent de ce qu'ils avaient planifié (annexe 2). Outre les pratiques observables contenues dans les enregistrements vidéo, ces entrevues ont mis en lumière différents processus cognitifs des enseignants, soit des moments de réflexion dans l'action avec la prise de certaines décisions et d'autres moments de réflexion sur l'action.

Des moments de réflexion dans l'action

Les enseignants participants ont pris différentes décisions à certains moments clés de la leçon. Nous avons relevé les processus empruntés pour ces prises de décisions.

À la lumière du modèle intégré de la pensée interactive des enseignants proposé par Wanlin et Crahay (2012) (figure 6), notre premier constat est que les indices perçus par les enseignants pour la majorité des décisions que nous avons répertoriées étaient liés aux étudiants.

Les questions posées par les étudiants ont été à la base d'au moins une décision prise par chacun des enseignants. Les réactions des étudiants aux questions posées par l'enseignant constituent un deuxième type d'indice perçu à la base des décisions prises, et ce, pour la majorité des enseignants. Les enseignants accordent donc une grande importance à ce qu'ils perçoivent chez leurs étudiants et le prennent en compte dans leur enseignement bien que celui-ci ait été planifié. D'autres indices ont aussi été à la base d'une réflexion dans l'action et de la prise d'une décision selon les enseignants (difficultés observées lors des exercices, niveau de compréhension et signes non verbaux des étudiants).

Pour chacune des prises de décision observées, l'enseignant a fait part du rationnel sur lequel il s'était basé pour intervenir ou non en fonction des indices perçus. Cela montre que les enseignants réfléchissent pendant leur enseignement 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.

Enfin, nous avons observé différents types de décisions prises en lien avec ce qui avait été planifié par les enseignants. À plusieurs reprises, ces derniers ont décidé de poursuivre leur leçon telle que planifiée compte tenu des 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. Ces ajustements consistaient à répondre aux questions des étudiants (bien que cette décision ne soit pas si simple à prendre, comme décrit dans les paragraphes suivants portant sur les dilemmes) et, dans une moindre mesure, à ne pas traiter certains éléments de contenu ou à 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.

Par exemple, le choix d'Évelyne d'interroger fréquemment ses étudiants en utilisant des télévotants lui permet de recueillir un grand nombre d'indices à partir des réponses (exactes ou erronées). Elle doit ainsi fréquemment décider de la suite de sa leçon, en faisant avancer les savoirs ou en réexpliquant des notions mal comprises.

Nous avons observé, par ailleurs, l'apparition de dilemmes se manifestant dans l'action et la réflexion de certains des enseignants. Nous avons présenté un exemple de dilemme d'Yvan : un de ses étudiants (qui, rappelons-le, faisait partie d'un groupe de l'option « enrichissement ») lui a posé une question, et la réponse renvoyait à des notions prévues plus tard dans la leçon. Yvan a dû choisir entre ne pas répondre à la question (raisons : il avait prévu aborder ces notions plus tard, il souhaitait que les autres étudiants puissent le suivre et ne sentent pas « inférieurs » de ne pas comprendre la question, et le temps filait) ou y répondre (il aime interagir avec ses étudiants et les encourager à poser des questions). Dans ce cas précis, devant ces deux options contradictoires, Yvan a décidé d'ajuster légèrement son plan en répondant brièvement à la question.

À un autre moment, Yvan a été placé devant un autre dilemme : comment intervenir lorsqu'aucun étudiant ne répond à une question. Selon lui, l'absence de réponses peut être attribuable au fait que les étudiants ne comprennent pas la matière ou, à l'inverse, au fait que celle-ci est bien acquise et qu'ils souhaitent passer à la suite. Dans le cas présent, Yvan a jugé que le même type de question avait été posé plusieurs fois et que, d'après ce qu'il savait de ses étudiants, il était préférable de poursuivre son plan afin de maintenir le rythme de la leçon.

Paul a fait face à un dilemme alors que, après la présentation d'une vidéo portant sur la mécanique quantique, les étudiants se sont mis à poser de nombreuses questions à propos des concepts traités dans la vidéo. Il devait choisir entre laisser les étudiants continuer à poser ces questions, qu'il considérait comme de « haut niveau », ou mettre un terme à ces questions et continuer avec ce qu'il avait planifié, puisqu'il sentait que le temps filait. Dans ce cas précis, Paul, qui était préoccupé par le temps, a choisi de laisser libre cours aux questions et à la discussion pendant un certain moment pour par la suite revenir à ce qui avait été planifié. Même si c'est ce qu'il a décidé compte tenu des contraintes temporelles, il aurait souhaité

laisser ses étudiants poser leurs questions et s'exprimer, puisqu'il était heureux de les voir curieux et participatifs.

Évelyne a connu un dilemme semblable : à un certain moment de sa leçon, les étudiants ont posé de nombreuses questions. Elle devait alors choisir entre répondre, ce qui permettait de régler plusieurs problèmes d'incompréhension des étudiants, ou ne pas répondre, pour avoir suffisamment de temps pour les autres activités prévues au plan. Elle a choisi la deuxième solution.

Dans trois de ces cas, la contrainte du temps est un facteur important pris en compte par les enseignants lors de l'apparition d'un dilemme.

Dans plusieurs des dilemmes observés, leurs choix sont faits selon leurs connaissances des caractéristiques de leurs étudiants, leurs connaissances relatives à l'ordonnement des savoirs et leurs connaissances en gestion du temps d'enseignement. Toutes ces connaissances sont mobilisées lors de la planification de la leçon, mais aussi pendant la leçon elle-même.

Face à ces dilemmes, les enseignants prennent des décisions qui ne les satisfont pas pleinement, mais qui constituent l'option « la moins pire » en considérant tous les éléments du cours.

Mis à part Paul, qui, 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 enseignants avaient tous préparé un plan très précis avant leur leçon. En lien avec le plan élaboré, les pratiques effectives d'enseignement ont été très semblables à ce qui avait été déclaré lors de l'entrevue portant sur la planification, et ce, pour la grande majorité des enseignants. Cela ne les a pas empêchés d'être attentifs aux indices perçus en classe lors de situations « imprévues ». Ils ont alors réfléchi pendant leur enseignement afin d'intervenir pour donner suite aux indices, ce qui les a placés, dans certains cas, devant des dilemmes.

Enfin, les enseignants ont modifié leur plan avec les années pour arriver à celui qu'ils nous ont présenté lors de l'entrevue portant sur la planification. Les indices perçus au fil des

cours et en lien avec, entre autres, les questions des étudiants et leurs difficultés sont souvent pris en compte. L'enseignant ajuste son plan pour les prochaines fois. C'est ainsi que les enseignants expérimentés tiennent compte de ce qu'ils ont appris de leurs expériences passées pour l'intégrer à leur planification future.

La réflexion sur l'action

L'entrevue de rappel stimulé a mis en évidence certains moments de réflexion sur l'action. Les enseignants ont alors fait certains commentaires critiques sur les formes de représentation des contenus et sur les activités d'enseignement et d'apprentissage qu'ils avaient choisies. Ces commentaires révélaient les points forts et les points faibles de leurs choix. Ce type de réflexion d'après-coup permet aux enseignants, selon nous, d'apporter des modifications à leur plan de façon que celui-ci puisse être davantage adapté aux étudiants au fil des années.

Synthèse générale pour les pratiques d'enseignement

L'entrevues de rappel stimulé a révélé les pratiques d'enseignement effectives, mais aussi les processus cognitifs des enseignants, soit des moments de réflexion dans l'action avec la prise de certaines décisions et d'autres moments de réflexion sur l'action.

Bien que les pratiques d'enseignement effectives soient fortement dépendantes de ce qui a été planifié pour la majorité des enseignants, plusieurs moments de réflexion dans l'action les amènent à modifier leur plan. Devant des dilemmes, ils devront choisir la meilleure solution.

Alors que certaines réflexions ont cours pendant l'enseignement, d'autres ont plutôt lieu après. 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 ayant eu cours dans le passé font en sorte que les enseignants améliorent leur plan au fil des années en le rendant beaucoup plus adapté aux étudiants.

Des savoirs appris par les étudiants

Le troisième objectif spécifique de la recherche est d'analyser les relations entre les pratiques enseignantes observées et les savoirs appris par les étudiants. Pour ce, nous avons d'abord analysé les schémas réalisés par les étudiants pour ensuite établir des liens avec les pratiques observées.

Nous avons demandé aux étudiants, au début et à la fin de la session, de représenter schématiquement comment ils s'imaginaient un atome d'azote et de fournir une explication écrite à ce schéma. Nous avons ensuite classé chacun des schémas selon les niveaux de formulation établis par Park (2009).

Le tableau 48 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 48 Niveaux de formulation de la structure atomique, adapté de Park (2009).

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 quantique (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.	

Le tableau 49 illustre le pourcentage des schémas réalisés par les étudiants de chacun des enseignants participants en début (S1) et en fin de session (S2) selon chacun des niveaux de formulation.

Tableau 49 Niveaux de formulation établis pour les schémas expliqués réalisés en début de session (S1) et en fin de session (S2) par les étudiants.

Niveaux de formulation selon Park (2009)	Yvan		Antoine		Paul		Geneviève		Évelyne		Philippe	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
1 Atome = particule												
2 Particules subatomiques			6,5	9,7	4,2	8,3						
3 Électrons autour du noyau	3,2		6,5		21		13				10,0	
4 Orbites circulaires			3,2									
5a Électrons sur orbites circulaires de différents niveaux	90	9,7	74	6,5	75,0	13	85	6,4	90,0		85,0	
5b Électrons sur orbites de différentes formes	3,2	3,2		3,2		4,2	2,1	6,4				
6 Modèle de Bohr (quantification de l'énergie)												
7 Électrons dans régions						21		8,5				5,0
8 Électrons : probabilité de présence	3,2			13				4,3				
9a Électrons dans orbitales de différentes formes (non-superposées)						4,2		2,1				
9b Électrons dans orbitales de différentes formes (superposées)		74		16		21		53		80,0		55,0
10 Concepts (dualité, probabilité, ect)								6,4				
Autre		9,7	9,7	52		8,3		13	10,0	20,0	5,0	40,0

Ainsi, pour ce qui est du schéma réalisé en début de session (S1), on peut voir que la majorité des étudiants conçoivent l'atome selon le niveau de formulation 5a (où l'on décrit l'atome comme constitué d'électrons sur des orbites circulaires de différents niveaux), et ce, pour tous les enseignants. Cela concorde parfaitement avec ce que nous ont dit les enseignants quand nous leur avons demandé comment leurs étudiants s'imaginaient l'atome. Il est donc clair que les étudiants possèdent des connaissances antérieures relatives à l'atome, connaissances acquises lors d'apprentissages scolaires ou autonomes. Malgré cette similarité, pour ce qui est d'Antoine et de Paul, les pourcentages d'étudiants dont le premier schéma correspond au niveau de formulation 5a sont un peu plus faibles que pour les autres enseignants. Dans leur cas, les schémas de quelques étudiants correspondraient plutôt à des niveaux de formulation inférieurs au niveau 5a. Cela nous laisserait croire que les groupes d'Antoine et de Paul pouvaient être plus faibles que les autres, ce qui a été confirmé par Antoine qui donnait son cours à l'hiver.

Pour ce qui est du schéma réalisé en fin de session (S2), alors qu'on aurait espéré que la majorité des représentations concordent avec les niveaux 9b ou 10, les résultats sont très variables. Tout d'abord, très peu de schémas correspondent au niveau 10, ce que nous attribuons principalement à l'outil que nous avons utilisé afin de collecter les savoirs appris. Interroger les étudiants pendant qu'ils réalisaient le schéma (et l'explication de celui-ci) nous aurait probablement permis de mieux vérifier l'atteinte de ce niveau. Les étudiants d'Évelyne ont représenté l'atome avec un niveau de formulation élevé (9b), mais comme nous l'avons mentionné dans la présentation des résultats, cela peut être attribuable au fait que seuls les meilleurs étudiants ont accepté de faire les schémas, compte tenu du très faible taux de réponse dans ce groupe. Ensuite, on remarque que près de 75 % des étudiants d'Yvan ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 9b. Encore une fois, les caractéristiques des étudiants (des étudiants très forts acceptés dans l'option « enrichissement ») semblent être en lien avec ce fort pourcentage. Les taux d'étudiants ayant représenté comment ils s'imaginaient l'atome avec les niveaux de formulation 9b ou 10 sont semblables pour Geneviève et Philippe. Ceux-ci sont aussi très semblables pour Antoine et Paul, ce qui peut s'expliquer par différents facteurs. Dans le cas d'Antoine, outre les caractéristiques de ses étudiants, on peut voir que plusieurs des schémas ont été classés dans « autre niveau de formulation ». Dans ces schémas,

les représentations consistaient en des structures de Lewis illustrant souvent tous les électrons, des cases quantiques, des orbitales de molécules ou encore plusieurs représentations non cohérentes entre elles. Certains de ces schémas étaient donc en lien avec le modèle probabiliste, bien qu'on y ait décelé plusieurs erreurs. Pour ce qui est de la classe de Paul, même si environ 20 % des étudiants ont représenté l'atome selon le niveau de formulation 9b, plusieurs des représentations coïncidaient avec les niveaux 7 et 9a, des niveaux « moins complexes », mais tout de même liés au modèle probabiliste. Cela peut être lié, encore une fois, aux caractéristiques des étudiants. Les savoirs appris semblent donc très fortement liés aux caractéristiques des étudiants.

Le tableau de corrélation (tableau 50) montre la répartition du nombre de schémas correspondant aux différents niveaux de formulation de Park (2009) pour les deux schémas réalisés par les étudiants, tous groupes confondus.

Tableau 50 Corrélation entre le niveau de formulation du schéma 1 et le niveau de formulation du schéma 2.

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

La ligne diagonale avec les cases grisées montre le nombre d'étudiants pour qui le niveau de formulation était le même pour le schéma réalisé en début de session et celui en fin de session. Ce chiffre est très faible (6,7 % des étudiants) et vient à l'encontre de ce que nous

avons énoncé dans la problématique, à savoir que le fait d'avoir étudié l'atome en termes de couches électroniques pouvait entraver l'apprentissage de nouveaux modèles.

Les chiffres se retrouvant sous la diagonale correspondent au nombre d'étudiants dont le niveau de formulation était plus complexe en début qu'en fin de session. On parle d'un très petit nombre d'étudiants (4).

Les chiffres au-dessus de la diagonale correspondent au nombre d'étudiants dont le niveau de formulation était moins complexe en début qu'en fin de session. On remarque ici de nombreux 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, en fait, la moitié des étudiants ont réalisé un schéma en fin de session qui a pu être classé dans les derniers niveaux de formulation liés au modèle probabiliste, soit les niveaux 9b et 10. D'autres étudiants ont fait une représentation tout de même en lien avec le modèle probabiliste, mais selon des niveaux de formulations moins élevés.

Synthèse générale pour les savoirs appris par les étudiants

Alors qu'avant le cours, la majorité des étudiants conçoivent l'atome selon le niveau de formulation où l'on décrit celui-ci comme constitué d'électrons sur des orbites circulaires de différents niveaux, et ce, pour les six enseignants, les étudiants, après le cours, conçoivent l'atome selon différents niveaux de formulation dépendamment des groupes, et différents types de changement sont observés.

Ainsi, même si nous avons affirmé dans la problématique que l'existence de connaissances antérieures en lien avec les modèles atomiques pouvait nuire aux nouveaux apprentissages, nos résultats montrent que les enseignants participants ont réussi à susciter un changement dans la façon dont les étudiants s'imaginent l'atome. Il va sans dire que certains

choix en lien avec les formes de représentation du contenu ainsi que les activités d'enseignement et d'apprentissage ont certainement contribué à favoriser ce changement.

6 Les retombées sur le développement de l'enseignement collégial

Ce projet est original, puisqu'il se situe à la fois dans le domaine de la psychopédagogie, dans celui de la didactique et dans celui que les anglophones appellent la « *science education* ». Il fournit des renseignements utiles sur la manière dont des pédagogues expérimentés planifient et réalisent des séquences d'enseignement-apprentissage, et des données probantes sur les savoirs appris par les étudiants. Il pourra ainsi alimenter la réflexion départementale et institutionnelle sur les pratiques pédagogiques en lien avec l'approche par compétences, ainsi que sur les formations, guides ou pratiques institutionnelles en lien avec la planification pédagogique selon l'APC.

Les résultats de cette recherche seront utiles pour les enseignants de chimie, mais aussi pour tous les enseignants des disciplines scientifiques, au collégial – on pense particulièrement aux enseignants de physique. Ils intéresseront aussi les responsables de la formation des enseignants, ainsi que les personnes-ressources qui offrent des formations en didactique et en planification pédagogique, par exemple dans les programmes crédités de perfectionnement pédagogique.

Le projet est pertinent selon l'objectif de la CEEC explicité dans la problématique, soit de faire évoluer les méthodes pédagogiques utilisées dans les collèges, notamment en Sciences de la nature, pour favoriser le développement des compétences chez les étudiants. En effet, notre recherche met en évidence les pratiques relatives au choix des formules pédagogiques dans une section d'un cours de chimie du programme Sciences de la nature, pratiques qui favorisent l'apprentissage, ou le changement conceptuel, dans le contexte de l'approche par compétences.

Ainsi, nous croyons que ce projet amènera les enseignants de chimie et de sciences à réfléchir à leurs pratiques pédagogiques et didactiques : comment apprennent-ils les savoirs pour leurs étudiants afin de faciliter les apprentissages et comment les enseignent-ils ? Cette question s'avère d'autant plus cruciale si l'on considère la nature des savoirs scientifiques et les nombreuses difficultés que les étudiants peuvent éprouver pour les acquérir.

7 Conclusion

L'objectif général de cette recherche était de mieux comprendre les pratiques enseignantes utilisées pour la transformation de savoirs liés au modèle probabiliste de l'atome et pour l'enseignement de ceux-ci en lien avec les savoirs appris par les étudiants dans le cadre du cours « Chimie générale » du programme Sciences de la nature.

Synthèse

Ce rapport est composé de quatre chapitres : la problématique, le cadre conceptuel, la méthodologie, et la présentation et l'interprétation des résultats. Nous résumerons le contenu de ces chapitres. Nous énoncerons aussi les forces et les limites de la méthodologie. Enfin, nous tenterons d'entrevoir les perspectives de la recherche.

Dans le premier chapitre, nous décrivions la problématique à l'origine de la recherche. Le Renouveau de l'enseignement collégial et l'approche par compétences ont provoqué de nombreux changements tant dans la gestion des programmes que dans l'enseignement. De nombreux choix de contenus à enseigner doivent être faits lors de l'élaboration d'un programme, mais aussi lors de la planification d'un cours. Nous avons aussi relevé le fait que certaines méthodes pédagogiques semblent favoriser davantage le développement de compétences. Par ailleurs, notre recherche montre que des obstacles entravent les apprentissages des savoirs scientifiques ; par exemple, les conceptions alternatives entretenues par les étudiants ainsi que des obstacles didactiques liés à l'enseignement. Ainsi, il nous apparaissait pertinent de décrire les pratiques d'enseignants utilisées pour la transformation des savoirs ainsi que leur enseignement dans le cas d'un contenu de cours problématique, soit le modèle probabiliste de l'atome, lié à la compétence 00UL du programme Sciences de la nature.

Le chapitre suivant présente le cadre conceptuel. En premier lieu, nous avons défini ce que l'on entend par « pratiques enseignantes ». Ensuite, nous avons présenté le modèle de la transformation des savoirs de Shulman (1987), les concepts de réflexion dans l'action et sur

l'action de Schön (1983) ainsi que le modèle intégré de la pensée interactive de Wanlin et Crahay (2012). Enfin, nous avons exposé le concept de niveaux de formulation en lien avec les savoirs acquis par les étudiants.

Dans le troisième chapitre, nous avons décrit notre méthodologie. Nous y donnons, entre autres, une justification du choix de l'étude multicases comme type de recherche, les informations liées à la sélection des participants, aux techniques et aux instruments de collecte de données, à la méthode d'analyse des données, aux moyens pris pour assurer la rigueur, et enfin, aux aspects éthiques.

Le dernier chapitre contenait la présentation et l'interprétation des résultats. Nous avons, en premier lieu, décrit les pratiques de chacun des six enseignants utilisées pour la transformation des savoirs lors de la planification de l'enseignement et pour l'enseignement de ces savoirs (en lien avec ce qui avait été prévu), en présentant comment les étudiants concevaient ces savoirs avant et après l'enseignement. Nous avons, par la suite, interprété les résultats à la lumière des modèles mentionnés dans le cadre conceptuel.

Parmi les principaux résultats obtenus, on remarque une diversification des pratiques de transformation des savoirs et d'enseignement, bien que des pratiques communes soient partagées par certains enseignants.

Pour la transformation des savoirs en vue de leur enseignement, nos résultats montrent comment les enseignants préparent les contenus pour leur leçon, sur quelles bases ils choisissent certaines formes de représentation des contenus et certaines activités d'enseignement et d'apprentissage, et comment ils adaptent leur planification aux caractéristiques de leurs étudiants. Les enseignants se réfèrent à différentes sources pour préparer leur leçon, et les façons de faire évoluent avec l'expérience. Ils effectuent des choix pour les savoirs à enseigner, choix qui sont guidés par les indications données sur les savoirs prescrits (manuel, documents du programme, collègues), mais sont par différents critères selon les enseignants. Ceux-ci cherchent et conçoivent, dans de nombreux cas, plusieurs formes de représentation des contenus afin d'expliquer ou d'illustrer des concepts spécifiques ou pour attirer l'attention des étudiants. Les enseignants ont planifié différentes activités

d'apprentissage où les étudiants étaient plus actifs même si les explications sous forme d'exposé magistral sont l'activité d'enseignement que nous avons observée le plus fréquemment. Les activités visaient à faire s'exercer les étudiants, les amener à faire eux-mêmes certains liens, à leur faire découvrir des concepts par eux-mêmes en s'entraînant, et enfin, à vérifier leur compréhension. Enfin, nous avons constaté que les enseignants connaissent bien les caractéristiques de leurs étudiants et qu'ils adaptent leur planification principalement aux caractéristiques cognitives. Ils savent comment les étudiants s'imaginent l'atome en arrivant au cours, ils sont conscients des difficultés que cela peut engendrer et ils déploient différentes stratégies dans ce contexte.

Les résultats montrent que les pratiques effectives d'enseignement sont fortement liées à ce qui avait été planifié. Malgré cela, les enseignants prennent plusieurs décisions alors qu'ils réfléchissent dans l'action, principalement en réponse à certains indices venant des étudiants. Les enseignants sont ainsi appelés à modifier dans l'action ce qu'ils avaient prévu en affrontant, dans certains cas, des dilemmes. Des décisions se prennent aussi *a posteriori* alors que les enseignants apportent des modifications à leur planification grâce à des indices perçus dans le passé, ce qui contribue à rendre le plan beaucoup plus adapté aux étudiants au fil des années.

Enfin, les étudiants conçoivent l'atome selon les modèles de Rutherford-Bohr en début de session, mais un très grand nombre d'entre eux s'imaginent l'atome de façon différente en fin de session en faisant appel à des concepts liés au modèle probabiliste. Les enseignants ont réussi à susciter un changement dans la façon dont les étudiants s'imaginent l'atome. Il va sans dire que certains choix faits en lien avec les formes de représentation du contenu ainsi que les activités d'enseignement et d'apprentissage ont certainement contribué à favoriser ce changement.

Forces et limites de la recherche

La principale force de notre recherche concerne la cohérence entre l'alignement théorique principalement ancré dans l'approche cognitiviste, les objectifs de la recherche et la méthodologie privilégiée.

Notre méthodologie comportait des forces et des limites. En premier lieu, le choix de l'entrevue semi-dirigée et de l'entrevue de rappel stimulé comme méthodes de collecte de données était une force de la recherche en regard des objectifs spécifiques. Rappelons que ceux-ci 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, de décrire les pratiques déclarées des enseignants pour les différentes phases de la transformation des savoirs, c'est-à-dire la préparation, le choix des formes de représentation des contenus, le choix de la stratégie d'enseignement et les adaptations aux caractéristiques des étudiants, d'analyser les pratiques effectives d'enseignement en classe lors de la phase interactive en lien, notamment, avec les pratiques déclarées par les enseignants, et d'analyser les relations entre ces pratiques et les savoirs acquis par les étudiants. Ainsi, l'entrevue semi-dirigée a fourni une description riche, en profondeur, des pratiques des personnes participantes qui se sont ouvertes pour partager leur expérience.

La triangulation des sources, qui a permis l'enrichissement et la confrontation des données issues de l'analyse avec les données issues du matériel didactique, constitue une autre force de la recherche. En est issue une description encore plus précise des pratiques des enseignants participants.

Le recours à l'entrevue semi-dirigée comporte aussi certaines limites. En effet, la désirabilité sociale peut faire en sorte que les personnes interrogées soient tentées de répondre de façon à plaire à celui ou celle qui dirige l'entrevue ; l'entrevue semi-dirigée a mis en évidence certaines pratiques déclarées. Pour pallier cette limite, nous avons observé les pratiques effectives d'enseignement, en plaçant chaque enseignant face à ces observations lors d'une entrevue de rappel stimulé.

Le nombre restreint d'enseignants participants constitue une autre faiblesse de la méthodologie. Notre objectif était de décrire en profondeur les pratiques enseignantes, mais un nombre plus élevé de cas aurait peut-être fait ressortir des pratiques différentes.

Enfin, le choix de mettre en évidence les savoirs appris par les étudiants seulement par les schémas expliqués réalisés en classe constitue une autre limite de la recherche. La

réalisation des schémas expliqués dans le cadre d'entrevues avec la chercheuse aurait apporté plus d'informations quant aux connaissances élaborées par les étudiants.

Perspectives

Différentes avenues peuvent être envisagées pour des recherches futures. Nous sommes d'avis que de nouvelles recherches pourraient venir nous éclairer quant aux pratiques adoptées pour l'enseignement d'autres objets. Les étudiants éprouvent des difficultés avec les pratiques et entretiennent des conceptions alternatives tant en chimie que dans d'autres disciplines scientifiques.

8 Bibliographie

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. Dans S. K. Abell et N. G. Lederman (dir.), *Handbook of Research on Science Education* (p. 1105- 1149). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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* (Thèse de doctorat). Université de Sherbrooke.
- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante: L'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, 138, 85- 93. doi: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.
- 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. Consulté à l'adresse <http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&AuthType=cookie,ip,url,uidetdb=aphetan=6153207>
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., et Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles: De Boeck.
- Ausubel, D. (2000). *The acquisition and retention of knowledge : a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bizier, N. (2008). Choisir des contenus reconnus et pertinents: un geste professionnel didactique majeur. *Pédagogie collégiale*, 21(2), 13- 18.
- Boisvert, M., Lacoursière, M., et Lallier, A. (2006). L'aventure collective du Renouveau de 1992 à 2004 : une maturation engageante. Dans L. Héon, D. Savard, et T. Hamel (Dir.), *Les cégeps : une grande aventure collective québécoise* (p. 71- 91). Québec: Les Presses de l'Université Laval.
- 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. doi:10.1007/s10972-007-9087-y
- Brousseau, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques.*, 4(2), 101- 117.
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes: Des recherches à conforter et à développer. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 63- 73. doi:10.3406/rfp.2002.2864
- 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).
- 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 (1^{re} éd. 1985).
- Cokelez, A. (2012). Junior High School Students' Ideas about the Shape and Size of the Atom. *Research in Science Education*, 42(4), 673- 686. doi: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. doi:10.1039/b4rp90005g
- Commission d'évaluation de l'enseignement collégial. (2008). *Rapport synthèse. Évaluation de programmes du renouveau de l'enseignement collégial*. Québec. Consulté à l'adresse <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs1765904>
- Conseil de la science et de la technologie. (2004). *La culture scientifique et technique : une interface entre la technologie et la société*. Sainte-Foy. Consulté à l'adresse http://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/publications/conseil_sciences techno/rapports/2004_r01_conjoncture_avril.pdf
- Cormier, C. (2013). *Les conceptions en géométrie moléculaire d'étudiants en Sciences de la nature* (Rapport de recherche PAREA). Montréal : Cégep André-Laurendeau.
- 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* (Thèse de doctorat). Université de Montréal.
- De 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. doi:10.1023/A:1026571615672
- De Jong, O., et Taber, K. S. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. Dans S. K. Abell et N. G. Lederman (dir.), *Handbook of Research on Science Education* (p. 631- 651). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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.
- 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. doi:10.1080/03057267808559857
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. Dans S. M. Glynn, R. H. Yeany, et B. K. Britton (dir.), *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. Dans S. Vosniadou (dir.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 629- 646). New York: Routledge.
- Dupin de Saint-André, M., Montésinos-Gelet, I., et Morin, M.-F. (2010). Avantages et limites des approches méthodologiques utilisées pour étudier les pratiques enseignantes. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 13(2), 159- 176. doi:10.7202/1017288ar
- 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. Dans F. Yvon et F. Saussez (dir.), *Analyser l'activité enseignante. Des outils méthodologiques et théoriques pour l'intervention et la formation* (p. 17- 39). Québec: Presses de l'Université Laval.
- 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.
- Gabel D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548- 553.
- 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. doi:10.1002/sce.3730770603
- Geddis, A. N., et Wood, E. (1997). Transforming subject matter ans 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. Dans A. Berry, P. Friedrichsen, et J. Loughran (dir.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (p. 28- 42). New York: Routledge.
- Goulet, J.-P. (1990). L'approche-programme : quelques changements en perspective. *Pédagogie collégiale*, 4(2), 6- 8.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher : teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Guzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V., et Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science : A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quaterly*, 28(2), 116- 159.
- 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. Dans T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (dir.), *La recherche en éducation* (p. 229- 252). Saint-Laurent: ERPI.
- Kober, N. (1993). *What we know about mathematics teaching and learning*. Washington.
- 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.
- 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. doi:10.7202/031761ar
- Magnusson, S., Krajcik, J., et Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. Dans J. Gess-Newsome et N. G. Lederman (dir.), *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.
- 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.
- 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., Roger, L., Jemel, S. D., et Chouinard, I. (2009). La didactique professionnelle, un nouveau regard pour analyser les pratiques d'enseignement. *Qu'est ce qu'une formation professionnelle universitaire des enseignants?*, 375- 383.
- Miles, M. B., et Huberman, M. A. (2003). *Analyse des données qualitatives* (2e éd.). Bruxelles: De Boeck.
- OCDE. (2014). *Résultats du PISA 2012 : Savoirs et savoir-faire des élèves : Performances des élèves en mathématiques, en compréhension de l'écrit et en sciences (Volume I)*. doi:http://dx.doi.org/10.1787/9789264097643-fr
- Ozden, M. (2009). Primary Student Teachers' Ideas of Atoms and Molecules: Using Drawings As a Research Method. *Education*, 129(4), 635- 643.
- Park, E. J. (2006). *Student perception and conceptual development as represented by student mental models of atomic structure* (Thèse de doctorat). 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. Communication présentée au *Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference*, Iowa city.

- 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. doi:10.1007/s11165-007-9049-6
- 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. Consulté à l'adresse [http://www.cvm.qc.ca/aqpc/Numéros/Volume_09_\(1995-1996\)/9\(2\).pdf](http://www.cvm.qc.ca/aqpc/Numéros/Volume_09_(1995-1996)/9(2).pdf) Perrenoud, Philippe.pdf
- Perrenoud, P. (1998a). *De la réflexion dans le feu de l'action à une pratique réflexive*. Université de Genève. Document inédit.
- Perrenoud, P. (1998b). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487. doi:10.7202/031969ar
- 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. doi: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.
- Reuter, Y., Cohen-Azra, C., Daunay, B., Delambre, I., et Lahanier-Reuter, D. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. (Y. Reuter, dir.) (3e éd.). Bruxelles: De Boeck.
- Riff, J., et Durand, M. (1993). Planification et décision chez les enseignants. *Revue Française de Pédagogie*, (100), 81- 107.
- 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*. Montréal. Consulté à l'adresse <http://sun4.vaniercollege.qc.ca/fqrscl/>
- Sánchez, V., et Llinares, S. (2003). Four Student Teachers' Pedagogical Reasoning on Functions. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 6(1), 5- 25. Consulté à l'adresse <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022123615355>
- Savoie-Zajc, L. (2011). La recherche qualitative/interprétative en éducation. Dans T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (dir.), *La recherche en éducation* (3e éd., p. 123- 147). Saint-Laurent: ERPI.
- Schön, D. (1994). Le praticien réflexif. À la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel (traduit par J. Heynemand et D. Gagnon). Montréal: Les Éditions Logiques. (Ouvrage original publié en 1983 sous le titre *The Reflective Practitioner*. New York, NY : Basic Books).
- 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.

- Shulman, L. S. (2007). Ceux qui comprennent. *Éducation et didactique*, 1(1), 97- 114.
- 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. doi: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. doi: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. doi:10.1002/sce.20038
- Takahashi, S. G., Waddell, A., Kennedy, M., et Hodges, B. (2011). *Innovations, Integration and Implementation Issues in Competency-Based Education in Postgraduate Medical Education. Members of the FMEC PG consortium.*
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique*. Montréal: Éditions logiques.
- 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. doi:10.3917/rac.010.0287
- 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. doi: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.
- 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. doi: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.
- Vermersch, P. (1996). *L'entretien d'explicitation*. Paris: ESF Éditeur.
- Vienneau, R. (2011). *Apprentissage et enseignement, Théories et pratiques* (2e éd.). Montréal: Gaëtan Morin éditeur.

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.

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 détails 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 pourrons 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 : Tableau résumant la planification de Yvan

Étapes planifiées	Savoirs en jeu	Type de méthode d'enseignement ou de représentation	Centré sur	Matériel didactique	Justifications (lorsque fournies par l'enseignant)
Rappel des notions relatives au modèle de Bohr	Modèle de Bohr	Exposé magistral (rappel)	P	PowerPoint	
Utilisation de représentations du modèle de Bohr tirées de série télévisées (The Simpsons et Big Bang Theory)	Modèle de Bohr	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figures)	P	PowerPoint	Montrer comment le modèle de Bohr est utilisé dans de nombreuses représentations communes de l'atome. Interpeler les étudiants via leurs intérêts.
Explication que le modèle de Bohr est incorrect (limitations)	Modèle de Bohr	Exposé magistral	P	PowerPoint	
Présentation du principe d'incertitude d'Heisenberg (avec une référence à la série Breaking bad) pour en venir au concept d'orbitale.	Principe d'incertitude d'Heisenberg, fonction d'onde, orbitale	Exposé magistral avec une représentation visuelle (figure tirée d'une série télévisée)	P	PowerPoint	Expliquer le principe d'incertitude d'Heisenberg aux étudiants en référant à la série Breaking Bad pour aller chercher leur intérêt.
Présentation des figures illustrant le concept de probabilité de présence.	Orbitale	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	Illustrer. Ça sert de tremplin pour expliquer les nœuds.
Présentation du concept de nombres quantiques à l'aide d'une analogie avec le jeu Battleship.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation de type analogie	P	PowerPoint	Permet de montrer aux étudiants que les nombres quantiques permettent de désigner des « coordonnées » pour les électrons.
Explication de chacun des nombres quantiques (valeurs permises)	Nombres quantiques	Exposé magistral	P	PowerPoint	Expliquer ce à quoi correspond chacun des nombres quantiques (une diapo est prévue pour une question éventuelle).

Présentation d'un tableau récapitulatif contenant les différents nombres quantiques, la désignation de chaque orbitale et le nombre d'orbitales.	Nombres quantiques principal, secondaire et magnétique.	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Exemple et exercices en groupe portant sur les valeurs permises pour les nombres quantiques et le nombre de sous-couches.	Valeurs permises pour chaque nombre quantique, nombre de sous-couche et désignation.	Exemple Exercice	P-E	PowerPoint	Pour vérifier rapidement la compréhension des étudiants.
Exercice en équipe (dans une classe active) portant sur les valeurs permises pour les nombres quantiques.		Exercices	E	-	L'enseignant peut circuler pendant l'exercice afin de donner de la rétroaction.
Explication des formes des orbitales avec présentation de figures d'orbitales s, p, d et f (avec axes x, y et z).	Formes des orbitales, orientation et zones nodales	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figures)	P	PowerPoint	Montrer les formes des orbitales en démontrant l'importance des axes, entre autres, pour les orbitales p.
Présentation d'une vidéo montrant une animation d'orbitales de forme s et p.	Formes des orbitales et orientation.	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (animation dans vidéo)	P	Vidéo tirée de youtube	Clarifier les formes des orbitales en montrant les orbitales séparées qui se superposent par la suite. Anticipation d'une question des étudiants en lien avec la répulsion des électrons.
Présentation du nombre quantique s avec figure de l'électron qui tourne sur lui-même et définition du principe d'exclusion de Pauli	Spin de l'électron	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Présentation du cas des atomes polyélectroniques et vidéo montrant l'énergie des orbitales (ou dessin sur le tableau blanc interactif)	Atomes polyélectroniques, répulsions, énergie des orbitales	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (vidéo ou dessin)	P	Vidéo ou tableau blanc interactif	La vidéo montre bien que les énergies des orbitales d'une même sous-couche sont différentes dans le cas des

					atomes polyélectroniques.
Exercice en équipe (dans une classe active) portant sur l'élaboration de combinaisons de nombres quantiques pour différentes images d'orbitales.	Nombres quantiques	Exercice	E	-	Favoriser la discussion en groupe puisque plusieurs réponses peuvent être bonnes.
Présentation des liens entre le tableau périodique, le remplissage des cases quantiques et la configuration électronique	Principe du Aufbau, règle de Hund, cases quantiques et configuration électronique	Exposé magistral	P	PowerPoint	Montrer que les combinaisons de nombres quantiques peuvent être représentées de différentes façons.
Remplissage des cases quantiques et configurations électroniques d'une série d'atomes en commençant par l'hydrogène. (L'enseignant verra à ce moment comment il procède pour cette activité.	Cases quantiques, configuration électronique	Exercice en grand groupe	P-E	PowerPoint	Permettre aux étudiants de comprendre, avec les répétitions, le remplissage des cases quantiques et les configurations électroniques.

Annexe 5 : Tableau résumant la planification de Antoine

Étapes planifiées	Savoirs en jeu	Type de méthode d'enseignement ou de représentation	Centré sur	Matériel didactique	Justifications (lorsque fournies par l'enseignant)
Diapo avec photo d'une orbitale avant que le cours ne commence	Orbitales	Représentation visuelle (figure)	-	PowerPoint	Pour susciter une première question chez les étudiants. Au début du cours ils ne comprendront pas ce que c'est, mais à la fin du cours ils devraient se rappeler.
Retour sur le dernier cours sous forme de questions	Nature de la lumière	Exposé magistral	P	PowerPoint	Rappel des notions vues en lien avec la lumière.
Questionnement des étudiants à savoir si les électrons sont des ondes ou des particules	Nature de l'électron	Questionnement	P-E	PowerPoint	Pour faire le lien avec la dualité de la lumière.
Présentation de l'expérience de Young : résultat expérimental et conclusion pour nature ondulatoire de l'électron (parallèle avec la lumière)	Nature de l'électron	Exposé magistral avec une représentations de type visuelle (figures)	P	PowerPoint	Faire le lien avec la lumière en montrant qu'on obtient un résultat typique d'un patron d'interférence lumineuse. Mystifier les étudiants.
Questionnement des étudiants en lien avec les patrons d'interférence obtenus et la nature ondulatoire de l'électron.		Questionnement			
Explication de l'hypothèse de De Broglie et de sa formule mathématique	Nature de l'électron	Exposé magistral avec une représentation de type visuelle (équation mathématique et figure)	P	PowerPoint	
Exemple : calcul de la longueur d'onde d'un TGV.	Nature de l'électron	Exemple	P	PowerPoint	Appliquer l'équation de De Broglie à un gros objet et montrer que l'onde est indétectable.

Exercice : calcul de la longueur d'onde d'un électron se déplaçant à une certaine vitesse et identification du type d'onde.	Nature de l'électron	Exercice	E	PowerPoint	Utilisation de l'équation et mystifier les étudiants.
Retour sur l'expérience des fentes de Young	Nature de l'électron	Exposé magistral avec représentations de type visuelle	P	PowerPoint	Pour prouver la dualité de la nature de l'électron décrite par De Broglie.
Explication que le modèle de Bohr n'est plus valide et présentation du modèle de Schrödinger	Modèle de Bohr et modèle de Schrödinger	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	Montrer (avec un X sur la figure du modèle de Bohr) qu'il est nécessaire de passer à un autre modèle.
Présentation de l'expérience du chat de Schrödinger et analogie avec l'atome	Modèle de Schrödinger	Exposé magistral avec représentations de type verbale (analogie)	P	PowerPoint	Pour stimuler l'intérêt et montrer l'effet de l'observation.
Présentation du principe d'incertitude d'Heisenberg avec des exemples d'expériences découlant du principe	Principe d'incertitude d'Heisenberg	Exposé magistral avec représentations de type visuelle (figure) et exemples	P	PowerPoint	Faire le lien avec le chat de Schrödinger en montrant que l'observation modifie le comportement de la matière.
Présentation sommaire de l'équation d'onde de Schrodinger, de la fonction d'onde et du concept de probabilité	Fonction d'onde	Exposé magistral avec une représentation de type visuelle (équation mathématique).	P	PowerPoint	Montrer l'aspect mathématique du modèle en présentant sommairement l'équation. Probabilité?
Définition de l'orbitale	Orbitale	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	Faire le lien entre l'équation de Schrodinger et l'orbitale.
Présentation générale des nombres quantiques	Nombres quantiques	Exposé magistral	P	PowerPoint	Faire le lien entre l'équation de Schrodinger l'orbitale et les nombres quantiques

					(variables).
Présentation du nombre quantique principal	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	Faire le lien avec les couches de Bohr que les étudiants connaissent bien.
Présentation du nombre quantique secondaire	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figures) et truc mnémotechnique	P	PowerPoint	
Explication des zones nodales	Zones nodales	Exposé magistral avec représentation de type verbale (analogie)	P	PowerPoint	Faire une analogie avec les poupées russes.
Exemple impliquant les nombres quantiques n et l.	Nombres quantiques (valeurs permises et formes des orbitales)	Exemple	P	PowerPoint	Pour qu'ils se pratiquent à dessiner des orbitales.
Exercice	Nombres quantiques (valeurs permises et formes des orbitales)		E	PowerPoint	
Présentation du nombre quantique magnétique et questionnement quant au nombre d'orientations possibles.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure) et questionnement	P	PowerPoint	Que les étudiants fassent le lien entre nombre d'orientations et nombre d'orbitales.
Présentation de cas de superposition des orbitales	Orbitales et nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	Faire le lien avec la figure projetée avant le début du cours.
Présentation du nombre quantique de spin et d'une expérience prouvant l'existence du spin	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	Illustrer les propriétés magnétiques des électrons.

Résumé nombres quantiques	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Exercices impliquant des combinaisons de nombres quantiques	Nombres quantiques	Exercices	E	PowerPoint	Que les étudiants appliquent les règles des nombres quantiques
Conclusion	Modèle de Bohr et modèle probabiliste	Exposé magistral avec représentation de type visuelle (figures)	P	PowerPoint	Pour que les étudiants essaient d'oublier le modèle classique pour adopter la conception moderne.
Résumé			P	PowerPoint	
Exercice synthèse	Savoirs vus en classe	Exercice	E	Document	En se basant sur un fait d'actualité (téléportation de l'état quantique d'un photon), vérifier la compréhension des différents concepts (de façon mathématique et conceptuelle).

Annexe 6 : Tableau résumant la planification de Paul

Étapes planifiées	Savoirs en jeu	Type de méthode d'enseignement ou de représentation	Centré sur	Matériel didactique	Justifications (lorsque fournies par l'enseignant)
Présentation des objectifs de la leçon (avec des illustrations)		Exposé magistral avec représentations visuelles (figures, analogie)	P	PowerPoint	Indiquer aux étudiants ce qu'ils doivent être capables de faire pour l'examen.
Présentation d'une diapo contenant un soleil et le spectre électromagnétique.		Questionnement Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	E-P	PowerPoint	Tenter de montrer aux étudiants quel a été le point de départ de ce qu'ils vont apprendre.
Présentation d'une animation montrant un personnage de StarWar faisant « exploser » le modèle nucléaire de l'atome.	Modèle nucléaire	Exposé magistral avec représentation visuelle (animation)	P	PowerPoint	Montrer aux étudiants que le dernier modèle qu'ils ont appris sera réfuté en utilisant l'humour (de façon à développer un lien de confiance).
Présentation d'une photo d'une conférence de Solvay mettant en vedette plusieurs scientifiques connus.	Modèles atomiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Monter que l'évolution des modèles atomiques s'est faite grâce à la contribution de nombreux scientifiques.
Présentation de 4 scientifiques qui ont contribué à l'évolution du modèle atomique (Rutherford, Planck, Einstein, Bohr) et de leurs conclusions sous la forme d'un survol (vue globale du contenu de la leçon).	Modèles atomiques	Exposé magistral avec représentations visuelles (4 figures et 4 analogies)	P	PowerPoint	Montrer les grandes lignes afin que les étudiants aient d'abord une vue globale.
Comparaison de la quantification de l'énergie avec un trajet d'autobus (vue globale du contenu de la leçon).	Quantification de l'énergie	Exposé magistral avec représentation verbale et visuelle de type analogie	P	PowerPoint	Montrer qu'il y a un nombre défini d'arrêts et qu'il faut un certain montant pour faire un certain trajet (exemple du métro de Tokyo). Faire des rapprochements en utilisant quelque chose qu'ils connaissent pour expliquer

					quelque chose qu'ils ne connaissent pas.
Présentation de 4 autres scientifiques (De Broglie, Heisenberg, Schrödinger et Pauli) qui ont contribué à l'évolution du modèle atomique et de leurs conclusions sous la forme d'un survol (vue globale du contenu de la leçon).	Modèles atomiques	Exposé magistral avec représentations visuelles (4 figures et 4 analogies)	P	PowerPoint	Montrer les grandes lignes afin que les étudiants aient d'abord une vue globale.
Présentation de thèmes qui ne font pas partie des objets choisis pour la recherche (Rayonnement électromagnétique, théorie des quanta, effet photoélectrique, modèle de Bohr).					
Présentation d'une vidéo décrivant les limites de la dualité de l'électron et d'une vidéo illustrant l'expérience des fentes faite avec une particule, une onde, un objet quantique et avec la présence d'un observateur.	Dualité de l'électron		P	PowerPoint	Illustrer la dualité de la nature de l'électron
Présentation succincte du développement de la quantique avec l'équation de De Broglie, le principe d'incertitude d'Heisenberg et l'équation de Schrödinger.	Mécanique quantique	Exposé magistral avec représentation visuelle de type équation math	P	PowerPoint	
Présentation d'une image humoristique montrant la supériorité du modèle de Schrödinger.	Modèle de Schrödinger	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Mettre en évidence la supériorité du modèle de Schrödinger (en pointant une des limites de modèle de Bohr).
Présentation d'une figure illustrant la probabilité de présence de l'électron et présentant la notion d'orbitale	Probabilité de présence Orbitale	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Présentation du concept de nombres quantiques avec une analogie avec une console à 4 boutons.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle de type analogie	P	PowerPoint	Montrer que chacun des nombres quantiques agira comme un paramètre dans l'équation de Schrödinger pour déterminer la probabilité de trouver l'électron dans une

					région de l'espace.
Présentation d'une animation montrant que chaque électron aura sa propre combinaison de nombres quantiques.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (animation)	P	PowerPoint	
Présentation générale des quatre nombres quantiques : les valeurs permises pour chacun et ce qu'ils représentent.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Présentation du nombre quantique principal.		Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Faire un lien avec le modèle de Bohr.
Présentation du nombre quantique secondaire.		Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Montrer les formes associées à chaque valeur de l .
Présentation du nombre quantique magnétique.		Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Montrer les valeurs permises pour m et ce que ça donne comme orbitales (nombre, formes et orientation).
Présentation du nombre quantique de spin.		Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Présentation de la désignation d'une orbitale.			P		
Exercice sur les combinaisons de nombres quantiques	Nombres quantiques	Exercice	E	Guide de l'étudiant	
Présentation d'une vidéo illustrant différentes formes d'orbitales et la superposition de celles-ci.	Orbitales	Exposé magistral avec représentation visuelle (vidéo)	P		
Présentation de figures d'orbitales atomiques et dessins d'orbitales réalisés par les étudiants.	Orbitales	Exercice	E	Guide de l'étudiant	
Présentation du diagramme d'énergie des orbitales et analogie avec le remplissage de coupes de champagne.	Énergie des orbitales	Exposé magistral avec représentation de type analogie	P	PowerPoint	Montrer que le remplissage des orbitales se fait comme dans une pyramide de verres.
****Il y a beaucoup d'exercices qui n'apparaissent pas nécessairement dans la planification.****					

Annexe 7 : Tableau résumant la planification de Geneviève

Étapes planifiées	Savoirs en jeu	Type de méthode d'enseignement ou de représentation	Centré sur	Matériel didactique	Justifications (lorsque fournies par l'enseignant)
Petit historique du développement de la mécanique quantique	Nature ondulatoire de l'électron	Exposé magistral interactif	P	PowerPoint et notes de cours à compléter	Faire un bref historique des connaissances
Tableau comparatif de la nature de l'électron selon les modèles de Bohr et de Schrödinger	Modèle de Schrödinger (probabilité de présence et orbitale)	Exposé magistral interactif	P	PowerPoint et notes de cours à compléter	Vulgariser les concepts de probabilité de présence et orbitale.
Présentation générale du concept de nombres quantiques avec une analogie avec un immeuble (étage, numéro de appartement, orientation de l'appartement)	Nombres quantiques	Exposé magistral interactif avec représentation de type analogie	P	PowerPoint	Expliquer chacun des nombres quantiques en les comparant à l'étage d'un immeuble, l'appartement ainsi que la pièce précise dans l'appartement.
Présentation d'un tableau décrivant les différents nombres quantiques	Nombres quantiques	Exposé magistral interactif	P	Notes de cours à compléter	Expliquer valeurs permises que peuvent prendre chacun des nombres quantiques et ce qu'ils caractérisent.
Exemples de combinaisons de nombres quantiques afin de représenter de la distribution des électrons dans les niveaux 1, 2 et 3	Nombres quantiques	Exemples	P-É	Notes de cours à compléter	Faire le lien entre les valeurs permises pour les nombres quantiques et les combinaisons formées pour décrire la distribution des électrons. Montrer qu'il y a plus de combinaisons possibles lorsque l'on s'éloigne du noyau.
Présentation de la façon de calculer le nombre d'orbitales et de désigner chaque orbitale	Nombres quantiques et orbitales	Exposé magistral interactif	P	Notes de cours à compléter	
Exercices sur les valeurs permises pour les nombres quantiques	Nombres quantiques	Exercice	É	Notes de cours à compléter	Se familiariser avec les nombres quantiques (les valeurs qu'ils peuvent prendre).
Présentation de chacun des types d'orbitales	Orbitales	Exposé magistral	P-É	Notes de cours	Illustrer les formes des orbitales

(formes)		interactif avec représentation visuelle (figures) et matérielle (balles, ballons et ballounes)		à compléter	(ainsi que la superposition des orbitales à l'aide des ballounes).
Présentation de chacun des types d'orbitales à l'aide d'une vidéo	Orbitales	Représentation de visuelle (vidéo)	P-É	Notes de cours à compléter	Illustrer chacune des orbitales isolée ainsi que les orbitales superposées.
Exercices (8) portant sur les valeurs permises pour les nombres quantiques et sur la signification des combinaisons	Nombres quantiques et orbitales	Exercices	É	Notes de cours à compléter	Permettre aux étudiants de faire des liens avec ce qu'ils viennent d'apprendre.
Présentation des diagrammes des niveaux d'énergie de l'électron de l'atome d'hydrogène	Énergie des orbitales	Exposé magistral interactif avec représentation visuelle (figures)	P	Notes de cours à compléter	Faire un parallèle entre les niveaux d'énergie de l'électron de l'hydrogène selon le modèle de Bohr et selon le modèle probabiliste.
Présentation du diagramme des niveaux d'énergie d'un atome polyélectronique.	Énergie des orbitales	Exposé magistral interactif avec représentation visuelle (figure)	P	Notes de cours à compléter	Illustrer les énergies des orbitales des atomes polyélectroniques en mettant en évidence les interactions répulsives entre électrons.
Présentation de règles permettant de déterminer l'ordre de remplissage des orbitales (règle de Klechkowski, principe du Aufbau et blocs du tableau périodique).	Énergie des orbitales	Exposé magistral interactif avec représentation visuelle (figure)	P	Notes de cours à compléter	Expliquer l'ordre de remplissage des orbitales en tenant compte de l'énergie et des inversions possibles.
Présentation du dernier nombre quantique : le spin	Nombres quantique (spin)	Exposé magistral interactif avec représentation visuelle (figure)	P	Notes de cours à compléter	Expliquer le spin et faire le lien avec le nombre maximal d'électron par orbitale.

Annexe 8 : Tableau résumant la planification de Évelyne

Étapes planifiées	Savoirs en jeu	Type de méthode d'enseignement ou de représentation	Centré sur	Matériel didactique	Justifications (lorsque fournies par l'enseignant)
Introduction portant sur les modèles atomiques et sur l'aspect émotif lié à l'apprentissage d'un nouveau modèle.					Rassurer les étudiants relativement aux concepts de la mécanique quantique que l'enseignante qualifie de choquants et contre-intuitifs.
Présentation succincte du modèle de Bohr avec une limite et de spectres de raies	Modèle de Bohr	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint et notes à compléter	Présentation rapide étant donné que ces notions ont été vues au secondaire.
Questionnement à l'aide du télévotateur relativement aux conclusion de l'expérience des spectres de raies.	Modèle de Bohr	Questionnement	É	PowerPoint (télévotateurs)	Vérifier la compréhension des étudiants
Explication du modèle de Bohr et des transitions électroniques	Modèle de Bohr	Exposé magistral avec représentations visuelles (figures)	P	PowerPoint et notes à compléter	
Présentation d'une vidéo extrait de la série « Cosmos : A Spacetime Odyssey »	Lumière	Représentation visuelle (vidéo)	P	PowerPoint	Illustrer les principes à la base de l'absorption et de l'émission de lumière selon les modèles de Bohr et probabilistes.
Présentation succincte de la double nature de la lumière (avec l'effet photoélectrique)	Lumière	Exposé magistral avec représentations visuelle (figure)	P	PowerPoint et notes à compléter	
Présentation succincte de la double nature de la matière (avec le patron de diffraction de l'électron)	Nature de l'électron	Exposé magistral avec représentations visuelles (équation mathématique, figure)	P	PowerPoint et notes à compléter	Illustrer le caractère ondulatoire de l'électron.
Explication des concepts de trajectoire vs probabilité en lien avec le modèle de Schrödinger	Probabilité	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Comparer la notion de trajectoire de la physique classique avec la notion de probabilité de la mécanique quantique.
Questionnement à l'aide du télévotateur relativement au comportement de l'électron	Probabilité	Questionnement	E	PowerPoint (télévotateurs)	
Présentation du principe d'incertitude d'Heisenberg	Principe d'incertitude d'Heisenberg	Exposé magistral avec représentation	P	PowerPoint et notes à	

		visuelle (figure)		compléter	
Questionnement à l'aide du télévotéur relativement au principe d'incertitude	Principe d'incertitude d'Heisenberg	Questionnement	E	PowerPoint (télévotéurs)	
Présentation du concept de nuage électronique	Nuage électronique	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint et notes à compléter	
Questionnement à l'aide du télévotéur relativement au nuage électronique	Nuage électronique	Questionnement	E	PowerPoint (télévotéurs)	
Présentation du concept de nombres quantiques avec une analogie de l'adresse d'un local dans le cégep (étage, corridor, numéro du local et pupitre)	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation verbale (analogie)	P	PowerPoint et notes à compléter	Expliquer que les nombres quantiques donnent de l'information quant à la localisation de l'électron.
Présentation du nombre quantique principal en lien avec le tableau périodique	Nombres quantiques	Exposé magistral	P	Tableau et notes à compléter	
Questionnement à l'aide du télévotéur relativement au niveau d'énergie des électrons de la dernière couche du calcium	Nombres quantiques	Questionnement	E	PowerPoint (télévotéurs)	Faire des liens avec le tableau périodique.
Exercice en groupe et individuel portant sur la dernière couche électronique	Nombres quantiques	Exercices	E	Notes à compléter	
Présentation du nombre quantique secondaire en lien avec les formes des orbitales (avec truc mnémotechnique)	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentations visuelles (figures et modèles en 3D)	P	PowerPoint et notes à compléter	C'est un aspect important de la leçon.
Exemple et exercice individuel portant sur les valeurs permises pour l ainsi qu'aux types d'orbitales qu'elles désignent	Nombres quantiques	Exemple et exercice	P-E	Notes à compléter	
Questionnement à l'aide du télévotéur relativement aux orbitales possible pour un certain niveau d'énergie	Nombres quantiques	Questionnement	E	PowerPoint (télévotéurs)	Mettre en évidence une erreur que les étudiants font souvent (nommer seulement les orbitales d).
Présentation du nombre quantique magnétique	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figures)	P	PowerPoint et notes à compléter	Illustrer les différentes orientations que peuvent prendre les orbitales et illustrer la superposition des orbitales.
Présentation du spin de l'électron	Nombres quantiques	Exposé magistral	P	Notes à compléter	
Questionnement (2) à l'aide du télévotéur	Nombres quantiques	Questionnement	E	PowerPoint	Vérifier la compréhension des

relativement à ce que désignent les nombres quantiques et aux formes des orbitales				(télévotés)	étudiants.
Complétion d'un tableau synthèse sur les nombres quantiques (valeurs permises, représentation des orbitales qu'ils désignent, nombre d'électrons)	Nombres quantiques	Exercice	P	Notes à compléter	Faire une synthèse des nombres quantiques et faire un lien avec le modèle de Bohr.
Présentation de la façon d'attribuer des nombres quantiques aux électrons d'une certaine orbitale et exercices.	Nombres quantiques	Exposé magistral et exercices	P-E	Notes à compléter	
Questionnement à l'aide du télévotés relativement aux combinaisons de nombres quantiques	Nombres quantiques	Questionnement	E	PowerPoint (télévotés)	
Questionnement à l'aide du télévotés relativement à comment les étudiants se sentent par rapport aux nombres quantiques		Questionnement	E	PowerPoint (télévotés)	Pour que les étudiants puissent juger de leur niveau de compréhension des nombres quantiques et d'entrevoir des moyens pour améliorer leur compréhension si nécessaire.

Annexe 9 : Tableau résumant la planification de Philippe

Étapes planifiées	Savoirs en jeu	Type de méthode d'enseignement ou de représentation	Centré sur	Matériel didactique	Justifications (lorsque fournies par l'enseignant)
Présentation de thèmes qui ne font pas partie des objets choisis pour la recherche (Rayonnement électromagnétique, théorie des quanta, effet photoélectrique, modèle de Bohr).					
Présentation de la nature dualiste de l'électron avec une référence à l'expérience de Davisson et Germer.	Dualité de l'électron	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Seulement introduire le fait que l'électron puisse avoir des propriétés ondulatoires sans entrer dans les détails de l'expérimentation.
Présentation de l'équation de Broglie.	Dualité de l'électron	Exposé magistral avec représentations visuelles (équation, figure)	P	PowerPoint	
Exercice : calcul de la longueur associée à une balle et à un électron.	Dualité de l'électron	Exercice	P	PowerPoint	Un petit calcul pour les faire sourire.
Présentation des contributions de Heisenberg, Schrödinger et Born au modèle probabiliste.	Principe d'incertitude d'Heisenberg, équation de Schrödinger et probabilité de présence.	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Définition de l'orbitale atomique	Orbitale	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Définir le concept d'orbitale en faisant un lien avec les nombres quantiques (qui seront traités à la prochaine leçon). Expliquer la différence entre orbite et orbitale.
Questions posées aux étudiants en guise de		Questionnement	E	PowerPoint	Pour conclure la leçon (si assez de

conclusion.					temps).
Leçon suivante : Mini-test portant sur la dernière leçon et questions aux étudiants (sur ce qu'ils se souviennent du dernier cours).	Modèle de Bohr et dualité de l'électron		E	Mini-test	
Présentation générale des quatre nombres quantiques.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Faire le lien avec ce qui a été dit à propos du modèle probabiliste et les nombres quantiques
Présentation du nombre quantique principal.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	
Présentation du nombre quantique secondaire avec un truc pour se souvenir des lettres correspondant aux différentes formes d'orbitales.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Bien expliquer chacun des nombres quantiques (bases solides pour la suite).
Présentation de figures illustrant les différentes formes d'orbitales.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figures)	P	PowerPoint	Bien expliquer chacun des nombres quantiques (bases solides pour la suite).
Présentation du nombre quantique magnétique.	Nombres quantiques	Exposé magistral avec représentation visuelle (figure)	P	PowerPoint	Bien expliquer chacun des nombres quantiques (bases solides pour la suite).
Présentation du nombre quantique de spin.	Nombres quantiques		P	PowerPoint	Bien expliquer chacun des nombres quantiques (bases solides pour la suite).
Activité en équipe où les étudiants doivent placer des combinaisons de nombres quantiques sur un diagramme d'énergie.	Nombres quantiques	Activité en équipe	E	Matériel de l'activité	Faire en sorte que les étudiants comprennent bien le principe de combinaisons et les valeurs permises. Que les étudiants s'entraident en se répondant à leurs questions en équipe (le prof ne fait que valider).
Exercices (résolus en grand groupe) où il faut déterminer les nombres quantiques pour les orbitales d'un niveau ou d'un sous-niveau.	Nombres quantiques	Exercices	P-E	PowerPoint	Vérifier la compréhension des étudiants.
Jeu OUI-OUI-OUI-NON-NON-NON en équipe où les étudiants doivent placer des électrons dans un diagramme d'énergie	Remplissage des orbitales	Jeu	E	Matériel du jeu	Que les étudiants découvrent par eux-mêmes les règles pour le remplissage des orbitales

d'après l'information que chaque étudiant possède sur sa carte de jeu (principe d'exclusion de Pauli, règle de Hund et principe du Aufbau).					atomiques.
Présentation des règles par l'enseignant avec un exercice.	Remplissage des orbitales	Exposé magistral avec représentation visuelle (figures), exercice	P-E	PowerPoint	
Présentation de d'autres thèmes qui ne font pas partie des objets choisis pour la recherche (Propriétés magnétiques, électrons de valence, cas d'exception).					
Conclusion sous la forme de questions.		Questionnement		PowerPoint	

Annexe 10 : Formulaire de consentement (enseignants)⁴



Titre de la recherche : La trajectoire des savoirs : étude des pratiques

Chercheuse principale : Christine Marquis, enseignante en chimie,
Cégep de Saint-Jérôme



Organisme subventionnaire : Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage (PAREA) du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de la Science.

Introduction

Vous être invités à participer à un projet de recherche portant sur l'enseignement et l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome. Ce formulaire servira à vous fournir des informations telles que les objectifs de la recherche, les implications liées à votre participation, les mesures mises en place pour assurer la confidentialité et les avantages et inconvénients et à obtenir votre consentement éclairé. Il importe de souligner que votre participation à la recherche est entièrement **volontaire**.

A) INFORMATIONS AUX PARTICIPANTS

1. Objectifs de la recherche.

Cette recherche vise à mieux comprendre la trajectoire des savoirs partant des savoirs disciplinaires des enseignants jusqu'aux savoirs appris par les étudiants dans le cadre d'une section qui pose des défis particuliers du premier cours de chimie formulé par compétence du programme Sciences de la nature, en lien avec les pratiques pédagogiques et didactiques des enseignants. Nous souhaitons, plus spécifiquement, analyser les pratiques déclarées et les pratiques effectives relativement au choix des savoirs qui seront enseignés et à l'élaboration des stratégies pédagogiques pour l'enseignement de ces savoirs et analyser l'efficacité de ces différentes pratiques, sous l'angle des changements conceptuels des étudiants pour la séquence d'enseignement-apprentissage relative au modèle probabiliste de l'atome.

2. Méthodologie de la recherche

⁴ Formulaire de consentement adapté pour tous les comités d'éthique à la recherche des collègues impliqués.

Les données de la recherche seront collectées par le biais d'entrevues réalisées avec les enseignants participants (entrevues semi-dirigées et entrevues de rappel stimulé), et par le biais de schémas réalisés par les étudiants. Les données seront collectées par la chercheuse principale afin de faire ressortir les pratiques des enseignants pour les choix des contenus à enseigner et des stratégies pédagogiques ainsi que le changement conceptuel des étudiants pour le modèle de l'atome.

Dans le cadre d'une session où vous donnez le cours 202-NYA-05, votre participation à cette recherche consiste à :

- **Participer à une entrevue semi-dirigée réalisée avec la chercheuse qui portera sur vos pratiques en matière de sélection des savoirs à enseigner et des formules pédagogiques pour la séquence de cours qui porte sur le modèle probabiliste de l'atome (durée d'environ 40 minutes). L'entrevue sera enregistrée en format audio.**
- **Accepter que la ou les séance(s) de cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome soi(en)t enregistrée(s) sur vidéo et participer, par la suite, à une entrevue de rappel stimulé, où l'enregistrement de la séance de cours sera revue par vous et la chercheuse, et où celle-ci vous interrogera sur les choix que vous avez faits aux différents moments de la ou des séance(s) (durée d'environ 1h30). L'entrevue de rappel stimulé sera enregistrée en format audio.**
- **Demander à vos étudiants de réaliser un schéma expliqué illustrant leur conception du modèle de l'atome AVANT que vous ne l'avez enseigné et APRÈS l'avoir enseigné (requière environ 15 minutes de temps de classe pour chaque schéma)**

3. Confidentialité

Vos renseignements personnels demeureront entièrement confidentiels et seront accessibles seulement à la chercheuse principale. Chaque participant à la recherche se verra attribuer une lettre et seule la chercheuse aura la liste des participants et des lettres qui leur auront été attribués. Aucune information permettant de vous identifier d'une façon ou d'une autre ne sera publiée. Le nom de votre collège demeurera confidentiel.

Les enregistrements vidéo ne seront accessibles qu'à la chercheuse principale et ne seront en aucune façon publiés ou diffusés. Les copies papier recueillies seront conservées sous clé. Les données numériques telles que les transcriptions des entrevues et les enregistrements vidéo seront conservés dans l'ordinateur personnel de la chercheuse protégé par un mot de passe.

4. Avantages et inconvénients

La recherche vous fournit une occasion de réfléchir sur vos façons de procéder pour choisir les contenus à enseigner et pour choisir vos stratégies pédagogiques. Vous contribuerez à l'avancement des connaissances relativement aux choix effectués quant à la planification d'une séquence enseignement-apprentissage, aux pratiques effectives dans la phase active de l'enseignement et aux les conceptions qu'entretiennent les étudiants pour le modèle probabiliste de l'atome dans le cadre du cours « chimie générale » élaboré selon l'approche par compétence.

Au cours de la deuxième année du projet, la chercheuse vous offrira, si vous le souhaitez, la possibilité d'assister à une présentation d'une synthèse des résultats préliminaires de recherche lors d'une séance où vous aurez l'occasion d'échanger sur vos pratiques pédagogiques et didactiques en lien avec le modèle probabiliste de l'atome.

La chercheuse vous acheminera aussi les productions de votre groupe d'étudiants-participants lorsque toutes les évaluations du cours auront été complétées. Ces productions seront anonymisées grâce à l'utilisation d'un code.

Un dédommagement de 100 \$ vous sera offert pour les inconvénients causés par la participation à cette recherche.

Il n'y a pas de risque particulier associé à la participation à cette recherche.

5. Utilisation des données et des résultats

Les enregistrements vidéo ne seront visionnés que par la chercheuse principale. Les données recueillies lors des entrevues (verbatim de l'entrevue et de l'entrevue de rappel stimulé) seront analysées par la chercheuse principale et par un assistant de recherche.

Les données seront détruites 7 ans après la fin du projet. Avec votre consentement, les données anonymisées issues de l'entrevue semi-dirigée et de l'entrevue de rappel stimulé pourraient être utilisées dans le cadre de futures recherches plus vastes portant sur le même sujet.

6. Droit des participants

Votre participation est entièrement volontaire. Vous êtes libre de vous retirer en tout temps sans aucun préjudice ou conséquence en communiquant avec la chercheuse, dont les coordonnées sont fournies plus bas. De plus, toutes les informations qui pourraient influencer votre décision de continuer à participer au projet vous seront communiquées dans les plus brefs délais.

7. Diffusion des résultats

Un rapport décrivant les résultats et conclusions générales de cette recherche sera publié. Une copie de ce rapport vous sera remise. Un article de vulgarisation sera aussi publié.

8. Support de professionnels externes au projet

Toute question sur vos droits comme participant ou toute plainte relative à votre participation à cette recherche peut être adressée à Mme _____, _____ au Cégep _____, au _____ ou à l'adresse courriel _____.

9. B) CONSENTEMENT

Je déclare avoir pris connaissance des informations ci-dessus, avoir obtenu les réponses à mes questions sur ma participation à la recherche et comprendre le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de cette recherche.

Après réflexion et un délai raisonnable, je consens à participer à cette étude. Je sais que je peux me retirer en tout temps, sans aucun préjudice.

*Je consens à ce que les données **anonymisées** recueillies dans le cadre de cette étude soient utilisées pour des projets de recherche subséquents, conditionnellement à leur approbation éthique et dans le respect des mêmes principes de confidentialité et de protection des informations.*

	Oui	Non
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Signature : _____ Date : _____

Nom : _____ Prénom : _____

Je déclare avoir expliqué au meilleur de mes connaissances le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude pour les participants.

Signature : _____ Date : _____

Christine Marquis

Pour toute question relative à la recherche ou pour vous retirer de celle-ci, vous pouvez communiquer avec Christine Marquis par courriel (cmarquis@estj.qc.ca) ou par téléphone au (450) 436-1580, poste 6218.

Pour toute préoccupation sur vos droits ou sur les responsabilités des chercheurs concernant votre participation à ce projet, vous pouvez contacter le Comité plurifacultaire d'éthique de la recherche par courriel à l'adresse CPER@umontreal.ca ou par téléphone au 514 343-6111 poste 1896 ou encore consulter le site Web <http://recherche.umontreal.ca/participants>.

Toute plainte relative à votre participation à cette recherche peut être adressée à l'ombudsman de l'Université de Montréal en appelant au numéro de téléphone 514 343-2100 ou en communiquant par courriel à l'adresse ombudsman@umontreal.ca (**l'ombudsman accepte les appels à frais virés**).

Annexe 11 : Formulaire de consentement (étudiants)⁵



Titre de la recherche : La trajectoire des savoirs : étude des pratiques

Chercheuse principale : Christine Marquis, enseignante en chimie, Cégep de Saint-Jérôme



Organisme subventionnaire : Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage (PAREA) du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de la Science.

Introduction

Vous être invités à participer à un projet de recherche portant sur l'enseignement et l'apprentissage du modèle probabiliste de l'atome. Ce formulaire servira à vous fournir des informations telles que les objectifs de la recherche, les implications liées à votre participation, les mesures mises en place pour assurer la confidentialité et les avantages et inconvénients et à obtenir votre consentement éclairé. Il importe de souligner que votre participation à la recherche est entièrement **volontaire**.

A) INFORMATIONS AUX PARTICIPANTS

1. Objectifs de la recherche

Cette recherche vise à mieux comprendre la trajectoire des savoirs partant des savoirs disciplinaires des enseignants jusqu'aux savoirs appris par les étudiants dans le cadre d'une section d'un cours de chimie formulé par compétence du programme Sciences de la nature, en lien avec les pratiques pédagogiques et didactiques des enseignants.

2. Méthodologie de la recherche

Votre participation à cette recherche consiste à :

- **Réaliser un schéma expliqué illustrant votre conception du modèle de l'atome AVANT et APRÈS le ou les cours portant sur cet objet (la réalisation du schéma devrait prendre 15 minutes à chaque fois).**
- **Accepter d'apparaître sur l'enregistrement vidéo de la ou des séance(s) de cours portant sur le modèle probabiliste de l'atome.**

De façon générale, la caméra sera dirigée uniquement vers l'enseignant, mais il se pourrait que vous puissiez apparaître dans l'éventualité où des activités d'équipe, par exemple, seraient mises en place par l'enseignant. Les étudiants qui ne consentiront pas à participer à la recherche pourront se placer à l'extérieur du champ de la caméra et pourront, s'ils le désirent, poser leurs questions après l'enregistrement ou pendant une pause de celui-ci.

3. Confidentialité

⁵ Formulaire de consentement adapté pour tous les comités d'éthique à la recherche des collèges impliqués.

Les renseignements nominatifs présents dans les schémas que vous aurez réalisés demeureront entièrement confidentiels et seront accessibles seulement à la chercheuse principale. Chaque étudiant se verra attribuer un code alphanumérique et seule la chercheuse aura la liste des étudiants et des codes qui leur auront été attribués. Aucune information permettant de vous identifier d'une façon ou d'une autre ne sera publiée. Le nom de votre collègue demeurera confidentiel.

Les enregistrements vidéo ne seront accessibles qu'à la chercheuse principale et ne seront en aucune façon publiés ou diffusés.

Vos schémas seront transmis à votre enseignant après que toutes les évaluations du cours auront été complétées et votre nom aura préalablement été supprimé.

Les schémas seront gardés dans une armoire fermée sous clé, dans un local également fermé sous clé. Les données numériques seront conservées dans l'ordinateur personnel de la chercheuse protégé par un mot de passe.

4. Avantages et inconvénients

La recherche vous fournit une occasion d'illustrer votre compréhension de la structure l'atome à deux moments, soit avant et après le cours portant sur cet objet de matière. Ces représentations vous aideront à organiser vos connaissances relativement au modèle probabiliste de l'atome. Aussi, vous contribuerez à l'avancement des connaissances sur les effets des choix effectués par les enseignants sur les conceptions des étudiants pour le modèle probabiliste de l'atome. Vous contribuerez ainsi à l'amélioration des pratiques des enseignants relativement à cette partie de matière. Un prix d'une valeur d'environ 25\$ sera tiré dans chacun des groupes d'étudiants qui participeront à la recherche.

Il n'y a pas de risque particulier associé à la participation à cette recherche.

5. Utilisation des données et des résultats

Les données recueillies à l'aide des schémas seront analysées par la chercheuse principale et par un assistant de recherche (**après avoir été anonymisées**). Ces données seront détruites 7 ans après la fin du projet.

Avec votre consentement, les données anonymisées issues des schémas pourraient être utilisées dans le cadre de futures recherches plus vastes portant sur le même sujet.

6. Droits des participants

Votre participation est entièrement volontaire. Vous êtes libre de poser vos questions ou de vous retirer en tout temps sans aucun préjudice ou conséquence en communiquant avec la chercheuse, dont les coordonnées sont fournies plus bas. De plus, toutes les informations qui pourraient influencer votre décision de continuer à participer au projet vous seront communiquées dans les plus brefs délais.

7. Diffusion des résultats

Un rapport décrivant les résultats et conclusions générales de cette recherche et un article de vulgarisation seront publiés.

8. Support de professionnels externes au projet

Toute question sur vos droits comme participant ou toute plainte relative à votre participation à cette recherche peut être adressée à Mme _____, _____ au Cégep _____, au _____ ou à l'adresse courriel _____.

B) CONSENTEMENT

Je déclare avoir pris connaissance des informations ci-dessus, avoir obtenu les réponses à mes questions sur ma participation à la recherche et comprendre le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de cette recherche.

Après réflexion et un délai raisonnable, je consens à participer à cette étude. Je sais que je peux me retirer en tout temps, sans aucun préjudice.

*Je consens à ce que les données **anonymisées** recueillies dans le cadre de cette étude soient utilisées pour des projets de recherche subséquents, conditionnellement à leur approbation éthique et dans le respect des mêmes principes de confidentialité et de protection des informations.*

Oui

Non

Signature : _____ Date : _____

Nom : _____ Prénom : _____

Je déclare avoir expliqué au meilleur de mes connaissances le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude pour les participants.

Signature : _____ Date : _____

Christine Marquis

Pour toute question relative à l'étude ou pour vous retirer de celle-ci, vous pouvez communiquer avec Christine Marquis par courriel ([cmarquis@cstj.qc.ca](mailto:cmarquis@ cstj.qc.ca)) ou par téléphone au (450) 436-1580, poste 6218.

Pour toute préoccupation sur vos droits ou sur les responsabilités des chercheurs concernant votre participation à ce projet, vous pouvez contacter le Comité plurifacultaire d'éthique de la recherche par courriel à l'adresse CPER@umontreal.ca ou par téléphone au 514 343-6111 poste 1896 ou encore consulter le site Web <http://recherche.umontreal.ca/participants>.

Toute plainte relative à votre participation à cette recherche peut être adressée à l'ombudsman de l'Université de Montréal en appelant au numéro de téléphone 514 343-2100 ou en communiquant par courriel à l'adresse ombudsman@umontreal.ca (**l'ombudsman accepte les appels à frais virés**).