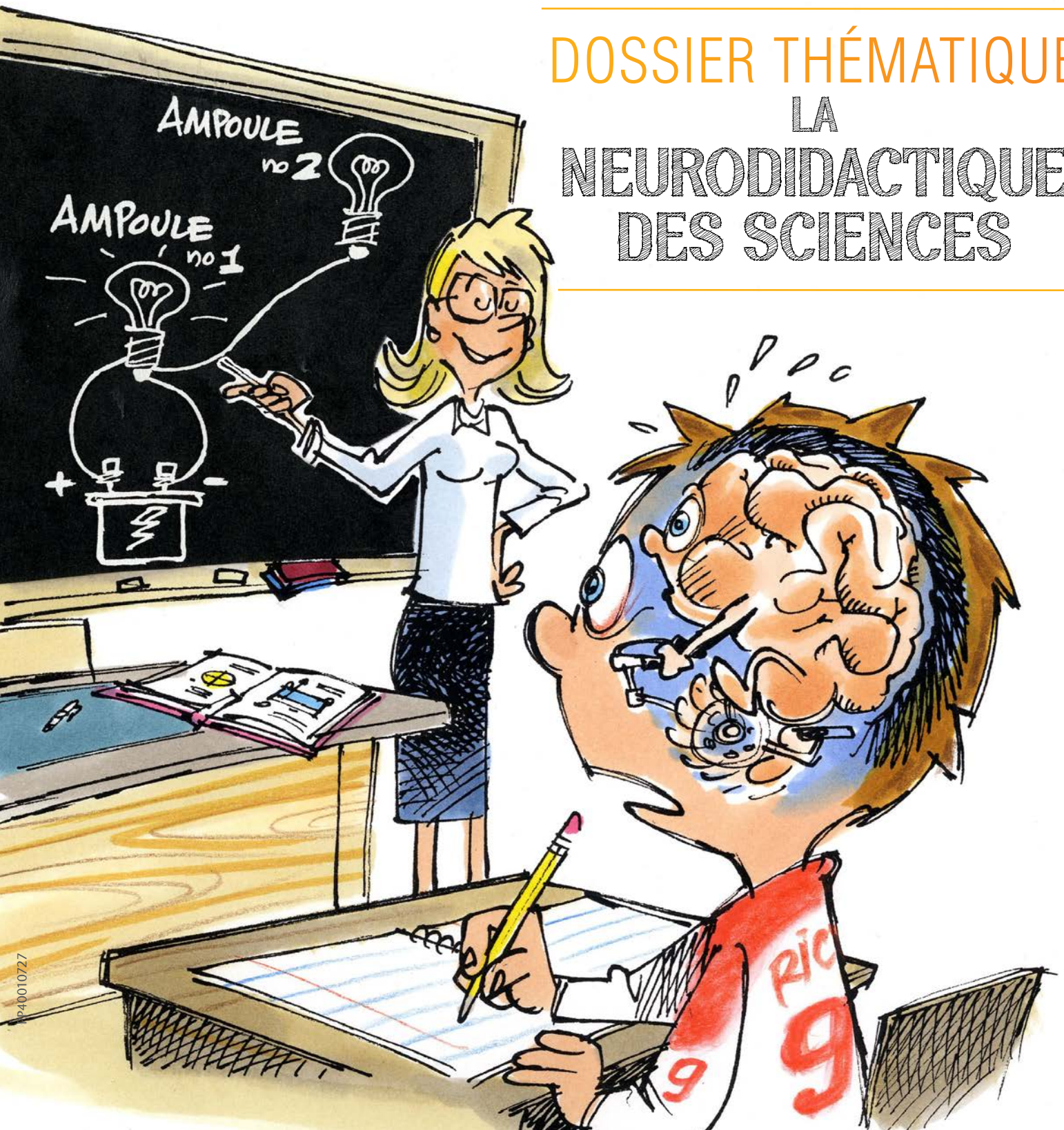


---

## DOSSIER THÉMATIQUE LA NEURODIDACTIQUE DES SCIENCES

---





La force d'être ensemble  
c'est l'avantage de faire  
partie d'un groupe



Combinez  
vos assurances  
automobile et  
habitation...  
et bénéficiez  
d'économies  
substantielles

Profitez du programme  
d'assurance groupe de l'AESTQ  
pour votre auto et votre habi-  
tation, il vous **donne droit**  
**à des protections et des**  
**avantages additionnels.**

Pour en savoir davantage, communiquez avec  
Jocelyne Proulx au poste 342 ou par courriel : [groupe@mp2b.ca](mailto:groupe@mp2b.ca)

ASSURANCE GROUPE | AUTO ET HABITATION

T : 450 668.5555 ■ [www.mp2b.ca](http://www.mp2b.ca)

Fournisseur autorisé de



# EXPO SCIENCES

Hydro-Québec



C'est en TOI.  
Prouve-le!

## 13 FINALES RÉGIONALES 1 FINALE QUÉBÉCOISE

PARTOUT AU QUÉBEC DE MARS À MAI 2013

Des événements du



Partenaire présentateur



SUIVEZ-NOUS SUR



EXPOSCIENCES.QC.CA



Top modèles  
pour ados!  
STIMULE L'INTÉRÊT ET LA CURIOSITÉ EN SBT

## Découvrez les métiers de demain en science et technologie

« Top modèles pour ados! » offre gratuitement aux élèves du 1<sup>er</sup> cycle du secondaire, la chance d'échanger en classe avec différents profils de professionnels de l'environnement, de la santé, du jeu vidéo, des cosmétiques et du sport !

[www.credemontreal.qc.ca/top](http://www.credemontreal.qc.ca/top)

CONTACT : LOUISE LEGAULT  
514-842-2400 POSTE 2221  
LLEGAULT@  
CREDEMONTREAL.QC.CA

Une initiative de



Partenaire financier



Collaborateurs

HYDRO-QUÉBEC  
CHUM  
UBISOFT

# Sommaire

Spectre / volume 42 / numéro 2 /  
novembre 2012

Mot du président .....	5
Mot du comité de rédaction .....	7
Comité de rédaction .....	8
<b>Dossier thématique</b>	
Mot des coordonnateurs .....	10
Présentation des coordonnateurs .....	11
Les mécanismes cérébraux permettant de réaliser un changement conceptuel sont-ils les mêmes dans tous les domaines scientifiques? .....	12
Les conceptions erronées des élèves en électricité ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau .....	15
Faut-il apprendre à inhiber ses préconceptions pour apprendre la physique mécanique? .....	18
L'incertitude comme nouvelle piste pour favoriser le changement conceptuel lors de l'apprentissage de notions scientifiques .....	22
De nouvelles méthodologies de recherche pour mesurer l'engagement cognitif d'apprenants en science et technologie .....	26
<b>Réflexion</b>	
Qui a peur de la théorie de l'évolution? .....	30

#### Tarif d'abonnement (taxes incluses) :

Abonnement individuel : 35 \$  
Abonnement institutionnel : 75 \$

#### Adhésion à l'AESTQ (abonnement et taxes inclus) :

Membre régulier : 65 \$  
Membre étudiant ou retraité : 35 \$

# Spectre



**aestq** Association pour  
l'enseignement de  
la science et de la  
technologie au Québec

Revue publiée par l'Association pour  
l'enseignement de la science et de la technologie  
au Québec (AESTQ)

9601, rue Colbert  
Anjou, Québec H1J 1Z9  
Téléphone : 514 948-6422  
Télécopieur : 514 948-6423

Éditrice  
**Camille Turcotte**  
camille.turcotte@apsq.org

Rédacteurs en chef  
**Geneviève Allaire-Duquette,**  
**Jean-Philippe Ayotte-Beaudet**

Comité de rédaction  
**Geneviève Allaire-Duquette,**  
**Jean-Philippe Ayotte-Beaudet,**  
**Daniel Lytwynuk, François Thibault,**  
**Huguette Thibeault**

Coordonnateurs du dossier thématique  
**Lorie-Marlène Brault Foisy, Steve Masson,**  
**Stéphanie Lafortune**

Auteurs  
**Lorie-Marlène Brault Foisy, Patrick Charland,**  
**Stéphanie Lafortune, Pierre-Majorique Léger,**  
**Daniel Lytwynuk, Steve Masson, Élane Turmel,**  
**Karine Véronneau.**

Illustrations  
**Jacques Goldstyn**

Design graphique  
**D communication graphique**

La direction publiera volontiers les articles qui présentent un intérêt réel pour l'ensemble des lectrices et des lecteurs et qui sont conformes à l'orientation de Spectre. La reproduction des articles est autorisée à la condition de mentionner la source. Toute reproduction à des fins commerciales doit être approuvée par la direction. Les opinions émises dans cette revue n'engagent en rien l'AESTQ et sont sous l'unique responsabilité des auteurs et auteures. Les pages publicitaires sont sous l'entière responsabilité des annonceurs.

Dépôt légal : 4<sup>e</sup> trimestre 2012, ISSN 0700-852X

# Mot du président

Depuis plusieurs mois déjà, vous nous lisez concernant la nouvelle mission de l'Association pour l'enseignement de la science et de la technologie au Québec, sa nouvelle identité, son nouveau congrès. Il est maintenant temps de vous présenter son nouveau *Spectre*!

C'est à l'automne 2011, par vos nombreuses réponses à notre sondage sur le mandat et la mission de l'Association, que vous nous avez fait part de vos attentes et de vos besoins. Nous vous avons écouté et entendu, et depuis, toutes nos actions sont inspirées et dirigées par ceux-ci. C'est dans ce même esprit que ce nouveau *Spectre* a été créé.

Tout d'abord, il est primordial pour nous d'impliquer les bénévoles du comité de rédaction de la revue. Ce sont eux qui, par leur travail considérable, ont chapeauté tous ces changements. Par leur ouverture et leur enthousiasme, ils les ont rendus possibles. Nous profitons de l'occasion pour leur transmettre nos plus sincères remerciements pour leur implication, leur rigueur et leur travail exceptionnel. Sans eux, la publication de la revue *Spectre* ne serait plus possible! Apprenez à les connaître en lisant leurs portraits publiés à la page 8 et à mieux comprendre leur travail à la page 7, où ils vous parlent de leur vision de *Spectre* et des motivations derrière tous ces changements.

Mais quels sont tous ces changements?

Depuis ses tout débuts, *Spectre* est principalement destiné aux praticiens et aux praticiennes de l'éducation. Ces mêmes praticiens et praticiennes qui ont parlé via notre sondage. En conséquence, le contenu de la revue sera remanié. Plus directement relié à la pratique enseignante, il devrait mieux répondre à vos attentes et à votre réalité, vous, intervenants et intervenantes en enseignement de la science et de la technologie au Québec.

C'est en ce sens que le comité de rédaction dirigera ses efforts à l'avenir. Ils tendront à sélectionner des articles plus près de la réalité actuelle des praticiens et praticiennes de l'éducation, plus pratiques, plus concrets, plus « collés » à votre quotidien.

Au chapitre des changements importants, il est également à noter la diminution du nombre de parutions annuelles qui passera à 4, ainsi que la révision de la facture visuelle de la revue, modernisée et rajeunie, en continuité avec la nouvelle image de l'Association. Nos lecteurs auront également la possibilité, s'ils le désirent, d'obtenir la revue en version multimédia.

Nous vous invitons donc à redécouvrir VOTRE revue!

Bonne lecture!




Pablo Desfossés, président de l'Association  
 Coordonateur GARAF/Opération PAJE  
 Commission scolaire des Chênes



**PEU IMPORTE VOTRE PROJET**  
auto - maison - rénovations - voyages - épargnes

**Branchée**  
SUR VOS **projets**

Partout au Québec

[www.desjardins.com/caisseeducation](http://www.desjardins.com/caisseeducation)



VOTRE CAISSE A UNE SOLUTION AVANTAGEUSE POUR VOUS, ET CE, À DES TAUX TRÈS COMPÉTITIFS



**Desjardins**  
Caisse de l'Éducation

1 877 442-EDUC

**NOS PORTES SONT OUVERTES!**  
Samedi 17 novembre 2012 – 13 h à 16 h  
Mercredi 30 janvier 2013 – 18 h à 21 h

CAMPUS DE QUÉBEC | CAMPUS DE CHARLESBOURG | ÉCOLES ATELIERS  
**VENEZ DÉCOUVRIR NOS 45 PROFILS DE FORMATION,**  
**DONT**

**TECHNIQUES DE L'INFORMATIQUE**

Pour planifier, implanter, gérer et sécuriser des réseaux informatiques

Taux de placement 100 %

Au TOP 10 des professions dont les perspectives sont les plus favorables au Québec

Bourses Technoscience Limoilou de 3 000 \$

DEC+BAC et DEP+BAC

Offert en Alternance travail-études

**LE CÉGEP EN**

**VILLE**

[CLIMOILOU.QC.CA](http://CLIMOILOU.QC.CA)



**Cégep**  
**Limoilou**



# MOT DU COMITÉ DE RÉDACTION

## Spectre fait peau neuve

Dans la foulée des nombreux changements amorcés à l'AESTQ, le Conseil d'administration nous donnait le mandat, l'hiver dernier, de réfléchir sur l'avenir de Spectre et d'émettre des recommandations sur les changements à apporter tant à la forme qu'au contenu de la revue. Devant la cure de rajeunissement que subissait l'identité visuelle de l'Association, nous avons d'abord résolu de moderniser la présentation de Spectre; vous pouvez admirer ici la nouvelle grille graphique de la revue et vous pourrez bientôt consulter Spectre dans sa version multimédia.

Ensuite, motivés par la mission et la vision renouvelées de l'Association et inspirés par les nombreux commentaires et suggestions formulés par nos lecteurs lors du sondage de l'automne 2011, nous avons revisité nos attentes face aux articles que nous souhaitons publier. Dès le prochain numéro, nous vous proposerons de nouvelles rubriques dont le but est de mettre de l'avant du contenu mieux ancré dans votre réalité professionnelle.

### Rubrique PRATIQUE

Cet espace est réservé aux intervenants qui veulent partager leurs expériences. Au-delà d'un lieu de dépôt de matériel didactique, c'est la rubrique de partage des démarches, des méthodes, des techniques, des stratégies, des moyens, des outils et des astuces qui ont fait leurs preuves. Les intervenants de tous les niveaux peuvent offrir leurs réflexions sur les aspects de leur pratique qui leur ont apporté succès et plaisir.

### Rubrique PROFIL

Cette rubrique est une occasion de présenter une personne marquante ou inspirante dans l'environnement de l'éducation scientifique et technologique, que ce soit par ses pratiques, ses innovations ou son investissement en tant que mentor, collègue, professeur, technicien en travaux pratiques, etc. Elle est en quelque sorte un trésor pédagogique.

### Rubrique RÉFLEXION

Sous cette rubrique se retrouveront les textes où les auteurs commentent les pratiques, questionnent les traditions, mettent à jour les courants, analysent les outils, dissèquent les politiques, cherchent les tendances, applaudissent les réussites, se désolent des reculs, bref, observent le monde de l'éducation scientifique et technologique et y réagissent. Parfois opinions, parfois visions d'acteur de terrain, parfois questionnements d'observateur privilégié, c'est le lieu de l'engagement, de l'auteur et du lecteur.

### Rubrique RECHERCHE

Cette rubrique sera dédiée aux articles de vulgarisation qui présentent des résultats de recherche en enseignement de la science et de la technologie et leurs implications pour la pratique enseignante. Ces textes apporteront un éclairage nouveau sur des questions d'ordre pédagogique et inspireront des pistes de solution ou des questionnements nouveaux.

## À vous de nourrir ces rubriques!

N'hésitez pas à nous soumettre vos textes, vos collègues ont envie de vous lire et de s'inspirer de vos pratiques pédagogiques, de vos réflexions, de vos carrières. Vous avez des choses à dire mais n'êtes pas certain de vos talents de rédacteur? Ne vous arrêtez pas à ce détail et comptez sur les ressources disponibles à la permanence de l'AESTQ pour peaufiner votre texte. Ce qui importe, c'est la qualité du contenu que vous avez à partager. Serez-vous parmi les auteurs du prochain numéro de Spectre?

Le comité de rédaction de la revue Spectre

# COMITÉ DE RÉDACTION

C'est avec plaisir que nous vous présentons les bénévoles qui œuvrent au sein du comité de rédaction de la revue Spectre. Ce comité s'assure de la pertinence et de la qualité des articles soumis, avant leur parution.



GENEVIÈVE  
ALLAIRE-DUQUETTE

## Geneviève Allaire-Duquette

Geneviève complète une maîtrise en éducation à l'Université du Québec à Montréal où elle a aussi réalisé un baccalauréat en enseignement de la science et technologie au secondaire. Elle a enseigné dans plusieurs écoles des régions de Montréal, de l'Outaouais et même au Bénin! En plus de s'impliquer dans le comité de rédaction de Spectre, elle est animatrice scientifique bénévole au sein d'organismes communautaires et elle fait également partie du Conseil d'administration du Fonds du Prix annuel de l'Association pour l'enseignement de la science et de la technologie au Québec.



JEAN-PHILIPPE  
AYOTTE-BEAUDET

## Jean-Philippe Ayotte-Beaudet

Enseignant en science et technologie au secondaire, Jean-Philippe complète un programme court en éducation relative à l'environnement ainsi qu'une maîtrise en éducation à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) dans le cadre de laquelle il s'intéresse à l'éducation relative à l'environnement au secondaire au Bénin. Membre de la Chaire UNESCO de Développement Curriculaire (CUDC), il participe à plusieurs projets, dont un d'appui à l'enseignement supérieur en Afrique de l'Ouest. S'il a choisi le champ de l'éducation scientifique, c'est parce qu'il croit qu'elle représente un puissant levier de développement de la pensée critique. Car outre les fascinantes découvertes que nous réserve la science, elle nous permet de nous élever comme être humain, de mieux comprendre notre Planète et de critiquer les décisions politiques, sociales et écologiques.

## Joignez-vous au comité de rédaction

Le comité de rédaction souhaite s'adjoindre quelques membres afin de partager la lecture et la révision des articles. La majorité du travail s'effectue à distance et le comité se réunit de trois à quatre fois par année.

Contactez Camille Turcotte pour en savoir plus :  
[camille.turcotte@aestq.org](mailto:camille.turcotte@aestq.org) ou 514 948-6422





DANIEL  
LYTWYNUK

### Daniel Lytwynuk

Daniel, biologiste de formation, a enseigné les sciences à tous les niveaux du secondaire pendant dix années, à la commission scolaire de Montréal. Conseiller pédagogique depuis 1999, il est membre du Partenariat pour le renouveau de l'enseignement de la science et de la technologie sur l'Île de Montréal (PRESTÎM) depuis sa création, il y a sept ans. Il œuvre à la commission scolaire de Montréal en collaboration avec des collègues de la Pointe-de-l'Île, de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), du Centre de développement pédagogique (CDP) et du Ministère de l'Éducation, des Loisirs et du Sport (MELS). Daniel voit la vie comme un évolutionniste, l'horizon comme un géologue (amateur), le temps comme un musicien (XX<sup>e</sup> siècle seulement) et l'humanité comme un scénariste athée (comédie en un acte).



FRANÇOIS  
THIBAUT

### François Thibault

François est étudiant à la maîtrise en éducation à l'Université du Québec à Montréal. Il y mène ses recherches s'inspirant de la neuroéducation. Il s'intéresse à la promotion des sciences chez les jeunes, mais aussi aux pratiques enseignantes innovatrices et originales. Bénévole pour le comité de rédaction de la revue *Spectre* depuis un peu plus d'un an, François espère que cette association pourra durer encore longtemps.



HUGUETTE  
THIBEAULT

### Huguette Thibeault

Huguette est enseignante au collégial depuis plus de 30 ans. Elle enseigne actuellement la biologie au Cégep de Saint-Hyacinthe. Responsable du Comité des enseignants et enseignantes du programme pré-universitaire Sciences de la nature du Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS), elle innove notamment en implantant des microstages d'introduction aux biotechnologies en techniques de laboratoire et des microstages en recherche. Elle s'intéresse particulièrement au renouveau pédagogique et à l'approche par compétences, agit à titre d'experte externe pour la Commission d'évaluation de l'enseignement collégial au Québec (CEEC), effectue des recherches en pédagogie collégiale et anime régulièrement des ateliers traitant, entre autres, de l'entrepreneuriat, de l'arrimage secondaire-collégial et, plus récemment, de l'arrimage collégial-universitaire. Récemment, en mars 2012, elle a participé, à titre de déléguée, à *Science on stage* Canada, organisme dédié à la promotion de stratégies pédagogiques innovatrices en science et technologie.

# DOSSIER THÉMATIQUE

## La neurodidactique des sciences au service des enseignants !

Ce dossier thématique de *Spectre* se veut innovateur, car il aborde un domaine de recherche en pleine émergence : la neurodidactique des sciences ! Ce domaine cherche à découvrir ce qui se passe dans le cerveau de nos élèves lorsqu'ils apprennent de nouveaux concepts scientifiques et à vérifier l'impact de différentes méthodes d'enseignement des sciences sur le cerveau des élèves, dans le but ultime de proposer certaines recommandations pédagogiques favorisant l'apprentissage scientifique des élèves et optimisant l'enseignement des sciences.

Mais comment est né ce champ de recherche et pourquoi s'y intéresser maintenant ?

La neurodidactique des sciences : quand la recherche sur le cerveau nous renseigne sur la façon dont les élèves apprennent les sciences.

Depuis les années 90, une nouvelle approche de recherche issue du croisement des neurosciences cognitives et des sciences de l'éducation a fait son apparition. Grâce au développement de techniques d'imagerie cérébrale nous permettant de voir le cerveau de l'apprenant en action, cette approche a permis d'ajouter la variable de l'activité cérébrale dans la recherche en éducation et de jeter un regard nouveau sur l'apprentissage et sur la pratique enseignante.

En sciences, il est reconnu que beaucoup d'élèves présentent des difficultés importantes à acquérir certaines notions scientifiques qui vont souvent à l'encontre des préconceptions qu'ils entretiennent au départ. Il semble que ces notions soient particulièrement ardues à intégrer et qu'elles résistent aux efforts d'enseignement des conceptions scientifiques. Au cours des dernières décennies, plusieurs chercheurs se sont intéressés à cette problématique en l'examinant sous un angle cognitif ou comportemental.

Cependant, ce que propose la neurodidactique des sciences, c'est de se pencher sur l'apprentissage et l'enseignement des sciences en en faisant l'étude à un niveau d'analyse jusqu'ici inexploré : celui du cerveau ! Impossible ? Pas du tout. En effet, la neurodidactique des sciences s'intéresse ainsi à des questions telles que :

- Que se passe-t-il dans le cerveau d'un élève qui apprend un concept en chimie ? En électricité ? En mécanique ?
- Que deviennent les anciennes conceptions des élèves lors d'un apprentissage ? Sont-elles transformées ? Supprimées ? Remplacées par de nouvelles informations ?
- Comment favoriser l'apprentissage d'un concept scientifique qui semble particulièrement difficile à intégrer ?
- Est-ce que le fait de douter de sa réponse ou de sa propre compréhension d'un phénomène peut agir comme un moteur de changement et mener vers un apprentissage scientifique ?

Quelle incidence ces nouvelles connaissances peuvent-elles avoir sur la pratique enseignante ?

Déjà, cette nouvelle approche de recherche basée sur l'utilisation de l'imagerie cérébrale apporte des réponses claires à plusieurs questions particulièrement importantes pour le domaine de l'éducation. Les disciplines de la lecture et des mathématiques sont, pour le moment, les plus explorées. En didactique des sciences, peu de recherches utilisant des techniques d'imagerie cérébrale ont jusqu'à maintenant été menées. La neurodidactique des sciences est donc en plein essor et offre déjà des pistes d'intervention intéressantes, comme vous le constaterez à la lecture des articles proposés dans le présent numéro de *Spectre*. À l'heure actuelle, il semble cependant encore difficile de proposer des recommandations

pédagogiques précises et directement applicables en classe. Pour l'instant, les chercheurs tentent plutôt de constituer une base théorique solide qui permettra, par la suite, de mener à terme des recherches dont les résultats auront des répercussions directes sur la pratique enseignante.

Le présent numéro, qui s'inscrit dans cette perspective, a pour objectif de rendre accessible des recherches universitaires récentes en neurodidactique des sciences, afin que les enseignants en sciences prennent conscience des possibles avenues stimulantes qu'offre ce champ de recherche. Ne vous surprenez donc pas si ce dossier thématique présente des articles plutôt académiques !

Les textes présentés dans ce numéro touchent différentes disciplines scientifiques telles que la chimie, l'électricité, la physique mécanique et abordent différents aspects de l'enseignement, comme le rôle du doute et de l'inhibition pour favoriser l'apprentissage des sciences. Ils constituent donc des matériaux de réflexion fort pertinents.

Conjointement avec l'équipe, nous espérons que vous lirez avec intérêt cette série d'articles. Nous espérons aussi sincèrement que ce dossier thématique alimentera vos réflexions, vous permettra d'entrevoir la didactique des sciences sous un angle nouveau et qu'il vous donnera envie de vous tenir au courant des avancées dans ce domaine.

Bonne lecture !

**Lorie-Marlène Brault Foisy,  
Stéphanie Lafortune et  
Steve Masson**

Coordonnateurs du dossier thématique

# Coordonnateurs du dossier thématique



LORIE-MARLÈNE  
BRAULT FOISY

## Lorie-Marlène Brault Foisy

Lorie-Marlène étudie présentement à la maîtrise en éducation à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et son mémoire de recherche s'inscrit dans le domaine de la neurodidactique des sciences. Elle s'intéresse également à la neuroéducation et à la neurodidactique de la lecture. Elle œuvre aussi à titre d'auxiliaire d'enseignement et de recherche dans le cadre de divers projets à l'UQAM ainsi qu'à titre d'enseignante suppléante au primaire pour la commission scolaire Marie-Victorin.



STEVE  
MASSON

## Steve Masson

Après avoir enseigné les sciences et la technologie au primaire durant cinq années, Steve est actuellement professeur en neuroéducation à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Il œuvre aussi à titre de responsable du réseau Neuroéducation Québec, un organisme sans but lucratif ayant pour mission de développer et de diffuser la recherche en neuroéducation. Il est également à l'origine du premier cours de neuroéducation offert au Québec, le *DDD828C Introduction à la neuroéducation*. Steve fût le premier étudiant au Canada à déposer une thèse en éducation impliquant l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Sa thèse portait sur les mécanismes cérébraux liés à l'apprentissage des sciences.



STÉPHANIE  
LAFORTUNE

## Stéphanie Lafortune

Stéphanie travaille présentement à terminer sa maîtrise en éducation à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Elle œuvre également à titre d'enseignante spécialiste en sciences au primaire, dans une école de la région montréalaise. Ses champs d'intérêts sont la didactique des sciences, des langues et des mathématiques, la neuroéducation ainsi que la neuroadaptation. Dans le passé, elle a aussi travaillé comme auxiliaire d'enseignement et de recherche, à l'UQAM, ainsi que comme enseignante au primaire, dans les commissions scolaires de Laval et de Montréal.



# 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 ardues 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 résonance 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



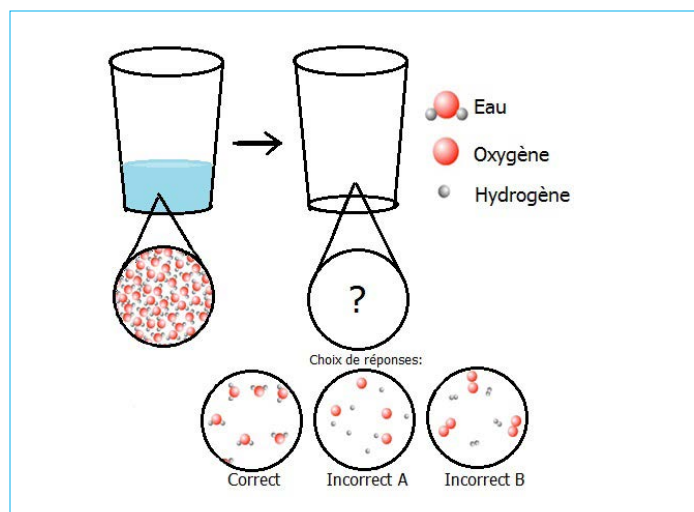
ou de restructurer fondamentalement leurs connaissances, ils auraient plutôt appris à inhiber leurs réponses spontanées issues de leurs idées préalables. Bref, selon cette étude, l'expertise en physique, lors de tâches de mécanique serait liée à l'activation du cortex cingulaire antérieur et du cortex 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 davantage à utiliser en mécanique des méthodes d'enseignement qui développeraient chez leurs élèves l'habileté 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.psychoblogs.net/public/fichiers%20joints/d%C3%A9mence/Syndrome\\_frontal.pdf](http://psychologie-m-fouchey.psychoblogs.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). Conceptual judgments of expert vs. novice chemistry students: an fMRI 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.



# Les conceptions erronées des élèves en électricité ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau

Une étude montre que les experts en sciences activent, davantage que les novices des régions cérébrales liées à l'inhibition lorsqu'ils répondent à des questions associées à une fausse conception fréquente en électricité. Ce résultat mène à penser que les experts en sciences possèdent peut-être toujours dans leur cerveau de fausses conceptions qu'ils doivent inhiber. Si les conceptions erronées des élèves ne disparaissent jamais de leur cerveau, les enseignants devraient tenir compte de ces conceptions non seulement au début, mais tout au long de leur séquence d'enseignement.

Steve Masson et Lorie-Marlène Brault Foisy, Université du Québec à Montréal

Depuis au moins trente ans, les chercheurs en éducation étudient les conceptions erronées des élèves en sciences. Grâce à leurs travaux, nous savons aujourd'hui que les élèves possèdent souvent des conceptions spontanées qui s'opposent au savoir scientifique et que ces conceptions peuvent être difficiles à changer (diSessa, 2006). Ces découvertes ont notamment permis de mettre en évidence qu'apprendre les sciences, ce n'est pas simplement acquérir de nouvelles connaissances; c'est parfois aussi réaliser un changement conceptuel, c'est-à-dire changer ses conceptions erronées au profit de conceptions plus scientifiques.

Malgré ces avancées, plusieurs questions demeurent toujours sans réponses satisfaisantes. Parmi ces questions, il y a celle qui concerne ce qui arrive aux conceptions erronées des élèves à la suite d'un changement conceptuel. Sont-elles rejetées et remplacées par des conceptions plus scientifiques ou demeurent-elles toujours présentes dans le cerveau des élèves, coexistant alors avec les conceptions scientifiques nouvellement acquises?

Pour répondre à cette question, une équipe de chercheurs de l'UQAM a réalisé une expérience impliquant l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (Masson, 2012; Masson, Potvin, Riopel, Brault Foisy, & Lafortune, 2012). L'utilisation de cette technologie a permis de mesurer les différences entre l'activité cérébrale de novices (qui possèdent des conceptions erronées en électricité) et d'experts (qui ne semblent pas avoir de conceptions erronées en électricité) au cours de la réalisation d'une tâche simple impliquant des circuits électriques. Le domaine de l'électricité a été choisi parce que c'est l'un de ceux où les conceptions erronées sont les plus fréquentes et persistantes (Çepni & Kele, 2006; Periago & Bohigas, 2005).

L'hypothèse à la base de cette étude était la suivante : s'ils possèdent toujours des conceptions erronées enregistrées dans les réseaux neuronaux de leur cerveau, les experts devraient avoir besoin de les inhiber (c'est-à-dire de les contrôler ou de les désactiver) afin de répondre correctement aux questions posées. Conséquemment, les experts

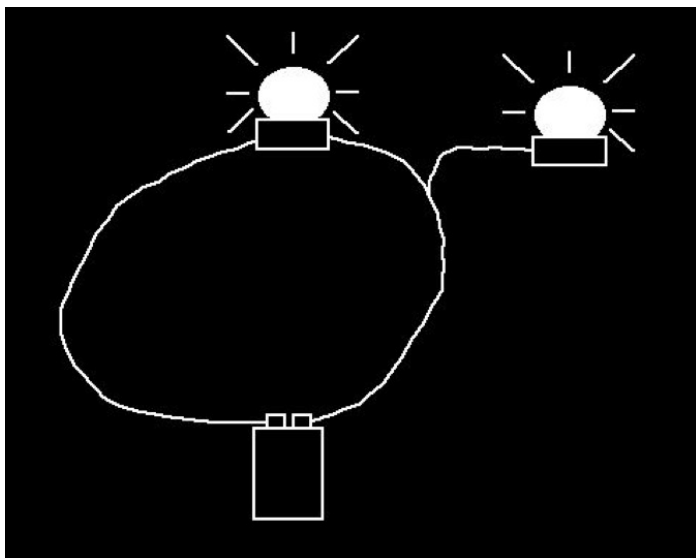
devraient avoir plus d'activation que les novices dans des régions cérébrales liées à l'inhibition, soit le cortex préfrontal et le cortex cingulaire antérieur (Bush et al., 1998).

Dans cet article, la méthodologie et les résultats de cette recherche sont présentés brièvement, suivis d'une discussion portant sur les implications des résultats obtenus pour l'apprentissage et l'enseignement des sciences. Nous verrons que les résultats appuient l'hypothèse selon laquelle les experts possèdent toujours dans leur cerveau la trace de fausses conceptions qu'ils doivent inhiber et que, conséquemment, l'enseignement des sciences ne devrait pas viser l'éradication des conceptions erronées des élèves, mais plutôt leur inhibition.

## Aperçu de la méthodologie utilisée et des résultats obtenus

Les novices qui ont participé à cette expérience étaient des étudiants de différents baccalauréats en sciences humaines (histoire, politique, philosophie, etc.) qui n'avaient suivi aucun cours optionnel en sciences et qui faisaient systématiquement des erreurs lorsqu'on leur posait des questions en lien avec des circuits électriques simples. À l'opposé, les experts étaient des étudiants du baccalauréat en physique qui avaient suivi de nombreux cours de sciences et qui répondaient correctement à plus de 90 % des questions posées.

Dans l'appareil d'imagerie cérébrale, ces novices et ces experts devaient dire si les images présentées à l'écran étaient correctes ou incorrectes. Ces images, présentées les unes à la suite des autres, montraient des circuits électriques formés d'une pile, de deux ampoules et de fils électriques positionnés de différentes façons. Ces circuits comprenaient une ampoule connectée à une pile à l'aide d'un seul fil (voir Figure 1), illustrant la conception erronée voulant qu'un seul fil soit suffisant pour allumer une ampoule.



1 Exemple d'un circuit électrique présenté aux participants.

Les résultats obtenus montrent que les régions cérébrales généralement associées à l'inhibition (cortex préfrontal et cortex cingulaire antérieur) sont plus activées chez les experts que chez les novices lors de la présentation de circuits électriques comme ceux de la figure 1. Pour répondre correctement, les experts semblent donc avoir besoin d'inhiber, c'est-à-dire contrôler ou freiner la formulation d'une réponse (erronée) qui leur vient spontanément à l'esprit. Conséquemment, les résultats de cette recherche appuient l'hypothèse selon laquelle les experts en sciences auraient toujours dans leur cerveau la trace de la fausse conception « un seul fil est suffisant pour allumer une ampoule », conception qu'ils doivent inhiber pour répondre correctement à la question posée.

## Pourquoi les conceptions erronées ne disparaissent-elles peut-être jamais du cerveau?

Les résultats de cette recherche sont surprenants. En effet, puisque les experts ont reçu une formation scientifique comprenant un bon nombre de cours liés spécifiquement à l'électricité et puisqu'ils affirment avec certitude qu'un seul fil n'est pas suffisant pour allumer une ampoule, comment se fait-il qu'ils aient toujours de fausses conceptions dans leur cerveau? À ce stade-ci de nos recherches, il est difficile de répondre avec certitude à cette question, mais déjà, deux explications nous apparaissent plausibles.

La première explication repose sur le fait que nous observons, dans la vie de tous les jours, et ce, depuis notre enfance, de nombreuses situations où un seul fil semble suffisant pour faire fonctionner un appareil électrique et que cela contribue peut-être à la mise en place de réseaux neuronaux qui deviennent « habitués » à percevoir qu'un seul fil est suffisant

pour alimenter un appareil électrique. Comme les experts en sciences ne cessent jamais d'observer ce phénomène, cela les empêche peut-être de se débarrasser définitivement de cette fausse conception. Bien entendu, les experts en électricité savent très bien que le fil que l'on branche contient en fait deux fils recouverts d'une gaine isolante, mais les observations quotidiennes renforcent l'idée qu'un seul fil est suffisant pour allumer une ampoule.

La deuxième explication s'appuie sur un ensemble de modèles de changement conceptuel (voir, par exemple, Stavy et al., 2006) postulant que les conceptions sont formées à partir de mécanismes spontanés d'interprétation. Ces mécanismes, parfois nommés règles intuitives ou heuristiques, seraient utiles pour expliquer intuitivement un ensemble de phénomènes, y compris ceux liés à l'électricité, sans avoir recours à une structure complexe de connaissances antérieures. Par exemple, à cause d'un mécanisme spontané d'interprétation, il pourrait sembler normal, même pour un expert en sciences, qu'un effet soit observé (l'ampoule qui s'allume) s'il existe un lien physique (le fil) entre l'élément responsable de la cause (la pile) et l'élément qui produit effet (l'ampoule). Dans ce contexte, si les conceptions erronées ne disparaissent jamais du cerveau, c'est sans doute parce que les mécanismes spontanés d'interprétation sur lesquels elles reposent demeurent toujours pertinents et utilisables dans plusieurs situations.

## Enseigner les sciences, c'est enseigner aux élèves à inhiber leurs conceptions?

Si les experts arrivent à répondre correctement aux questions posées même s'ils possèdent peut-être toujours de fausses conceptions, c'est parce qu'ils arrivent à inhiber les réseaux de neurones qui les mèneraient à la formulation de réponses non scientifiques. Dans cette perspective, l'enseignement des sciences ne devrait pas viser le rejet, l'effacement ou le remplacement des fausses conceptions — puisqu'elles ne semblent pas pouvoir disparaître — mais plutôt le développement de la capacité de les inhiber. La question qui se pose alors est : comment, en tant qu'enseignant, puis-je aider mes élèves à inhiber leurs conceptions erronées?

La recherche présentée dans cet article ne permet pas de répondre directement à cette question. Par contre, en nous appuyant sur les résultats d'autres recherches portant sur l'inhibition, nous pouvons déjà envisager des pistes d'intervention susceptibles d'aider les élèves à inhiber leurs fausses conceptions. Ces pistes, et d'autres, sont discutées dans un ouvrage récent portant sur l'enseignement des sciences (Potvin, 2011, pp. 207-254).

D'abord, des recherches montrent qu'un enseignement par inhibition peut aider les élèves à surmonter leur tendance spontanée à répondre incorrectement à certaines questions (Houdé et al., 2000). Ce type d'enseignement comprend deux parties. La première consiste à énoncer des « alertes émotives » aux élèves en leur disant de faire attention, qu'il y

a un piège dans ce type de question et qu'ils doivent se méfier de la première réponse qui leur vient à l'esprit. Ces alertes ont probablement pour effet de placer le cerveau dans un mode de vigilance. Bien qu'importantes, ces alertes émotives ne sont pas, en soi, suffisantes. Il faut, en plus, apprendre aux élèves à identifier les contextes lors desquels ces pièges se manifestent et à distinguer non seulement les bonnes des mauvaises réponses, mais également à identifier les réponses qui constituent des pièges dans lesquels le cerveau semble tomber naturellement.

Ensuite, si les conceptions erronées ne disparaissent jamais, il faudrait en tenir compte non seulement au début de l'enseignement des notions en lien avec ces conceptions, mais tout au cours de la formation scientifique. Ainsi, une séquence d'enseignement où l'on ne confronte les conceptions erronées des élèves qu'au début, pour ensuite ne se concentrer que sur l'acquisition des savoirs scientifiques, n'est pas souhaitable. Il ne faudrait jamais considérer les conceptions erronées des élèves comme étant abandonnées par les élèves. Elles peuvent resurgir à tout instant et, pour cette raison, il nous apparaît préférable de faire constamment des allers-retours entre les conceptions erronées et le savoir scientifique.

Pour illustrer la notion d'enseignement par inhibition et l'importance de tenir compte des fausses conceptions non seulement au début, mais tout au long de la séquence d'enseignement, voyons ce qu'un enseignant pourrait faire pour aider ses élèves à apprendre l'électricité. D'abord, il pourrait formuler des alertes émotives aux élèves en leur disant de « faire attention » avec certains circuits électriques, parce qu'il y a des pièges à éviter. Ensuite, il pourrait aider les élèves à identifier dans quelles situations ces pièges se présentent (par exemple, lorsqu'une ampoule est connectée à une pile par un seul fil). L'enseignant pourrait même proposer des exercices spécifiques visant explicitement l'identification de « pièges » présents dans différents types

de circuits électriques. Finalement, cette insistance sur les « pièges à éviter » et les fausses conceptions fréquentes devrait se poursuivre tout au long de la séquence d'enseignement : lors des laboratoires, lors des exercices, lors des discussions, lors des examens, etc.

## Conclusion

Somme toute, les résultats de la recherche discutée dans cet article montrent que les experts ont peut-être toujours la trace dans leur cerveau de fausses conceptions qui ne semblent pas près de disparaître. Ces résultats mènent à penser qu'il est nécessaire de modifier notre façon de concevoir l'apprentissage des sciences : apprendre les sciences, ce ne serait pas simplement accumuler de nouvelles connaissances, ni remplacer ses fausses conceptions par d'autres, plus scientifiques, ce serait apprendre à lutter contre les mécanismes spontanés d'interprétation de notre cerveau. Par conséquent, les enseignants en sciences ne devraient pas chercher à éradiquer les fausses conceptions de leurs élèves, mais devraient essayer d'aider les élèves à les inhiber en leur apprenant à identifier les « pièges » dans lesquels ils peuvent tomber et aussi en ne cessant jamais de faire des allers-retours entre conceptions erronées et savoir scientifique.

Les résultats présentés dans cet article et les conséquences pédagogiques qui en découlent concernent le domaine de l'électricité. Comme présenté dans un autre article de ce numéro thématique (« Les mécanismes cérébraux permettant de réaliser un changement conceptuel sont-ils les mêmes dans tous les domaines scientifiques? »), nous ne savons pas encore si les mécanismes d'inhibition jouent un rôle dans tous les domaines liés aux sciences. Dans l'article qui suit (« Faut-il apprendre à inhiber ses préconceptions pour apprendre la physique mécanique? »), nous verrons que l'inhibition semble jouer également un rôle dans l'apprentissage de la mécanique.

## Références

- Bush, G., Whalen, P. J., Rosen, B. R., Jenike, M. A., McInerney, S. C., & Rauch, S. L. (1998). The counting stroop: An interference task specialized for functional neuroimaging - validation study with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 6(4), 270-282.
- Çepni, S., & Kele, E. (2006). Turkish students' conceptions about the simple electric circuits. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4(2), 269-291.
- diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. In R. K. Sawyer (Ed.), *Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 265-281). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain: The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 721-728.
- Masson, S. (2012). *Étude des mécanismes cérébraux liés à l'expertise scientifique en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle*. (Thèse de doctorat non publiée). Université du Québec à Montréal, Québec, Canada.
- Masson, S., Potvin, P., Riopel, M., Brault Foisy, L.-M., & Lafortune, S. (2012). Using fMRI to study conceptual change: Why and how? *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(1), 19-35.
- Periago, M. C., & Bohigas, X. (2005). A study of second-year engineering students' alternative conceptions about electric potential, current intensity and Ohm's law. *European Journal of Engineering Education*, 30(1), 71-80.
- Potvin, P. (2011). *Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie : pour intéresser les élèves du secondaire*. Québec: Éditions MultiMondes.
- Stavy, R., Babai, R., Tsamir, P., Tirosh, D., Lin, F.-L., & McRobbie, C. (2006). Are intuitive rules universal? *International Journal of Science & Mathematics Education*, 4, 417-436.



# Faut-il apprendre à inhiber ses préconceptions pour apprendre la physique mécanique?

Y a-t-il des régions cérébrales impliquées spécifiquement dans l'apprentissage de la physique mécanique? C'est la question à laquelle a tenté de répondre cette recherche dont les résultats préliminaires semblent indiquer que des étudiants experts en mécanique feraient davantage appel aux régions du cerveau responsables de l'inhibition lorsqu'ils répondent correctement à des questions en physique mécanique. Cela laisse entendre que les préconceptions des élèves par rapport à différents phénomènes scientifiques ne seraient pas éradiquées ou transformées lors de l'apprentissage des sciences : elles demeureraient présentes dans le cerveau des élèves, mais ceux-ci apprendraient à les inhiber pour fournir une réponse correcte.

Lorie-Marlène Brault Foisy et Steve Masson,  
Université du Québec à Montréal

Une importante littérature de recherche dans le domaine de la didactique des sciences démontre qu'il est difficile de faire émerger une compréhension satisfaisante de certains concepts scientifiques chez les élèves, car ces derniers entretiendraient une multitude de conceptions fréquentes à propos de phénomènes naturels qui causent des interférences dans l'apprentissage (Thouin, 1996, 2004; Toussaint, 1991).

En effet, il semblerait que les élèves n'intègrent pas facilement les conceptions scientifiques qui leur sont enseignées à l'école et qu'ils continueraient plutôt à entretenir des conceptions personnelles à propos de phénomènes naturels qui vont souvent à l'encontre de cet enseignement. De plus, ces conceptions, souvent erronées, persisteraient même après que les élèves aient reçu un enseignement explicite des véritables conceptions scientifiques (Wandersee, Mintzes et Novak, 1994). En enseignement des sciences, les interventions pédagogiques se heurtent souvent à ces conceptions fréquentes et il importe de les prendre en considération dans l'étude de l'apprentissage des sciences.

L'utilisation de techniques d'imagerie cérébrale permet aujourd'hui d'entrevoir cet apprentissage sous un angle nouveau : celui du cerveau. Dans cet article, nous présenterons les résultats préliminaires d'une recherche utilisant cette technique et portant sur le rôle de l'inhibition dans l'apprentissage de concepts en physique mécanique. Après avoir brièvement discuté des recherches antérieures, nous présenterons les objectifs de la présente recherche, la façon dont elle a été réalisée et certains des résultats obtenus. Les retombées possibles de cette recherche seront également discutées, ainsi que son intérêt pour le domaine de l'éducation scientifique.

## Un cerveau qui apprend les sciences : ce qu'en disent les recherches à ce jour

De récents résultats en neurodidactique des sciences laissent supposer que l'inhibition, c'est-à-dire la capacité que possèdent certains neurones d'empêcher l'excitation d'autres neurones (Masson, 2012), jouerait un rôle essentiel dans l'apprentissage de concepts en sciences.

Selon plusieurs études, l'inhibition serait liée à des activations dans le cortex cingulaire antérieur, une région responsable de la détection de conflit, ainsi qu'à des activations dans le cortex préfrontal qui serait responsable de la capacité à inhiber une préconception (ex. Houdé et al., 2001, Liddle, Kiehl et Smith 2001).

Peu de recherches ont abordé spécifiquement les mécanismes cérébraux liés à l'apprentissage des sciences. Une recherche pilote (Dunbar, Fugelsang et Stein, 2007) a cherché à déterminer l'impact de l'enseignement scientifique sur le cerveau et les résultats obtenus tendent à démontrer qu'un élève apprendrait à inhiber ses préconceptions pour réaliser un apprentissage plutôt que de les effacer, de les restructurer

ou de les absorber dans une nouvelle théorie. Le processus d'apprentissage, que l'on percevait donc principalement comme une réorganisation conceptuelle, se définirait davantage comme le développement de la capacité à inhiber nos conceptions spontanées.

Une recherche en neurodidactique des sciences (Masson, 2012), qui fait également l'objet d'un article dans ce numéro de *Spectre* « *Les conceptions erronées des élèves ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau* », s'est elle aussi penchée sur les mécanismes cérébraux en jeu lors de l'apprentissage de conceptions scientifiques. Cette fois-ci, cependant, l'activité cérébrale des participants était étudiée lors d'une tâche cognitive en électricité. Il semblerait que l'éducation scientifique permettrait de développer la capacité à inhiber ses conceptions fréquentes. Le fait d'être un expert en électricité se caractériserait entre autres par le développement de cette capacité à inhiber. Mais, est-ce la même chose pour toutes les disciplines scientifiques? Le lien entre l'expertise et la capacité à inhiber ses préconceptions est-il spécifique au domaine de l'électricité?

La présente recherche vise également à approfondir le rôle du mécanisme cérébral de l'inhibition dans l'apprentissage de concepts en sciences. Elle cherche à comprendre le rôle de l'inhibition dans l'apprentissage d'une discipline scientifique précise, celle de la physique mécanique. Elle se penche plus précisément sur la conception erronée voulant qu'un objet plus lourd tombe plus rapidement qu'un objet plus léger. Cette conception a été choisie, car elle semble être particulièrement résistante. En effet, plus de 25 % des étudiants de première année du baccalauréat en physique croient qu'une balle de métal de la même grosseur qu'une balle en plastique tombera plus rapidement au sol (dans un environnement sans résistance de l'air), et ce, même après un enseignement formel donné sur ce sujet (Wandersee, Mintzes et Novak, 1994).

## Comment faire pour identifier les régions cérébrales en jeu durant l'apprentissage de la physique mécanique?

Les études menées dans le domaine de la neurodidactique des sciences choisissent généralement d'utiliser la stratégie de comparer des participants novices et des participants experts de façon à mettre en évidence les différences entre ces deux groupes au niveau cérébral. Il est ainsi possible de faire ressortir ce qui caractérise l'expertise en sciences. Puisqu'elle s'inscrit en continuité de la recherche de Masson (2012) en électricité, la méthodologie de la présente recherche est très similaire à cette dernière. De la même façon, deux groupes de participants ont été comparés : un groupe de novices en physique mécanique et un groupe d'experts en physique mécanique. Les novices étaient des étudiants qui n'avaient jamais suivi de cours de sciences supplémentaires à ceux de la formation de base au secondaire. Ils faisaient également des

erreurs systématiques lorsqu'on leur posait des questions en mécanique. Les experts devaient, quant à eux, être étudiants au baccalauréat en physique. Ils fournissaient plus de 90 % de réponses correctes en répondant aux mêmes questions que les novices en mécanique.

Des images du cerveau des participants ont été prises pendant que ces derniers étaient étendus à l'intérieur d'un appareil d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle et qu'ils répondaient à des questions en physique mécanique présentées sur un écran.

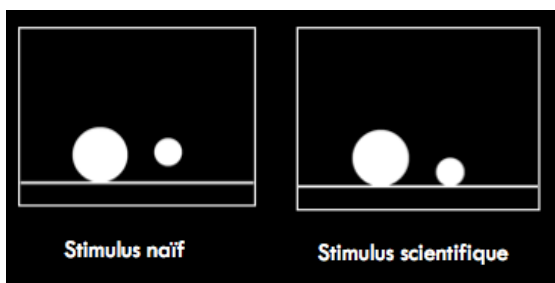
La tâche comprenait notamment deux types de films : des films naïfs, non conformes aux lois du mouvement de Newton, et des films newtoniens, conformes aux lois du mouvement de Newton. Les stimuli présentés s'appuyaient sur la conception erronée largement propagée selon laquelle les objets plus lourds tombent plus rapidement (Confrey, 1990; Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). Les films présentaient ainsi deux balles de tailles différentes, qui tombaient à des vitesses identiques ou différentes. Dans les films naïfs, la balle la plus lourde touchait le sol avant la plus légère alors que dans les films newtoniens, les balles plus lourdes touchaient le sol en même temps que les plus légères. Pour chaque film qui leur était présenté, les participants devaient juger si ce dernier était correct ou incorrect.

L'hypothèse principale de cette recherche était que les experts montreront des activations plus prononcées dans les régions cérébrales liées à l'inhibition lorsqu'ils évalueront des stimuli naïfs, car pour répondre correctement (c'est-à-dire, affirmer que le stimulus est incorrect), ils devront inhiber leur conception spontanée voulant qu'un objet plus lourd touche le sol plus rapidement qu'un objet plus léger.

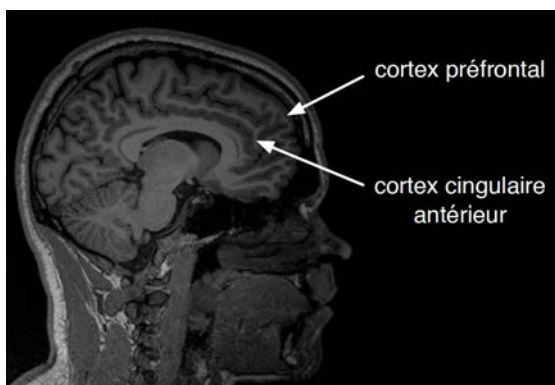
## Quelles sont les régions cérébrales impliquées dans l'apprentissage de la physique mécanique?

Cette recherche en est aux premières étapes de l'analyse des données, mais déjà les résultats montrent que les experts et les novices n'activent pas les mêmes régions cérébrales lorsqu'ils évaluent un stimulus naïf en mécanique. On observe en effet que les participants experts montrent des activations plus fortes dans certaines régions, notamment dans le cortex préfrontal (voir figure 2), qui serait associé à la capacité à inhiber (Bush et al., 1998; Menon et al., 2001). Les résultats appuient donc l'hypothèse selon laquelle l'inhibition joue un rôle dans l'expertise scientifique en mécanique.

Un aspect intéressant des résultats obtenus est que, contrairement à l'étude de Masson (2012) portant sur l'électricité, les experts de notre étude en mécanique ne semblent pas activer significativement plus que les novices leur cortex cingulaire antérieur (voir figure 2). Ce résultat est, a priori, surprenant, puisque l'activation de cette région va généralement de pair avec l'activité du cortex préfrontal



1



2

1 Exemples de stimuli présentés aux participants.  
(Source: Brault Foisy et Masson)

2 Identification du cortex cingulaire antérieur  
et du cortex préfrontal.  
(source : Brault Foisy et Masson)

responsable de l'inhibition : le cortex cingulaire antérieur détecte d'abord qu'une situation demande une attention particulière, puis le cortex préfrontal se charge d'inhiber (Liddle, Kiehl, & Smith, 2001). Davantage de travail d'analyse sera nécessaire pour valider nos interprétations concernant cette absence d'activation du cortex cingulaire antérieur, mais nos premières hypothèses pointent vers l'idée qu'il est peut-être plus facile pour les experts en sciences de détecter qu'il peut y avoir un piège dans les questions liées à la chute des corps que dans celles liées aux circuits électriques.

## Les experts en physique mécanique sont-ils des experts de l'inhibition?

Les résultats obtenus au niveau du cortex préfrontal vont de pair avec ceux de l'équipe de Kevin N. Dunbar (2007) de l'Université de Toronto ainsi que ceux de Steve Masson (2012) de l'Université du Québec à Montréal. Ces activations cérébrales suggèrent que l'éducation scientifique a des effets tangibles sur le fonctionnement du cerveau, puisque le cerveau des experts et des novices en sciences réagit différemment lorsqu'ils évaluent le même stimulus. Si l'on considère que les activations sont plus prononcées dans le cortex préfrontal pour les experts que pour les novices, il semble que l'inhibition jouerait réellement un rôle dans l'apprentissage de concepts en physique mécanique. Durant le processus d'apprentissage de la mécanique, un élève apprendrait donc davantage à inhiber ses conceptions fréquentes qui lui viendraient spontanément à l'esprit plutôt qu'à les éradiquer ou les restructurer. C'est sans doute le développement de cette capacité d'inhibition qui favoriserait l'apprentissage et qui permettrait, du moins en partie, de devenir expert en physique mécanique.

Bien entendu, cette recherche n'a été menée que pour un concept scientifique précis : l'effet de la masse sur la chute des objets. Elle appuie toutefois les résultats obtenus en électricité (Masson, 2012) et cela laisse croire que l'inhibition jouerait ainsi un rôle dans l'apprentissage de plusieurs disciplines scientifiques. Il faudrait néanmoins poursuivre les recherches en ce sens afin de voir si le développement de la capacité à inhiber est important pour d'autres concepts en sciences. Si l'on confirme, dans les années à venir, le rôle essentiel de l'inhibition, il faudra alors se questionner sur les façons de favoriser l'inhibition de conceptions fréquentes en classe.

## Conclusion

Cette recherche représente un pas de plus vers une meilleure compréhension du rôle de l'inhibition dans l'apprentissage des sciences. Les résultats obtenus montrent qu'il existe une différence dans l'activation des zones cérébrales entre les sujets ayant réalisé un apprentissage en sciences et ceux n'en ayant pas réalisé. Le fait d'être bon en sciences serait lié à une meilleure capacité à inhiber ses conceptions spontanées.

Les résultats de cette recherche sont intéressants pour le milieu de l'éducation, car ils permettent à l'enseignant de considérer son rôle selon une perspective nouvelle. En effet, sachant que les préconceptions des élèves en physique mécanique ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau, l'enseignant pourra alors concevoir son enseignement de façon à apprendre aux élèves à inhiber leurs préconceptions plutôt que de chercher à vouloir modifier ou supprimer définitivement ces dernières.

Dans les années à venir, les recherches en neurodidactique des sciences



fourniront probablement des pistes d'action tangibles qui auront un impact au niveau de la pratique enseignante en déterminant de quelle(s) manière(s) un enseignant peut favoriser le développement de l'inhibition chez ses élèves. Tel que mentionné par mon collègue dans son article portant sur l'électricité (Masson, 2012), une piste intéressante

pourrait être, par exemple, de fournir des « alertes émotives » aux élèves (Houdé et al. 2000) de façon à ce que ces derniers soient mis au courant des pièges que contient une question et qu'ils développent le réflexe d'inhiber la réponse qui leur viendrait spontanément à l'esprit.

## Références

- Bush, G., Whalen, P. J., Rosen, B. R., Jenike, M. A., McInerney, S. C., & Rauch, S. L. (1998). The counting stroop: An interference task specialized for functional neuroimaging-validation study with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 6(4), 270-282.
- Confrey, J. (1990). A review of the research on student conceptions in mathematics, science, and programming In C. B. Cazden (Ed.), *Review of Research in Education* (Vol. 16, pp. 3-56). Washington, NW: American Educational Research Association.
- Dunbar, K. N., Fugelsang, J. A., & Stein, C. (2007). Do naïve theories ever go away? Using brain and behavior to understand changes in concepts. In M. C. Lovett & P. Shah (Eds.), *Thinking with Data: 33<sup>rd</sup> Carnegie Symposium on Cognition* (pp. 193-206). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- 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, 1486-1492.
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain: The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 721-728.
- Liddle, P. F., Kiehl, K. A. & Smith, A. M. (2001). Event-related fMRI study of response inhibition, *Human Brain Mapping*, 12, 100-109
- Masson, S. (2012). *Étude des mécanismes cérébraux liés à l'expertise scientifique en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle*. Thèse de doctorat non publiée, Université du Québec à Montréal, Montréal, 153p.
- Menon, V., Adleman, N. E., White, C. D., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2001). Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Human Brain Mapping*, 12(3), 131-143.
- Thouin, M. (1996). *Notions de culture scientifique et technologique : concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes*. Sainte-Foy: Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2004). *Enseigner les sciences et la technologie au préscolaire et au primaire*. Sainte-Foy: Éditions MultiMondes.
- Toussaint, R. (1991). Les représentations préscolaires chez des adolescents. *Revue de l'Université de Moncton*. 23(1/2): 29-49.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan.

creo

Un monde virtuel  
Des sciences amusantes

SCIENCE en JEU

PRIMAIRE  
+  
SECONDAIRE

Découvrez  
nos ressources  
pédagogiques  
**GRATUITES**

WWW.SCIENCE-EN-JEU.COM

# L'incertitude comme nouvelle piste pour favoriser le changement conceptuel lors de l'apprentissage de notions scientifiques

Le discours classique en didactique des sciences implique souvent l'utilisation du conflit cognitif et de la confrontation comme moteur du changement conceptuel. Or, plusieurs études nuancent l'apport réel de ce genre de conflit cognitif qui semble parfois être contre-productif, alors que l'incertitude s'avère montrer un potentiel intéressant. La présente étude utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), tente d'identifier les mécanismes cérébraux impliqués dans l'incertitude émise par des novices, quant à leurs conceptions initiales en électricité, afin de vérifier le rôle potentiel du doute comme déclencheur de changement conceptuel.

Élaine Turmel, Université du Québec à Montréal

## Contexte

En enseignement des sciences, la vision classique insiste sur une étape essentielle de l'apprentissage de nouvelles conceptions scientifiques : la prise de conscience des conceptions initiales quant à un phénomène naturel (Nussbaum et Novick, 1982). Cette étape possède tout le potentiel de générer une insatisfaction de l'élève face à ses conceptions initiales et, dès lors, de percevoir ses lacunes. Comme l'exposaient Posner et al. (1982), seule une insatisfaction de ce type peut amener l'apprenant à opérer un changement conceptuel. Selon cette position, ce n'est que lorsqu'il est confronté à des conceptions scientifiques que l'élève perçoit les anomalies ou les erreurs dans ses conceptions initiales et qu'il vit un conflit cognitif suffisant pour engendrer un changement conceptuel.

Ainsi, plusieurs recherches sur le changement conceptuel par conflit cognitif ont été menées depuis les années 1980. Les chercheurs se sont vite intéressés à la résistance des conceptions initiales, malgré de bonnes performances d'élèves aux examens. Plusieurs chercheurs se sont penchés sur les conditions favorables permettant aux élèves de vivre un conflit cognitif, pour ainsi déjouer la difficulté à faire évoluer les conceptions initiales des élèves; par exemple, celle qui consiste à croire qu'un seul fil électrique soit suffisant pour allumer une ampoule, lorsque connecté à une pile. Malgré tout, le constat demeure : le changement conceptuel ne semble pas s'opérer (par exemple, Shipstone, 1988), puisque quelques mois après les examens, une proportion inquiétante d'élèves semblent entretenir les mêmes conceptions initiales, comme s'ils n'avaient pas suivi de cours de science.

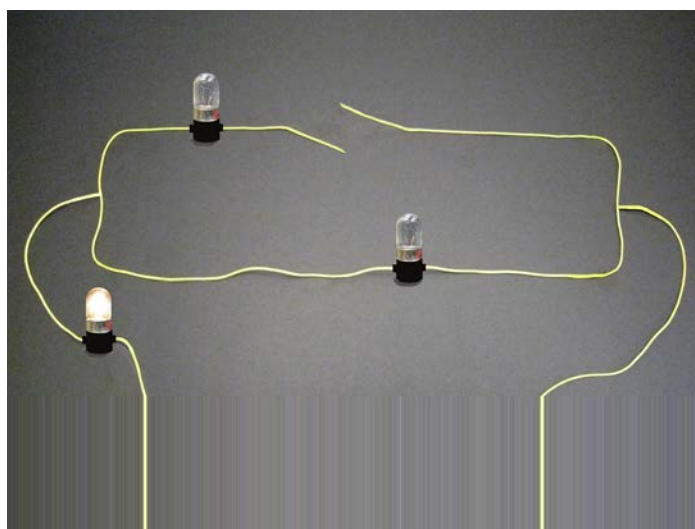
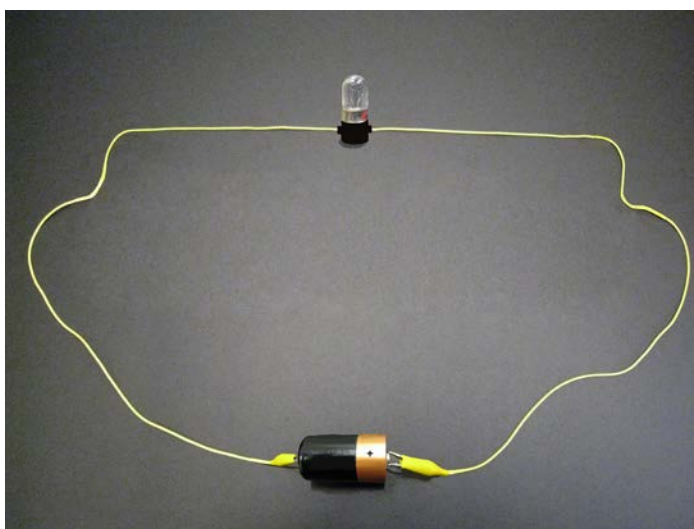
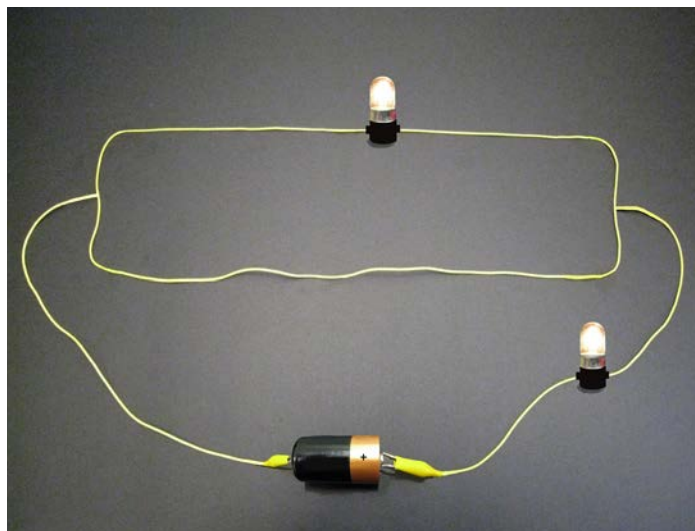
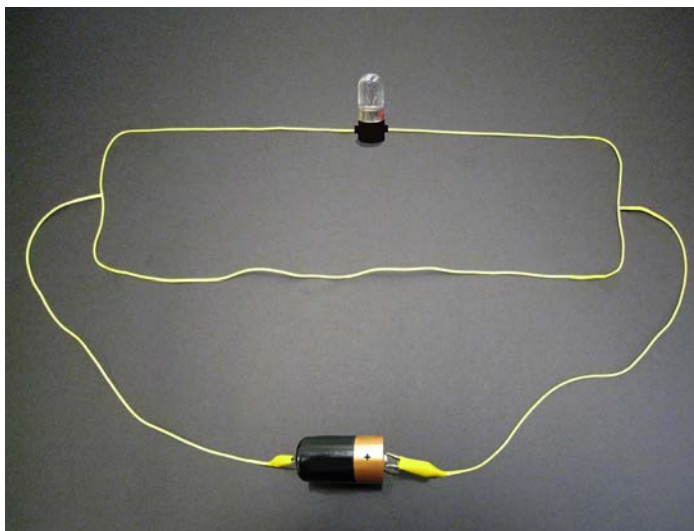
Pourtant, Potvin et al. (2003) ont démontré, qu'à court terme, les élèves pouvaient abandonner facilement leurs conceptions initiales. Ils expliquent qu'en effet, en situation nouvelle, les élèves essaient de donner des explications en

se basant sur leurs conceptions initiales. À court terme, en voyant que ces tentatives s'avèrent rapidement stériles, les élèves abandonneraient leurs conceptions initiales pour tenter de trouver la « bonne » conception, celle qui explique le phénomène de la situation nouvelle. Ainsi, serait-il contre-productif de confronter les conceptions initiales à celles que l'on tente d'enseigner pour créer un conflit cognitif (Dreyfus et al, 1990)? Est-ce possible d'envisager que cette pratique classique n'active pas le type de conflit cognitif qu'elle vise?

L'étude actuelle se base donc sur l'hypothèse selon laquelle un doute sur ses propres conceptions initiales pourrait mieux agir dans le changement conceptuel. Un doute qui émerge, non pas d'une confrontation des conceptions initiales aux conceptions scientifiques, mais plutôt celui semblable à ce qui se crée dans un certain type d'interaction entre l'enseignant et l'élève, où celui-ci demeure libre de proposer et tester des explications, tout en demeurant guidé par l'enseignant. L'étude actuelle fait aussi suite aux conclusions d'un précédent article publié dans *Spectre* (Cyr, Brault Foisy et Masson, 2009) qui a démontré, par l'étude de Fugelsang et Dunbar (2005), qu'une confrontation ne permettait pas nécessairement une meilleure mobilisation des ressources cognitives. Le cerveau aurait alors plutôt tendance à traiter les informations en contradiction avec leurs conceptions comme des erreurs à inhiber, diminuant ainsi la mobilisation de certaines régions du cerveau associées à l'apprentissage.

Ainsi, la présente étude fait écho à cette parution, en utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) pour déterminer les mécanismes cérébraux impliqués dans l'émission du doute lorsqu'un élève se trouve face à des circuits électriques soit scientifiquement corrects ou incorrects, et qu'il doive se prononcer sur leur niveau de

## 1 Exemples de circuits électriques utilisés pour l'étude.



véracité. S'il s'avère que le cerveau se mobilise cognitivement dans un tel contexte, contrairement à ce qui a été observé par Fugelsang et Dunbar (2005) dans le contexte de confrontation cognitive, ceci pourrait suggérer l'abandon de certaines pratiques pédagogiques misant sur la confrontation, pour favoriser celles qui cherchent plutôt à stimuler l'incertitude. La présente étude cherche ainsi à découvrir les mécanismes cérébraux associés à ce type précis d'incertitude, et à observer s'il y a mobilisation des régions associées à l'apprentissage.

## Le déroulement de la recherche

### Les participants

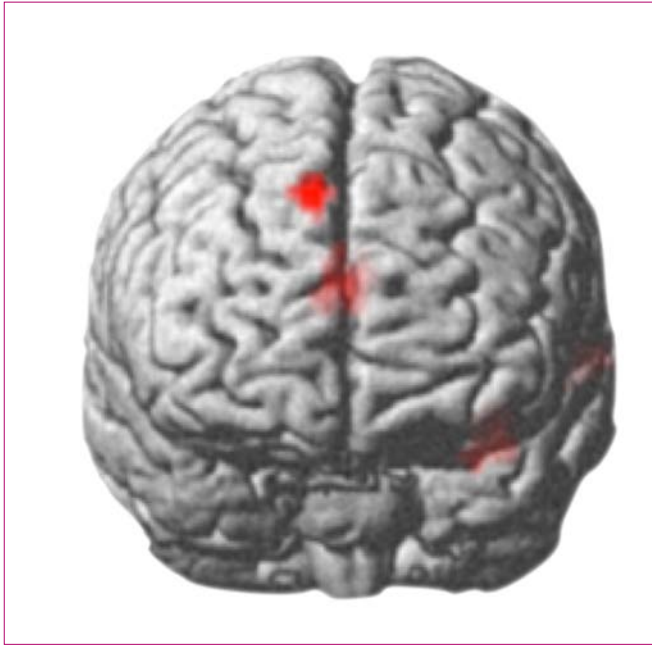
Le recrutement a permis d'obtenir 23 participants novices en physique et issus de programmes collégiaux en sciences humaines ou en arts, âgés entre 18 et 20 ans, tous droitiers et sans trouble anxieux. À cet effet, des études ont montré que les sujets atteints d'un trouble anxieux démontrent une plus grande intolérance à l'incertitude, ce qui aurait eu comme

effet de biaiser les résultats obtenus en exacerbant l'activation de certaines régions cérébrales associées à l'incertitude (Krain et al., 2008).

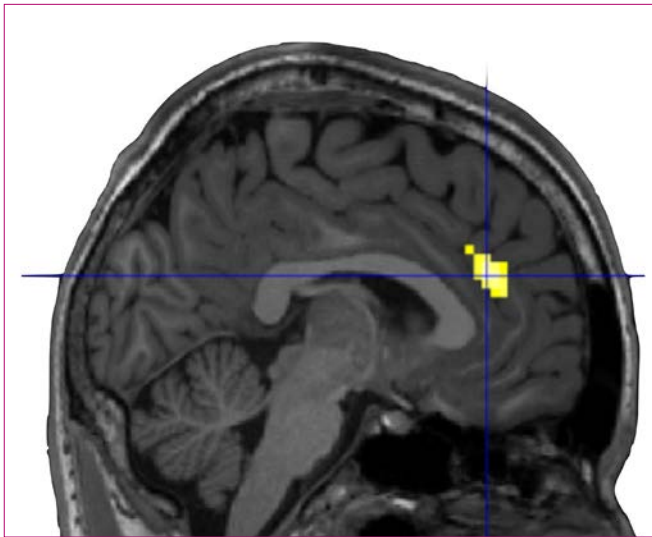
### La tâche

Une tâche composée de quatre séries de 72 images de circuits électriques simples, tantôt en série, tantôt en parallèle, a été conçue en combinant différents paramètres tels que la présence d'une, deux ou trois ampoules, la possibilité de trois différentes intensités (éteinte, moyennement allumé, fortement allumé), des coupures à même le fil électrique, ainsi que différents emplacements pour les ampoules, les coupures et les branchements. Comme le montre la figure 1, ces circuits, scientifiquement corrects ou incorrects, ont été présentés aux participants afin qu'ils puissent émettre une réponse, soit « circuit correct » ou « circuit incorrect », puis « certain de ma réponse » ou « incertain de ma réponse ».





2



2

2 Activations frontales dont le cortex préfrontal dorsomédian (en haut au centre gauche), le cortex cingulaire antérieur (au centre), puis d'autres activations donc le gyrus temporal gauche (à droite complètement) ainsi que l'insula (en bas à droite).

3 Activation du cortex cingulaire antérieur, région souvent associée à la détection de conflit cognitif et rapportée dans les études liées à la prise de décision en état d'incertitude.

## Les images cérébrales

Les images d'IRMf révèlent qu'au total quatre régions cérébrales ont été significativement plus activées lorsque les participants exprimaient une incertitude quant à leurs réponses; la figure 2 montre l'emplacement de chacune de ces régions. Par contre, seulement deux de ces activations significatives, très importantes dans l'incertitude, seront analysées dans le cadre de cet article : d'une part, l'activation située dans le cortex cingulaire antérieur droit et gauche tel que présenté à la figure 3, et d'autre part, celle du gyrus frontal supérieur droit, qui s'étend jusqu'au cortex préfrontal dorsomédian.

## L'interprétation

### Le cortex cingulaire antérieur

L'une des régions cérébrales la plus significativement activée lorsque les participants ont exprimé de l'incertitude quant à leurs réponses est le cortex cingulaire antérieur (CCA), région du cortex souvent rapportée dans les études liées à la prise de décision en état d'incertitude (Krain et al., 2006; Stern et al., 2010). En effet, le CCA est souvent impliqué dans des tâches requérant la détection de conflits informatifs, d'erreurs ou de *conflict monitoring* (Botvinick et al., 1999; Nathaniel et al., 1997). La détection de conflit peut contribuer à la prise de décision en engendrant un signal annonçant la nécessité d'un meilleur contrôle cognitif au niveau du cortex préfrontal, mais aussi en provoquant une forme de renforcement négatif menant à l'évitement de stratégies ayant échouées dans le passé.

Ce résultat révèle que le cerveau des participants novices détectait bel et bien un conflit cognitif lorsqu'ils émettaient des réponses « incertaines ». Mais comme les chercheurs n'ont pas enseigné de notions scientifiques aux participants, et qu'aucune rétroaction quant à leurs réponses ne leur a été transmise, ce conflit ne peut pas s'expliquer par le fait que les participants hésitaient entre des concepts scientifiques enseignés et leurs propres concepts initiaux, comme l'aurait fait un enseignement par confrontation. Pourtant, le conflit cognitif semble bel et bien avoir émergé. Autrement dit, les participants novices ont dû prendre une décision sous incertitude, possiblement liée à la compétition entre deux conceptions, ou alors par le fait que leurs conceptions n'expliquaient que partiellement le phénomène observé sous IRMf, les laissant dans une zone d'incertitude quant à leur réponse. Quoi qu'il en soit, l'incertitude manifestée au cours de cette étude semble ainsi être reliée à une région du cerveau typiquement associée à la détection de conflit.

## Le cortex préfrontal

Le cortex préfrontal, plus précisément la section dorsomédiane, est aussi plus significativement activé lorsque les participants émettent une incertitude quant à leurs réponses. Cette région est bien connue quant à son implication pour une certaine vigilance cognitive ou *awareness* (Volz, 2005). Ainsi, lorsque les participants sont incertains quant à leurs réponses, une vigilance des connaissances rappelées en mémoire de travail pour accomplir la tâche semble aussi participer. Cette vigilance cognitive pourrait ainsi s'apparenter à l'étape essentielle décrite par la vision classique, soit celle où l'on tente de rendre l'élève conscient de ses conceptions initiales (Nussbaum et Novick, 1982). L'incertitude étudiée dans cette recherche serait ainsi en lien avec une région du cerveau responsable de la « conscience » cognitive, ou *awareness*.

## En conclusion

Il est envisageable d'utiliser de tels résultats de recherche pour comprendre l'importance du doute comme possible agent du changement conceptuel menant à la mobilisation

de régions cérébrales associées à l'apprentissage. Dans la présente étude, l'incertitude n'a pas été créée en confrontant directement les conceptions des élèves aux conceptions scientifiques et cela ne semble pas avoir provoqué le désinvestissement cognitif observé par Fugelsang et Dunbar (2005) dans leur étude sur la confrontation cognitive. En effet, par le simple fait d'être en position de devoir émettre une opinion sur des circuits électriques, des régions associées à la prise de conscience et au conflit cognitif ont été activées lors des réponses « incertaines ». Créer une incertitude en développant un esprit critique et une attitude générale de doute chez l'élève, mais sans nécessairement confronter les élèves directement aux conceptions que l'on tente d'enseigner, voilà peut-être le réel défi des enseignants de science. Ainsi, la présente étude fait des premiers pas prometteurs vers une compréhension multidisciplinaire de l'apprentissage des sciences, et d'autres recherches sur le rôle du doute dans le changement conceptuel seront nécessaires afin de mieux comprendre son impact réel, ainsi que les pratiques pédagogiques associées.

## Références

- Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402(6758), 179-181.
- Cyr, G.; Brault Foisy, L.-M.; Masson, S. (2009). Comment le cerveau réagit-il à un conflit cognitive? *Spectre*, 39(2), 22-24.
- Dreyfus, A., Jungwirth, E., & Elivitch, R. (1990). Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change – Some Applications, Difficulties and Problems. *Science Education*, 74(5), 555-569.
- Fugelsang, J. N., & Dunbar, K. N. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43(8), 1204-1213.
- Houde, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., et al. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain: The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 721-728.
- Krain, A. L., Hefton, S., Pine, D. S., Ernst, M., Castellanos, F. X., Klein, R. G., & Milham, M. P. (2006). An fMRI examination of developmental differences in the neural correlates of uncertainty and decision-making. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 47(10), 1023-1030.
- Krain, A. L., Gotimer, K., Hefton, S., Ernst, M., Castellanos, F. X., Pine, D. S. (2008). A functional magnetic resonance imaging investigation of uncertainty in adolescents with anxiety disorders. *Biological Psychiatry*, 63, 563-568.
- Nathaniel-James, D. A., Fletcher, P., & Frith, C. D. (1997). The functional anatomy of verbal initiation and suppression using the Hayling Test. *Neuropsychologia*, 35(4), 559-566.
- Nussbaum J. et Novick, N. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation : Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. et Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P.; Thouin, M. (2003). Étude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 29(3), 525-544.
- Rowe, J. B., Toni, I., Josephs, O., Frackowiak, R. S. J., & Passingham, R. E. (2000). The prefrontal cortex: Response selection or maintenance within working memory? *Science*, 288(5471), 1656-1660.
- Shipstone, D. (1988). Pupils' understanding of simple electrical circuits. Some implications for instruction. *Physics Education*, 23(2), 92-96.
- Stern, E. R., Gonzalez, R., Welsh, R. C., & Taylor, S. F. (2010). Updating beliefs for a decision: Neural correlates of uncertainty and underconfidence. *The Journal of Neuroscience*, 30(23), 8032-8041.
- Volz, K., G., Schubotz, R.I., vonCramon, D.Y. (2005). Variants of uncertainty in decision-making and their neural correlates. *Brain Research Bulletin*, 67, 403-412.

# De nouvelles méthodologies de recherche pour mesurer l'engagement cognitif d'apprenants en science et technologie

Le texte suivant vise à présenter de nouvelles méthodologies de recherche susceptibles d'apporter de nouvelles connaissances dans le champ de la recherche en éducation au sens large, et incidemment, en recherche en didactique des sciences. Ainsi, après avoir présenté le contexte de l'émergence de ces nouvelles méthodologies et apporté certaines précisions théoriques liées au concept d'engagement, seront présentées les méthodologies de l'électroencéphalographie, de la reconnaissance faciale des émotions, de l'occulométrie et de l'activité électrodermale. Pour chacune de ces méthodologies, le texte apporte des exemples de recherche en cours, ou à venir, et évoque l'impact possible de ces travaux sur les pratiques d'enseignement des sciences.

Patrick Charland, Université du Québec à Montréal /  
Pierre-Majorique Léger, HEC-Montréal

## L'émergence récente de la neuroéducation

Bien que les premiers écrits au sujet du lien entre l'éducation et les neurosciences datent de la fin du 19<sup>e</sup> siècle (Battro, Fischer, & Léna, 2008), ce n'est que depuis quelques années que l'on assiste à une progression importante du nombre de recherches en éducation qui s'inscrivent dans une approche neuroscientifique aussi connue sous l'appellation neuroéducation.

Ainsi Masson, Potvin et Riopel (2011) observent que depuis environ cinq ans, la recherche en neuroéducation est en véritable effervescence : lancement de plusieurs revues scientifiques, apparition de nombreuses conférences spécialisées dans le domaine, publication de grands rapports et ouvrages internationaux en la matière, apparition de groupes de recherche spécialisés, création de plusieurs programmes et cours universitaires. Cette effervescence est notamment associée à un désir des chercheurs d'introduire et d'explorer de nouvelles méthodologies de recherche mixtes, novatrices et inédites, qui pourraient contribuer, comme le souhaite l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) (2007) et la Royal Society (2011), à améliorer la qualité des politiques éducatives, des pratiques d'enseignement et du matériel pédagogique.

## Émotion, motivation, apprentissage et engagement

Depuis les années 80, selon le paradigme constructiviste surtout répandu en sciences de l'éducation, l'apprentissage est souvent considéré comme un processus cognitif rationnel, où les apprenants construisent de nouvelles connaissances et/ou reconstruisent leurs conceptions intuitives existantes (Hestenes, 2010; Strike & Posner, 1992).

Cependant, selon plusieurs recherches récentes (voir Lin, Hong, & Huang, 2011; Patten, 2011), les facteurs émotionnels joueraient eux aussi un rôle important dans l'apprentissage. À cet égard, l'OCDE (2007) rappelle que :

La motivation, fondamentale dans le succès de tout apprentissage, est intimement liée à la compréhension et aux émotions. La neuroscience commence à comprendre certains des processus motivationnels qui encouragent l'apprentissage, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour ancrer l'apprentissage dans un cadre scolaire. Il faut donc découvrir ce qui motive l'apprenant. (p. 77)

Les chercheurs en psychologie cognitive et en sciences de l'éducation s'entendent généralement sur l'hypothèse que le système émotionnel d'un individu est directement lié à sa motivation.



On peut rappeler ici que, selon la théorie autodéterministe de la motivation, on distingue deux types de motivation : la motivation extrinsèque et intrinsèque. D'une manière générale, Vallerand (1997) caractérise la motivation extrinsèque comme regroupant un ensemble de comportements effectués pour des raisons instrumentales. Une personne motivée extrinsèquement ne fait pas l'activité pour cette dernière, mais plutôt pour en retirer un bénéfice ou éviter certaines conséquences négatives. D'un autre côté, Vallerand et Halliwell (1983) définissent la motivation intrinsèque en faisant référence au fait qu'une personne effectue des activités volontairement et par intérêt pour l'activité en elle-même.

En ce qui concerne le champ de recherche sur la motivation en contexte scolaire, plusieurs auteurs (comme Sheldon & Kasser, 1995) soutiennent que, depuis une trentaine d'années, les recherches en éducation se sont surtout intéressées à la motivation extrinsèque laissant souvent de côté l'étude de la motivation intrinsèque des élèves.

Pourtant, l'OCDE cite de nombreuses études qui observent qu'une grande partie de l'apprentissage dépend de la motivation intrinsèque et non de facteurs extérieurs. Pour progresser vers une meilleure compréhension et l'amélioration des méthodes d'apprentissage, il serait donc nécessaire qu'on étudie les systèmes de motivation intrinsèque des apprenants. Cette idée résonne particulièrement dans le champ de l'apprentissage des sciences qui présente une problématique bien documentée du désintérêt des jeunes, et même des filles, à l'égard de certaines matières ou carrières scientifiques. Des méthodologies de recherche permettant d'étudier la motivation intrinsèque apporteraient un éclairage nouveau sur l'intérêt ou la motivation des élèves pour les sciences.

Ainsi, plusieurs chercheurs (Russell, Ainley, & Frydenberg, 2005; Schaufeli, Bakker, & Salanova, 2006) soutiennent que l'une des manières d'étudier la motivation intrinsèque d'apprenants, selon une perspective neuroscientifique, est de s'intéresser au concept d'engagement. En effet, l'engagement et la motivation seraient des concepts fortement apparentés et la mesure de l'engagement représenterait un corollaire en temps réel permettant d'induire la motivation intrinsèque d'un individu. Pour faire image, la motivation pourrait être comparée à la vitesse moyenne d'un individu, alors que l'engagement serait sa vitesse instantanée.

## Des méthodologies de recherche récemment développées pour mesurer l'engagement

Ainsi, pour faire avancer significativement les connaissances actuelles dans le domaine de l'étude de la motivation intrinsèque et de l'engagement, notamment dans le champ de l'apprentissage des sciences, il nous apparaît essentiel de développer davantage la base des connaissances empiriques du domaine en utilisant des méthodologies nouvelles.

Récemment, des chercheurs provenant de divers champs, notamment en neuroergonomie du travail, ont justement développé et validé diverses techniques de mesure et des algorithmes d'analyse capables de quantifier le degré d'engagement d'individus face à une tâche.

La première méthodologie s'appuie sur les travaux de Pope, Bogart et Bartolome (1995), qui ont développé des algorithmes de calcul, à partir d'un signal collecté par électroencéphalographie (EEG), qui permettent d'induire un indice d'engagement. Aussi, de nouveaux types de casques de collecte du signal EEG très légers (figure 1), qui transmettent le signal sans-fil à ordinateur, permettent maintenant des recherches en contexte plus



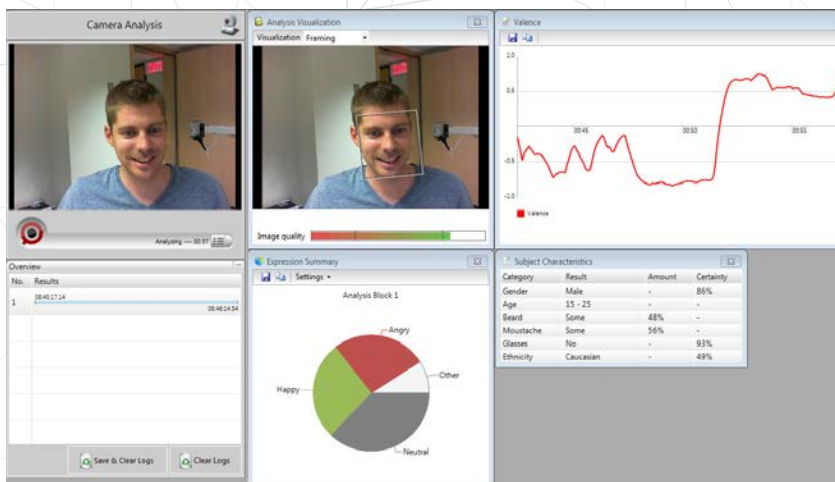
1 Casque de collecte du signal EEG B-ALERT X10 de (Advanced Brain Monitoring)

authentique, car l'appareillage est beaucoup moins dérangeant, ou intrusif pour les sujets de recherche.

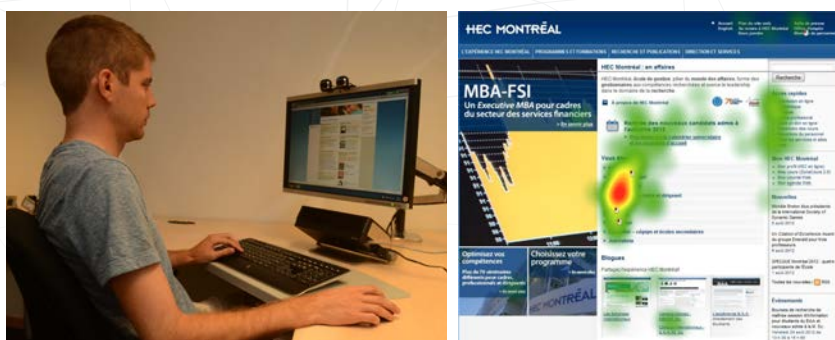
Notre équipe de recherche (Charland et al., 2012) mène actuellement des travaux visant à mesurer l'engagement d'élèves apprenant divers concepts de physique mécanique dans un jeu de simulation. Cette recherche permettra d'abord d'évaluer si l'engagement mesuré d'un apprenant est lié à sa performance d'apprentissage. Les travaux qui pourront en résulter pourront ensuite permettre d'étudier en direct l'apprentissage plutôt que de l'inférer. Ces travaux sont donc susceptibles de renseigner l'enseignant à ce qui engage ou non les élèves, dans une tâche liée ici à la compréhension qualitative des forces appliquées sur un corps en mouvement.

Outre la collecte de données directement sur le scalpe, d'autres paramètres physiologiques seraient également des indicateurs de l'engagement. Tout d'abord, plusieurs chercheurs, dont l'équipe d'Arroyo et al. (2009), commencent à utiliser des logiciels de détection faciale des émotions (*face-based emotion*). S'appuyant sur les travaux de Ekman (1992), ces logiciels sont capables de discriminer sept états émotionnels : la neutralité, la joie, la surprise, la peur, la colère, le dégoût, la tristesse (figure 2). Un autre indice issu des mêmes données, la valence, permet de déterminer si l'apprenant vit une expérience positive, neutre ou négative.

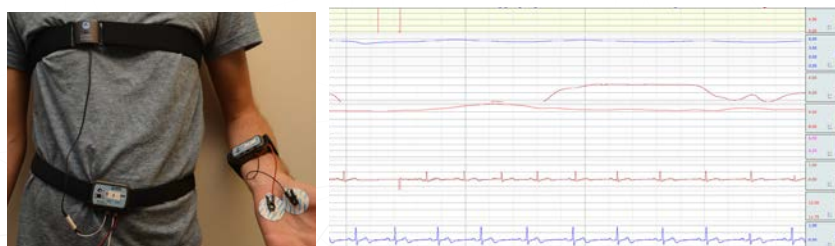
Un projet de recherche récemment financé vise justement à tenter d'identifier si le type de contexte d'un problème de physique génère des émotions différentes quand il est résolu par des filles ou des garçons. Ces données pourraient notamment influencer enseignants et maisons d'édition quant à la manière d'induire l'engagement de certains types d'élèves.



2



3



4

Aussi, d'autres chercheurs (comme de Koning et al., 2010) mesurent l'engagement d'utilisateurs de page Web en observant leurs mouvements des yeux. En effet, en définissant diverses zones d'intérêt ou même dans un environnement authentique, l'occulométrie permet de déterminer où regarde un sujet et surtout pendant combien de temps (figure 3). Par son regard, on peut donc déterminer si le sujet est engagé dans la tâche à accomplir.

Notre équipe collabore actuellement avec des chercheurs de HEC Montréal, pour lancer une étude visant à faire le lien entre la lecture des consignes liées à une tâche et la performance de l'élève liée à une tâche d'apprentissage de concepts scientifiques. Cette question a été passablement étudiée dans les travaux de recherche en didactique de la lecture, mais les appareils d'occulométrie pourront certainement apporter un regard novateur, un apport intéressant quant à la manière optimale d'élaborer les consignes d'un problème en sciences.

Finalement, la dernière méthodologie présentée est en lien avec les travaux de Fairclough (2009) qui utilisent une mesure de l'engagement combinant la collecte de données issues de la variation de la conductance électrique de la peau (ou activité électrodermale) à celle de la variation du rythme cardiaque (figure 4).

En effet, l'état d'engagement, entendu ici dans le sens de l'excitation (*arousal*), est bien documenté en psychophysiologie : il implique une accélération du rythme cardiaque et une variation dans les mécanismes de sudation de la peau. Un électrocardiogramme et deux électrodes placées sur la paume de la main peuvent alors capter les fines variations de l'engagement des sujets. Par exemple, un membre de notre équipe de recherche (Allaire-Duquette, 2012), utilise la mesure de l'activité électrodermale pour tenter d'identifier s'il y a un effet sur la réponse émotionnelle des filles et des garçons selon la contextualisation ou non d'un problème de physique mécanique.

2 Interface d'acquisition des données de reconnaissance faciale avec Noldus Facereader

3 Appareil d'acquisition des données en occulométrie et heatmap du mouvement des yeux sur une page web avec Tobii X60

4 Appareil et interface d'acquisition de l'activité électrodermale et du rythme cardiaque

## Conclusion

Toutes ces méthodologies de recherche sont récentes et tendent à s'inviter dans les protocoles de recherche en éducation. Actuellement, dans un état initial de développement, les connaissances qui pourraient en découler sont susceptibles d'influencer de manière importante les pratiques pédagogiques des enseignants de sciences.

Nous tenons cependant à souligner que le but de nos travaux n'est pas orienté par une vision neuropédagogique de l'enseignement, où tous les élèves de la classe seraient branchés par divers appareils transmettant à l'enseignant diverses informations sur leur engagement et état cognitif.

La neuroéducation est, et doit demeurer, une perspective de recherche. Elle ne vise pas non plus à remplacer les méthodologies de recherche traditionnellement utilisées en éducation : elle permet simplement d'apporter de nouvelles données qui, jusqu'à récemment, n'étaient pas disponibles à cause des technologies disponibles. L'avancement des vitesses des processeurs informatiques, la miniaturisation de diverses composantes et les collaborations interdisciplinaires entre les sciences de l'éducation et les neurosciences cognitives ont donc favorisé l'émergence de l'utilisation de ces appareils et techniques d'analyse.

## Références

- Allaire-Duquette, G. et Charland, P. (2012). L'influence de la contextualisation des problèmes de physique mécanique sur la réaction émotionnelle d'étudiantes du collégial : un projet de recherche exploratoire utilisant une mesure psychophysologique. Communication présentée dans le cadre du XVII<sup>e</sup> congrès de l'Association mondiale des sciences de l'éducation, 1-4 juin 2012, Reims, France.
- Arroyo, I., Cooper, D. G., Burleson, W., Woolf, B. P., Muldner, K., & Christopherson, R. (2009). *Emotion Sensors Go To School*. Paper presented at the Conference on Artificial Intelligence in Education: Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling, Brighton.
- Battro, A. M., Fischer, K. W., Léna, P. J., & Léna, P. (2008). *The educated brain: essays in neuroeducation*: Cambridge University Press.
- Charland, P., Léger, P.-M., Allaire-Duquette, G., Riopel, M., Potvin, P., & Skelling-Desmeules Y. (2012). *Electroencephalography : New Perspectives to Study Engagement and Cognitive Load of Learners*. Paper presented at the 10th Hawaii International Conference on Education, Honolulu, Hawaii, É.-U.
- Ekman, P. (1992). Are there Basic Emotions? *Psychological Review*, 99(3), p.550-553.
- Fairclough, S. H. (2009). Fundamentals of physiological computing. *Interacting with Computers*, 21, 133-145.
- Hestenes, D. (2010). *Modeling Theory for Math and Science Education Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies*. In R. Lesh, C. R. Haines, P. L. Galbraith & A. Hurford (Eds.), (pp. 13-41): Springer US.
- de Koning, B.B, Tabbers, H.K. Remy M.J., Rikers, P. et Paas, F. (2010), Attention guidance in learning from a complex animation: Seeing is understanding? *Learning and Instruction*, 20(2), p. 111-122.
- Lin, H.-s., Hong, Z.-R., & Huang, T.-C. (2011). The Role of Emotional Factors in Building Public Scientific Literacy and Engagement with Science. *International*.
- Masson, S., Potvin, P., & Riopel, M. (2010). Utilisation de l'imagerie cérébrale pour la recherche en éducation scientifique. In M. Riopel, P. Potvin & J. Vasquez-Abad (Eds.), *Utilisation des technologies pour la recherche en éducation scientifique* (pp. 197-222). Québec: Les Presses de l'Université Laval.
- OCDE. (2007). Comprendre le cerveau: naissance d'une science de l'apprentissage: Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement (CERI).
- Patten, K. E. (2011). The Somatic Appraisal Model of Affect: Paradigm for educational neuroscience and neuropedagogy. *Educational Philosophy and Theory*, 1(43), 87-97.
- Pope, A. T., Bogart, E. H., & Bartolome, D. S. (1995). Biocybernetic system evaluation indices of operator engagement in automated task. *Biological psychology*, 40(9), 187-195.
- Russell, V. J., Ainley, M., & Frydenberg, E. (2005). Schooling Issues Digest: Student Motivation and Engagement Retrieved 30 janvier, 2011, from [http://www.dest.gov.au/sectors/school\\_education/publications\\_resources\\_schooling\\_issues\\_digest/schooling\\_issues\\_digest\\_motivation\\_engagement.htm](http://www.dest.gov.au/sectors/school_education/publications_resources_schooling_issues_digest/schooling_issues_digest_motivation_engagement.htm)
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist; American Psychologist*, 55(1), 68-78.
- Schaufeli, W. B., Bakker, A. B., & Salanova, M. (2006). The Measurement of Work Engagement With a Short Questionnaire. *Educational and Psychological Measurement*, 66(4), 701-716.
- Sheldon, K. M., & Kasser, T. (1995). Coherence and congruence: Two aspects of personality integration. *Journal of Personality and Social Psychology; Journal of Personality and Social Psychology*, 68(3), 531-543.
- Strike, K., & Posner, G. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl & R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany: State University of New York Press.
- The Royal Society. (2011). Brain Waves Module 2: Neuroscience: implications for education and lifelong learning *Excellence in Science*. London: The Royal Society.
- Vallerand, R. J. (1997). Toward A Hierarchical Model of Intrinsic and Extrinsic Motivation. In P. Z. Mark (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. Volume 29, pp. 271-360): Academic Press.
- Vallerand, R. J., & Halliwell, W. R. (1983). Formulations théoriques contemporaines en motivation intrinsèque: Revue et critique. *Canadian Psychology*, 24(4), 243-256.



# Qui a peur de la théorie de l'évolution?

L'enseignement de l'évolution est souvent négligé par les enseignants du premier cycle du secondaire. Parfois mal comprise, elle suscite des réticences chez des enseignants qui appréhendent la réaction de certains élèves qui pensent que leurs croyances religieuses seront bousculées. Certaines stratégies peuvent atténuer l'indisposition de certains élèves à apprendre la théorie de l'évolution, mais c'est surtout son enseignement détaillé qui permettra de l'appivoiser. En effet, l'évolution devrait être enseignée comme un concept unificateur du vivant, ce qui permettrait aux enseignants de tisser une toile de sens autour de la majorité des concepts de l'univers vivant.

**Daniel Lytwynuk**, Commission scolaire de Montréal, Partenariat pour le renouveau de l'enseignement de la science et de la technologie sur l'île de Montréal (PRESTiM)

«Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution.»

- **Theodosius Dobzhansky**, généticien des populations

Lors de formations sur la théorie de l'évolution offertes par le PRESTiM<sup>1</sup>, plusieurs enseignants se disaient inquiets d'aborder ce sujet avec leurs élèves du premier cycle du secondaire. Comment ne pas offenser les élèves, provoquer un braquage, ou pire, l'hilarité ou la moquerie? « Nous sommes des animaux? » « Nos ancêtres étaient des singes?! »... Et que diront les parents? Y aura-t-il des plaintes, des demandes d'exemption des cours qui traiteront d'évolution?

Autant ne pas s'aventurer trop longtemps sur un terrain aussi glissant. Après tout, l'évolution ne représente que deux petites lignes dans un programme déjà surchargé. Et, après tout, ce n'est qu'une théorie...

## Et pourtant...

Pourtant... on s'entend généralement pour dire que la théorie de l'évolution est le concept unificateur du vivant. L'omettre, par économie, serait comme enseigner la chimie sans la théorie atomique : une liste d'épicerie de réactions chimiques. Ce serait enseigner la diversité de la vie sur Terre sans expliquer d'où elle provient et pourquoi elle est telle aujourd'hui : ce serait oublier que la science est d'abord une quête de sens.

Escamoter la théorie de l'évolution en classe du secondaire, par crainte ou par prudence, c'est faire un pas en arrière, aussi petit soit-il, vers l'obscurantisme. Enseigner la science,

c'est faire la promotion de la raison et la quête de la vérité, même quand cela dérange.

Pourtant... les enseignants ont une réticence bien légitime. Certains élèves, indignés, perçoivent qu'on leur demande de remettre en question leurs croyances religieuses.

L'approche de « l'enseignement de l'évolution sans douleur » que je propose s'articule autour de deux axes : traiter d'emblée les conflits science/religion par des stratégies de désamorçage, puis enseigner strictement la science sur laquelle repose les fondements de la théorie, sans jugement aucun, en se concentrant sur des faits.

Mais d'abord, la science.

## Les enseignants peu formés à la théorie de l'évolution

Dans le *Programme de formation de l'école québécoise* et la *Progression des apprentissages*, cela se résume à *Décrire des étapes de l'évolution des êtres vivants* et *Expliquer le processus de la sélection naturelle*, soit deux concepts sur 44 dans l'univers vivant au premier cycle du secondaire. Pourtant, ne nous y méprenons pas : le concept d'évolution est au sommet d'une hiérarchie de concepts dont découlent tous les autres. Les 42 autres concepts existent puisqu'ils sont le fruit de l'évolution du vivant. Les sciences du vivant reconnaissent maintenant que l'évolution est responsable de la parenté de tous les êtres vivants, de la bactérie à l'humain. Vous partagez 50 % de votre ADN avec la mouche à fruit!

Sans l'évolution, comment expliquerait-on qu'autant d'hominiidés différents aient existés sur Terre (à ce jour, on en dénombre une vingtaine)? Que les plus anciens être vivants connus n'étaient constitués que d'une seule cellule? Que les

<sup>1</sup> *Partenariat pour le renouveau de l'enseignement de la science et de la technologie sur l'île de Montréal*, regroupant la Commission scolaire de Montréal, la Commission scolaire de la Pointe-de-l'Île, l'UQAM, le Centre de développement pédagogique et la Direction régionale de Montréal.

plus anciens pluricellulaires n'étaient que d'une constitution simple, comme les éponges, alors que les mammifères ne sont apparus qu'il y a 200 millions d'années? Que les marsupiaux d'Australie et d'Amérique du Sud (absents d'Afrique) soient si ressemblants, et pourtant différents? Que les baleines aient des pattes arrières vestigiales incrustées dans leur corps? Que de nouvelles variétés de bactéries et de virus apparaissent sans arrêt? Que l'on fasse des prédictions sur la découverte de fossiles de transition d'une forme à une autre à certains endroits du globe et que les fouilles, effectivement, les révèlent? Que la distance génétique entre le chimpanzé et nous ne soit que de 2 %<sup>2</sup>?

## Est-ce un fait ou seulement une théorie parmi d'autres?

L'expression « La théorie de l'évolution » porte à confusion puisqu'existent aussi les expressions populaires « Ce n'est qu'une théorie » et « J'ai une théorie là-dessus ». Dans ces dernières, le terme théorie signifie plutôt hypothèse. Il revient à l'enseignant de faire la lumière sur ce que le terme théorie signifie en science, comme on l'entend dans « la théorie de l'évolution ». Une théorie scientifique est la modélisation d'un phénomène dans sa forme la plus détaillée et complète. Une théorie est un vaste réseau d'idées interreliées, maintes fois validées sur le terrain, corroborées par des observations et par des prédictions confirmées.

En fait de théorie, depuis 150 ans, l'évolution du vivant est une des théories scientifiques les plus robustes et fertiles<sup>3</sup> que nous ayons élaborées. Elle repose sur l'ensemble des observations faites concernant les changements qu'a subis le monde vivant depuis 3,8 milliards d'année (Ga), des faits pour prédire les mécanismes par lesquels les êtres vivants changent.

La théorie de l'évolution est corroborée à un niveau voisin de celle de la force de la gravité. Les données indépendantes de la zoologie, mais aussi de la botanique, de l'embryologie, de la géologie, de la paléontologie, de l'anthropologie, de la biogéographie, de la paléoclimatologie, de la biologie moléculaire, de la génétique des populations, de la paléoécologie et des diverses sciences de datation isotopique participent toutes à fournir des preuves se recoupant dans un réseau de connaissances toujours plus riche. Avec les progrès fulgurants de la génétique depuis les vingt dernières années, les preuves moléculaires sont devenues les traceurs chimiques quantitatifs de cette histoire de l'unicité du vivant.

Certains aspects des mécanismes de l'évolution, tels que la vitesse des changements évolutifs, sont toujours sujets à affinement, comme dans toutes les sciences. Mais l'idée de base énoncée par Charles Darwin en 1859 reste toujours le cœur du moteur de l'évolution : les pressions du milieu sur les individus favorisent le succès et la perpétuation de certaines recombinaisons génétiques issues de la reproduction. L'avantage reproductif que procurent certaines mutations modifie la constitution génétique de sous-populations au point où leur isolement reproductif peut engendrer de nouvelles espèces.

N'oublions pas que Darwin ne comprenait pas comment ces nouvelles variations qui apparaissaient au sein de populations pouvaient apparaître ni se transmettre. Il fallut attendre qu'un moine appelé Mendel découvre l'alphabet de l'hérédité et que la science mette au point la génétique. Le principe de base énoncé par Darwin est resté intact, mais tout un édifice de preuves s'est échafaudé sur lui, par le labeur et les foulées incroyables qu'ont faites les scientifiques du vivant au XX<sup>e</sup> siècle.

## Pour valoir la peine

Pour que le temps de classe soit bien utilisé, on a avantage à enseigner l'évolution en tant que concept unificateur (voir figure 1) de façon à intégrer la majorité des concepts de l'univers vivant du premier cycle dans un tout cohérent et porteur de sens. En effet, comme base d'une SAÉ, les explications aux questions sur les espèces et la biodiversité, les adaptations physiques et comportementales, les niches écologiques et les populations se trouvent dans la transformation et la création de nouvelles espèces en compétition entre elles, en lutte pour leur survie, et ce, pendant des millions d'années. Et pour comprendre ce mécanisme, il faut comprendre certains des concepts de base du programme. L'évolution ne devient plus « seulement deux petites lignes dans la progression », mais le noyau dur au cœur de l'univers vivant, renvoyant à l'exergue de Dobzhansky du début de cet article.

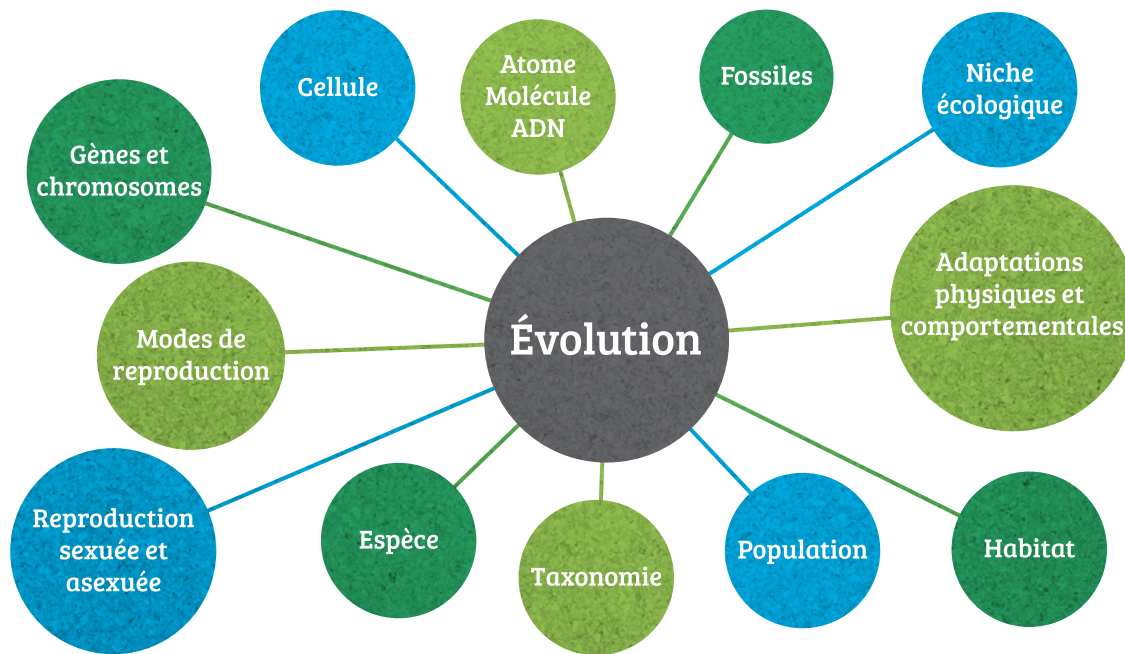
## Débuter par la problématique

C'est donc l'occasion toute choisie d'entrer dans le sujet, non pas par une séquence de concepts, mais par un questionnement, discuté et consigné par les élèves : Comment pourrait-on expliquer la diversité des êtres vivants<sup>4</sup>? Comment expliquer que les espèces « soient ajustées » les unes aux autres (relations prédateurs-proies, de mutualisme, de

<sup>2</sup> Nous sommes génétiquement plus apparentés au chimpanzé que le chimpanzé l'est au gorille.

<sup>3</sup> La robustesse d'une théorie renvoie à sa capacité à résister aux tests, la fertilité, à sa capacité à soulever de nouvelles questions et hypothèses et de mener à de nouvelles découvertes.

<sup>4</sup> 3 millions d'espèces actuellement connues, sur 10 millions totales estimées (peut-être davantage); mais seulement une espèce sur 1 000 ayant existé sur Terre est encore en vie aujourd'hui (peut-être davantage!).



**1** L'évolution comme concept unificateur du vivant.

parasitisme, etc.)? Comment expliquer la complexité croissante du vivant en lien avec l'âge de la Terre?

Au gré de leurs apprentissages qui leur permettront de construire un réseau de concepts autour de la théorie de l'évolution, les élèves seront en mesure de répondre aux multiples questions soulevées au départ quant à l'organisation du monde vivant tel qu'il se présente aujourd'hui, des relations entre les individus, les populations et leur environnement<sup>5</sup>.

### Désamorcer et se mettre en mode compréhension

« C'est Dieu qui l'a fait ainsi » pourrait tout expliquer. Mais cette affirmation demeure une réponse religieuse, un frein à la curiosité et au questionnement<sup>6</sup>, alors que les élèves dans un cours de science et technologie doivent chercher des réponses scientifiques qui mettent en relation des phénomènes du monde naturel dans un tout cohérent, et qui permettront des prédictions.

Le grand biologiste évolutionniste Steven J. Gould proposait une approche où les deux visions du monde, scientifique et religieuse, pouvaient coexister tout en étant différentes. Il proposait de les considérer en tant que deux domaines ne se chevauchant pas. La science cherche à parler de la nature du vivant, alors que la religion offre une réponse à la question « Pourquoi j'existe? » Albert Jacquard proposait de la même façon que la science décrit le monde, alors que la religion propose un projet de vie. Jean-Paul II reprit pour l'Église catholique en 1981 les mots de Galilée : la Bible « ne veut pas

enseigner comment a été fait le ciel, mais comment on va au ciel? ». C'est ainsi qu'on proposera aux élèves que comprendre comment la science explique le monde ne s'oppose pas à leurs croyances religieuses, qu'ils peuvent conserver.

Cette approche non conflictuelle et non menaçante pour les élèves est proposée par plusieurs éducateurs des États-Unis, pays où l'enseignement de l'évolution en classe est considéré dans beaucoup d'états comme un sport extrême. Une fois les esprits calmés, on propose de prendre connaissance de ce que la science a trouvé depuis 150 ans concernant la vie et la Terre, et de comprendre les explications aux questions qu'elle s'est posées. Ainsi, on n'adopte pas la posture de celui qui veut convaincre, mais de celui qui va à la rencontre des preuves.

### Se préparer aux objections courantes

Il serait souhaitable que l'enseignant se prépare à répondre à certaines questions d'élèves qui sont susceptibles de survenir. Certaines pourraient être issues des campagnes de désinformation du mouvement religio-politique créationniste. Il ne faut pas s'en inquiéter outre mesure; ces mouvements issus des États-Unis n'ont pas encore pénétré le Québec de façon notable<sup>8</sup>. Mais l'enseignant ferait bien de connaître les arguments pièges qui ont été concoctés pour ternir l'évolution et la science toute entière. On trouvera, en référence, un site Internet qui veut rétablir les faits. Un exemple d'argument créationniste, devenu classique : « Comment un œil humain

<sup>5</sup> Pour un réseau de concepts sur la théorie de l'évolution et son enseignement, communiquer avec l'auteur : lytwynukd@csdm.qc.ca

<sup>6</sup> Les Américains appellent cela un « science stopper ».

<sup>7</sup> Cité par Jacques Arould, Darwin, Teilhard de Chardin et C<sup>le</sup>, Desclée de Brower, Paris, 1996, p. 89.



aurait-il pu évoluer *par hasard*, puisque ses parties (iris, humeur, cristallin, rétine) doivent fonctionner comme un tout pour accomplir la tâche et que toutes, en toute logique, auraient dues apparaître en même temps? N'est-ce pas la preuve que l'œil a été conçu par un créateur? »

## Rester humble, mais merveilleux

Les élèves doivent faire face aux découvertes réalisées depuis 150 ans; inspirons-leur cette attitude scientifique : le courage intellectuel. Nous ne sommes pas une créature à part du monde vivant, ni même au sommet d'une hiérarchie, pas plus que la Terre est au centre de l'Univers.

« L'être humain, un animal?! » Ne peut-on pas voir l'être humain à la fois comme animal et prodigieux phénomène?

Comme un primate capable de reconstituer patiemment, brique par brique, l'histoire de son existence à partir du début de l'Univers? Ce que l'évolution aura produit de plus extraordinaire (à nos yeux), c'est un cerveau qui a la capacité de se poser sans cesse des questions. Nous sommes des primates, mais nul besoin de renier nos origines pour se tenir debout.

La peur de l'évolution peut se transformer en une source intarissable d'émerveillement. Il faut cependant accorder le temps nécessaire à enseigner le mécanisme de l'évolution pour que cela fasse sens pour les élèves, en cherchant, par efficacité pédagogique, à articuler les autres concepts de l'univers vivant au programme autour de ce concept naturellement unificateur.

## Pour une liste d'arguments ou sophismes créationnistes et le rétablissement des faits :

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/chap1/lecoindre7.html>

## Références

Barette, Cyrille. (2000) *Le miroir du monde. Évolution par sélection naturelle et mystère de la nature humaine*. Éd. MultiMondes. – Tour d'horizon des mécanismes de l'évolution, avec un ajout sur la place de l'Homo sapiens dans l'histoire de la vie sur Terre.

Dawkins, Richard. (2010) *Le plus grand spectacle au monde*. Robert Laffont éd. – Pour un tour d'horizon divertissant d'illustrations des preuves les plus éclatantes de l'évolution.

Prothero, D. R. (2007) *Evolution. What the fossils say and why it matters*. Colombia University Press, ISBN 978-0-231-13962-5. Plus costaud, seulement en Anglais, mais magistral, abondamment illustré.

<sup>8</sup> En 2009, le ministre d'État (Sciences et Technologie) Gary Goodyear, en réponse à la question d'un journaliste à savoir s'il croyait en l'évolution, répondait : « Je ne répondrai pas à cette question. Je suis un chrétien, et je ne crois pas qu'une question sur ma religion soit appropriée ». Avec les coupures généralisées dans la recherche scientifique d'un gouvernement qui entretient des relations étroites avec la droite religieuse, l'on est en droit de croire qu'il y a un travail systématique d'érosion des institutions scientifiques et même des idées scientifiques.



## Apprendre sur la vaccination... un atout pour les jeunes et leur santé.

[www.msss.gouv.qc.ca/vaccination](http://www.msss.gouv.qc.ca/vaccination)

Les jeunes reçoivent des vaccins à l'école, que ce soit contre les virus du papillome humain (VPH), contre l'hépatite B ou contre la rougeole. Dès l'âge de 14 ans, ils peuvent même décider eux-mêmes s'ils désirent ou non se faire vacciner.

En tant que professeur, vous aidez vos élèves à prendre les meilleures décisions pour leur santé. Aborder le thème de la vaccination avec eux est une belle opportunité de les aider dans leur choix.

Les cours de sciences et technologie sont aussi l'occasion de faire connaître les avantages de cette mesure de santé publique qui, depuis plus d'un siècle, prévient de nombreuses maladies infectieuses graves et sauve des millions de vies.

Efficace grâce à la science, **la vaccination est aussi une bonne protection!**

Santé  
et Services sociaux  
**Québec** 

Les sciences s'appliquent à l'UQAM

## Modéliser ou transformer?

Actuariat et chimie au service de l'environnement.

[sciences.uqam.ca](http://sciences.uqam.ca)

**PORTES  
OUVERTES**  
**Samedi**  
10 novembre 2012



**Sophie Limoges,**  
étudiante au baccalauréat en actuariat



**Julia Agullo,**  
étudiante au doctorat en chimie

**L'effet UQAM**

# Alimente ta Vie Savoure ton Emploi



## L'industrie de la transformation alimentaire, l'un des plus importants secteurs manufacturiers en termes d'emplois au Québec.

Découvrez la face cachée des étiquettes en vous renseignant sur les ingrédients essentiels...

### LES TRAVAILLEURS DE L'INDUSTRIE.

#### TA BOUFFE, DU DÉBUT À LA FAIM!

Un seul site [www.tabouffe.com](http://www.tabouffe.com) pour découvrir 27 professions de l'industrie bioalimentaire par le biais d'activités interactives. Un guide d'activités complémentaire à l'intention des enseignants est également disponible.

Ta bouffe du début à la faim



#### LA MÉCANIQUE, LE SAVIEZ-VOUS?

Des moteurs, des robots, des équipements automatisés, pour voir en un clin d'œil à quoi peut ressembler la vie d'un mécanicien travaillant dans le monde de la transformation alimentaire, visitez le [www.besoindunmecano.com](http://www.besoindunmecano.com).



#### ALIMENTAIRE, MON CHER!

Atelier interactif où la classe se transforme en usine de fabrication de barres tendres avec des équipes de recherche et développement, de production et de marketing. Soixante-quinze minutes de découvertes sur les professions du secteur de la transformation alimentaire.

Activité sans frais. Informez-vous à [admin@csmota.qc.ca](mailto:admin@csmota.qc.ca).



[www.csmota.qc.ca](http://www.csmota.qc.ca)  
[www.alimentetavie.com](http://www.alimentetavie.com)



Comité sectoriel de **main-d'œuvre en transformation alimentaire**

Commission des partenaires du marché du travail

Québec



Réalisé grâce à la contribution financière de la commission des partenaires du marché du travail.



# Science-tech

au secondaire

## UNE NOUVELLE FAÇON DE VOIR LES SCIENCES

NOUVEAUX CAHIERS (1<sup>RE</sup> À 4<sup>E</sup> SECONDAIRE)  
CONFORMES À LA PROGRESSION DES APPRENTISSAGES.

ÉGALEMENT DISPONIBLES EN VERSION NUMÉRIQUE  
ENRICHIE :

- À PROJETER EN CLASSE;
- À LIRE SUR IPAD.

INFOSERVICE : 1 800 567-3671



Éditions Grand Duc

