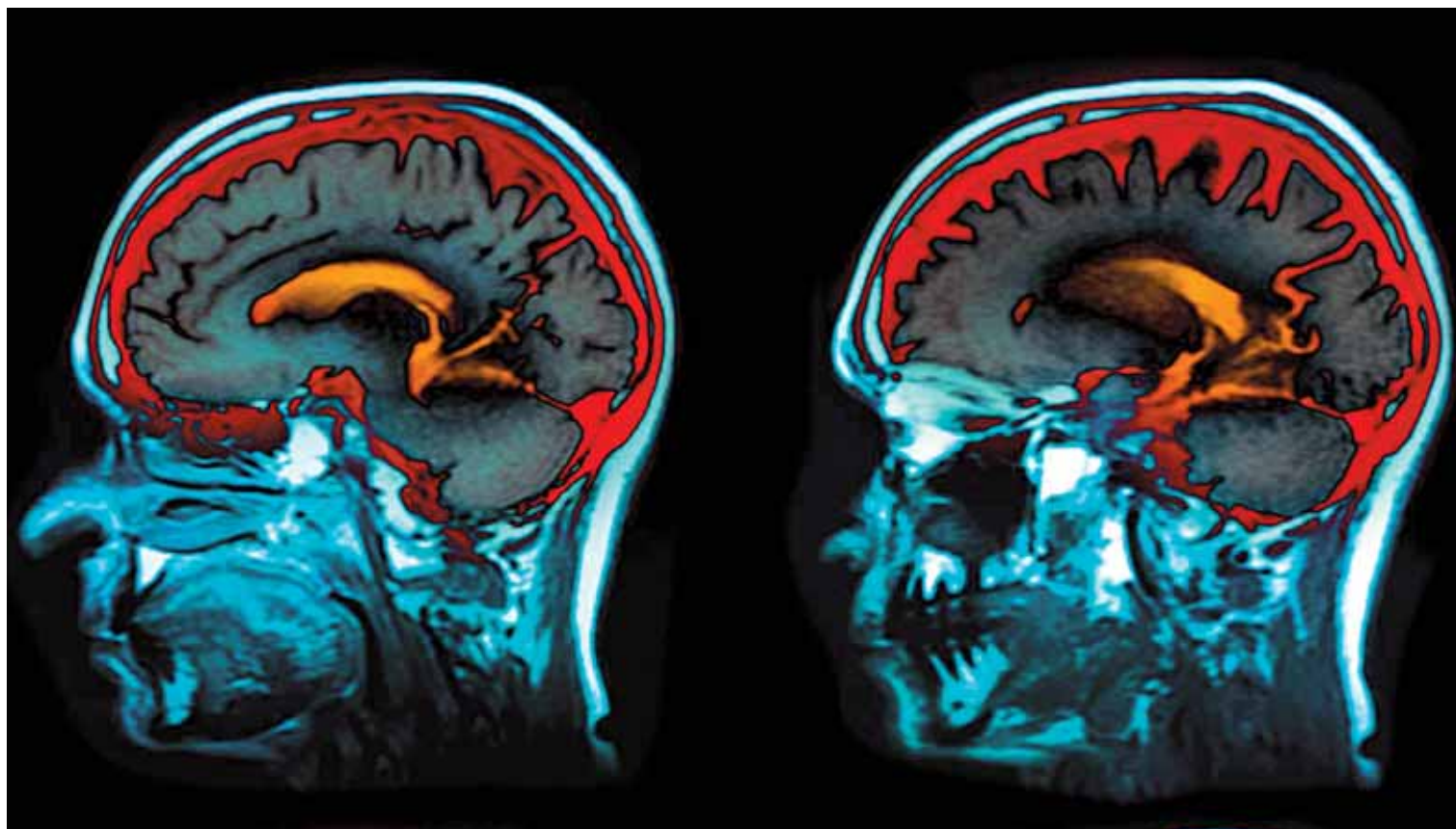


# SCIENCES

## Comment le cerveau apprend-il?



ARCHIVES LE DEVOIR

La neuroéducation vise à savoir ce qui se passe dans le cerveau, à l'aide des techniques d'imagerie cérébrale, lors de l'apprentissage.

Pourquoi certains concepts de physique sont-ils si difficiles à assimiler? Comment pourrait-on améliorer l'enseignement des sciences, des mathématiques, voire de la lecture? La neuroéducation, une nouvelle discipline en plein essor, permet de répondre à ces questions en regardant comment travaille le cerveau des experts.

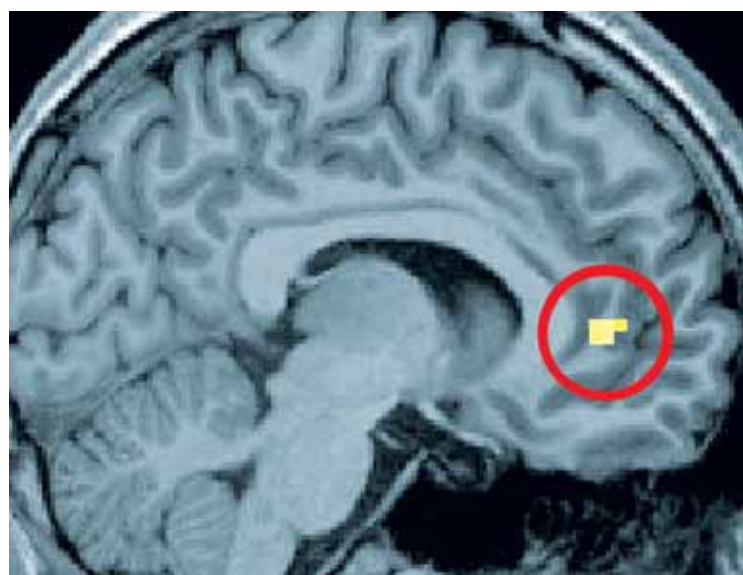
PAULINE GRAVEL

**N**ombreux sont ceux qui demeurent persuadés que tous les objets en mouvement finissent par s'arrêter, et que les objets lourds tombent plus rapidement que les objets plus légers dans un monde sans friction. Ces conceptions émanant pour la plupart de la physique aristotélicienne demeurent longtemps ancrées dans les esprits des étudiants. La neuroéducation nous montre que ceux-ci devront apprendre à les inhiber pour pouvoir intégrer les lois de la mécanique de Newton.

«Aristote avait énoncé un certain nombre de lois de la nature qui plaisent bien à notre sens commun, à notre expérience du monde, mais qui sont fausses, dont la plus classique est celle affirmant qu'un objet plus lourd tombera plus vite qu'un objet plus léger», fait remarquer Martin Riopel, professeur-chercheur au Département d'éducation et de pédagogie de l'Université du Québec à Montréal. «Des recherches récentes ont montré que, lorsqu'on apprend, on se bute à des obstacles que sont nos propres conceptions, qui souvent ne sont pas en accord avec les concepts scientifiques. Qui plus est, nous avons tendance à rester accrochés à nos conceptions. Même quand un enseignant nous explique le concept, quand on nous repose la question un peu plus tard ou dans un autre contexte, nous aurons tendance à revenir à notre conception initiale, qui est bien ancrée en nous.»

La neuroéducation, qui vise à savoir ce qui se passe dans le cerveau, à l'aide des techniques d'imagerie cérébrale, lors de l'apprentissage, a permis de mieux comprendre ce phénomène et d'imaginer des pistes d'intervention qui favorisent davantage l'apprentissage.

C'est ainsi que l'un des pionniers de la neuroéducation, la psychologue Kevin Dunbar de l'Université de Toronto, a présenté à des étudiants deux courts films mettant en scène deux balles de tailles différentes: dans le premier film, les balles tombaient à une vitesse identique — comme l'avait expérimenté Galilée en laissant tomber des boulets de canon de grosseurs différentes du sommet de la tour de Pise; dans le second film, elles tombaient à des vitesses différentes, la plus grosse atteignant le sol en premier. L'équipe de M. Dunbar a enregistré l'activité du cerveau des étudiants à l'aide



UNITÉ DE NEUROIMAGERIE FONCTIONNELLE (UNF) DU CENTRE DE RECHERCHE DE L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE GÉRIATRIE DE MONTRÉAL (CRIUGM) Le cortex cingulaire antérieur (CCA), ici représenté par le rectangle jaune dans le cercle rouge, est un collier de tissu nerveux situé dans le centre du cerveau.

d'un appareil de résonance magnétique fonctionnelle, tandis que ceux-ci visionnaient les films et devaient déterminer laquelle des deux séquences respectait la loi de la gravitation de Newton, selon laquelle la vitesse de chute de corps de masses différentes est identique. Comme prévu, la plupart des étudiants qui n'avaient reçu qu'une formation minimale en physique au secondaire ont trouvé irréaliste la séquence où les deux balles tombent à la même vitesse et ont opté pour celle où la grosse balle était plus rapide que la petite.

Le visionnement du film newtonien qui leur apparaissait aberrant a induit chez eux l'activation du cortex cingulaire antérieur (CCA), un collier de tissu nerveux situé dans le centre du cerveau qui s'active lorsque nous détectons une anomalie, une erreur, ou lorsque nous sommes confrontés à une information qui contredit nos propres théories.

Étrangement, les quelques novices en physique qui avaient identifié correctement la séquence en accord avec la loi de Newton présentaient également une activation du CCA. «Cette activation nous indique que, même si ces étudiants ont donné la bonne réponse, ils n'y croient pas vraiment», explique Kevin Dunbar. L'activation du CCA signifie probablement que leur cerveau n'a pas complètement intégré et compris cette notion. Ces étudiants n'avaient pas «réalisé le changement conceptuel» qu'ont effectué les experts.

Chez les experts, qui avaient réussi au moins cinq cours de physique de niveau universitaire, c'est la projection du film présentant la version erronée de la réalité qui a induit dans leur cerveau l'acti-

vation du CCA. Cette séquence a également provoqué l'activation du cortex préfrontal dorsolatéral, qui joue un rôle dans la suppression des représentations non désirées. «L'activation simultanée de ces deux régions cérébrales est un signe que la personne est en train d'inhiber l'information», explique M. Dunbar.

Dans le cadre de son doctorat à l'UQAM, Steve Masson a répété sensiblement la même expérience que le professeur Dunbar, à la différence près qu'il présentait aux étudiants, experts et novices, des représentations de circuits électriques composés de fils, de deux ampoules et d'une pile. Le jeune chercheur et ses superviseurs, Martin Riopel et Patrice Potvin, ont obtenu des résultats comparables à ceux de Dunbar. Le CCA, le cortex préfrontal dorsolatéral et le cortex frontal médian des experts se sont activés lorsque ceux-ci étaient mis en présence du circuit électrique associé à la conception naïve, selon laquelle un seul fil reliant la pile à l'ampoule suffit pour que cette dernière s'allume. Ce patron d'activation cérébrale, typique d'une inhibition, «veut probablement dire que subsiste encore dans le cerveau des experts la trace de leurs conceptions initiales. Suite à leur éducation scientifique, ils n'ont pas reconfiguré les réseaux neuronaux associés à ces conceptions erronées, le cerveau ne les a pas effacés, contrairement à ce qu'on pourrait croire; par contre, ils arrivent à les inhiber, explique Steve Masson. Ces résultats nous montrent aussi que, lorsqu'ils sont placés devant des situations en accord avec les concepts scientifiques, les experts n'ont pas besoin de faire un effort aussi

important d'inhibition parce qu'ils ont développé de nouvelles conceptions à la suite de leur formation scientifique. Mais lorsqu'on les met en présence de situations qui sont erronées mais conformes au sens commun, ils semblent devoir faire un effort cérébral particulier pour surmonter un réflexe qui les pousse à voir cette situation comme exacte alors qu'elle ne l'est pas.»

«L'inhibition joue donc un rôle très important dans l'apprentissage», souligne le jeune chercheur. C'est ce que soutient aussi le psychologue Olivier Houdé, du Groupe d'imagerie neurofonctionnelle du développement à l'Université Paris-Descartes. Ce chercheur a montré qu'un entraînement lié à l'inhibition améliorait les performances aux tâches de logique. Les personnes entraînées arrivaient désormais à inhiber leur tendance à tenir compte des éléments «pièges» présents dans l'énoncé du problème. Pour preuve: le cerveau des personnes entraînées sollicitait davantage les régions associées à l'inhibition (CCA, le cortex préfrontal dorsolatéral et cortex frontal médian). Selon Olivier Houdé, qui est souvent considéré comme le successeur de Piaget, l'inhibition serait le moteur du développement humain.

«En éducation, on croyait que, lorsqu'on apprend, on oublie ce qu'on pensait précé-

demment et on remplace le tout par la bonne réponse. Eh bien, non! Nos conceptions demeurent présentes, et on a simplement appris à composer avec elles. Cette découverte remet en question notre façon d'enseigner. Il faudrait intervenir directement sur ces conceptions que partagent nombre d'étudiants, et ce, non pas en essayant de les éliminer, mais en démontrant qu'elles sont erronées. On doit s'intéresser à la dynamique d'inhibition et chercher des activités qui permettraient d'apprendre efficacement et rapidement à inhiber ces conceptions», suggère Martin Riopel. Par exemple, on pourrait présenter des situations où l'élève se rendra compte par lui-même que sa conception est erronée. «Il essaiera d'utiliser sa conception et verra qu'elle n'est pas adéquate. Il ressentira alors le besoin de passer à autre chose, et d'aller chercher une conception plus efficace. Il aura ainsi une motivation plus profonde que si on lui avait imposé une conception. La nouvelle conception sera intériorisée parce qu'elle viendra d'une expérience de conflit.»

«Au lieu de s'attaquer aux conceptions erronées des élèves, les enseignants visent plutôt leurs capacités. Or, c'est une erreur fondamentale. Ça n'entraîne pas

les gens à tolérer le conflit cognitif. Je pense que, dans les écoles, il faudrait cultiver l'erreur. On devrait se régaler des erreurs et voir ce qu'elles cachent. Or, ce n'est pas ce que l'on fait actuellement. On corrige avec le crayon rouge, on remet la copie à l'élève, et ça s'arrête souvent là», poursuit Patrice Potvin, professeur-chercheur en didactique des sciences au Département d'éducation et de pédagogie de l'UQAM.

«Un bon enseignant aura le réflexe de déclencher des conflits cognitifs chez ses élèves. Il les mettra en situation de voir les erreurs qu'ils font. S'il ne fait pas cela, les élèves pourront très bien ne jamais éprouver de conflit et ne jamais changer leur façon de voir les choses. Les étudiants doivent apprendre à se méfier de leur première réaction. S'ils ne sont pas entraînés à l'inhibition, ils continueront de succomber à leurs conceptions initiales, car, apparemment, elles demeureront toujours dans leur tête.»

Les étudiants trouvent souvent difficile l'apprentissage des sciences parce que les concepts scientifiques sont souvent «présentés d'une manière abstraite et isolée du contexte pratique. Les étudiants réussissent néanmoins à les apprendre pour un moment, mais leur connaissance demeure fragile. Ils peuvent donner la bonne réponse dans certaines circonstances et une réponse incorrecte dans d'autres. Par contre, si on présente les mêmes concepts dans différents contextes, les étudiants commenceront à comprendre les principes sous-jacents. Et l'apprentissage sera plus solide et durable», fait remarquer Kevin Dunbar, qui a observé que des régions complètement différentes du cerveau s'activaient lorsqu'on changeait le contexte sous lequel on présentait un concept scientifique.

«Des recherches récentes ont montré que, lorsqu'on apprend, on se bute à des obstacles que sont nos propres conceptions, qui souvent ne sont pas en accord avec les concepts scientifiques»

Apprentissage de la lecture Les recherches en neuroéducation ont également démontré qu'il est préférable de privilégier l'approche syllabique plutôt que globale dans l'apprentissage de la lecture. L'approche globale consiste à focaliser l'attention de l'enfant sur l'image globale des mots, au dessin qu'ils forment. Les enfants apprennent à associer l'image à une signification, alors que par l'approche syllabique, ils apprennent à décortiquer les mots en éléments constitutifs qu'ils associent à des phonèmes. Et ces phonèmes forment des mots qu'ils ont l'habitude d'entendre et auxquels ils rattachent un sens.

«Au Québec, la plupart des écoles utilisent une approche mixte. Or les résultats de la recherche montrent que l'approche globale est à rejeter, car elle ne

correspond pas du tout à la façon dont le cerveau fonctionne», résume Steve Masson. Ces résultats ont été obtenus après avoir demandé à deux groupes de participants d'apprendre à lire — selon l'approche syllabique ou globale — un nouveau système d'écriture inventé par les expérimentateurs. Les membres du groupe qui avaient appris à lire selon l'approche globale activaient les deux hémisphères du cerveau, voire un peu plus l'hémisphère droit. Par contre, les individus qui avaient utilisé l'approche syllabique activaient principalement l'hémisphère gauche, qui est habituellement associé à l'expertise en lecture. Chez les très bons lecteurs, les mots sont d'abord perçus par le cortex visuel occipital avant d'être traités par le centre de la parole (aire de Broca) situé dans l'hémisphère gauche au niveau du cortex temporo-pariétal. «L'expertise en lecture est clairement associée à une latéralisation à gauche de l'activité cérébrale», souligne Steve Masson.

La neuroéducation a aussi permis d'éprouver des techniques d'intervention auprès d'enfants dyslexiques, lesquels présentent une moindre latéralisation et activation du cortex temporo-pariétal de l'hémisphère gauche. Il s'est avéré que l'intervention qui met l'accent sur la conscience phonologique — des phonèmes à l'intérieur d'un mot — améliorerait grandement la performance en lecture et normalisait aussi l'activité cérébrale. «Cet exemple nous montre comment la neuroéducation peut nous aider à résoudre certains problèmes éducatifs», fait remarquer Steve Masson.

Apprentissage des mathématiques

Des recherches en neuroéducation ont également montré que la connaissance des tables arithmétiques (addition, soustraction, multiplication et division) joue un rôle important dans l'acquisition de l'expertise en mathématiques. Lorsqu'on a mesuré l'activité cérébrale de plusieurs étudiants présentant divers degrés de compétence en mathématiques, il est apparu que plus les individus excellaient en mathématiques, plus le gyrus angulaire gauche, une région liée à la récupération de faits arithmétiques, s'activait. «Quand on mémorise  $4 \times 8 = 32$ , ce n'est plus un calcul que l'on fait, c'est une information arithmétique en mémoire que l'on récupère. Pour résoudre des problèmes mathématiques, il faut être capable de récupérer en mémoire les résultats des tables facilement pour libérer notre cerveau d'une surcharge cognitive, qui nous ferait perdre de vue l'objectif du problème qui est posé», explique Steve Masson.

En se fondant sur des résultats objectifs, la neuroéducation devrait faire progresser grandement nos approches éducatives dans toutes les disciplines.