

Au-delà de la réussite scolaire : les étudiants de Sciences comprennent-ils vraiment la chimie?

Caroline Cormier
Enseignante de chimie
Cégep André-Laurendeau
caroline.cormier@claurendeau.qc.ca

Recherche subventionnée par le PAREA, numéro PA2010-005.

Les conceptions alternatives posent une embûche aux étudiants en teintant d'idées incorrectes les connaissances antérieures sur lesquelles ils appuient tout nouvel apprentissage. Ces conceptions sont répandues chez les étudiants, mais rarement connues des enseignants. Dans une vaste recherche avec près de 2500 étudiants du programme de Sciences de la nature, j'ai tenté de repérer les conceptions alternatives les plus fréquentes en chimie. Il est ressorti de mes résultats que les étudiants de Sciences, même finissants, croient que les molécules se brisent lors de l'évaporation, qu'ils confondent les liaisons intermoléculaires avec les liaisons covalentes et qu'ils éprouvent toujours de la difficulté à additionner mentalement des vecteurs de polarité. De plus, de façon assez surprenante, il est apparu que les garçons réussissaient significativement mieux ce type de questions conceptuelles que les filles. Un survol de ces résultats sera présenté ici; le rapport de recherche complet (Cormier, 2013), comprenant entre autres le questionnaire diagnostique en entier, est disponible sur le site Web du CDC, au www.cdc.qc.ca.

L'apprentissage des sciences est difficile pour les étudiants collégiaux : les concepts au programme sont nombreux, complexes et souvent peu intuitifs. Il est toutefois préoccupant de constater que même les étudiants qui réussissent leurs cours de Sciences de la nature ne sortent pas tous du cégep avec des connaissances scientifiques exactes. En effet, même les bons étudiants peuvent avoir des idées, bien ancrées dans leurs structures cognitives, qui sont incorrectes selon la théorie scientifique acceptée (Driver & Easley, 1978). Ces représentations inexactes sont nommées conceptions alternatives¹. Il existe des conceptions alternatives pour toutes les disciplines scientifiques du programme de Sciences (Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994). Un apprentissage réussi devrait pourtant aboutir à un système de représentations adéquates, cohérentes et exactes. Ainsi, pour favoriser un tel apprentissage, les enseignants devraient se préoccuper des conceptions alternatives de leurs étudiants en cherchant à les changer lorsqu'elles existent et en évitant d'en causer de supplémentaires.

La recherche que j'ai menée durant les trois dernières années visait à repérer les conceptions alternatives les plus fréquentes autour de concepts de chimie chez les étudiants collégiaux de Sciences de la nature. Il est reconnu que les conceptions alternatives sont difficiles à diagnostiquer par les enseignants, parce qu'elles ne s'expriment généralement pas dans un contexte de classe traditionnel et qu'elles sont constituées dans un système explicatif qui semble cohérent et fonctionnel aux étudiants (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, & Toussaint, 2008). Les examens que nous faisons passer aux étudiants ne sont pas conçus pour les diagnostiquer. Nos étudiants apprennent à répondre à nos questions d'examen, mais même lorsqu'ils réussissent nos cours, ils peuvent avoir une représentation personnelle du contenu qui n'est pas en accord avec la théorie scientifique.

Pour mettre en lumière les conceptions alternatives en chimie, j'ai donc développé un outil constitué de vingt questions à choix multiples à deux paliers. Le premier palier de chaque item est une question à choix multiples qui évalue les connaissances des étudiants en chimie. Le deuxième palier est quant à lui un choix multiple présentant des justifications parmi lesquelles les étudiants doivent choisir la raison qui explique

¹ Certains auteurs les appellent « conceptions erronées », « conceptions naïves » ou « préconceptions ». Ces termes sont en grande partie synonymes.

leur choix au premier palier. Le questionnaire est répondu en ligne, sur une plateforme développée elle aussi dans le cadre de cette étude. Le questionnaire à deux paliers se nomme « Molécules, polarité et phénomène » et peut être consulté en annexe de mon rapport complet (Cormier, 2013).

Au total, 2413 étudiants de niveau collégial de Sciences de la nature ont participé aux différentes phases de cette recherche, entre 2010 et 2013. Les résultats de la passation du questionnaire en ligne chez 1983 d'entre eux durant l'année scolaire 2012-2013 seront sommairement présentés et discutés ici. La distribution de ces participants selon leur cégep ou leur collège privé est présentée au tableau 1.

TABLEAU 1 : ÉCHANTILLON D'ÉTUDIANTS AYANT PARTICIPÉ À LA PHASE PRINCIPALE DU PROJET, SELON LEUR ÉTABLISSEMENT D'ENSEIGNEMENT

	Nombre de participants	Âge moyen
Total	1983	18,3
Campus Notre-Dame-de-Foy	9	19,7
Cégep André-Laurendeau	216	18,6
Cégep Beauce-Appalaches	15	18,3
Cégep de Chicoutimi	42	18,4
Cégep de Drummondville	112	18,0
Cégep de Granby — Haute-Yamaska	84	18,6
Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue	100	18,2
Cégep de La Pocatière	20	18,1
Cégep de l'Outaouais	4	18,3
Cégep de Rivière-du-Loup	44	18,0
Cégep de Sainte-Foy	22	17,4
Cégep de Sorel-Tracy	89	18,2
Cégep de St-Hyacinthe	229	18,3
Cégep de Thetford	29	18,1
Cégep François-Xavier-Garneau	369	18,2
Cégep Limoilou	98	18,7
Cégep Marie-Victorin	36	20,2
Cégep Saint-Jean-sur-Richelieu	24	18,9
Collège André-Grasset	338	18,0
Collège Jean-de-Brébeuf	46	18,0
Collège préuniversitaire Nouvelles-Frontières	21	18,0
Collège Shawinigan	36	17,9

Score des étudiants au test : plutôt mitigé

La première observation concerne le faible taux de succès des étudiants au questionnaire à choix multiples. En compilant les résultats aux deux paliers du test, j'ai calculé un score entre 0 et 1 pour chaque étudiant. Les moyennes de ces scores sont présentées au tableau 2.

TABLEAU 2 : SCORE MOYEN DES ÉTUDIANTS COLLÉGIAUX DE SCIENCES DE LA NATURE AYANT RÉPONDU AU QUESTIONNAIRE À DEUX PALIERS « MOLÉCULES, POLARITÉ ET PHÉNOMÈNES »

		Score moyen	Écart-type	Nombre de répondants
Échantillon complet		0,4896	0,10317	1983
1 ^{re} année	Garçons	0,4912	0,0994	495
	Filles	0,4602	0,0929	544
2 ^e année	Garçons	0,5315	0,1161	343
	Filles	0,4908	0,0988	601

La moyenne de l'échantillon complet est sous la barre du 50 %, à 0,4896. Ce résultat pouvait toutefois être attendu, étant donné que des recherches avec des questionnaires similaires chez des étudiants postsecondaires ailleurs dans le monde ont aussi montré des résultats mitigés pour des questions conceptuelles de chimie (Mulford & Robinson, 2002).

Il est toutefois étonnant de noter que les garçons ont significativement un meilleur score que les filles ($t = 6,653$, $ddl = 1981$, $p < 0,001$), tant pour les étudiants en première année du programme de Sciences que pour ceux en deuxième année. La distance observée entre les moyennes a toutefois une taille d'effet faible ($\eta^2 = 0,02$). Il demeure que cette différence n'est pas dans le sens de ce qui est généralement observé dans les tests de classement en sciences à travers le monde : en effet, à des évaluations standardisées comme le test PISA (Programme international pour le suivi des acquis des élèves) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2007), les filles performant mieux que les garçons en sciences.

Le type de questions du test « Molécules, polarité et phénomènes » est toutefois différent des questions de PISA, en ce sens où elles visent à diagnostiquer les conceptions alternatives; d'une part, ce sont des questions conceptuelles et non pas des questions algorithmiques, et d'autre part, je m'attendais à ce que les étudiants ne performant pas très bien. Le test « Molécules, polarité et phénomènes » ne cherche pas à classer les étudiants, mais plutôt à établir un portrait des écueils sur lesquels se bute leur apprentissage. C'est un outil qui vise à diagnostiquer les conceptions alternatives les plus fréquentes, pour fournir aux enseignants un portrait de leurs étudiants.

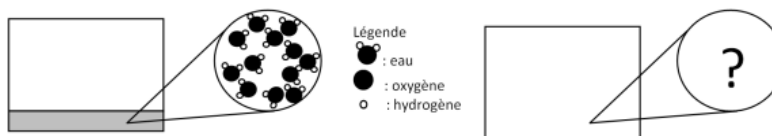
Il serait intéressant, dans une recherche future, de chercher à comprendre pourquoi les garçons ont mieux réussi à mon questionnaire, afin de proposer des pistes pour que les garçons améliorent leur score aux tests standardisés et aux examens traditionnels, en appuyant la pédagogie sur ce qu'ils réussissent bien.

La pire conception alternative : les molécules se brisent lorsqu'elles s'évaporent

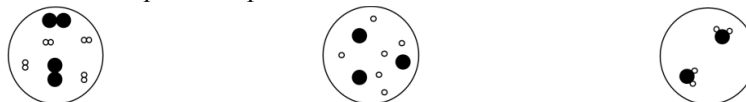
Le résultat le plus troublant de cette recherche est le très grand nombre d'étudiants qui croient que les molécules se brisent lorsqu'elles passent en phase gazeuse. En effet, pour la question Q15, les étudiants devaient choisir la représentation c) comme produit de l'évaporation de l'eau, car bien sûr, l'eau qui s'évapore reste de l'eau, elle conserve donc sa structure et sa formule moléculaire, H₂O.

Q15 Vue grossie après évaporation

Le cercle dans la portion gauche montre une vue grossie d'une très petite portion d'eau liquide dans un contenant fermé.



Qu'est-ce que la vue grossie montrerait après l'évaporation de l'eau?



Choix de réponse	a)	b)	c)*
Nombre d'étudiants	263	410	1310
Pourcentage de l'échantillon	13,3 %	20,7 %	66,1 %

À cette question, toutefois, 848 étudiants (42,8 % des répondants) ont répondu que les molécules d'eau se dissociaient, pour former des molécules de H_2 et de O_2 (comme en a) ou des atomes isolés d'hydrogène et d'oxygène (comme en b), ou même en répondant c) mais en choisissant la justification « [...] il peut y avoir quelques molécules d'hydrogène et d'oxygène qui sont formées (pas représentées sur le dessin) »². Cette conception alternative très répandue, que j'ai nommée « l'évaporation d'un composé entraîne le bris des liaisons covalentes de ses molécules », a aussi été observée dans la question Q14.

Q14 Température d'ébullition, éthanol/méthanol

La température d'ébullition du méthanol (CH_3OH) est de $64,7\text{ }^\circ C$. Celle de l'éthanol (CH_3CH_2OH) est plus élevée, soit de $78,5\text{ }^\circ C$. Pourquoi y a-t-il une différence entre les deux, et pourquoi la température d'ébullition de l'éthanol est-elle plus élevée?

	Cette différence s'explique par la présence, chez l'un des composés, de liaisons hydrogène.	Cette différence s'explique par la grosseur des molécules.	Cette différence s'explique par le nombre de liaisons à l'intérieur des molécules.
Choix de réponse	a)	b)*	c)
Nombre d'étudiants	390	591	1002
Pourcentage de l'échantillon	19,7 %	29,8 %	50,5 %

Pour cette question, la bonne réponse au premier palier est b), mais parmi les 591 étudiants qui l'ont choisie, plusieurs étudiants ont quand même choisi la justification qui pointait vers la conception alternative que les liaisons covalentes se brisent, soit « Une plus grosse molécule a besoin de plus de chaleur pour que ses liaisons (C-H, C-C et C-O) se brisent ». Au total, 1221 étudiants (61,6 % des répondants) témoignent de

² Pour l'énoncé complet de toutes les questions et des justifications proposées au deuxième palier, consulter le rapport PAREA « Les conceptions en géométrie moléculaire d'étudiants de Sciences de la nature » (Cormier, 2013).

cette conception alternative dans cette question lorsqu'on considère les réponses au premier et au deuxième palier.

Selon moi, cette conception alternative est la plus dramatique parmi celles que j'ai observées. D'abord, elle est très répandue, beaucoup plus que ce à quoi je m'attendais. Ensuite, elle peut avoir un impact sur l'apprentissage de nombreux autres concepts de chimie, en particulier sur les processus de mise en solution. La solubilisation de composés moléculaires, de dissociation ionique de sels et d'ionisation de composés moléculaires dans l'eau sont des processus souvent confondus par les étudiants. Il arrive ainsi régulièrement que dans le cours Chimie des solutions, les étudiants éprouvent de grandes difficultés à comprendre la mise en solution des électrolytes forts et faibles, par exemple, souvent parce qu'ils n'ont pas une représentation claire de la nature sous-microscopique du processus de mise en solution. Il sera question plus loin, dans le tableau 3 de conceptions fréquentes à propos de la mise en solution.

Un autre impact, celui-là sur le cours Chimie organique, peut être à prévoir pour les étudiants qui croient que les molécules se brisent en changeant de phase. En effet, puisque la chimie organique vise à faire comprendre aux étudiants la réactivité des molécules, si les étudiants se représentent les molécules comme des assemblages somme toute assez fragiles, il leur sera difficile de comprendre, de prévoir et d'expliquer la réactivité variable des groupements fonctionnels des molécules organiques.

Des problèmes avec les liaisons : la liaison hydrogène

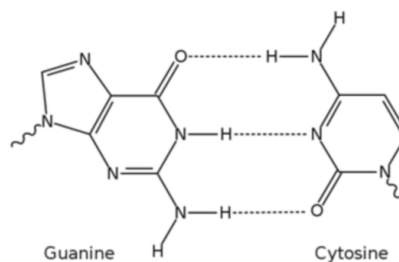
Les conceptions alternatives diagnostiquées relèvent de la chimie, mais seront certainement d'intérêt pour les enseignants des autres disciplines du programme de Sciences, parce qu'elles peuvent avoir des échos dans leurs cours également. Dans cette section et la suivante, je m'attarderai à décrire les résultats pouvant intéresser en particulier les enseignants de biologie, de physique et de mathématiques.

Comme on l'a vu à la section précédente, les liaisons à l'intérieur des molécules, qui tiennent les atomes ensemble et assurent la structure de la molécule, ne sont pas brisées dans un changement de phase. Ce sont plutôt les liaisons entre les molécules qui le sont. Ces liaisons, opportunément nommées liaisons intermoléculaires, sont moins fortes que les liaisons covalentes (intramoléculaires), mais ce sont elles qui permettent à la matière d'avoir une certaine solidité ou à tout le moins une certaine consistance. Sachant cela, il est facile de comprendre que les liaisons intermoléculaires varient en intensité selon la substance : en effet, un gaz est moins consistant qu'un solide, parce que les liaisons entre les molécules qui le constituent sont moins fortes que celles entre les molécules d'un solide.

L'une des liaisons intermoléculaires, qu'on appelle la liaison hydrogène, est particulièrement importante dans le programme de Sciences de la nature, car elle est abondamment étudiée en chimie et en biologie. En effet, en biologie moléculaire, plusieurs processus sont expliqués par les liaisons hydrogène, comme l'affinité du site actif d'une enzyme pour son substrat ou la stabilité des structures secondaires des protéines. Les enseignants de biologie seront probablement intéressés aux résultats des questions Q13 et Q17.

Q13 Liaison hydrogène, ADN

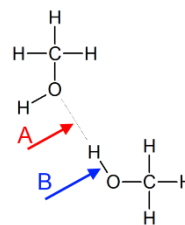
Dans le schéma suivant, deux bases de l'ADN sont représentées : la guanine à gauche et la cytosine à droite. Ces deux bases sont dites complémentaires dans l'ADN. Quel énoncé décrit le plus précisément ce que représentent les traits pointillés entre la guanine et la cytosine?



	Des liaisons covalentes polaires.	Des liaisons intermoléculaires.	Des forces électrostatiques.
Choix de réponse	a)	b)*	c)
Nombre d'étudiants	556	1193	234
Pourcentage de l'échantillon	28,0 %	60,2 %	11,8 %

Q17 Où est la liaison hydrogène

Sur le schéma suivant, quelle(s) flèche(s) indique(nt) la position d'une ou plusieurs liaisons hydrogène?



	La flèche rouge, identifiée A.	La flèche bleue, identifiée B.	Les deux flèches, A et B, montrent des liaisons hydrogène.
Choix de réponse	a)*	b)	c)
Nombre d'étudiants	1205	317	461
Pourcentage de l'échantillon	60,8 %	16,0 %	23,2 %

À la question Q13, de nombreux étudiants répondaient que ce sont des liaisons covalentes qui lient les bases complémentaires dans l'ADN (556 étudiants), alors que ce sont des liaisons hydrogène. D'autres disaient que ce sont des forces électrostatiques. En réalité, les liaisons chimiques (intra- et intermoléculaires) sont causées par l'attraction électrostatique entre des chargées opposées, mais ce ne sont pas seulement des forces électrostatiques; les pointillés sont plus précisément décrits comme des liaisons intermoléculaires (choix b), et plus précisément encore comme des liaisons hydrogène (qui était dans la justification b1, au deuxième palier). À la question Q17, je demandais un peu l'inverse, soit d'identifier où étaient les liaisons hydrogène. Près du quart des étudiants (461 d'entre eux) considèrent que les deux flèches pointent une liaison hydrogène, alors que la flèche B pointe en fait une liaison intramolécule.

Ces deux questions mettaient en scène des représentations schématiques de molécules et de liaisons. Ces représentations sont fréquemment utilisées dans les cours de chimie, mais il demeure que leur interprétation relève presque de l'apprentissage d'un langage nouveau pour les étudiants, le langage de la chimie, qui s'écrit avec des petits symboles et des petits traits qui ne signifient pas grand-chose pour le profane. La chimie s'étudie à trois niveaux de représentation, le niveau symbolique (comme ici), le niveau sous-microscopique (où l'on s'imagine le comportement de particules trop petites pour être vues) et le niveau macroscopique (celui des phénomènes observables, comme l'évaporation ou la couleur de la matière). La

transition entre ces niveaux est réputée difficile pour les étudiants de Sciences, même au postsecondaire (Taber, 2001). Les questions Q13 et Q17 nécessitent l'interprétation du niveau symbolique à travers les modèles sous-microscopiques et plusieurs étudiants y ont effectivement répondu incorrectement. La conception alternative associée à la question Q13 est que les liaisons hydrogène sont des liaisons covalentes. À première vue, il semble que cette conception ne relève que d'une confusion de vocabulaire, mais c'est plus grave qu'il n'y paraît. En effet, si les étudiants mettent dans un même « grand sac conceptuel » les liaisons covalentes et intermoléculaires (comme on le voit par ceux qui répondent c) à la question Q17), on peut comprendre aisément qu'ils croient, en retour, que les molécules se décomposent en atomes lors de l'évaporation, comme je l'ai expliqué à la section précédente.

Je propose de considérer ce « grand sac » de conceptions alternatives autour des liaisons chimiques comme un cadre alternatif, c'est-à-dire un ensemble de conceptions et de croyances autour d'un même sujet, qui sont susceptibles de se manifester dans des circonstances variées et ainsi avoir un impact négatif sur la compréhension et l'apprentissage de plusieurs notions (Driver & Easley, 1978). Les conceptions alternatives suivantes constituent ce cadre alternatif. Le tableau 2 indique aussi le pourcentage d'étudiants ayant démontré une telle conception dans leurs réponses à certains items du questionnaire.

TABLEAU 3 : CONCEPTIONS ALTERNATIVES CONSTITUANT LE CADRE ALTERNATIF DE LA LIAISON CHIMIQUE

Conception alternative	Item	Pourcentage de répondants
<i>Liaisons intermoléculaires</i>		
Les liaisons intermoléculaires sont les liaisons à l'intérieur des molécules.	Q11	49,4 %
Les liaisons hydrogène sont des liaisons covalentes.	Q17	39,2 %
	Q13	22,7 %
	Q18	11,1 %
Les liaisons hydrogène sont des liaisons dipôle-dipôle.	Q13	9,7 %
	Q17	9,5 %
<i>Liaisons covalentes</i>		
L'évaporation d'un composé entraîne le bris des liaisons covalentes de ses molécules.	Q14	61,6 %
	Q15	42,8 %
Les liaisons covalentes se brisent lors de la mise en solution.	Q19	10,7 %
<i>Mise en solution</i>		
Les composés moléculaires s'ionisent toujours dans l'eau.	Q10	19,3 %
	Q19	3,2 %
La mise en solution de composés moléculaires résulte en la réorganisation du solvant et du soluté en de nouveaux composés.	Q10	12,5 %

Les conceptions en chimie peuvent aussi inquiéter les enseignants de physique et de mathématiques : l'addition vectorielle

Mes collègues de mathématiques et de physique partageront certainement ma perplexité quant aux difficultés qu'éprouvent manifestement plusieurs étudiants de Sciences pour faire mentalement une addition vectorielle pourtant simple en apparence. L'addition vectorielle est nécessaire en chimie pour prédire la polarité des molécules.

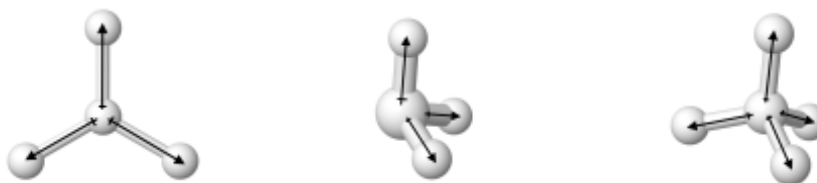
La polarité est une propriété des substances. L'eau, par exemple, une substance polaire, dissout très bien les substances polaires (comme le sucre), mais pas les substances non polaires (comme l'huile). La polarité des

substances s'explique par les caractéristiques des molécules qui les constituent : les molécules d'eau, comme les molécules de sucre, ont un moment dipolaire non nul, dû à une séparation de charges dans la molécule. Dans le cours Chimie générale, on enseigne aux étudiants comment prédire la polarité des molécules à partir de leur structure. Pour ce faire, les étudiants doivent mentalement additionner des vecteurs de polarité et déterminer si la résultante est nulle (donnant une molécule non polaire) ou non nulle (ce qui donne une molécule polaire). Cet apprentissage est essentiel à la compréhension de concepts qui suivront dans leurs études, notamment tout ce qui concerne la réactivité des substances.

La question Q05 du test « Molécules, polarité et phénomènes » demande de faire une telle addition vectorielle. Il s'agit de la question la mieux réussie de tout le test, avec un score moyen de 3,54 sur 5 (70,8 %). Toutefois, les étudiants qui ne parvenaient pas à résoudre une question si simple réussissaient significativement moins bien que la moyenne toutes les autres questions du test.

Q05 La plus polaire, boules et bâtonnets

Laquelle de ces représentations montre une molécule polaire?



Choix de réponse	a)	b)*	c)
Nombre d'étudiants	339	1298	346
Pourcentage de l'échantillon	17,1 %	65,5 %	17,4 %

Les vecteurs de moment dipolaire, représentés sur les schémas par les flèches barrées, donnent une résultante nulle pour la molécule a) et la molécule c). En effet, en a), les trois vecteurs « tirent » de telle façon à s'annuler entre eux. C'est la même chose pour la molécule c) : sa forme est tridimensionnelle, mais les vecteurs s'annulent bien entre eux dans l'espace.

Pour cette question, 328 étudiants (16,5 % de l'échantillon) ont justifié leur choix incorrect de la molécule a) ou de la molécule c) comme molécule polaire de la façon suivante : « Les vecteurs de polarité ne s'annulent pas entre eux. » Si les vecteurs ne s'annulaient pas, ces molécules seraient effectivement polaires. Mais ils s'annulent, alors ce sont de mauvaises réponses. Ces étudiants n'ont, paradoxalement, pas une conception alternative en chimie par rapport à cette question, mais plutôt une incompréhension de l'addition vectorielle. C'est un exemple frappant des difficultés que les étudiants peuvent rencontrer en chimie, mais qui ne concerne pas exclusivement les cours de chimie.

Une autre portion des répondants, soit 246 étudiants (12,4 %), a plutôt choisi de justifier la réponse a) ou la réponse c) en disant que « Les vecteurs de polarité s'annulent entre eux », ce qui est vrai d'un point de vue de l'addition vectorielle, mais cette fois-ci inexact d'un point de vue chimique! Cette confusion montre que ces étudiants ne comprennent pas le sens de « polarité des molécules ». Peut-être ont-ils fait une association entre le mot « non » dans l'expression « résultante non nulle » et « molécule non polaire », conduisant à raisonner de façon opposée. J'ai d'ailleurs nommé cette erreur de raisonnement « l'argument opposé », et je l'ai observée aussi dans une question à propos de la définition des molécules, où les étudiants expliquaient incorrectement qu'un sel d'ammonium était une molécule « parce que composé d'anions et de cations ».

Recommandations pour l'enseignement

Selon Keith S. Taber (2001), la principale difficulté en chimie réside dans les trois niveaux de représentation que je mentionnais plus haut. Pour aider les étudiants à comprendre les phénomènes de changement de phase, il importe d'illustrer les notions enseignées à chacun des trois niveaux : comment symbolise-t-on ce phénomène? Comment les molécules interagissent-elles? Que voit-on lorsque ce phénomène se produit? En cours de route, il est aussi important de revenir inlassablement sur la distinction entre les liaisons intra- et intermoléculaires, dans tous les contextes où c'est pertinent. Ces nombreuses itérations permettront aux étudiants de se construire une définition personnelle complète et exacte de ces concepts.

La première condition pour stimuler le changement conceptuel est de connaître les conceptions alternatives des étudiants. Comme elles sont difficiles à repérer dans le cadre d'un enseignement traditionnel, il est pertinent de déployer des méthodes diagnostiques particulières, comme le test « Molécules, polarité et phénomènes ». Les enseignants qui connaissent les conceptions de leurs étudiants peuvent les utiliser comme un levier cognitif pour aider ces derniers à les surmonter. C'est ce qui importe, au fond : connaître ce que les étudiants ne comprennent pas, puis tenter de les accompagner vers un apprentissage réussi.

Références

- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences*. (2^e éd.). Bruxelles: de Boeck Université.
- Cormier, C. (2013). Les conceptions en géométrie moléculaire d'étudiants de Sciences de la nature, Modes de raisonnement et diagnostic de conceptions alternatives fréquentes en chimie *Rapport de recherche PAREA*. Montréal, QC.
- 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, 61-84.
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- OCDE. (2007). PISA 2006 : Les compétences scientifiques : un atout pour l'avenir: Organisation de coopération et de développement économiques.
- Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: Some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(2), 123-158.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. Dans D. Gabel (dir.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (p. 177-210). New York, NY: Simon & Schuster Macmillan.

Note sur l'auteur

Caroline Cormier est enseignante de chimie au Cégep André-Laurendeau depuis cinq ans. En plus de la recherche dont cet article fait état, elle collabore présentement à un autre projet PAREA, sur l'intérêt et la motivation des jeunes pour les sciences. Elle poursuit en parallèle des études doctorales en didactique des sciences à l'Université de Montréal. Elle est aussi coauteure du manuel *Chimie organique*, publié en 2013 aux Éditions CEC.