

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

CHRISTINE MARQUIS<sup>1</sup>, BRUNO POELLHUBER<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Cegep de Saint-Jérôme  
Québec,  
Canada  
cmarquis@cstj.qc.ca

<sup>2</sup>Université de Montréal  
Québec  
Canada  
Bruno.poellhuber@umontreal.ca

---

## ABSTRACT

*This paper aims to describe and explain the impact of certain teaching practices on collegen students' conception changes. Teachers' practices during a lesson on atomic models were studied, as well as students' conceptions, based on diagrams they drew and commented, before and after the lesson. Aware of the difficulty of changing these students' conceptions, teachers deliberately use certain forms of content representations as well teaching activities designed to change them. The students' conceptions generally evolve towards a more advanced level of formulation corresponding to the probabilistic model, even if several errors still remain.*

## KEYWORDS

*Science education, chemistry, conceptions, teaching practices, atomic models*

## RÉSUMÉ

*Cet article vise à décrire et expliquer comment certaines pratiques enseignantes sont susceptibles de favoriser un changement des conceptions des étudiants. Les pratiques des enseignants lors d'une leçon sur les modèles atomiques ont été*

*étudiées, ainsi que les conceptions des étudiants, à partir de schémas commentés, avant et après la leçon. Conscients de la difficulté que représente la modification de ces conceptions, les enseignants utilisent des formes de représentations des contenus et des activités d'enseignement destinées à les modifier. Les conceptions des étudiants évoluent généralement vers un niveau de formulation correspondant au modèle probabiliste même si plusieurs erreurs ont été répertoriées.*

## **MOTS—CLÉS**

*Enseignement des sciences, chimie, conceptions, pratiques enseignantes, modèles atomiques*

## **Cite this article**

Marquis, C., & Poellhuber, B. (2023). Le changement des conceptions des étudiants de sciences du collégial à l'égard de la structure de l'atome en lien avec les pratiques enseignantes : une analyse qualitative. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 17(1), 45-67. <https://doi.org/10.26220/rev.4320>

## **INTRODUCTION**

La chimie est une discipline qui étudie la matière, ses propriétés ainsi que les transformations qu'elle peut subir. L'enseignement de la chimie pose de nombreux défis, notamment parce qu'il s'agit d'une discipline abstraite que certains étudiants ont de la difficulté à appréhender (Kousa et al., 2018; Sirhan, 2007; Taber, 2001, 2016; Treagust et al., 2000).

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

Plusieurs études ont visé à faire émerger les conceptions ou représentations sociales de l'atome des élèves de collège (Brehelin, 1994; Grivopoulos & Ravanis, 2021) et de lycée (Cokelez & Dumon, 2005) avant et/ou après une séquence d'enseignement, représentations qui ont avantage à être prises en compte dans le processus d'enseigne-

ment (Grivopoulos & Ravanis, 2021). Ces représentations convergent vers une modélisation sphérique ou daltonienne de l'atome. Ces études mettent aussi en évidence différentes difficultés éprouvées par les élèves telles que, par exemple, la confusion entre atome et molécule bien que celle-ci semble reculer avec l'enseignement.

D'autres recherches ont démontré que les étudiants des niveaux préuniversitaire et universitaire préféraient décrire l'atome avec des modèles simples et concrets où les électrons gravitent sur des orbites, même si des modèles plus avancés leur ont été enseignés par la suite (Cros et al., 1986; Mashhadi, 1995; Petri & Niedderer, 1998; Taber, 2002). Ainsi, les modèles atomiques appris antérieurement se rapprocheraient des « conceptions alternatives » (aussi appelées conceptions erronées, ou *misconceptions*). On les définit comme des conceptions très bien ancrées dans l'esprit des élèves et souvent en désaccord avec la théorie scientifique (Driver & Easley, 1978; Duit, 1991; Gilbert et Watts, 1983). Stefani et Tsapalis (2009) considèrent les modèles appris antérieurement équivalents à des conceptions alternatives du fait qu'ils forment des construits théoriques difficiles à changer qui peuvent entraver la transition d'une conceptualisation de l'atome basée sur les modèles issus de la physique classique à une conceptualisation probabiliste issue de la mécanique ondulatoire. Par ailleurs, le modèle de l'atome, ayant fait consensus à une certaine époque, est souvent enseigné comme un fait (Morge & Doly, 2013) et plusieurs étudiants croient que les modèles sont des répliques exactes de la réalité (Treagust et al., 2002). Pour d'autres, ce sont la nature des concepts reliés au modèle probabiliste causeraient des difficultés d'apprentissage, notamment ceux liés aux concepts d'orbitale atomique (Papageorgiou et al., 2016; Roche Allred & Bretz, 2019; Taber, 2002; Zarkadis et al., 2017). Notamment, des difficultés seraient liées à la distinction entre les concepts d'orbite et d'orbitale.

Enfin, les représentations et les difficultés en lien avec la conceptualisation de la structure de l'atome ont aussi été étudiées chez de futurs enseignants et l'étude met en exergue des lacunes, notamment, au niveau des connaissances historiques et épistémologiques de l'atome (Kiray, 2016; Nguessan, 2016; Unlu, 2010).

## CADRE THÉORIQUE

Cet article vise à décrire et à expliquer comment certaines pratiques enseignantes sont susceptibles de favoriser un changement des conceptions des étudiants. Dans ce contexte, nous aborderons les conceptions des étudiants et leur prise en compte dans les pratiques enseignantes.

### **Les conceptions des étudiants**

Reuter et al. (2013) utilisent le terme représentations pour nommer les connaissances mobilisées par un étudiant face à une question ou à une thématique. Ce concept

présuppose donc que les étudiants n'arrivent pas à l'école la « tête vide » et qu'ils ont déjà certaines connaissances à propos des concepts à apprendre. Giordan et de Vecchi (1987) utilisent, pour leur part, le terme conception pour nommer ces idées déjà-là, ces « structures d'accueil » chez les étudiants.

Pour mettre en évidence les façons dont les étudiants s'imaginent l'atome et comment celles-ci peuvent changer, nous utilisons la notion de niveau de formulation. Ce concept de la didactique des sciences consiste en différents énoncés (ou formulations) qui peuvent être produits pour un même concept lors de la mise en texte d'un savoir (Astolfi et al., 2008; Reuter et al., 2013). Ces énoncés peuvent prendre différentes formes selon le moment où ils sont enseignés dans le curriculum. De la même façon, les étudiants peuvent formuler des énoncés afin d'expliquer un concept scientifique selon différents niveaux liés à leur compréhension globale d'un concept. Afin de déterminer si un changement a eu lieu dans la façon dont les étudiants conçoivent la structure de l'atome entre le début et la fin de leur cours de chimie, nous les analyserons en fonction des treize niveaux de formulation établis par Park (2006) et Park et al. (2009) pour la structure atomique. Ces niveaux décrivent treize manières selon lesquelles les étudiants décrivent la structure de l'atome, façons qui varient en précision et en complexité de manière croissante.

**TABLEAU 1**

*Niveaux de formulation de la structure atomique par les étudiants - Park et al., (2006,2009)*

<b>Niveaux de formulation</b>		<b>Modèle scientifique</b>
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.	

**TABEAU 1**

Niveaux de formulation		Modèle scientifique
7	L'étudiant ne décrit plus l'électron comme étant sur une trajectoire déterminée, mais plutôt dans une certaine région (ou des électrons dans une orbitale).	Modèle probabiliste
8	L'étudiant décrit l'électron comme étant dans une région de façon cohérente avec le concept de probabilité en lien avec le principe d'incertitude.	
9a	L'étudiant décrit différentes formes d'orbitales (mais les différentes formes ne sont pas représentées de façon superposée).	
9b	L'étudiant décrit différentes formes d'orbitales (et les différentes formes sont représentées de façon superposée).	
10	L'étudiant décrit les concepts principaux de la mécanique ondulatoire (probabilité, fonction d'onde, quantification de l'énergie, etc.) et la conception moderne de l'atome en considérant la dualité onde-particule de l'électron. Il explique les concepts de probabilité et d'orbitale avec la théorie quantique et les intègre dans la structure atomique.	

### **La prise en compte des conceptions des étudiants par les enseignants**

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

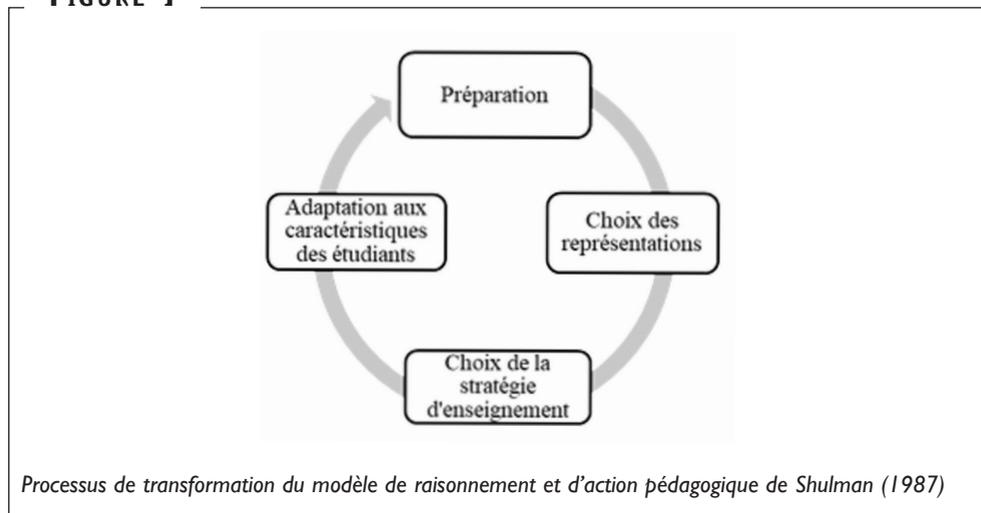
Le processus de transformation du modèle de raisonnement et d'action pédagogique de Shulman (1987), comporte une étape suggérant d'adapter son enseignement aux caractéristiques des étudiants. Ce processus où l'enseignant part de sa compréhension personnelle du contenu et la transforme afin qu'elle soit plus facile à apprendre par les étudiants, exige la mise en œuvre 4 sous-processus (Figure 1).

Le sous-processus d'adaptation aux caractéristiques des étudiants suggère de s'intéresser tout particulièrement aux connaissances antérieures des étudiants (Shulman, 1987). Ainsi, les enseignants sont invités à se questionner relativement aux conceptions, aux conceptions alternatives (ou erronées) et aux difficultés des étudiants qui pourraient nuire à la compréhension.

Par ailleurs, le courant de recherches portant sur le changement conceptuel propose différentes stratégies visant à changer les conceptions alternatives des étudiants. Les différents modèles de changement conceptuel peuvent être classés en trois catégories; les modèles classiques favorisant une rupture dans les conceptions, les modèles

favorisant la transformation des connaissances antérieures et les nouveaux modèles basés sur la coexistence des conceptions (Potvin, 2013).

**FIGURE 1**



Parmi ces modèles, celui de Posner et al. (1982) est le plus connu. Selon eux, le changement conceptuel, ou l'accommodation, nécessite que les étudiants remplacent et réorganisent les connaissances qu'ils possèdent déjà car elles sont inadéquates pour comprendre de nouveaux phénomènes. Quatre conditions doivent être en place dans l'enseignement afin que le changement conceptuel puisse se produire : 1) l'ancienne conception (la conception initiale) doit être insatisfaisante; 2) la nouvelle conception (la conception scientifique) doit être intelligible; 3) La nouvelle conception doit être plausible et 4) La nouvelle conception doit être féconde, c'est-à-dire permettre de comprendre de nouveaux phénomènes scientifiques. Ainsi, les anomalies perçues par l'étudiant donneraient naissance à un conflit cognitif jetant les bases d'une possible accommodation par l'étudiant.

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

Selon Vosniadou et al. (2001), le changement conceptuel est plutôt un processus impliquant une lente révision d'un système de conceptions initiales caractérisée par

l'incorporation progressive d'éléments des explications scientifiques acceptées actuellement. Afin de favoriser ce processus, selon ce modèle, les enseignants doivent aider les étudiants à développer une « conscience métaconceptuelle » (*metaconceptual awarness*) en créant des activités d'apprentissages où ils pourront exprimer leurs représentations et leurs croyances et en leur fournissant des expériences significatives sous la forme d'observations systématiques ou encore de résultats d'expériences pratiques prouvant que les explications qu'ils ont construites ont besoin d'être révisées.

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

L'objectif de l'étude est de décrire et de comprendre comment certaines pratiques (dont le choix de certaines formes de représentation des contenus et activités d'enseignement) sont susceptibles de favoriser le changement des conceptions des étudiants du postsecondaire en ce qui a trait à la structure de l'atome.

## **MÉTHODOLOGIE**

### ***Type de recherche***

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

### **Participants**

La recherche a été menée auprès de six enseignants de chimie volontaires issus de cinq cégeps différents ainsi que de leurs 163 étudiants. Pour l'étude des pratiques enseignantes, nous avons sélectionné les enseignants selon un échantillonnage par choix raisonné, un type d'échantillonnage qui permet au chercheur de choisir les participants sur la base de certains critères de sorte que ceux-ci représentent bien le phénomène que l'on cherche à étudier (Fortin, 2010). Les étudiants participants, âgés de 16 et 17 ans, possèdent des connaissances antérieures en lien avec les différents modèles atomiques dont le modèle « Rutherford-Bohr », dernier modèle appris au secondaire où sont représentés les protons dans le noyau et les électrons dans des couches électroniques. Au moment de l'étude, ils étaient inscrits au cours « Chimie générale : la matière » du programme Sciences de la Nature. L'objectif de ce cours est d'analyser les transformations chimiques et physiques de la matière à partir des notions liées à la structure des atomes et des molécules. La séquence d'enseignement qui a fait l'objet de l'étude traitait de la structure des atomes en abordant les concepts d'orbitales atomiques (probabilité de présence des électrons) et de nombres quantiques.

### **Outils de collecte de données et analyse**

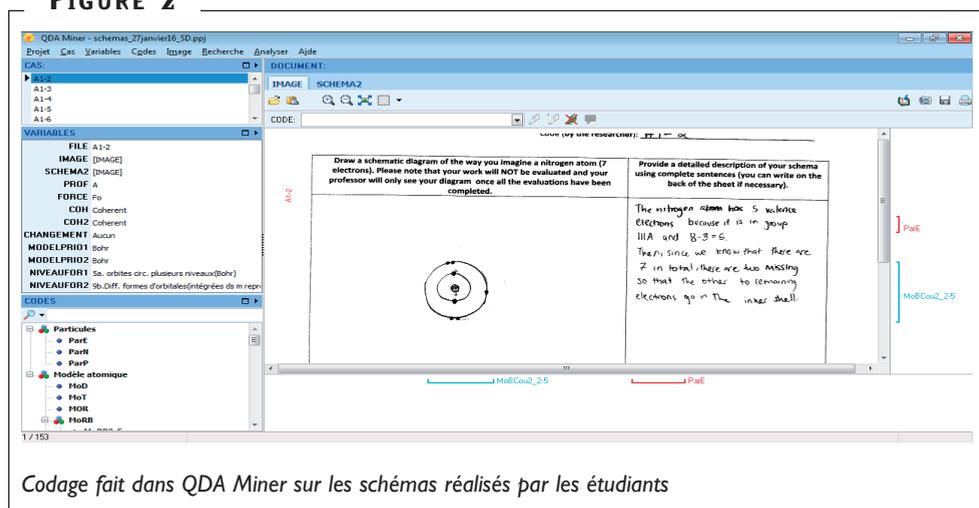
Les pratiques enseignantes ont été recueillies grâce à des entrevues individuelles semi-dirigées portant sur la planification, au recueil du matériel didactique élaboré par les enseignants, à l'enregistrement vidéo de la leçon portant sur le modèle probabiliste de l'atome et aux entrevues de rappel stimulé réalisées avec ces enregistrements.

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

Les étudiants ont été invités à réaliser individuellement un schéma illustrant comment ils s'imaginent l'atome d'azote et à rédiger une explication écrite de leur schéma, et ce, au début et à la fin de la session. L'analyse qualitative des schémas a été réalisée en

s'inspirant des démarches proposées par Van der Maren (1996) Les schémas expliqués ont été intégrés dans le logiciel *QDA Miner* pour ensuite être codés. Les catégories et les codes étaient liés aux concepts relatifs aux différents modèles scientifiques expliquant la structure de l'atome et à des erreurs observées sur les schémas. L'utilisation de variables dans le logiciel, telles que les niveaux de formulation de Park et al. (2006, 2009), a aussi permis de catégoriser les schémas. Une analyse de contenu de 30 % des schémas a été réalisée par deux codeurs indépendants avant le codage de l'entièreté du corpus (accord interjuges de 94 %). La Figure 2 est une capture d'écran illustrant le codage fait dans *QDA Miner* (utilisation de variables et de codes) sur un schéma réalisé par un étudiant. Le dessin de l'étudiant et l'explication rédigée pour expliquer le dessin ont été codés par la chercheuse ainsi que par un contre-codeur. Nous soulignons, en terminant, le côté novateur de l'approche méthodologique qui misait sur l'analyse de schémas expliqués illustrant la structure de l'atome réalisés par les étudiants avant et après la séquence de cours portant sur ce sujet. Cette procédure a permis de mettre en évidence l'évolution de la façon dont les étudiants se représentent la structure de l'atome au cours d'un trimestre.

FIGURE 2



À la fin du processus de collecte de données, nous avons réalisé des entrevues semi-dirigées avec dix étudiants pour lesquels nous avons observé un changement dans leur façon de se représenter un atome. Lors de cette entrevue, les étudiants ont été invités à expliquer ce que son enseignant avait pu dire, faire ou lui faire faire qui avait favorisé le changement de sa façon de concevoir un atome. Une analyse thématique (Paillé & Muchielli, 2016) a été faite sur les données issues des entrevues réalisées avec les étudiants. Nous avons repéré un ensemble de thèmes à l'écoute des enregistrements des

entrevues et dressé un arbre thématique les rassemblant. Nous avons ensuite procédé à l'examen de ces thèmes pour faire ressortir les plus importants en considérant les objectifs de la recherche.

## RÉSULTATS

Les résultats seront présentés de manière à mettre en évidence les conceptions des étudiants à l'égard de la structure de l'atome en commençant le cours, les différents types de changements observés dans leur façon d'imaginer l'atome ainsi que certaines pratiques de leurs enseignants semblant contribuer à favoriser ce changement.

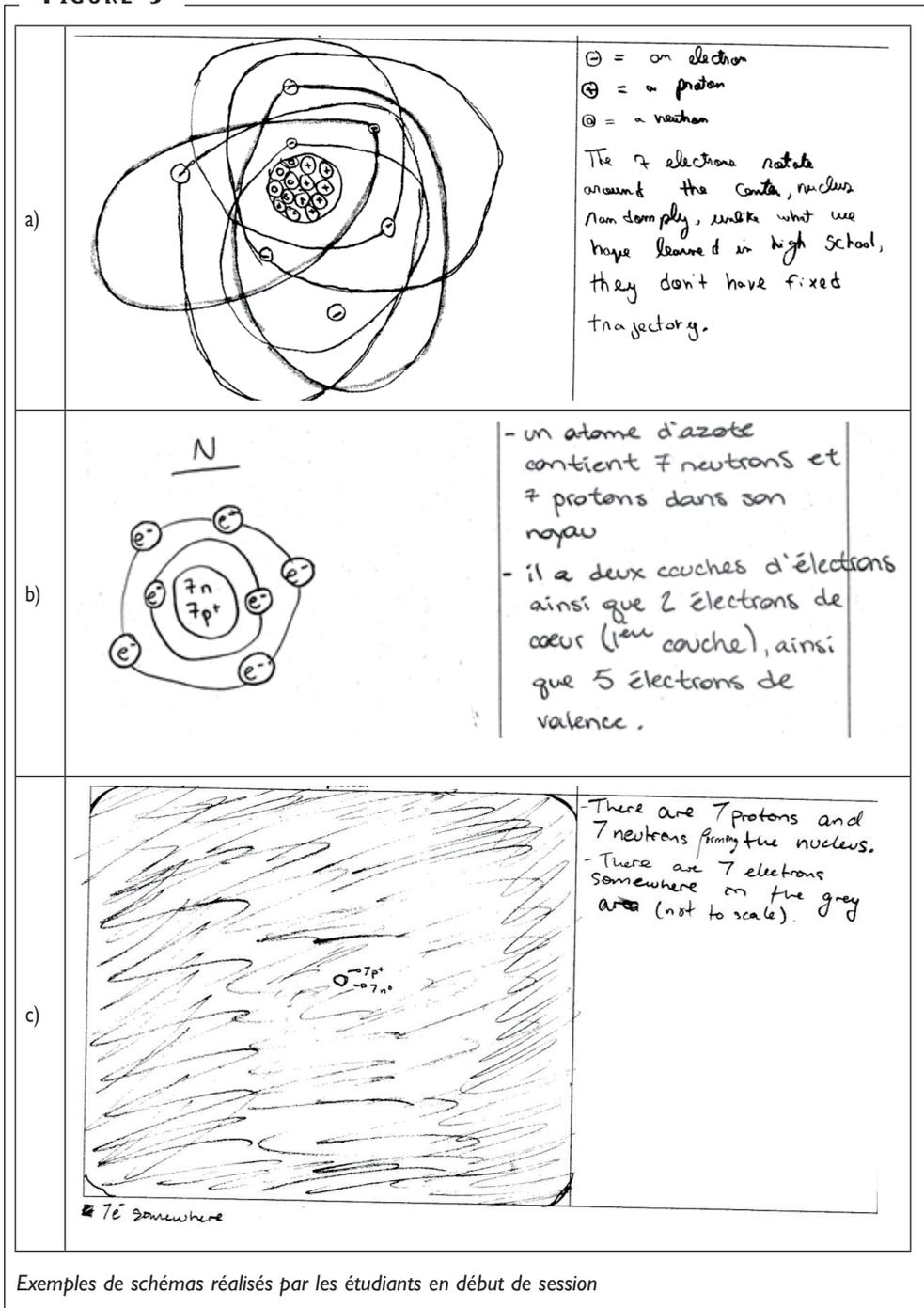
### ***Des étudiants qui ont déjà leur propre idée de la structure de l'atome avant de suivre le cours***

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

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

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

FIGURE 3



Exemples de schémas réalisés par les étudiants en début de session

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

L'analyse des données montre que la plupart des étudiants conçoivent la structure de l'atome de façon différente à la fin du cours.

Comme mentionné plus tôt, pour le premier schéma, la majorité des étudiants (136 sur 163) s'imaginent la structure de l'atome selon le niveau de formulation 5a, niveau selon lequel l'étudiant conçoit les orbites des différents niveaux comme des trajectoires circulaires des électrons. Pour le deuxième schéma, les conceptions des étudiants ont été catégorisées dans plusieurs niveaux de formulation reliés au modèle probabiliste. La moitié des schémas (82 sur 163) ont été classés dans les niveaux 9a et 9b. Dans les deux niveaux, l'étudiant décrit différentes formes d'orbitales (les différentes formes ne sont pas représentées de façon superposée pour le niveau 9a et sont représentées de façon superposée pour le niveau 9b). Globalement, il semble que la majorité des étudiants conçoivent l'atome selon le modèle probabiliste avec différents niveaux de précision. Alors que certains étudiants décrivent l'atome en termes de présence dans une région ou de probabilité, d'autres représentent les formes des orbitales superposées ou non.

Le Tableau 2 montre la répartition du nombre de schémas correspondant aux différents niveaux de formulation de Park et al. (2006, 2009) pour les deux schémas réalisés par les étudiants, tous groupes confondus.

**TABLEAU 2**

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

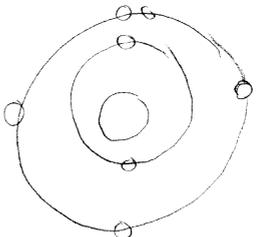
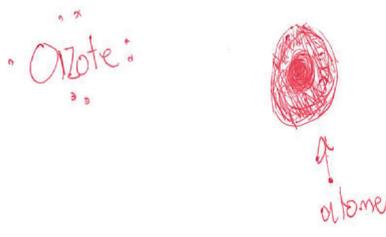
		Schéma 2														
		1	2	3	4	5a	5b	6	7	8	9a	9b	10	Autre	Total	
Schéma 1	1	1					1								1	
	2		1												1	2
	3			1					3	3		7			3	16
	4				1					1						1
	5a		4			11	5		5	8	2	70	3	28	<b>136</b>	
	5b						2					2				2
	6							1								0
	7								1							0
	8									1					4	5
	9a										1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

Dans le tableau 2, lorsque l'on examine les évolutions individuelles des schémas entre le temps 1 et le temps 2, les deux schémas réalisés correspondaient au même niveau de formulation pour 12 étudiants, à une régression vers un niveau de formulation plus simple pour 4 étudiants et à une évolution positive vers un niveau de formulation plus complexe pour 143 étudiants (les cases grisées de la diagonale indiquent le nombre d'étudiants pour qui le niveau de formulation était le même pour le schéma réalisé en début de session et celui réalisé en fin de session).

Parmi ces derniers 73 des 163 étudiants participants sont passés d'un niveau de formulation 5a (modèle de Bohr) au niveau de formulation 9b ou 10 (modèle probabiliste), ce qui montre qu'une bonne proportion ont changé leur façon de s'imaginer l'atome en partant de ce qu'ils savaient sur le sujet et en finissant par faire une représentation correspondant à celle attendue à la fin du cours. De plus, 22 étudiants (13,5%) ont fait une représentation tout de même en lien avec le modèle probabiliste, mais selon des niveaux de formulations moins élevés (niveaux de formulation 7, 8 et 9a).

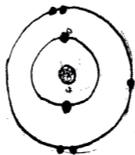
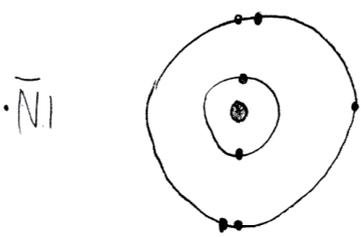
La Figure 4 illustre les schémas d'un étudiant qui conçoit l'atome selon un modèle scientifique plus simple à la fin du cours qu'au début. En effet, alors que le premier schéma illustre les couches sur lesquels sont retrouvés les 7 électrons de l'azote selon le modèle de Bohr, le deuxième schéma réalisé en fin de session décrit plutôt l'atome en termes de sphère indivisible en ne faisant pas référence aux particules subatomiques.

**FIGURE 4**

Schéma 1 (Modèle de Bohr, niveau de formulation 5a)	
	un atome d'azote a 5 électrons de valence, 2 couche.
Schéma 2 (Modèle nucléaire, niveau de formulation 2)	
	l'atome est une petite sphère, ou l'on ne voit pas les électrons. La sphère grossit avec le nombre d'électron.
Un exemple représentant un changement négatif vers un modèle moins complexe	

La Figure 5 illustre un cas où l'étudiant a fait deux schémas qui correspondaient au même niveau de formulation en début et en fin de session. En effet, les deux schémas, presque identiques, décrivent la structure de l'atome selon le modèle de Bohr, modèle dans lequel les électrons gravitent autour du noyau sur des couches électroniques. Cela n'est pas en accord avec le modèle probabiliste.

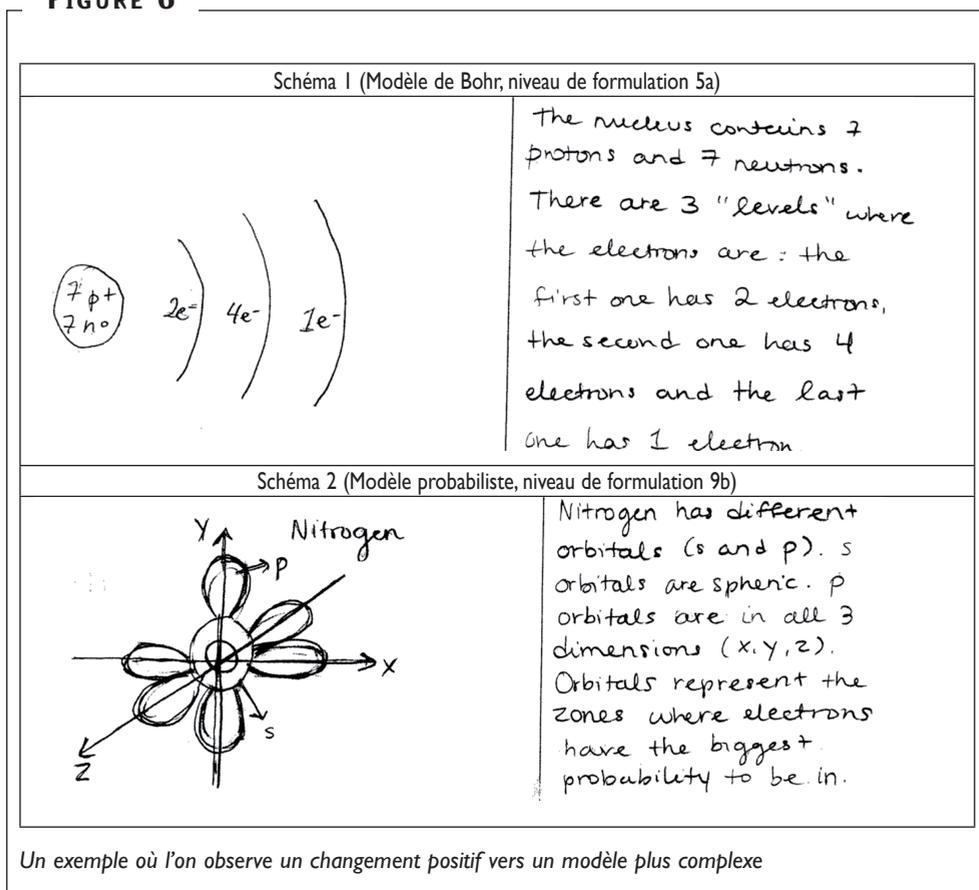
FIGURE 5

Schéma 1 (Modèle de Bohr, niveau de formulation 5a)	
	<p>The nitrogen atom has 5 valence electrons because it is in group IIIA and <math>8-3=5</math>.</p> <p>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.</p>
Schéma 2 (Modèle de Bohr, niveau de formulation 5a)	
	<p>In total, the Nitrogen atom has an atomic number of 7 causing it to have a total of 7 electrons. Since it is in the 5th group, 5 of these electrons are in the 2nd shell, and the other two in the first. We know there are two shells due to its periods.</p>

Un exemple où l'on observe une absence de changement

Enfin, les schémas présentés à la Figure 6 montrent les schémas d'un étudiant qui a changé sa façon de concevoir l'atome en passant à un niveau de formulation supérieur. Dans le premier schéma, l'étudiant conçoit la structure atomique selon le modèle de Bohr où les électrons sont retrouvés sur des couches électroniques (même si une erreur a été commise quant au nombre d'électrons maximal par couche). Dans le deuxième schéma, l'étudiant a complètement changé sa façon de concevoir la structure de l'atome qu'il décrit maintenant à l'aide d'orbitales (régions où il y a une grande probabilité de retrouver l'électron). Cela est en accord avec le modèle probabiliste de l'atome enseigné au collégial.

**FIGURE 6**



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

Les pratiques enseignantes déclarées ont été analysées en regard du processus de transformation de Shulman (1987). Le Tableau 3 résume les principales pratiques de transformation des savoirs observées pour les six enseignants ayant participé à la recherche.

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

**TABLEAU 3***Synthèse des pratiques de transformation des savoirs des enseignants*

<b>Sous-processus</b>	<b>Pratiques de transformation des savoirs</b>
Préparation des contenus	Choix des contenus selon documents du programme, selon leur importance, selon l'échafaudage des connaissances, leur application et selon l'évaluation. Élaboration de matériel didactique.
Choix des formes de représentation des contenus	Utilisation ou création de figures, d'images tirées de représentations de films ou d'émissions, d'analogies, de vidéos, d'objets (balles, ballon, modèles), d'exercices interactifs.  Afin d'expliquer/illustrer, afin de rejoindre les intérêts des étudiants, afin d'utiliser l'humour.
Choix de la stratégie d'enseignement	Explications, exercices, questionnement, activité (jeu) en équipe  Pour faire des liens et pour que les étudiants découvrent les concepts en s'entraînant.
Adaptation aux caractéristiques des étudiants (conceptions)	Explication de la nature des modèles et de leur évolution, liens faits avec le modèle connu des étudiants, demandes aux étudiants de représenter l'atome

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

Nous avons réalisé quelques entrevues avec des étudiants afin de mieux comprendre comment certaines pratiques pouvaient contribuer à les aider à changer leur façon de concevoir la structure d'un atome. Le Tableau 4 présente les éléments soulevés par ceux-ci.

**TABLEAU 4**

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

<b>Sous-processus</b>	<b>Pratiques de transformation des savoirs</b>
Choix des formes de représentation des contenus	Figures présentées Vidéo présentée Utilisation d'objets (balles, ballons et modèles) pour représenter les concepts Analogies utilisés
Choix de la stratégie d'enseignement	Explications données (séquence des contenus présentés) Exercices à faire pour se pratiquer Activité (portant sur le remplissage des orbitales) Exemples présentés
Adaptation aux caractéristiques des étudiants (conceptions)	Explication de la nature des modèles et de leur évolution

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

## DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif à décrire et à expliquer comment certaines pratiques enseignantes sont susceptibles de favoriser un changement des conceptions des étudiants. Nous avons analysé la façon dont des étudiants de première année du collégial s'imaginent l'atome avant et après avoir suivi la leçon portant sur ce thème ainsi que les liens existants entre les changements observés et les pratiques enseignantes. Cela nous a permis de mieux comprendre comment les adaptations faites lors du choix de certaines représentations et méthodes d'enseignement pouvaient contribuer au changement des conceptions des étudiants. Rappelons le côté novateur de notre approche méthodologique, qui mise notamment sur l'analyse de schémas expliqués illustrant la structure de l'atome réalisés par les étudiants avant et après la séquence

de cours portant sur ce sujet. Ces analyses nous ont permis de mettre en évidence l'évolution de la façon dont les étudiants se représentent la structure de l'atome au cours d'un trimestre.

### ***Des idées déjà-là, mais qui tendent à changer***

Nous avons fait état dans l'introduction de différentes recherches ayant démontré que les étudiants des niveaux préuniversitaire et universitaire préféraient décrire l'atome avec des modèles simples et concrets où les électrons gravitent sur des orbites, même si des modèles plus avancés leur ont été enseignés par la suite (Cros et al., 1986; Mashhadi, 1995; Petri & Niedderer, 1998) et qu'ils éprouvaient des difficultés lors de l'apprentissage des concepts relatifs au modèle probabiliste de l'atome (Cervellati & Perugini, 1981; Cros et al., 1986; Papageorgiou et al., 2016; Stefani & Tsaparlis, 2009; Taber, 2002; Zarkadis et al., 2017).

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

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

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

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

### ***Des pratiques visant à favoriser ce changement***

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

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

Par exemple, plusieurs enseignants disent faire plusieurs liens avec le modèle que les étudiants connaissent bien, le modèle de Bohr, afin de favoriser la transition vers le modèle probabiliste. Cette pratique va dans le sens du modèle de Vosniadou et al. (2001) selon lequel le changement conceptuel se produit grâce à une lente révision du système de conceptions initiales et à l'incorporation progressive de nouveaux éléments. C'est ainsi que plusieurs enseignants « construisent » à partir d'éléments du modèle de Bohr connus par les élèves une base pour l'apprentissage du modèle probabiliste.

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

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

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

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

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

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

## RÉFÉRENCES

- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences*. De Boeck.
- Brehelin, D. (1994). Images spontanées et induites par l'enseignement du concept «atome» pour les élèves de collèges. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 88(763), 19.
- Cervellati, R., & Perugini, D. (1981). The understanding of the atomic orbital concept by Italian high school students. *Journal of Chemical Education*, 58(7), 568-569.
- Cokelez, A., & 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.
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J., & Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8(3), 331-336.
- Driver, R., & 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.
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Éds.), *The psychology of learning science* (pp. 65-83). Lawrence Erlbaum Associates.
- Fortin, M.-F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche*. Chenelière éducation.
- Gilbert, J. K., & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98.
- Giordan, A. (1989). *Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage*. Retrieved from [http://www.ldes.unige.ch/publi/rech/th\\_app.htm](http://www.ldes.unige.ch/publi/rech/th_app.htm).
- Giordan, A., & de Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Delachaux et Niestlé.
- Grivopoulos, K., & Ravanis, K. (2021). Les représentations sociales de l'atome chez des élèves français et grecs. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 16(1), 1-11.
- Kiray, S. A. (2016). The pre-service Science Teachers' mental models for concept of atoms and learning difficulties. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 4(2), 147-162.
- Kousa, P., Kavonius, R., & Aksela, M. (2018). Low-achieving students' attitudes towards learning chemistry and chemistry teaching methods. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 431-441.
- Mashhadi, A. (1995). *Advanced level Physics students' conceptions of Quantum Physics*. Annual Meeting of the Singapore Educational Research Association, Singapore. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED414197.pdf>.
- Morge, L., & Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de notion de modèle: Quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ? *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 52(1), 149-175.
- Nguessan, S. K. (2016). Les futurs enseignants de physique-chimie et le concept d'atome. Quelques représentations, difficultés et obstacles identifiés lors de leur formation professionnelle. *International Journal of Contemporary Applied Sciences*, 3(2), 241-259.
- Paillé, P., & Muchielli, A. (2016). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Armand Collin.

- Papageorgiou, G., Markos, A., & Zarkadis, N. (2016). Students' representations of the atomic structure – the effect of some individual differences in particular task contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(1), 209-219.
- Park, E. J. (2006). *Student perception and conceptual development as represented by student mental models of atomic structure*. PhD Thesis, The Ohio State University, USA.
- Park, E. J., Light, G., Swarat, S., & Denise, D. (2009). *Understanding learning progression in student conceptualization of atomic structure by variation theory for learning*. Paper presented at the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference, June 2009, Iowa City, IA, USA.
- Petri, J., & Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075-1088.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (2013). Proposition for improving the classical models of conceptual change based on neuroeducational evidence: Conceptual prevalence. *Neuroeducation*, 2(1), 16-43.
- Reuter, Y., Cohen-Azra, C., Daunay, B., Delambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. De Boeck.
- Roche Allred, Z. D., & Bretz, S. L. (2019). University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(2), 358-368.
- Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Sharma, T., Simmons, A., Williams, S. C., Giampietro, V., & Andrew, C. M. (2001). Mapping motor inhibition: Conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *Neuroimage*, 13(2), 250-261.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An overview. *Turkish Science Education*, 4(2), 2-20.
- Stefani, C., & Tsapalis, 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.
- Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of Chemistry: Some considerations from educational research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123-158.
- Taber, K. S. (2002). Conceptualizing quanta: Illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(2), 145-158.
- Taber, K. S. (2016). Teaching and learning chemistry. In K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education An international course companion*. Sense Publishers.
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Treagust, D., Duit, R., & Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228-235.
- Tsapalis, G. (1997). Atomic orbitals, molecular orbitals and related concepts: Conceptual difficulties among chemistry students. *Research in Science Education*, 27(2), 271-287.
- Unlu, P. (2010). Pre-service physics teachers' ideas on size, visibility and structure of the atom. *European Journal of Physics*, 31(4), 881-892.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Presses de l'Université de Montréal et de Boeck.

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

- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction, 11*(4-5), 381-419.
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice, 18*(4), 893-902.