

## LES CONCEPTIONS ALTERNATIVES DES ÉTUDIANTS EN SCIENCES

Caroline CORMIER, professeure de chimie – Cégep André-Laurendeau

### RÉSUMÉ

La notion de base en électromagnétisme est probablement celle-ci : deux charges identiques se repoussent et deux charges opposées s'attirent. C'est un précepte qui est enseigné très tôt dans la formation des élèves et que la presque totalité de nos étudiants de sciences pourrait énoncer sans se tromper. De façon aussi bien connue de nos élèves, un atome est constitué d'un noyau chargé positivement et d'électrons, eux chargés négativement. Toutefois, dans une série d'entrevues menée avec des étudiants (Cormier & Vázquez-Abad, 2011), des explications qui vont à l'encontre du principe de base de l'électromagnétisme ont été formulées par des étudiants de première et deuxième année du programme Sciences de la nature. En voici trois extraits :

*La paire d'électrons libres ne fait pas partie de la liaison. Ces deux électrons-là sont liés entre eux.*

*[Dans la molécule d'eau,] les deux électrons des hydrogènes vont se lier avec les électrons de l'oxygène.*

*La force que les protons utilisent pour repousser les couches d'électrons n'est pas si forte. C'est pour ça que [l'atome] est gros.*

Bien que les notions se base soient connues des étudiants, il arrive fréquemment que leur raisonnement laisse transparaitre un problème dans leur apprentissage. S'ils savent résoudre des problèmes algorithmiques habituels, les étudiants ont parfois un système explicatif teinté de ce que les didacticiens nomment les *conceptions alternatives*.

### 1. LES CONCEPTIONS ALTERNATIVES : UN CONCEPT DE DIDACTIQUE

Les conceptions alternatives comme obstacles à l'apprentissage en sciences sont étudiées depuis plus de 30 ans (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). On entend par *conceptions* les représentations internes des élèves à propos d'un concept, généralement en sciences (Treagust & Duit, 2008). Une conception est *alternative* quand elle constitue une connaissance propositionnelle ou conceptuelle différente de la définition scientifiquement acceptée d'un concept, ou incompatible avec elle (Nicoll, 2001). Certains auteurs les nomment les « conceptions erronées » ou les « préconceptions ». Toutefois, comme discuté par Wandersee, Mintzes & Novak (1994) dans une revue de la recherche sur les conceptions alternatives en sciences, le terme « conception erronée », soit *misconception* en anglais, même s'il était très vastement répandu dans les décennies précédentes, est de moins en moins favorisé par les chercheurs, étant donné sa connotation négative. D'impliquer que la conception d'un étudiant est erronée revient à mettre le fardeau de l'erreur sur lui, alors que les sources des conceptions peuvent être variées. De plus, les conceptions alternatives sont différentes des erreurs, en ceci que les erreurs sont plus facilement observables (erreur dans une question d'examen, erreur de calcul), tandis que les conceptions alternatives concernent les modèles mentaux, les représentations intimes que les étudiants se construisent, ou même se reconstruisent, à partir de ce qu'ils apprennent à l'école, de leur contact avec les phénomènes de la nature, ou même de leur rapport aux idées pseudo-scientifiques véhiculées dans la culture populaire.

Le paradigme constructiviste de l'apprentissage suppose que «les connaissances antérieures constituent la base à laquelle recourent les élèves dans le processus de construction de nouvelles connaissances» (Tardif, 1997, p. 17). Dans cette perspective, les conceptions alternatives peuvent avoir un impact négatif sur l'apprentissage puisque les connaissances antérieures sur lesquelles l'apprenant s'appuie sont teintées d'idées qui ne sont pas en accord avec la théorie scientifique (Ausubel, 1968; Driver & Easley, 1978). Ainsi, l'enseignement des sciences devrait viser la remédiation des conceptions alternatives pour permettre un apprentissage réussi. En effet, s'il y a présence de conceptions alternatives dans le système cognitif d'un étudiant, les nouveaux apprentissages qu'il fera seront en péril et l'étudiant risquera de retourner à ses anciennes conceptions, plus familières et déjà «appries», même si pas nécessairement comprises. Puisque la nature de la science consiste, d'une part, à expliquer les phénomènes et, d'autre part, à prédire des comportements (de la matière, par exemple), un étudiant qui utiliserait ses conceptions alternatives pour faire des prédictions erronées ne pourrait pas être considéré comme ayant réussi un apprentissage scientifique.

Les conceptions alternatives sont difficiles à résoudre pour un enseignant: ces conceptions sont réputées envahissantes, stables et résistantes au changement (Osborne & Cosgrove, 1983) parce que d'un côté, l'enseignement traditionnel ne les cible pas et d'un autre côté, elles forment souvent un système explicatif fonctionnel auquel l'étudiant se réfère (Astolfi, 2008, p. 147). De plus, certaines conceptions alternatives peuvent être valides dans les contextes où elles sont exprimées. Si un étudiant veut représenter une structure de Lewis d'un atome, le modèle planétaire est amplement suffisant pour qu'il puisse réussir sa tâche. Toutefois, pour apprendre d'autres notions de sciences, un modèle mental d'électrons qui tournent sera incompatible avec, par exemple, la liaison chimique. La remédiation aux conceptions alternatives constitue en elle-même un champ de recherche complet en didactique, qu'on appelle le changement conceptuel. Pour réussir le changement conceptuel, les étudiants ne devront pas seulement apprendre de nouvelles théories scientifiques: ils devront aussi réorganiser leurs modèles mentaux (Astolfi, 2008).

Mais avant même de tenter le changement conceptuel, les conceptions alternatives des étudiants doivent être identifiées chez les étudiants. Leur identification oblige donc le chercheur à déployer des techniques particulières pour les diagnostiquer. Ce n'est pas dans l'activité régulière de la classe que les conceptions alternatives ont le plus de chances d'être exprimées. Souvent, elles constituent un obstacle invisible à l'apprentissage ultérieur, parce que l'étudiant essaie de réconcilier la nouvelle matière avec des idées qui ne sont pas conformes à celles de la science (Astolfi, 2008).

## 2. L'ORIGINE DES CONCEPTIONS ALTERNATIVES: DES SOURCES VARIÉES

Les conceptions alternatives peuvent provenir d'une grande variété de sources (Wandersee et collab., 1994). Une des plus vastement documentées est l'observation naïve du monde qui nous entoure. Par exemple, un enfant qui verrait deux papillons de taille différente mais de couleurs et de motifs semblables pourrait croire que le petit papillon est le bébé du gros papillon. Le raisonnement semble logique et transpose aux insectes ce qu'on observe chez les mammifères. Toutefois, dès le moment où les papillons sortent de leur chrysalide, ils ont leur taille définitive. Deux papillons de taille différente sont des espèces différentes.

Une autre source de conceptions alternatives est le langage de tous les jours, lorsqu'il emploie des mots qui ont un sens bien explicite en sciences. Par exemple, le concept d'énergie en sciences est univoque et implique notamment le principe de conservation, selon lequel l'énergie d'un système isolé ne change pas. Toutefois, dans le langage de tous les jours, on parle de consommation d'énergie, de gaspillage d'énergie. Ainsi, dans une étude où on demandait à de nombreux participants de

prédire la hauteur à laquelle remonterait une balle sur une rampe courbe sans friction, la moitié des répondants indiquaient que la balle remonterait moins haut que sa hauteur de départ, parce qu'elle aurait perdu de l'énergie (Gunstone & White, 1981).

Dans la même veine que la précédente, une autre source très répandue de conceptions alternatives est la culture populaire—les films, les émissions de télé, et même parfois les émissions d'information. Un exemple frappant est les émissions dans lesquelles les humains cohabitent avec les dinosaures, ce qui a certainement causé des obstacles aux profs de biologie!

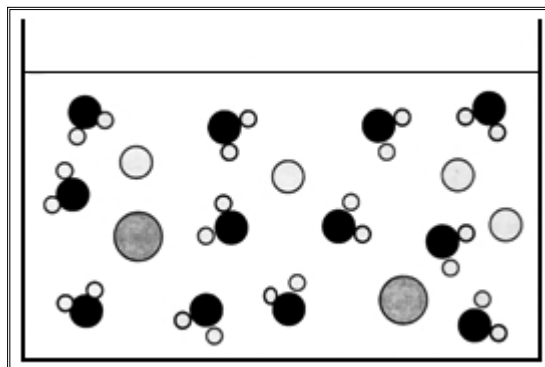
Les anciennes théories aussi peuvent être sources de conceptions alternatives. Par exemple, certaines de ces « conceptions erronées » sont en fait des conceptions qui ont déjà été valides, mais qui ont été remplacées par des théories scientifiques plus modernes; elles ne sont donc pas exactement « erronées » autant que « dépassées ». Par exemple, un étudiant qui imaginerait que les électrons gravitent autour du noyau aurait une conception alternative. Toutefois, cette conception est à la fois basée sur un ancien modèle de l'atome, le modèle planétaire, et probablement qu'elle est due à un enseignement explicite de ce modèle. Il serait malhonnête d'étiqueter cette conception d'erronée, puisqu'elle a effectivement déjà été valide, mais est dépassée.

Enfin, une dernière cause des conceptions alternatives est l'enseignement comme tel. D'abord, certaines analogies utilisées par les enseignants pour permettre aux étudiants de saisir plus facilement un concept peuvent être utilisées incorrectement au-delà de leurs limites d'applicabilité et causer des conceptions alternatives. Un exemple classique concerne l'analogie hydraulique vastement employée comme analogie au circuit électrique, où le débit de l'eau dans un petit tuyau est comparé au courant, où la différence de pression avant et après la pompe est comparée à la différence de potentiel, etc. Cette analogie trouve toutefois sa limite lorsqu'on parle de la différence entre circuits en parallèle et en série. Si on sépare le courant hydraulique, le débit diminuera dans les deux branches. Toutefois, deux ampoules en parallèle brillent avec la même intensité que si une seule ampoule était branchée dans un circuit simple. L'analogie hydraulique, si elle est si bien intégrée par les étudiants, pourrait les pousser à faire un raisonnement incorrect. Bachelard (1938) nommait cette dangereuse puissance d'une analogie la *géométrisation foudroyante*: l'analogie semble si bien fonctionner et être si logique qu'elle est employée dans toutes les situations, même celles où elle ne fonctionne pas.

Une autre cause de conceptions est reliée à l'enseignement: il s'agit des manuels. En effet, certains manuels véhiculent des conceptions alternatives, si ce n'est pas carrément des idées fausses. Par exemple, il a été rapporté (Harrison & Treagust, 2002) que des manuels représentaient une vue grossie et modélisée de l'eau au niveau sous-microscopique en montrant plusieurs molécules d'eau dans un contenant, surmontées d'une ligne censée représenter le niveau de liquide dans le contenant. Cette ligne laissait supposer que les molécules d'eau baignaient dans une *substance* délimitée par cette ligne (voir la figure 1).

FIGURE 1

REPRÉSENTATION SOUS-MICROSCOPIQUE  
D'UN LIQUIDE MONTRANT UNE LIGNE DE SURFACE,  
IMPLIQUANT QUE LES PARTICULES SONT EN FAIT  
EN SUSPENSION DANS UNE AUTRE SUBSTANCE  
(image tirée de Harrison & Treagust, 2002, p. 199).



Enfin, certaines conceptions sont véhiculées par les enseignants directement, par leur façon d'expliquer les concepts, de faire des raccourcis ou par leur utilisation du vocabulaire en classe. Pour limiter notre impact comme cause de conceptions alternatives dans notre enseignement, il est important de prendre conscience, d'une part, que les conceptions alternatives existent bel et bien chez nos étudiants, mais aussi que nous ne sommes pas à l'abri d'avoir nous-mêmes des conceptions alternatives sur les contenus que nous enseignons. Différents moyens existent pour faire le premier pas dans la résolution des conceptions alternatives, ce premier pas étant leur mise en lumière.

### 3. IDENTIFICATION DES CONCEPTIONS: EN PHYSIQUE

L'identification des conceptions alternatives est facilitée par la passation de tests diagnostiques développés spécifiquement pour cette fin, qui ont l'avantage de se corriger rapidement et d'être aisément interprétables par les enseignants. Certains de ces tests ont été développés sur des concepts en physique, dont le plus connu est le *Force Concept Inventory (FCI)* (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes & Halloun, 1995). Ce test, sur des concepts de physique newtonienne, comprend trente questions<sup>1</sup> et a été motivé par l'observation que l'enseignement traditionnel produisait peu de changement conceptuel et que même les étudiants diplômés continuaient à avoir des conceptions alternatives. Cette observation pointait vers la nécessité d'un changement profond de l'enseignement de la physique. Dans ce sens, une manière différente d'enseigner la physique a vu le jour: l'enseignement conceptuel, où l'accent est mis sur les comportements des objets en présence de forces, plutôt que sur la résolution d'exercices algorithmiques avec des équations (voir, par exemple, Hewitt, 2009).

Une vaste étude de plus de six mille participants américains (Hake, 1998), qui a entre autres utilisé le *Force Concept Inventory (FCI)* comme instrument de mesure, a montré que les étudiants qui font l'apprentissage de la physique par un enseignement conceptuel réussissent mieux que les étudiants dans les classes traditionnelles, et ce, autant dans les tests conceptuels comme le FCI que dans les examens traditionnels.

Une taxonomie des conceptions alternatives identifiées par le FCI a été publiée par l'un des auteurs qui ont développé le test et des collaborateurs (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992), à partir de résultats de passation du test à de nombreux étudiants. Ces conceptions sont, par exemple, que seul l'agent actif exerce une force dans une collision, qu'une accélération implique une force qui augmente, que dans un mouvement circulaire, un objet est soumis à une force centrifuge, etc. Il est très intéressant d'interpréter les résultats d'une passation du FCI à l'aide de cette taxonomie, qui précise, pour chaque «mauvaise» réponse du test, quelle conception cette réponse identifie. Ce test devient donc plus pertinent qu'un test diagnostique classique, puisque toutes les mauvaises réponses ont leur étiquette de conception alternative.

D'autres tests ont été développés en physique conceptuelle. Par exemple, le *Brief Electricity and Magnetism Assessment* (Chabay & Sherwood, 1997) ou le *Mechanics Baseline Test*<sup>2</sup> (Hestenes & Wells, 1997). D'autres études se sont penchées sur l'identification de conceptions dans le mouvement circulaire (McCloskey, Caramazza & Green, 1980), dans les pendules (Caramazza, McCloskey & Green, 1981) ou dans le mouvement uniforme et uniformément accéléré (Clement, 1982). Ces études montrent toutes une prévalence surprenante de conceptions alternatives chez les étudiants, même diplômés, soulignant d'autant plus la pertinence d'en tenir compte dans notre enseignement.

1. Pour consulter le *Force Concept Inventory*, voir le site [<http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>].

2. Aussi disponible au [<http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>].

#### 4. IDENTIFICATION DES CONCEPTIONS : EN BIOLOGIE

Les conceptions alternatives répertoriées en biologie l'ont surtout été par des recherches qui mettaient en scène un design expérimental d'entrevue avec les étudiants. Peu sinon aucun test diagnostique équivalant au FCI n'existe en biologie. Toutefois, de nombreuses conceptions alternatives ont été répertoriées, notamment sur la génétique (Cavallo, 1996; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Roseman, Caldwell, Gogos & Kurth, 2006), la biodiversité (Songer, Kelcey, & Gotwals, 2009), la photosynthèse (Barker & Carr, 1989; Haslam & Treagust, 1987; Marmaroti & Galanopoulou, 2006), les microbes (René & Guilbert, 1994; Simonneaux, 2000).

Une étude très intéressante sur la physiologie humaine, en particulier sur les systèmes digestif, circulatoire et excrétoire, a été menée par Clément (1991). Il a demandé à de très nombreux participants, certains étant étudiants de lycée ou d'université, d'autres étant des adultes et même des enseignants de sciences, de faire un schéma de ce qui arrive à un verre d'eau entre le moment où on le boit et le moment où on urine. La majorité des participants – sauf les profs de biologie – démontraient une conception alternative nommée la tuyauterie en continu, soit une connexion directe entre l'intestin et la vessie, excluant complètement le passage dans le sang de l'eau bue, avant qu'elle ne passe par les reins.

Une autre étude, menée dans un cégep québécois (Robitaille, 1997), cherchait à identifier les conceptions alternatives d'étudiants de sciences de la nature et de soins infirmiers sur la circulation sanguine. Les étudiants ont été classés en trois niveaux, selon leur patron de réponses au questionnaire conceptuel qui était l'instrument de cette recherche. En ayant un petit nombre de patrons de répondants, il est possible de concevoir des stratégies pédagogiques destinées spécifiquement aux types d'étudiants à qui on s'adresse et ainsi de parvenir à aborder les conceptions alternatives spécifiquement en classe.

#### 5. IDENTIFICATION DES CONCEPTIONS : EN CHIMIE

Une des grandes difficultés de la chimie concerne les trois niveaux de représentation de la matière et de ses réactions: le niveau macroscopique (ce qu'on voit, ce qu'on mesure), le niveau sous-microscopique (les modèles de la nature corpusculaire de la matière) et le niveau symbolique (les symboles chimiques, les équations réactionnelles) (Johnstone, 1982). Il est reconnu que l'une des plus grandes difficultés conceptuelles de l'apprentissage de la chimie est de faire la transition entre les niveaux de représentation pour parvenir à expliquer correctement des phénomènes (Frailich, Kesner & Hofstein, 2009; Taber, 2001; Wu, Krajcik & Soloway, 2001).

C'est pourquoi de nombreuses conceptions ont été répertoriées sur la nature corpusculaire de la matière, dont les propriétés sont souvent directement « importées » du niveau macroscopique par les étudiants, qui croient alors, par exemple, que les atomes de soufre sont de couleur jaune ou que les atomes de cuivre sont malléables (Ben-Zvi, Eylon & Silberstein, 1986). D'autres conceptions alternatives ont été répertoriées sur plusieurs notions de chimie: les atomes et les molécules (Griffiths & Preston, 1992), la liaison chimique (Peterson, Treagust & Garnett, 1989), l'équilibre chimique (Banerjee, 1991), la stœchiométrie (Schmidt, 1987), etc.

Un test diagnostique en chimie a été développé par Mulford & Robinson (2002), intitulé le *Chemistry Concept Inventory* (pour rappeler le *Force Concept Inventory* en physique). Ce test couvre le contenu de chimie générale en première année universitaire aux États-Unis, ce qui correspond à peu de chose près aux cours de chimie générale et chimie des solutions au cégep. Les résultats d'une passation chez près de 1500 étudiants montrent qu'encore une fois des notions très conceptuelles de chimie

ne sont pas maîtrisées et les étudiants démontrent des conceptions alternatives sur ces sujets. Par exemple, plusieurs étudiants croient que de l'eau qui bout se transforme en oxygène et en hydrogène gazeux, ou alors que le bris de liaisons chimiques libère de l'énergie.

## CONCLUSION

Cette présentation cherchait à présenter le concept de conceptions alternatives et à l'illustrer par des conceptions alternatives répertoriées dans la recherche en éducation. Mais maintenant, sachant que les conceptions alternatives existent, quoi faire pour les résoudre? Le changement conceptuel passe souvent par deux grandes stratégies pédagogiques, soit le conflit cognitif (lorsque les étudiants s'aperçoivent que leur conception ne parvient pas à expliquer un phénomène) et l'approche collaborative (où l'apprentissage se construit à travers la discussion et le travail avec les pairs). Mais chaque plan de leçon, chaque activité et chaque examen devraient être conçus en ayant en tête que les étudiants peuvent avoir des idées qui ne sont pas celles véhiculées par la science. Ces idées, ces conceptions alternatives, constituent des obstacles à l'apprentissage en physique, en biologie et en chimie.

## RÉFÉRENCES

- ASTOLFI, J.-P. *Mots-clés de la didactique des sciences*, 2<sup>e</sup> édition, Bruxelles, De Boeck Université, 2008.
- AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: A Cognitive View*, New York, NY, Holt, Rinehart & Winston, 1968.
- BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 1938.
- BANERJEE, A. C. « Misconceptions of Students and Teachers in Chemical Equilibrium », *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 4, 1991, p. 487-494.
- BARKER, M. and M. CARR. « Teaching and Learning about Photosynthesis. Part 1: An Assessment in Terms of Students' Prior Knowledge », *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 1, 1989, p. 49-56.
- BEN-ZVI, R., B.-S. EYLON AND J. SILBERSTEIN. « Is an Atom of Copper Malleable? » *Journal of Chemical Education*, vol. 63, n° 1, 1986, p. 64-66.
- CARAMAZZA, A., M. MCCLOSKEY and B. GREEN. « Naive Beliefs in 'Sophisticated' Subjects: Misconceptions about Trajectories of Objects », *Cognition*, vol. 9, n° 2, 1981, 117-123.
- CAVALLO, A. « Meaningful Learning, Reasoning Ability, and Atudents' Understanding and Problem Solving of Topics in Genetics », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, n° 6, 1996, p. 625-656.
- CHABAY, R. and B. SHERWOOD. « Qualitative Understanding and Retention », *AAPT Announcer*, vol. 27, n° 96, 1997.
- CLEMENT, J. « Students' Preconceptions in Introductory Mechanics », *American Journal of Physics*, vol. 50, n° 1, 1982, p. 66-71.
- CLÉMENT, P. « Sur la persistance d'une conception: La tuyauterie continue digestion-excrétion », *Aster*, n° 13, 1991, p. 133-155.
- CORMIER, C. and J. VÁZQUEZ-ABAD. *Exploring Alternative Conceptions on Molecular Geometry in Postsecondary Chemistry Education*, Communication présentée à 2011 NARST Annual International Conference, Orlando, FL, 2011.
- DRIVER, R. and J. EASLEY. « Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students », *Studies in Science Education*, n° 5, 1978, p. 61-84.

FRAILICH, M., M. KESNER and A. HOFSTEIN. « Enhancing Students' Understanding of the Concept of Chemical Bonding by Using Activities Provided on an Interactive Website », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 46, n° 3, 2009, p. 289-310.

GRIFFITHS, A. K. and K. R. PRESTON. « Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, n° 6, 1992, p. 611-628.

GUNSTONE, R. F. and R. T. WHITE. « Understanding of Gravity », *Science Education*, vol. 65, n° 3, 1981, p. 291-299.

HAKE, R. R. *Interactive-engagement vs Traditional Methods: A Six-thousand-student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses*, Arlington, VA, National Science Foundation, 1998.

HALLOUN, I. A. and D. HESTENES. « The Initial State of College Physics Students », *American Journal of Physics*, vol. 53, n° 11, 1985, p. 1043-1055.

HARRISON, A. G. and D. F. TREAGUST. « The Particulate Nature of Matter: Challenges in Understanding the Submicroscopic World », in J. K. GILBERT, O. DE JONG, R. JUSTI and D. F. TREAGUST (Dir.), *Chemical Education: Towards a Research-based Practice*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2002, p. 189-212.

HASLAM, F. and D. F. TREAGUST. « Diagnosing Secondary Students' Misconceptions of Photosynthesis and Respiration in Plants Using a Two-tier Multiple-choice Instrument », *Journal of Biological Education*, vol. 21, n° 3, 1987, p. 203-211.

HESTENES, D. and I. A. HALLOUN. « Interpreting the Force Concept Inventory », *The Physics Teacher*, n° 33, 1995, p. 502-506.

HESTENES, D. and M. WELLS. « A Mechanics Baseline Test », *The Physics Teacher*, vol. 30, n° 3, 1997, p. 159-166.

HESTENES, D., M. WELLS and G. SWACKHAMER. « Force Concept Inventory », *The Physics Teacher*, n° 30, 1992, p. 141-158.

HEWITT, P. G. *Conceptual physics*, 11<sup>e</sup> édition, Addison Wesley, 2009.

JOHNSTONE, A. H. « Macro- and Microchemistry », *School Science Review*, n° 64, 1982, p. 377-379.

LEWIS, J. and C. WOOD-ROBINSON. « Genes, Chromosomes, Cell Division and Inheritance - Do Students See any Relationship? » *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 2, 2000, p. 177-196.

MARMAROTI, P. and D. GALANOPOULOU. « Pupils' Understanding of Photosynthesis: A Questionnaire for the Simultaneous Assessment of all Aspects », *International Journal of Science Education*, vol. 28, n° 4, 2006, p. 383-403.

MCCLOSKEY, M., A. CARAMAZZA and B. GREEN. « Curvilinear Motion in the Absence of External Forces: Naive Beliefs about the Motion of Objects », *Science*, vol. 210, n° 4474, 1980, p. 1139-1141.

MULFORD, D. R. and W. R. ROBINSON. « An Inventory for Alternate Conceptions among First-semester General Chemistry Students », *Journal of Chemical Education*, vol. 79, n° 6, 2002, p. 739-744.

NICOLL, G. « A Report of Undergraduates' Bonding Misconceptions », *International Journal of Science Education*, vol. 23, n° 7, 2001, p. 707-730.

OSBORNE, R. and M. COSGROVE. « Children's Conceptions of the Changes of State in Water », *Journal of Research in Science Teaching*, n° 20, 1983, p. 825-838.

PETERSON, R. F., D. F. TREAGUST and P. GARNETT. « Development and Application of a Diagnostic Instrument to Evaluate Grade-11 and -12 Students' Concepts of Covalent Bonding and Structure Following a Course of Instruction », *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 26, n° 4, 1989, p. 301-314.

RENÉ, É. et L. GUILBERT. « Les représentations du concept de microbe : Un construit social contournable? » *Didaskalia*, n° 3, 1994, p. 43-60.

ROBITAILLE, J.-M. *Étude exploratoire des conceptions de la circulation sanguine auprès d'élèves de l'ordre collégial*, Université de Montréal, Montréal, 1997.

ROSEMAN, J. E., A. CALDWELL, A. GOGOS and L. KURTH. *Mapping a Coherent Learning Progression for the Molecular Basis of Heredity*, Communication présentée au National Association for Research in Science Teaching Annual Meeting, San Francisco, CA, 2006.

SCHMIDT, H.-J. «Secondary Students' Learning Difficulties in Stoichiometry», in J. D. NOVAK (Dir.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. 1. Ithaca, NY, Cornell University, 1987.

SIMONNEAUX, L. «A Study of Pupils' Conceptions And Reasoning In Connection With 'Microbes', as a Contribution to Research in Biotechnology Education», *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 6, 2000, p. 619-644.

SONGER, N. B., B. KELCEY and A. W. GOTWALS. «How and When Does Complex Reasoning Occur? Empirically Driven Development of a Learning Progression Focused on Complex Reasoning about Biodiversity», *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 46, n° 6, 2009, p. 610-631. (doi:10.1002/tea.20313)

TABER, K. S. «Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research», *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, vol. 2, n° 2, 2001, p. 123-158

TARDIF, J. «La construction des connaissances 1. Les consensus», *Pédagogie collégiale*, vol. 11, n° 2, 1997, p. 14-19.

TREAGUST, D. F. and R. DUIT. «Conceptual Change: A Discussion of Theoretical, Methodological and Practical Challenges for Science Education», *Cultural Studies of Science Education*, n° 3, 2008, p. 297-328.

WANDERSEE, J. H., J. J. MINTZES and J. D. NOVAK. «Research on Alternative Conceptions in Science», in D. GABEL (Dir.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York, NY, Simon & Schuster Macmillan, 1994, p. 177-210.

WU, H.-K., J. S. KRAJCIK and E. SOLOWAY. «Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom», *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 38, n° 7, 2001, p. 821-841.