Les mécanismes cérébraux permettant de réaliser un changement conceptuel sont-ils les mêmes dans tous les domaines scientifiques?

Grâce aux récentes techniques d'imagerie cérébrale, des chercheurs ont découvert que certaines régions du cerveau sont activées en fonction de la notion à apprendre ou de la façon dont cette notion est présentée. En sciences, l'apprentissage de certains concepts de chimie, tels que les changements d'état, solliciterait des zones cérébrales différentes de celles recrutées pour des notions de mécanique en physique. Ces nouvelles informations suggèrent que les processus d'apprentissage sont spécifiques à chaque discipline, et qu'il existerait donc des interventions pédagogiques plus efficaces pour chacune d'entre elles.

Stéphanie Lafortune, Université du Québec à Montréal / **Karine Véronneau**, Commission scolaire des Draveurs / **Steve Masson**, Université du Québec à Montréal

Quel enseignant n'a pas déjà rêvé de posséder une baguette magique pour faire comprendre certains concepts scientifiques à ses élèves? Dans un contexte où les sciences n'ont pas la cote, sont réputées difficiles auprès des jeunes Québécois et où des conceptions erronées d'élèves semblent résister aux efforts d'enseignement et perdurer au-delà de toute leur scolarité (Garnier et al., 2005), certains enseignants peuvent se sentir dépourvus de ressources pour aider leurs élèves ou impuissants devant toute cette résistance.

La neuroéducation, une approche en plein essor, propose certaines pistes de solutions. En effet, le développement de la neuroscience et de techniques d'imagerie cérébrale précises permet aujourd'hui d'approfondir notre compréhension des processus biologiques qui sous-tendent l'apprentissage. Ces nouvelles connaissances peuvent aider les enseignants de sciences à adapter leurs pratiques de manière à faciliter et favoriser l'acquisition de concepts scientifiques réputés difficiles chez les élèves du secondaire.

Au cours des dernières années, les projets de recherche en neurodidactique des sciences, un domaine de recherche de la neurodidactique (et donc de la neuroéducation) qui étudie les mécanismes cérébraux liés à l'apprentissage et à l'enseignement des sciences (Masson, 2007, p. 313), se sont multipliés, motivés par les conclusions des expérimentations précédentes. Certains résultats prometteurs ont d'ailleurs été présentés dans de précédents numéros de *Spectre* (Cyr, Brault Foisy et Masson, 2010; Brault Foisy et Masson, 2010-2011). Récemment, à l'Université de Toronto Scarborough, Kevin N. Dunbar et son équipe de recherche se penchaient sur l'apprentissage de concepts scientifiques reconnus comme étant ardus à cause des idées préalables difficilement modifiables que possèdent les élèves à leur sujet. Quels mécanismes cérébraux ou interventions éducatives, se demandent-ils, permettraient alors de surmonter ces conceptions spontanées afin de réaliser un changement conceptuel?

Apprentissage de la mécanique

Pour répondre à cette question, Dunbar, Fugelsang et Stein (2007) ont voulu comparer, avec l'imagerie par résonnance magnétique fonctionnelle (IRMf), l'activité cérébrale d'experts et de novices en physique. Durant la tâche, les participants visionnaient des vidéos de balles qui tombent dont la vitesse et la grosseur variaient. Les participants devaient déterminer si les vidéos respectaient ou non les lois du mouvement de Newton.

Lorsqu'on leur présente des films newtoniens où les balles tombent à la même vitesse peu importe leur masse, les novices activent leur cortex cingulaire antérieur, une région du cerveau liée à la détection de conflit. De tels résultats suggèrent que le cerveau des novices traite les films newtoniens comme des erreurs. Par contre, lorsqu'on présente à ces mêmes novices des films naïfs où les balles plus lourdes tombent plus rapidement, ils n'activent pas leur cortex cingulaire antérieur, mais plutôt leur cortex frontal médial, une région associée à l'existence de pré-représentations selon l'équipe de Dunbar.

Chez les experts à qui on présente des films scientifiques, on remarque une activation du cortex frontal médial, ce qui semble démontrer que les experts en sciences ont développé une représentation en lien avec cette situation : les balles tombent à la même vitesse, indépendamment de leur masse. Lorsqu'on leur présente des films naïfs, comme on pouvait s'y attendre, les experts activent leur cortex cingulaire antérieur.

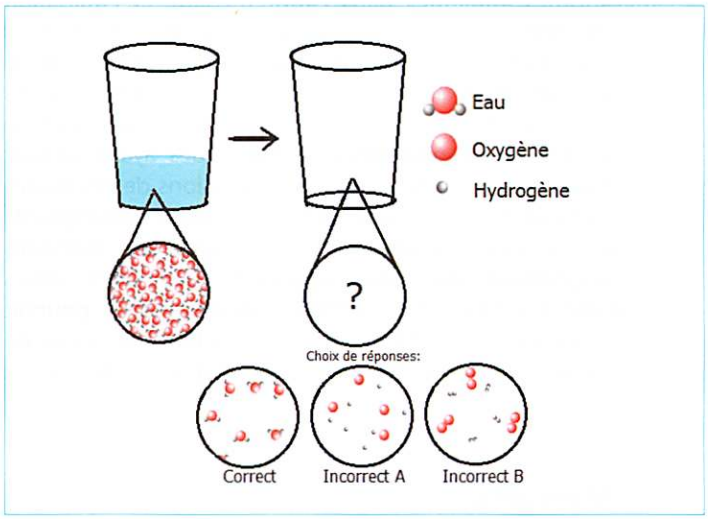
Néanmoins, Dunbar et ses collègues notent qu'étonnamment le cortex frontal médial est aussi sollicité chez les experts confrontés à des films naïfs. L'activation du cortex frontal médial dans les deux situations, films naïfs et newtoniens, suggère, selon Dunbar, que les experts possèderaient deux conceptions et n'auraient donc pas réussi à se débarrasser de leurs conceptions erronées. En effet, plutôt que d'abandonner

ou de restructurer fondamentalement leurs connaissances, ils auraient plutôt appris à inhiber leurs réponses spontanées issues de leurs idées préalables. Bref, selon cette étude, l'expertise en physique, lors de tâches de mécanique serait liée à l'activation du cortex cingulaire antérieur et du cortex frontal médial. En d'autres termes, la capacité à inhiber les fausses conceptions jouerait un rôle clé dans les compétences des élèves en mécanique.

Apprentissage de la chimie

Compte tenu de ces conclusions, Dunbar et son équipe se sont demandés si des résultats semblables pouvaient être obtenus dans d'autres domaines des sciences. Si tel était le cas, cela signifierait qu'il existe une signature neuronale générale du changement conceptuel, applicable dans l'apprentissage de différentes matières. Un patron différent d'activation voudrait dire au contraire que l'expertise dans un domaine ou une tâche est liée à un réseau neuronal qui lui est propre.

Afin de vérifier cette hypothèse, Dunbar a analysé, cette fois en collaboration avec Nelson, Lizcano et Atkin (Nelson et al., 2007), les jugements de novices et d'experts en chimie sur les représentations de molécules avant et après un changement d'état de liquide à gaz. Notons que cette notion est enseignée au Québec dans la majorité des cours d'introduction à la chimie au premier cycle du secondaire. Lors de cette étude, les cerveaux de dix-neuf participants ont été analysés à l'aide de l'IRMf. Parmi eux, neuf participants, considérés comme des novices, n'avaient pas suivi de cours de chimie depuis deux ans ou plus et avaient eu un résultat inférieur à 15 au *Chemistry Concepts Inventory*, tandis que les dix autres, les experts, avaient suivi plus de quatre cours de chimie de niveau collégial et obtenu plus de 15 à ce même test. Sous le *scan*, un schéma des molécules dans un liquide leur était présenté et on leur demandait de choisir entre différentes représentations des molécules après que le liquide ait été chauffé et se soit évaporé.



Tâche demandée aux participants de la recherche portant sur l'apprentissage de la chimie. 1

Les résultats obtenus ont démontré que novices et experts expliquaient les changements d'état de façon très différente : les premiers croient par exemple que les molécules d'eau se brisent pour former des molécules O_2 et H_2, tandis que les experts identifient correctement que c'est l'espace entre les molécules d'eau qui augmente lorsqu'elles sont chauffées.

Toutefois, ce qui nous intéresse davantage, c'est ce qui se passe au niveau cérébral lors de la réalisation de cette tâche. Les résultats du *scan* d'IRMf montrent chez les experts un

niveau d'activité accru du cortex préfrontal gauche, tandis que chez les novices, ce sont les lobes temporal inférieur et occipital qui sont davantage activés, ainsi que le cortex pariétal droit. Selon Dunbar et ses collaborateurs (2007), ces résultats indiqueraient que les novices traitent la tâche en ayant davantage recours aux mécanismes d'attention visuelle et de perception spatiale, tandis que les experts la considèrent davantage comme une tâche sémantique qui implique la mobilisation de connaissances déclaratives, puisque leur cortex préfrontal gauche, associé à la mémoire de travail et la récupération sémantique (Derouesné et Bakchine, 2000), est impliqué.

Les différents résultats obtenus avec les tâches en chimie et en mécanique amènent Nelson et ses collaborateurs (2007) à rejeter l'hypothèse d'une « signature neuronale générale » pour tout type de changement conceptuel. Selon eux, on observerait plutôt un patron du changement différent pour chaque discipline, de sorte que l'expertise dans chaque domaine impliquerait des patrons neuronaux différents, et donc des modes d'apprentissage différents.

Et dans les classes?

En quoi de tels résultats peuvent-ils être intéressants pour l'enseignement des sciences? Les expériences discutées dans cet article suggèrent qu'il y aurait peut-être différents mécanismes impliqués dans l'apprentissage et l'utilisation de concepts scientifiques. Il semble que les compétences dans le domaine de la mécanique dépendraient de la capacité de l'élève à inhiber des fausses conceptions tandis que les compétences en chimie nécessiteraient davantage la mobilisation de connaissances sémantiques ayant rapport aux molécules. Dans le cas où les conclusions de ces études se révéleraient exactes, cela signifierait que les enseignants auraient avantage à utiliser en mécanique des méthodes d'enseignement qui développeraient chez leurs élèves l'habilité à inhiber. Par exemple, un enseignant pourrait aider ses élèves à inhiber leurs conceptions erronées en préconisant un enseignement par inhibition (Houdé et al., 2001) consistant à identifier les réponses spontanées qui sont des pièges et à utiliser des avertissements émotifs du type « Faites attention! Votre cerveau a une tendance à répondre incorrectement à ce type de questions... ». Quant à l'enseignement de la chimie, d'après les résultats de la recherche de Nelson et de ses collaborateurs (2007), il semble que les mécanismes cérébraux d'inhibition ne soient pas impliqués dans l'apprentissage des concepts scientifiques liés aux changements d'état. Un enseignement par inhibition n'est donc probablement pas la meilleure approche pour enseigner la chimie; un enseignement visant à développer chez l'élève un modèle moléculaire des processus de changement d'état est sans doute préférable.

Conclusion

À la lumière de ces recherches menées par le laboratoire Dunbar, il nous faut donc avouer que la réputation qu'a la science d'être difficile à apprendre est réellement fondée sur des réalités cognitives et neuronales. Néanmoins, ce n'est pas une raison pour que les enseignants de sciences baissent les bras. Au contraire, en tenant compte des plus récentes découvertes en neuroéducation, les enseignants ont désormais des pistes de solutions possibles (par exemple, l'enseignement par inhibition) pour guider leurs élèves dans la façon dont ils mobilisent leur cerveau pour permettre les apprentissages.

Malheureusement, la recherche en neurodidactique des sciences est encore trop récente pour nous offrir cette fameuse baguette magique, mais les chercheurs utilisent actuellement les techniques d'imagerie cérébrale les plus appropriées afin de mieux comprendre en quoi les processus cognitifs d'apprentissage des élèves diffèrent d'une discipline scientifique à une autre. À long terme, cela permettra peut-être de découvrir de nouveaux modèles d'enseignement pouvant être utilisés pour surmonter les difficultés que rencontrent les élèves avec certains concepts scientifiques et, qui sait, de ralentir la désaffection des jeunes Québécois pour cette discipline.

Références

Brault Foisy. L.-M. et Masson, S. (2010-2011). Apprendre les sciences, c'est apprendre à inhiber ses conceptions antérieures?, *Spectre*, 40, p. 30-32.

Cyr, G., Brault Foisy, L.-M. et Masson, S. (2010). Comment le cerveau réagit-il à un conflit cognitif?, *Spectre*, 39, p. 22-24

Derouesné, C. & Bakchine, S. (n.d.). *Syndrome frontal*. Récupéré le 1er août 2010. Dans Encyclopédie médico-chirurgicale. : http://psychologie-m-fouchey.psyblogs.net/public/fichiers%20joints/d%C3%A9mence/Syndrome_frontal.pdf

Dunbar, K. N., Fugelsang, J. A., & Stein, C. (2007). Do naïve theories ever go away? Using brain and behavior to understand changes in concepts. Dans M. C. Lovett & P. Shah (Eds.), *Thinking with Data: 33rd Carnegie Symposium on Cognition*, Mahwah, NJ, Erlbaum, p. 193-206.

Garnier, C., Gauthier, D., Marinacci, L. (2005). Les représentations sociales de l'enseignement et de l'apprentissage de la science et de la technologie d'élèves et d'enseignants du secondaire. *Journal International sur les Représentations Sociales*, vol. 2, no. 1

Houdé, O., Zago, L., Crivello, F., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., et al. (2001). Access to deductive logic depends on a right ventromedial prefrontal area devoted to emotion and feeling: Evidence from a Training Paradigm. *NeuroImage*, 14, p.1486-1492.

Nelson, J. K., Lizcano, R. A., Atkins, L., & Dunbar, K. (17 novembre 2007). Conceptuel judgments of expert vs. novice chemistry students: an fRMI study. Paper presented at the 48th *Annual meeting of the Psychonomic Society*, Hyatt Regency Hotel Long Beach, California.

Masson, S. (2007). Enseigner les sciences en s'appuyant sur la neurodidactique des sciences. Dans P. Potvin, M. Riopel et S. Masson (dir.), *Enseigner les sciences: regards multiples*, Québec, Éditions MultiMondes, p. 308-321.