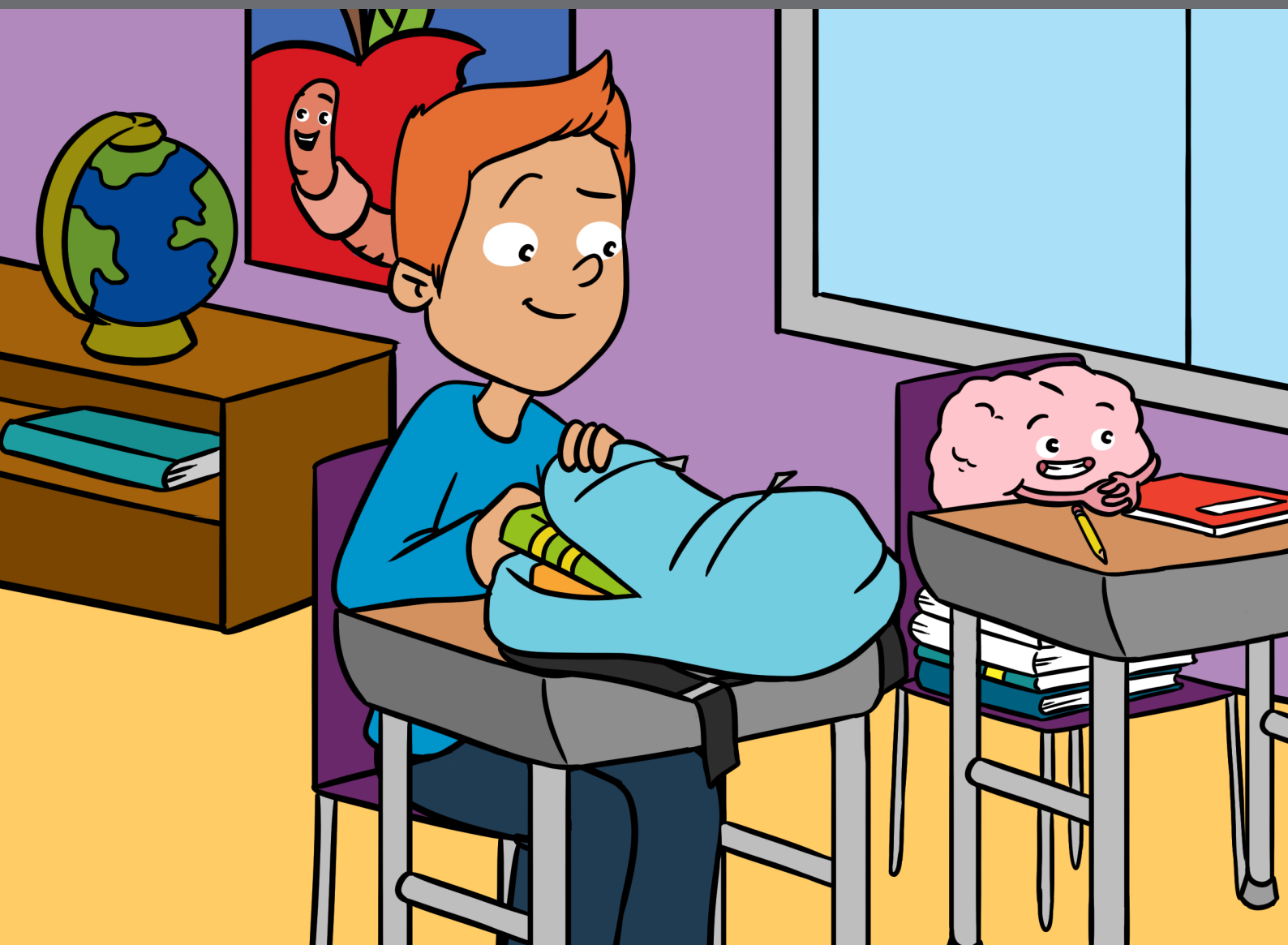


# TOUT CE QUE VOUS ET VOS ENSEIGNANTS DEVRIEZ SAVOIR SUR LE CERVEAU EN APPRENTISSAGE

ÉDITÉ PAR: Sabine Peters, Nienke van Atteveldt, Jessica Massonnié  
et Stephan E. Vogel

PUBLIÉ CHEZ: Frontiers for Young Minds





# frontiers

## FOR YOUNG MINDS

### **Livre numérique de Frontiers : déclaration concernant le droit d'auteur**

Le texte des articles contenus dans le présent livre numérique est protégé par le droit d'auteur. Il est la propriété de leurs auteurs respectifs ou de leurs institutions ou bailleurs de fonds. Les illustrations et images contenues dans chacun des articles peuvent relever du droit d'auteur de tierces parties. Dans tous les cas, le droit de les utiliser a été octroyé à Frontiers.

La compilation d'articles constituant ce livre numérique est la propriété de Frontiers.

Chaque article de ce livre numérique, et ce livre numérique lui-même, sont publiés sous la version la plus récente de la licence Creative Commons CC-BY.

La version en vigueur à la date de publication de ce livre numérique est CC-BY 4.0. Si la licence CC-BY est mise à jour, la licence accordée par Frontiers est automatiquement mise à jour vers la nouvelle version.

Lors de l'exercice de droits régis par la licence CC-BY, Frontiers doit être crédité en tant qu'éditeur original de l'article ou du livre numérique, selon le cas de figure.

Il appartient aux auteurs de s'assurer que toute illustration ou tout autre matériel qui est la propriété d'autrui peut être inclus dans la licence CC-BY, et cette vérification doit être faite avant de se fier à la

licence CC-BY pour la reproduction de ce matériel. Toute mention de droit d'auteur relative à ces éléments doit être respectée.

Les mentions de droit d'auteur et de source doivent être conservées et indiquées dans toute copie, travail dérivé ou copie partielle qui inclut les éléments en question.

Tous les droits d'auteur et tous les droits y afférents sont protégés par les lois nationales et internationales sur le droit d'auteur. Ce qui précède n'est qu'un résumé. Pour de plus amples informations, veuillez lire les conditions d'utilisation du site internet et la déclaration concernant le droit d'auteur de Frontiers, ainsi que la licence CC-BY en vigueur.

ISSN 2296-6846

ISBN 978-2-8325-2942-3

DOI 10.3389/978-2-8325-2942-3

### **A propos de Frontiers**

Frontiers est plus qu'une maison d'édition open-access d'articles scientifiques : son approche est pionnière dans le monde académique, améliorant de manière radicale la gestion de la recherche scientifique. La grande vision de Frontiers est un monde où toutes les personnes ont une chance égale de rechercher, de partager et de générer des connaissances. Frontiers fournit un accès ouvert en ligne, immédiat et permanent à toutes ses publications, mais cela ne suffit pas à lui seul pour atteindre nos grands objectifs.

### **A propos de Frontiers for Young Minds**

Frontiers for Young Minds estime que la meilleure façon de mettre les découvertes scientifiques de pointe à la disposition d'un public plus jeune est de permettre aux jeunes et aux scientifiques de travailler ensemble pour créer des articles à la fois précis et passionnants.

C'est la raison pour laquelle d'éminents scientifiques sont invités à écrire sur leurs découvertes de pointe dans un langage accessible aux jeunes lecteurs, et il appartient ensuite aux enfants eux-mêmes – avec l'aide d'un mentor scientifique – de fournir des commentaires et d'expliquer aux auteurs comment améliorer au mieux les articles avant publication.

Ainsi, Frontiers for Young Minds propose une collection d'articles scientifiques librement accessibles, rédigés par d'éminents scientifiques, et destinés à un jeune public grâce à la participation de leurs propres jeunes pairs.

### **Que sont les Collections Frontiers for Young Minds?**

Une Collection est une série d'articles publiés sur un seul thème de recherche et organisés par des experts du domaine. En offrant une couverture plus complète des perspectives et résultats autour d'un sujet de recherche important, nous espérons fournir de la matière conduisant à un niveau de compréhension supérieur de la science fondamentale.

Les Collections Frontiers for Young Minds offriront à notre communauté internationale de jeunes esprits un accès aux travaux de recherche les plus récents et les plus fondamentaux; et, plus important encore, donneront aux enfants les moyens d'avoir leur mot à dire sur la façon dont ces connaissances atteignent leurs pairs et le grand public. Chaque article est évalué par des pairs selon les principes de Frontiers for Young Minds.

Découvrez comment héberger votre propre Collection Frontiers for Young Minds ou y contribuer en tant qu'auteur en contactant le bureau éditorial de Frontiers : [kids@frontiersin.org](mailto:kids@frontiersin.org)

# TOUT CE QUE VOUS ET VOS ENSEIGNANTS DEVRIEZ SAVOIR SUR LE CERVEAU EN APPRENTISSAGE

Éditeurs de la Collection :

**Sabine Peters**, Université de Leiden, Pays-Bas

**Nienke van Atteveldt**, Vrije Universiteit Amsterdam, Pays-Bas

**Jessica Massonnié**, University College London, Royaume-Uni

**Stephan E. Vogel**, Université de Graz, Autriche

Les enfants vont à l'école pour apprendre, et l'apprentissage se fait dans le cerveau. A l'âge de la scolarisation formelle, le cerveau d'un enfant subit encore des changements développementaux majeurs. Pour ces raisons, les neurosciences (étude du cerveau) et l'éducation sont étroitement liés. Apprendre est possible car le cerveau est plastique : la plasticité désigne la capacité du cerveau à réorganiser sa structure et ainsi modifier ses fonctions et son comportement.

Mais qu'est ce qui change exactement dans le cerveau lorsque nous apprenons quelque chose de nouveau ? Quelles sont les conditions optimales pour que le cerveau apprenne ? Pourquoi oublions-nous aussi des choses ? Quels changements développementaux se produisent dans le cerveau pendant l'enfance et l'adolescence, et en quoi ces processus sont-ils différents ou similaires aux mécanismes neuronaux de l'apprentissage et de la mémorisation ?

La recherche en neuro-imagerie, ou 'imagerie cérébrale', a accéléré notre compréhension actuelle du développement du cerveau, de l'apprentissage, de la mémoire et d'autres compétences liées à l'école telles que la lecture et les mathématiques, mais aussi la créativité, la métacognition et les émotions et anxiétés liées à l'apprentissage. Mais que mesurent réellement ces techniques d'imagerie cérébrale ? À quel genre de questions peut-on répondre avec la neuro-imagerie, et quelles en sont les limites ?

Dans cette Collection, nous fournirons un aperçu accessible des connaissances de pointe actuelles sur les mécanismes du développement cérébral, de l'apprentissage et de la mémoire. La collection aidera les enfants à comprendre comment leur cerveau apprend et se développe, et comment ces processus sont façonnés par leur environnement et leurs propres efforts. De plus, nous expliquerons pourquoi il est important que leurs enseignants et autres acteurs de l'éducation connaissent le cerveau et les méthodes des neurosciences. Enfin, nous expliquerons également

ce qui se passe si de fausses idées sur le cerveau circulent ou si les connaissances correctes sont mal interprétées. Les neuromythes tels que “ nous n'utilisons que 10 pourcents des capacités de notre cerveau ” sont persistants, mais il est important de les contrer en expliquant pourquoi ils sont faux et ce qui est vrai à la place.

**Remerciements:** Les bénévoles suivants ont aidé à la traduction, à la révision et à la relecture de la version française de la collection : Marjory Denisard, Emilie Schrepfer, Cosima Willi, Elena Laurinavichute, Igor Faulmann, Laura Peña, et Marc Bettex.

**Citation:** Peters, S., van Atteveldt, N., Massonnié, J., Vogel, S. E., eds. (2023). *Tout Ce Que Vous Et Vos Enseignants Devriez Savoir Sur Le Cerveau En Apprentissage*. Lausanne: Frontiers Media SA. doi: 10.3389/978-2-8325-2942-3

Afin de faciliter la lecture de ces documents, le masculin générique est utilisé pour désigner les deux sexes.



# Table des matières

## SECTION 1

### COMMENT LE CERVEAU APPREND-IL ET POURQUOI AVEZ-VOUS BESOIN DE LE SAVOIR?

**07** *COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU CERVEAU POUR MIEUX APPRENDRE*

Jérémie Blanchette Sarrasin, Lorie-Marlène Brault Foisy, Geneviève Allaire-Duquette et Steve Masson

**15** *POURQUOI L'ESPRIT HUMAIN EST-IL SEMBLABLE À UN REQUIN: TESTS SUR L'IDÉE DE MUTUALISME*

Rogier A. Kievit, Ivan L. Simpson-Kent et Delia Fuhrmann

**23** *TIRER LES LEÇONS DES ERREURS COMMISES: COMMENT LE CERVEAU GÈRE-T-IL LES ERREURS?*

Knut Overbye, Rune Bøen, Rene J. Huster et Christian K. Tamnes

**31** *COMMENT UTILISER TA MÉMOIRE POUR APPRENDRE DE NOUVELLES CHOSES*

Marlieke van Kesteren et Martijn Meeter

**39** *EST-CE QUE ÇA EN VAUT LA PEINE? COMMENT LE CERVEAU DÉCIDE DE FOURNIR UN EFFORT (OU PAS)*

Anne-Wil Kramer, Hilde M. Huizenga, Lydia Krabbendam et Anna C. K. van Duijvenvoorde

**47** *L'APPRENTISSAGE SOCIAL ET LE CERVEAU: COMMENT APPREND-ON DES AUTRES ET SUR EUX?*

Bianca Westhoff, Iris J. Koele et Ilse H. van de Groep

## SECTION 2

### NEUROMYTHES : PAS TOUT CE QUE VOUS LISEZ SUR L'APPRENTISSAGE ET LE CERVEAU N'EST VRAI!

**56** *LES NEUROMYTHES À L'ÉCOLE*

Victoria C. P. Knowland et Michael S. C. Thomas

**65** *POUR EN FINIR AVEC UN MYTHE SIMPLISTE: LES STYLES D'APPRENTISSAGE, ÇA N'EXISTE PAS*

Breanna C. Lawrence, Burcu Yaman Ntelioglou et Todd Milford

## SECTION 3

### GRANDIR, DEVENIR PLUS INTELLIGENT : COMMENT LE CERVEAU SE DÉVELOPPE-IL?

**72** *TON CERVEAU PENDANT LA PUBERTÉ*

Marjolein E. A. Barendse, Theresa W. Cheng et Jennifer H. Pfeifer

**81** *LE CERVEAU ADOLESCENT EST ABSOLUMENT IMPRESSIONNANT*

Kathryn L. Mills et Jeya Anandakumar

## **SECTION 4** **COMMENT POUVONS-NOUS REGARDER À L'INTÉRIEUR DU CERVEAU EN APPRENTISSAGE?**

### **90 MESURER LES ONDES CÉRÉBRALES EN CLASSE**

Nienke van Atteveldt, Tieme W. P. Janssen et Ido Davidesco

### **99 UTILISER LA LUMIÈRE POUR COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU CERVEAU EN CLASSE**

Mojtaba Soltanlou et Christina Artemenko

### **106 L'IMPORTANCE DE L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM) DANS L'ÉTUDE DU CERVEAU PENDANT LA LECTURE**

Nora Maria Raschle, Réka Borbás, Carolyn King et Nadine Gaab

## **SECTION 5**

### **QUE FAIT VOTRE CERVEAU PENDANT LES MATHS ET LA LECTURE?**

#### **114 COMBIEN FONT 2 × 4? COMPRENDRE COMMENT LE CERVEAU RÉSOUT LES PROBLÈMES ARITHMÉTIQUES**

Nikolaus Koren, Judith Scheucher et Stephan E. Vogel

#### **123 L'IMPORTANCE DE LA PENSÉE SPATIALE DANS L'APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES**

Katie A. Gilligan

#### **132 QUARANTE-DEUX OU DEUX ET QUARANTE: APPRENDRE LES MATHÉMATIQUES DANS DIFFÉRENTES LANGUES**

Julia Bahnmueller, Hans-Christoph Nuerk et Krzysztof Cipora

#### **140 COMMENT APPRENDRE PLUS FACILEMENT LE VOCABULAIRE D'UNE LANGUE ÉTRANGÈRE?**

Brian Mathias, Christian Andrä, Katja M. Mayer, Leona Sureth, Andrea Klingebiel, Gesa Hartwigsen, Manuela Macedonia et Katharina von Kriegstein

## **SECTION 6**

### **DES CHOSES QUI PEUVENT STIMULER L'APPRENTISSAGE... OU LE RENDRE PLUS DIFFICILE**

#### **150 SI TU VEUX ENTRAÎNER TON CERVEAU, LIS CET ARTICLE!**

Dietsje Jolles et Linda Van Leijenhorst

#### **158 MUSIQUE ET APPRENTISSAGE: LA MUSIQUE REND-ELLE PLUS INTELLIGENT?**

Gabriella Musacchia et Alexander Khalil

#### **165 QUAND CHOISIR DE NE PAS TOUT ÉCOUTER PERMET DE MIEUX ENTENDRE ET APPRENDRE**

Angela M. AuBuchon et Ryan W. McCreery

#### **174 JEUX D'ESPRIT: LA TECHNOLOGIE ET LE CERVEAU ADOLESCENT EN DÉVELOPPEMENT**

Lucía Magis-Weinberg et Estelle L. Berger

#### **183 CERVEAU EN APPRENTISSAGE ET CANNABIS**

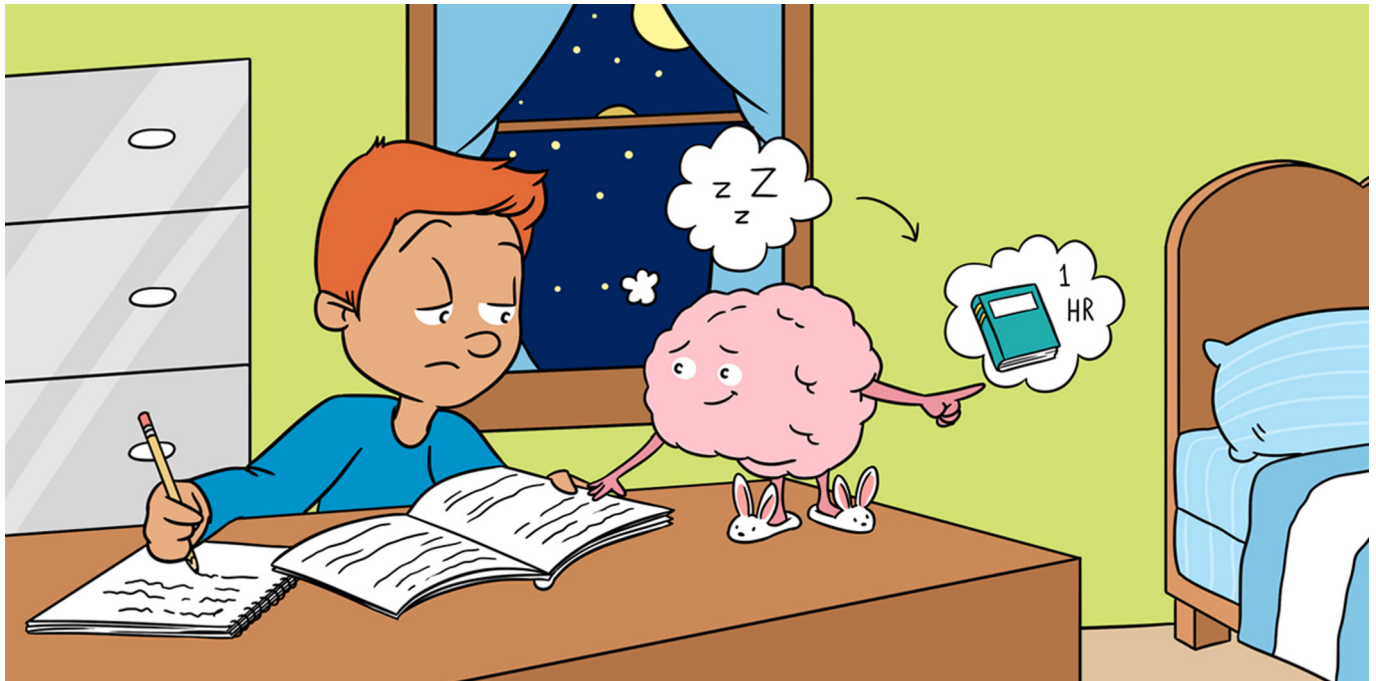
Lana Vedelago, Jillian Halladay, Catharine Munn, Katholiki Georgiades et Michael Amlung

**191** *UNE BONNE NUIT DE SOMMEIL EST NÉCESSAIRE POUR LES JEUNES  
ESPRITS*

M. Elisabeth Koopman-Verhoeff et Jared M. Saletin

**200** *DES ZZZS AUX AAAS: L'IMPORTANCE DU SOMMEIL DANS LE  
PROGRAMME D'ÉTUDES*

Emma James, Ann-Kathrin Joechner et Beate E. Muehlroth



## COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU CERVEAU POUR MIEUX APPRENDRE

Jérémie Blanchette Sarrasin<sup>1,2\*</sup>, Lorie-Marlène Brault Foisy<sup>1,2</sup>, Geneviève Allaire-Duquette<sup>3</sup> et Steve Masson<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Département de Didactique, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada

<sup>2</sup>Laboratoire de recherche en neuroéducation, Montréal, QC, Canada

<sup>3</sup>Département de mathématiques, Enseignement scientifique et technologique, Constantiner School of Education, Université de Tel Aviv, Tel Aviv, Israël

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



DR. H.  
BAVINCK  
SCHOOL

ÂGES: 8–12



LOCARNO  
HIGH  
SCHOOL

ÂGES: 17–18

Ces dernières années ont été marquées par de nombreuses découvertes sur le cerveau en apprentissage. Grâce à ces connaissances, les enseignants peuvent désormais créer un cadre pédagogique encore plus propice à l'apprentissage. Si la compréhension du cerveau peut être utile aux enseignants, elle peut également être intéressante pour toi en tant qu'élève. Elle peut par exemple te conforter dans ta confiance en ta capacité à améliorer tes propres compétences, te permettant alors de fournir plus d'efforts et de mieux utiliser les stratégies d'apprentissage nécessaires [1]. Dans le présent article, nous te présentons quelques principes fondamentaux du cerveau en apprentissage et te proposons des stratégies d'apprentissage inspirées des neurosciences, à essayer à l'école ou chez toi.

## QUE SE PASSE-T-IL DANS MON CERVEAU QUAND J'APPRENDS?

Le cerveau humain se compose principalement d'environ 85 milliards de neurones, nombre qui dépasse de loin celui des étoiles visibles à l'œil nu dans le ciel nocturne. Un neurone est une cellule qui, comme un messenger, envoie des informations sous forme d'influx nerveux (comme des signaux électriques) aux autres neurones (voir [Figure 1](#)). Quand tu écris, par exemple, certains neurones de ton cerveau envoient le message «bouger les doigts» à d'autres neurones, puis ce message est véhiculé jusqu'à tes doigts par des nerfs (qu'on peut comparer à des câbles électriques). Ce sont donc les signaux électriques communiqués d'un neurone à l'autre qui te permettent de faire tout ce que tu veux faire, que ce soit écrire, réfléchir, regarder, sauter, discuter, compter et ainsi de suite. Chacun de nos neurones peut être relié à 10 000 autres neurones, ce qui entraîne un très grand nombre de connexions dans notre cerveau [2] et le fait ressembler à une toile d'araignée très dense (voir [Figure 2](#)).

### Figure 1

Deux neurones connectés entre eux.

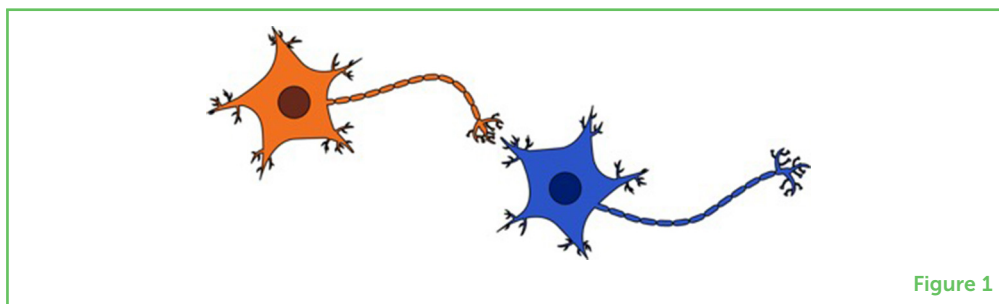


Figure 1

### Figure 2

Plusieurs neurones et leurs multiples interconnexions.

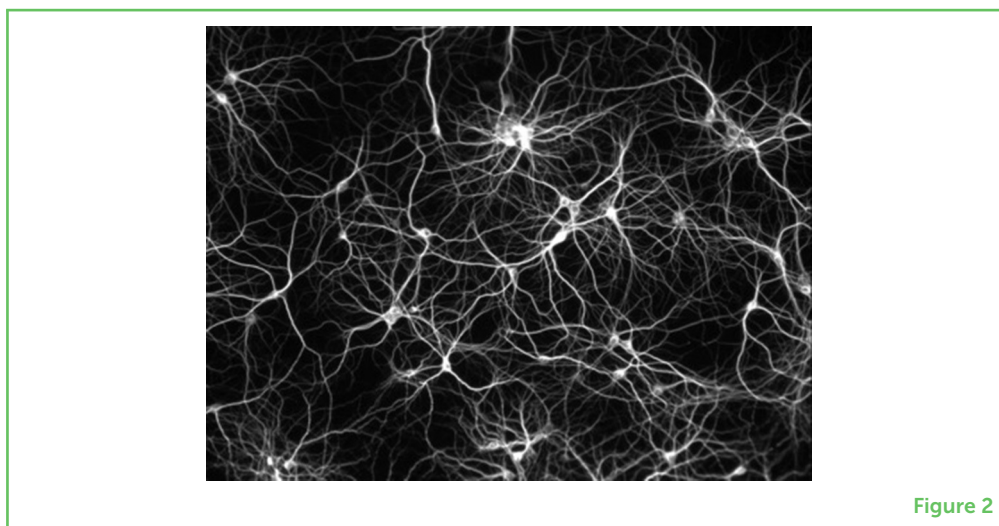


Figure 2

## NEUROPLASTICITÉ

C'est la capacité du cerveau à modifier, c'est-à-dire à créer, renforcer, affaiblir ou défaire les connexions entre les neurones.

Quand tu es en train d'apprendre, d'importants changements s'opèrent au niveau de ton cerveau, parmi lesquels la création de nouvelles connexions entre des neurones. On appelle ce phénomène la «**neuroplasticité**». Plus tu t'exerces, plus ces liaisons se renforcent. Et plus elles se renforcent, plus les messages (influx nerveux) sont

transmis rapidement et plus ils sont efficaces [3]. C'est ce phénomène qui te permet de faire des progrès dans tout ce que tu apprends, que ce soit le football, la lecture, le dessin ou n'importe quoi d'autre. On peut comparer les connexions entre les neurones aux sentiers qui traversent une forêt (voir Figure 3). Il est difficile de marcher dans une forêt où il n'y a pas de chemins, car il faut alors s'en frayer un soi-même en écartant les buissons et les branches. Mais plus un chemin est emprunté, plus il devient praticable et facile à suivre. Inversement, si l'on cesse d'emprunter un sentier, la végétation regagne du terrain et le rend peu à peu impraticable. Cette image du chemin illustre bien ce qui se passe dans le cerveau: quand on cesse de faire quelque chose, les connexions entre les neurones s'affaiblissent et peuvent même être définitivement interrompues ou disparaître. C'est pour cette raison qu'il est difficile de recommencer à lire à la rentrée si on n'a pas lu pendant les grandes vacances. Cependant, il arrive que certains réseaux neuronaux deviennent si forts que leurs «chemins», c'est-à-dire leurs connexions, ne disparaîtront plus jamais complètement.

### Figure 3

On peut comparer les connexions interneuronales aux sentiers qui sillonnent une forêt.



Figure 3

Le fait qu'apprendre réactive les neurones montre combien le cerveau est dynamique, adaptable, c'est-à-dire combien il est susceptible d'évoluer. Pratiquer une activité ou réviser active nos neurones, et c'est ainsi que nous apprenons. Ces changements s'opèrent dès le moment où le futur bébé grandit dans le ventre de sa mère, et ils se poursuivront tout au long de sa vie. La question est donc de savoir ce que nous pouvons faire pour aider nos neurones à créer et à renforcer leurs connexions. Nous te présentons ci-dessous deux stratégies qui semblent particulièrement adaptées au fonctionnement du cerveau et pourraient donc te permettre de mieux apprendre.



## ACTIVER TES NEURONES DE FAÇON RÉPÉTÉE

En pratiquant beaucoup, en essayant de faire remonter des informations de ta mémoire, par exemple en expliquant une idée ou une leçon à quelqu'un ou en répondant à des quiz.

## QUELLES SONT LES STRATÉGIES D'APPRENTISSAGE LES PLUS COMPATIBLES AVEC TON CERVEAU?

### Stratégie n° 1: Activer tes neurones de façon répétée

Étant donné que les connexions interneuronales doivent être activées de nombreuses fois pour se renforcer et devenir plus efficaces, la première stratégie est de les activer régulièrement. Ce qui signifie que pour apprendre, par exemple les tables de multiplication, il faut que tu t'entraînes plusieurs fois afin de créer un «chemin» (des connexions) entre tes neurones. Les bébés n'apprennent pas à parler et à marcher en un seul jour: ils doivent beaucoup pratiquer avant d'y arriver. Par ailleurs, il faut savoir que le simple fait de lire une leçon ou d'y jeter un coup d'œil ne suffit pas pour établir des connexions interneuronales: il faut aussi faire remonter les informations de sa mémoire, c'est-à-dire se rappeler ce qu'on a appris. Nous ne prétendons pas que c'est toujours facile à faire, la répétition peut parfois nous sembler décourageante et ennuyeuse! Mais n'oublie pas que les scientifiques pensent que ces «efforts» vont te permettre de mieux apprendre puisque le défi à relever est de créer de nouvelles connexions entre tes neurones. Et rappelons-nous toujours qu'apprendre quelque chose de nouveau est un peu comme marcher dans une forêt sans chemins bien tracés. Au début, on ne pourra sans doute pas avancer rapidement, mais plus on continuera à parcourir cette forêt, plus les sentiers seront dégagés, et on finira par s'y promener confortablement. Par ailleurs, lorsque tu fais une erreur en essayant de te rappeler quelque chose que tu as appris, sache que cette erreur est une vraie chance, car elle te permet d'identifier ce que tu n'as pas bien mémorisé, et donc de le réviser.

Des scientifiques ont aussi découvert que les examens, interrogations et autres évaluations permettaient de mieux se souvenir de ce qu'on a appris [4]. Si tu apprends par exemple les tables de multiplication en vue d'une interrogation, tu auras certainement un meilleur résultat que si tu avais travaillé sans l'objectif de l'épreuve. Pourquoi? Parce qu'une évaluation t'oblige à aller récupérer des informations stockées dans tes neurones, ce qui active et renforce leurs connexions. D'où l'intérêt de réviser régulièrement – et de manière pertinente. Tu peux essayer chez toi différentes stratégies, notamment répondre à des questions sur le sujet que tu dois apprendre, ou utiliser des fiches de révision. Ces méthodes te permettront d'apprendre plus efficacement que la relecture ou l'écoute des cours (à condition bien sûr de ne pas retourner tes fiches avant d'avoir trouvé les réponses, haha!). Mais il y a aussi d'autres stratégies, par exemple préparer des questions qu'on va poser à un camarade ou à un parent, ou refaire une interrogation ou des exercices. Sers-toi de ton imagination! Ce que tu dois retenir ici, c'est premièrement que pour renforcer les connexions entre tes neurones, il faut que tu ailles récupérer les informations stockées dans ta mémoire, et non te contenter de lire ou d'écouter les réponses. Deuxièmement, qu'il te faut trouver un moyen de vérifier si tes

réponses étaient correctes ou incorrectes. Et troisièmement, qu'il ne faut pas te décourager si tu rencontres des difficultés, car les difficultés sont une étape naturelle du processus d'apprentissage qui se déroule dans ton cerveau.

### Stratégie n° 2: **Espacer l'activation de tes neurones**

Maintenant que tu sais que pour bien apprendre, tes neurones doivent être activés régulièrement (et qu'ici, «activation» signifie «récupération des informations dans ta mémoire»), tu te demandes certainement combien de fois il faut que tu travailles un sujet pour bien le savoir. Les scientifiques qui s'intéressent au cerveau en apprentissage ont constaté que le fait d'insérer des phases de repos et de sommeil entre les phases d'apprentissage améliorerait la qualité de ce dernier et limitait les risques d'oubli [5]. En conséquence, la meilleure méthode semble être d'espacer des phases d'étude relativement brèves plutôt que d'apprendre longtemps sans se reposer. Par exemple, au lieu d'étudier tes cours ou de faire tes devoirs pendant 3 heures d'affilée, ce qui est très fatigant, il vaut mieux que tu divises ton travail en trois phases d'une heure, voire en six de 30 minutes. La raison, c'est qu'une pause insérée entre deux phases d'étude permet à ton cerveau de rendre plus performantes les nouvelles connexions créées entre tes neurones. En faisant une courte pause, disons d'environ 20 minutes, entre deux phases de travail, tu favorises l'entretien et le remplacement des récepteurs situés à la surface de tes neurones. Ces récepteurs sont comparables à des prises électriques recevant l'influx nerveux (les signaux électriques) d'autres neurones. Faire une pause améliore leur fonctionnement et facilite la transmission de l'influx nerveux d'un neurone à l'autre. Enfin, lorsque tu t'accordes une nuit de sommeil entre deux séances de travail, tu bénéficies en fait d'une séance gratuite de récupération, car pendant ton sommeil, ton cerveau réactive les connexions interneuronales que tu as activées pendant la journée. Une petite sieste a le même effet: s'il t'arrive de t'endormir en classe, tu peux dire à ton professeur que tu es en fait en train de faire un exercice de récupération des leçons que tu as apprises...! Pour résumer, on peut dire que quand tu étales ton apprentissage et la récupération des informations apprises dans le temps, ton cerveau est mieux activé que quand tu concentres ton apprentissage sur une seule longue séance.

Maintenant, tu te demandes peut-être comment répartir tes phases de travail au quotidien. En fait, il existe plusieurs façons de le faire, ce qui permet de s'adapter à différentes compétences – résoudre un problème mathématique, mémoriser des définitions, etc. Le principal changement que tu peux introduire dans ta façon d'étudier est, comme nous l'avons vu, de répartir ton travail sur plusieurs séances relativement brèves. Tu peux aussi demander à tes enseignants de donner chaque jour ou chaque semaine à ta classe des petites interrogations d'entraînement. Enfin, l'espacement des phases d'apprentissage peut passer par ce qu'on appelle l'«entrelacement»: il

#### **ESPACER L'ACTIVATION DE TES NEURONES**

En travaillant régulièrement, mais sur de courtes durées: plutôt que d'étudier pendant 2 heures d'un coup, étale plutôt ton temps d'étude sur 4 fois 30 minutes sur plusieurs jours. Cela permettra à ton cerveau de se reposer et, le soir, de trouver facilement le sommeil, ce qui est essentiel pour enregistrer des souvenirs à long terme.



s'agit d'effectuer une série de tâches de manière à ce que deux tâches consécutives ne puissent pas être résolues par la même stratégie. Par exemple, étudier tes leçons de mathématiques en mélangeant au hasard les problèmes de géométrie, d'algèbre ou d'inégalité. Avantage supplémentaire de cette méthode: en assimilant différents problèmes entre deux séances de travail, tu gagnes du temps! Enfin, la dernière chose à retenir est que réapprendre des informations qui ont été déjà apprises nécessite moins d'efforts, car le temps qui s'est écoulé entre les deux a permis à ton cerveau de construire les éléments dont tes neurones ont besoin pour se connecter.

## CONCLUSION

L'apprentissage se fait dans le cerveau: c'est pourquoi tes neurones doivent rester actifs pour mieux profiter du temps que tu passes à travailler en classe et après les cours. Les deux stratégies d'apprentissage proposées dans cet article te permettront de mieux apprendre en créant des conditions propices pour consolider les connexions établies entre tes neurones. Tu sais maintenant que tu peux t'améliorer en empruntant régulièrement les «sentiers» de ton cerveau, et en intercalant phases d'apprentissage et phases de repos. À toi de jouer maintenant!

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires à cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Blanchette Sarrasin, J., Nenciovici, L., Brault Foisy, L.-M., Allaire-Duquette, G., Riopel, M., and Masson, S. 2018. Effects of inducing a growth mindset in students by teaching the concept of neuroplasticity on motivation, achievement, and brain activity: a meta-analysis. *Trends Neurosci. Educ.* 12:22–31. doi: 10.1016/j.tine.2018.07.003
2. Rossi, S., Lanoë, C., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., and Lubin, A. 2015. When I met my brain: participating in a neuroimaging study influences children's naive mind-brain conceptions. *Trends Neurosci. Educ.* 4:92–7. doi: 10.1016/j.tine.2015.07.001
3. Kania, B. F., Wronska, D., and Zieba, D. 2017. Introduction to neural plasticity mechanism. *J. Behav. Brain Sci.* 7:41–8. doi: 10.4236/jbbs.2017.72005
4. Zaromb, F. M., and Roediger, H. L. 2010. The testing effect in free recall is associated with enhanced organizational processes. *Mem. Cogn.* 38:995–1008. doi: 10.3758/MC.38.8.995

5. Callan, D. E., and Schweighofer, N. 2010. Neural correlates of the spacing effect in explicit verbal semantic encoding support the deficient-processing theory. *Hum. Brain Mapp.* 31:645–59. doi: 10.1002/hbm.20894

**ÉDITEUR:** Nienke Van Atteveldt

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Serena Petrocchi

**CITATION:** Blanchette Sarrasin J, Brault Foisy L-M, Allaire-Duquette G et Masson S (2023) Comprendre le fonctionnement du cerveau pour mieux apprendre. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00054-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Blanchette Sarrasin J, Brault Foisy L-M, Allaire-Duquette G and Masson S (2020) Understanding Your Brain to Help You Learn Better. *Front. Young Minds* 8:54. doi: 10.3389/frym.2020.00054

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Blanchette Sarrasin, Brault Foisy, Allaire-Duquette et Masson. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### DR. H. BAVINCKSCHOO, ÂGES: 8–12

Nous sommes quatre classes de l'école Bavinckschool à Haarlem, aux Pays-Bas. Nous sommes en tout 40 enfants qui ont envie d'apprendre un peu plus que le programme scolaire normal. Nous avons pris un énorme plaisir à vérifier des articles pour FYM: nous les avons lus avec beaucoup de concentration et d'enthousiasme, et en avons fait une évaluation critique. Nous avons vraiment aimé pouvoir contribuer à la science en donnant ce coup de main.



### LOCARNO HIGH SCHOOL, ÂGES: 17–18

Salut! Nous représentons deux classes du gymnase de Locarno en Suisse. Nous étudions la chimie et la biologie. C'est notre dernière année de secondaire et nous préparons les examens de fin d'année qui commenceront dans 2 mois. Ça a été un grand plaisir pour nous d'analyser cet article et nous vous remercions pour cette intéressante activité que vous nous avez fournie. Grâce à vous, nous avons pu donner nos avis sur un texte scientifique rédigé en anglais (qui n'est pas notre langue maternelle). Nous nous sommes vraiment sentis pris au sérieux!

## AUTEURS



### JÉRÉMIE BLANCHETTE SARRASIN

Je suis doctorante à l'Université du Québec à Montréal. Je m'intéresse à la manière dont le cerveau apprend, et aux enseignements que l'on peut en tirer pour promouvoir des méthodes pédagogiques mieux adaptées au cerveau en apprentissage. L'objectif de mes recherches est d'enseigner aux élèves comment fonctionne leur cerveau pour les aider à apprendre plus efficacement. \*[blanchette\\_sarrasin.jeremie@uqam.ca](mailto:blanchette_sarrasin.jeremie@uqam.ca)



### LORIE-MARLÈNE BRAULT FOISY

Je suis professeure à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Après avoir longtemps enseigné à l'école primaire, j'ai décidé de mener des recherches en sciences de l'éducation, et précisément sur la manière dont les enfants apprennent. Je crois qu'il est important de bien comprendre ce qui se passe dans le cerveau des enfants lorsqu'ils apprennent plusieurs choses en parallèle (par exemple la lecture, la science, etc.). Si nous voulons leur offrir un enseignement plus adapté et performant, il nous faut comprendre la manière dont leur cerveau apprend.



### GENEVIÈVE ALLAIRE-DUQUETTE

Je suis post-doctorante à la Constantiner School of Education à l'Université de Tel-Aviv. Mes recherches comme mon enseignement portent sur l'étude interdisciplinaire de l'apprentissage, du développement et de l'enseignement humains, et plus précisément sur le domaine «Mind, Brain, and Education» (MBE), en français «Esprit, cerveau et éducation». Mes travaux actuels visent à mieux comprendre les mécanismes du raisonnement scientifique et mathématique grâce à des méthodes issues des neurosciences cognitives.



### STEVE MASSON

Je suis professeur à l'Université du Québec à Montréal. J'utilise l'imagerie par résonance magnétique (IRM) pour examiner le cerveau humain et voir les changements qui s'y opèrent lorsque les élèves apprennent à l'école. Parfois, je cherche même à déterminer si la manière dont les enseignants travaillent influence les modifications observées dans le cerveau pendant l'apprentissage. C'est passionnant!

**French version provided by**

Version Française fournie par

 **JACOBS  
FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## POURQUOI L'ESPRIT HUMAIN EST-IL SEMBLABLE À UN REQUIN: TESTS SUR L'IDÉE DE MUTUALISME

Rogier A. Kievit<sup>1\*</sup>, Ivan L. Simpson-Kent<sup>1</sup> et Delia Fuhrmann<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Unité dédiée aux sciences cognitives et cérébrales de la MRC, Université de Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni

<sup>2</sup>Département de psychologie, Institut de psychiatrie, psychologie & neurosciences, King's College de Londres, Londres, Royaume-Uni

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



AIDAN  
ÂGE: 9



DANIELA  
ÂGE: 10



LEIMINA  
ÂGE: 11



LUCIE  
ÂGE: 11

Nous cherchons à comprendre pourquoi les enfants, en grandissant, présentent certaines compétences cognitives quant à la lecture, l'écriture et la résolution de problèmes. Pour ce faire, nous avons suivi des centaines d'enfants pendant plusieurs années pour voir comment les compétences comme la faculté de résoudre des problèmes et la maîtrise du vocabulaire changent avec le temps. Nous avons d'abord constaté que le fait d'avoir un bon vocabulaire permet aux enfants de s'améliorer plus rapidement dans la résolution de problèmes. Cela fonctionne également dans l'autre sens, le fait qu'ils puissent résoudre les problèmes démontre leur aptitude à apprendre rapidement de nouveaux mots. Autrement dit, chaque compétence cognitive peut participer au développement d'autres compétences cognitives. C'est ce qu'on appelle le mutualisme. Nous avons été très enthousiasmés par cette découverte, car elle peut nous aider à comprendre comment les enfants s'améliorent dans des domaines qu'ils ne pratiquent jamais directement, et comment les enseignants

peuvent mieux aider les enfants qui trouvent certains sujets scolaires plus difficiles.

## CE QUE LES ANIMAUX PEUVENT NOUS APPRENDRE CONCERNANT NOTRE CERVEAU

L'une des visions les plus étranges du monde se trouve au large des côtes australiennes: il s'agit d'un petit poisson dénommé poisson-ventouse ou rémora qui s'attache aux requins à l'aide de la ventouse située sur sa tête (Figure 1 – image avec le requin). Pourquoi le requin ne mange-t-il pas le poisson-ventouse? Pourquoi le poisson-ventouse se rapproche-t-il du requin? Il se trouve que les deux créatures profitent de cette situation. Le poisson-ventouse mange les parasites et la peau morte du requin, ce qui aide ce dernier à rester propre et en bonne santé. En retour, il parcourt librement les océans grâce au requin et mange les déchets laissés par celui-ci; ce qui le protège contre les autres prédateurs qui redoutent le requin – tout le monde y gagne! Ce phénomène au cours duquel deux espèces animales bénéficient l'une de l'autre s'appelle le mutualisme. Récemment, les scientifiques se sont appuyés sur le **mutualisme** pour comprendre une réalité qui, a priori, semble très différente: l'apprentissage humain.

### MUTUALISME

Idée selon laquelle plusieurs compétences cognitives (comme la maîtrise du vocabulaire et la capacité à résoudre les problèmes) aident les autres à se développer avec le temps.

### Figure 1

Un poisson-ventouse en train de s'appuyer sur un requin citron (source: Albert Kok, Wikimedia).

### COGNITIF

L'adjectif «cognitif» est employé par les scientifiques pour désigner ce qui a trait aux processus psychiques comme la réflexion, le raisonnement, la mémorisation et la faculté à résoudre les problèmes.

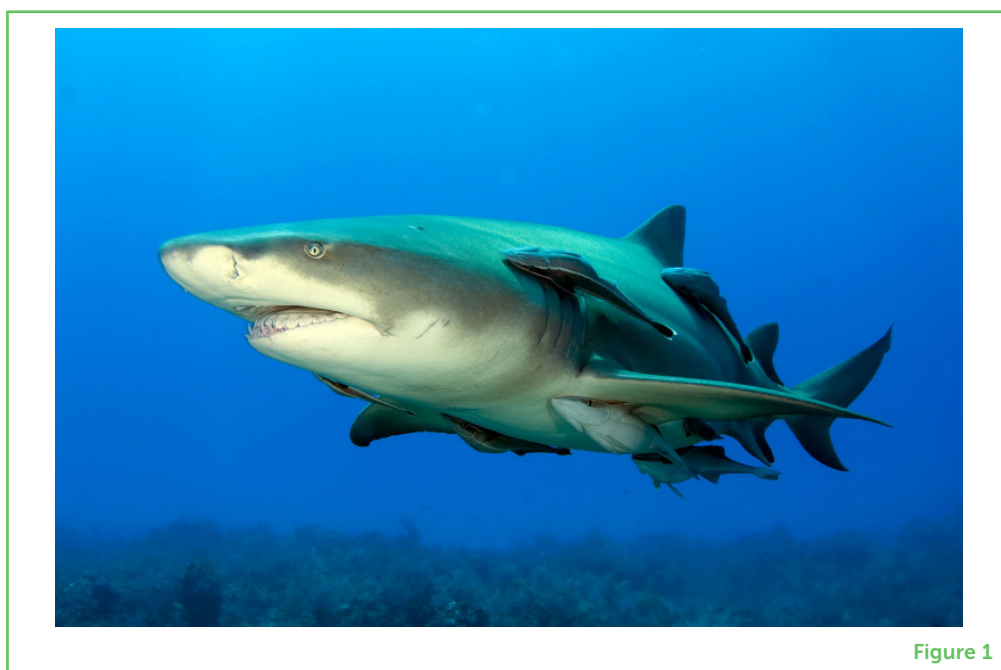


Figure 1

## QU'EST-CE QUE LE MUTUALISME?

Chaque fois que tu essayes de résoudre un problème – à l'école ou ailleurs – tu utilises ce que les psychologues appellent les capacités **cognitives**. Les capacités cognitives sont des choses comme la

## VOCABULAIRE

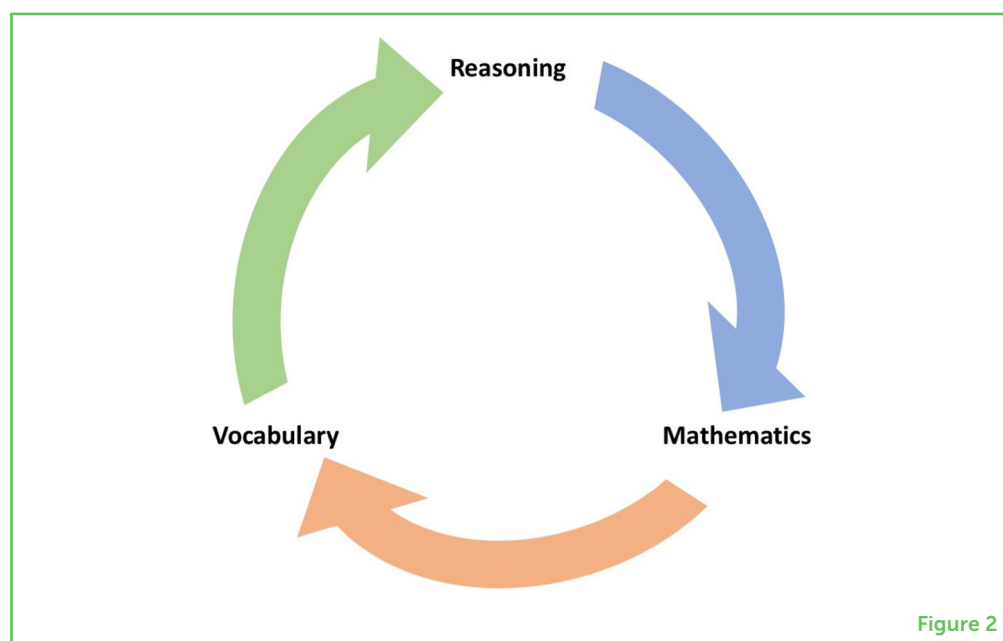
Renvoie au nombre de mots dont on maîtrise le sens.

mémoire (si tu te souviens bien des choses passées), le vocabulaire (combien de mots tu connais) et le raisonnement (tes capacités à résoudre des problèmes). Beaucoup de choses que tu fais et que tu apprends à l'école reposent sur des capacités cognitives. Le **vocabulaire**, par exemple, est un élément de base très important de la langue, avec d'autres compétences. Par exemple, tu utilises ton vocabulaire lorsque tu postules à un emploi, lorsque tu racontes une histoire ou lorsque tu écris un message à un ami.

Généralement, les scientifiques examinent les différentes compétences cognitives séparément de la même manière qu'on étudie plusieurs matières à l'école. Cependant, dans certaines études récentes, les scientifiques ont découvert des liens passionnants entre les capacités cognitives. Il s'avère qu'au lieu d'être des compétences totalement distinctes, tes capacités cognitives se comportent un peu comme les requins et les poissons ventouses – elles s'aident mutuellement à se développer au fil du temps. Comme tu peux le voir dans la **Figure 2** (voir l'image avec les flèches disposées en cercle), ton vocabulaire n'est pas seulement utile dans l'amélioration de tes compétences linguistiques, il peut aussi aider ton raisonnement qui, à son tour, peut aider tes compétences en mathématiques, qui peuvent aider ton vocabulaire. Cette idée est appelée mutualisme des capacités cognitives [1].

### Figure 2

Le mutualisme renvoie au fait que plusieurs compétences cognitives s'aident entre elles à se développer au fil du temps. Reasoning = Raisonnement, Vocabulary = Vocabulaire, Mathematics = Mathématiques.



### Comment tester l'idée de mutualisme?

Pour tester l'idée du mutualisme, nous avons suivi 800 jeunes (âgés de 14 à 24 ans) dans le temps et mesuré leur vocabulaire et leur capacité de raisonnement [2]. La **Figure 3** te présente ce à quoi ressemblent les tests sur le vocabulaire et le raisonnement. Dans le test sur le vocabulaire, nous avons demandé à nos jeunes de montrer



un cône (parmi d'autres formes) et de donner le sens de l'adjectif «enthousiaste». Quant au test sur le raisonnement, il s'agissait d'un puzzle à remplir (la consigne: compter les formes, de gauche à droite, dans chaque rangée). Dans notre étude, les enfants et les adolescents ont passé ces tests deux fois, à environ 1,5 an d'intervalle.




### Figure 3

Exemple d'un test sur le vocabulaire (vocabulary test, à gauche) et sur le raisonnement (reasoning test, à droite) utilisé pour étudier le mutualisme des compétences cognitives. What does "enthusiastic" mean? = Que signifie «enthousiaste»? Which shape is called a cone? = Quelle forme est appelée «cône»? Which one belongs in the empty square? = Quel est le motif manquant dans la case vide?









### Vocabulary test

What does 'enthusiastic' mean?

Which shape is called a *cone*?

### Reasoning test

|   |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |   |

Which one belongs in the empty square?





|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
|---|---|---|---|

Figure 3

Nous avons constaté que les enfants et les adolescents se sont un peu améliorés en vocabulaire et en raisonnement au fil du temps, tout comme on s'améliore dans la plupart des domaines en grandissant. Ce que nous avons surtout découvert, c'est la preuve de l'existence du mutualisme des compétences cognitives. Il se trouve donc qu'avoir d'abord un bon vocabulaire favorise le raisonnement qui, à son tour, permet d'apprendre rapidement de nouveaux mots. De la même manière que le fait d'avoir un bon équilibre ou de pouvoir courir vite peut t'aider à progresser dans des sports comme le football ou le tennis, le fait d'avoir un bon vocabulaire et de pouvoir raisonner peut t'aider à développer d'autres compétences cognitives. Pour évaluer la pertinence de ce constat, nous avons testé l'idée de mutualisme chez un autre groupe – cette fois plus jeune (âgé de 6 à 8 ans). Bien sûr, et une fois de plus, nous avons constaté que les enfants présentant un raisonnement plus cohérent progressaient plus rapidement en vocabulaire et vice versa [3].

## COMMENT LE MUTUALISME PEUT-IL T'AIDER À L'ÉCOLE?

Pourquoi comprendre de l'idée de mutualisme cognitif pourrait-elle t'aider? Eh bien, pour plusieurs raisons. En effet, le mutualisme permet de comprendre ce qui se passe lorsqu'on apprend de nouvelles choses à l'école. Deux scientifiques, Stuart Ritchie et Elliot Tucker-Drob, ont utilisé les données recueillies auprès de plus de 600 000 personnes

[4] et ont remarqué que l'école nous rend meilleurs aux tests cognitifs, comme les tests de Quotient Intellectuel (QI). Cela est plutôt étonnant dans la mesure où la plupart de ces tests n'avaient jamais été directement enseignés en classe. Leurs résultats suggèrent qu'aller à l'école te rend en fait plus intelligent, même pour les choses que tu n'apprends pas directement. On peut faire le parallèle avec le mutualisme: avoir de bonnes bases favorise le développement rapide de nouvelles compétences cognitives.

La compréhension du mutualisme est également utile lorsque tu as des difficultés à l'école. Supposons que tu aies des difficultés en mathématiques et que tu ne saches pas comment t'améliorer. Selon le mutualisme, il se pourrait que l'amélioration d'une capacité cognitive (comme le vocabulaire) t'aide à améliorer d'autres capacités cognitives, y compris celles que tu trouves plus difficiles (comme les mathématiques), même si elles ne semblent pas liées. Ne baisse donc pas les bras si vite avec les maths. Travailler sur autre chose, comme la lecture, peut t'aider à progresser en maths, ce qui peut t'aider à t'améliorer en français, ce qui à son tour peut faire progresser tes notes en maths, et ainsi de suite.

D'ailleurs, une nouvelle étude démontre que le fait d'être un peu plus fort en lecture aide les enfants à améliorer leurs compétences en multiplication au fil du temps [5]. Par conséquent, le fait d'être fort dans une matière à l'école est non seulement une bonne chose en soi, mais elle t'aide également à développer d'autres compétences.

## **QU'AVONS-NOUS APPRIS CONCERNANT LE CERVEAU HUMAIN?**

Nos recherches sur le mutualisme prouvent que le cerveau humain se comporte en quelque sorte comme le requin et le poisson-ventouse: diverses compétences cognitives comme la maîtrise du vocabulaire et la capacité à résoudre les problèmes aident d'autres compétences à se développer dans le temps. Ainsi, le mutualisme peut être perçu comme une règle générale d'apprentissage en classe et en dehors. Le mutualisme montre l'importance de créer des liens. Tes enseignants et toi pourriez trouver des liens entre différents sujets et différentes matières – quels sont les liens entre eux, et comment peux-tu utiliser ce que tu as appris en mathématiques pour comprendre la biologie? En réfléchissant sur ces liens et en les établissant entre les matières, tu pourras obtenir de meilleurs résultats à l'école. Le mutualisme te permet même de voir ces matières différemment. Il ne s'agit pas que de travailler dur; il faut aussi élargir autant que possible ton champ d'apprentissage. On ne connaît jamais tous les bénéfices qu'une compétence cognitive aura sur les autres.

Le mutualisme est un tout nouveau domaine de recherche, il reste encore beaucoup à apprendre. Nous cherchons encore à comprendre



comment il s'opère dans les salles de classe. Nous ne savons pas si, par exemple, d'autres compétences cognitives comme la mémorisation présentent aussi des effets du mutualisme, si certains enfants le démontrent plus que les autres, comment le cerveau le gère, ni pendant combien de temps il faut s'exercer à la lecture pour qu'elle soit avantageuse pour les mathématiques. Mais nous y travaillons; reste à l'écoute!

## REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier Callahan Collier (âgé de 11 ans) pour son apport inestimable à la première ébauche de ce manuscrit. Nous remercions aussi tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette Collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglophones et la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## ARTICLE SOURCE ORIGINAL

Kievit, R. A., Hofman, A. D., and Nation, K. 2019. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning in young children: a replication and extension of the study by Kievit et al. (2017). *Psychol. Sci.* 30:1245–52. doi: 10.1177/0956797619841265

## RÉFÉRENCES

1. Van Der Maas, H. L., Dolan, C. V., Grasman, R. P., Wicherts, J. M., Huizenga, H. M., and Raijmakers, M. E. 2006. A dynamical model of general intelligence: the positive manifold of intelligence by mutualism. *Psychol. Rev.* 113:842–61. doi: 10.1037/0033-295X.113.4.842
2. Kievit, R. A., Lindenberger, U., Goodyer, I. M., Jones, P. B., Fonagy, P., Bullmore, E. T., et al. 2017. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning supports cognitive development during late adolescence and early adulthood. *Psychol. Sci.* 28:1419–31. doi: 10.1177/0956797617710785
3. Kievit, R. A., Hofman, A. D., and Nation, K. 2019. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning in young children: a replication and extension of the study by Kievit et al. (2017). *Psychol. Sci.* 30:1245–52. doi: 10.1177/0956797619841265
4. Ritchie, S. J., and Tucker-Drob, E. M. 2018. How much does education improve intelligence? A meta-analysis. *Psychol. Sci.* 29:1358–69. doi: 10.1177/0956797618774253
5. Rinne, L. F., Ye, A., and Jordan, N. C. 2019. Development of arithmetic fluency: a direct effect of reading fluency? *J. Educ. Psychol.* 112:110–30. doi: 10.1037/edu0000362

**ÉDITEUR:** Sabine Peters

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Gert-Jan Pepping

**CITATION:** Kievit RA, Simpson-Kent IL et Fuhrmann D (2023) Pourquoi l'esprit humain est-il semblable à un requin: Tests sur l'idée de mutualisme. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00060-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Kievit RA, Simpson-Kent IL and Fuhrmann D (2020) Why Your Mind Is Like a Shark: Testing the Idea of Mutualism. *Front. Young Minds* 8:60. doi: 10.3389/frym.2020.00060

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Kievit, Simpson-Kent et Fuhrmann. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### AIDAN, ÂGE: 9

Aidan a 9 ans, il aime le codage et la science. Il aime aussi énormément lire, notamment les séries de livres comme "Wings of Fire," "How to Train Your Dragon," "The Three Doors Trilogy," "Deltora Quest," "His Dark Materials Trilogy," "Mr. Gum," "Harry Potter," et "Weir Do."



### DANIELA, ÂGE: 10

Salut, je m'appelle Daniela. J'ai 10 ans. Je vis en Australie. Mon hobby principal est le tennis et ma matière préférée est la science. Plus tard, j'aimerais étudier la médecine et devenir médecin.



### LEIMINA, ÂGE: 11

Salut, j'aime tous les sports, plus particulièrement le netball. Je dirais que je suis une assez bonne artiste. J'aime lire et apprendre de nouvelles choses.



**LUCIE, ÂGE: 11**

Lucie aime la science et les mathématiques. Elle s'intéresse beaucoup à la biologie et à la chimie. Sur son temps libre, elle aime lire. Les ouvrages de non-fiction, les livres d'action, de fantaisie et les histoires d'amour sont ses genres préférés.

**AUTEURS****ROGIER A. KIEVIT**

Rogier est un psychologue qui cherche à comprendre pourquoi les enfants acquièrent rapidement des compétences et pourquoi les personnes âgées ont tendance à être moins bonnes en prenant de l'âge. Il examine plusieurs grands groupes d'enfants et d'adultes pour déterminer comment leurs cerveaux changent au fil du temps et comment ces changements affectent leur manière de réfléchir, de raisonner et de se souvenir du passé. Il aime les requins et était très content de pouvoir ajouter la photo d'un requin dans cet article.  
[\\*rogier.kievit@mrc-cbu.cam.ac.uk](mailto:rogier.kievit@mrc-cbu.cam.ac.uk); [www.rogierkievit.com](http://www.rogierkievit.com)

**IVAN L. SIMPSON-KENT**

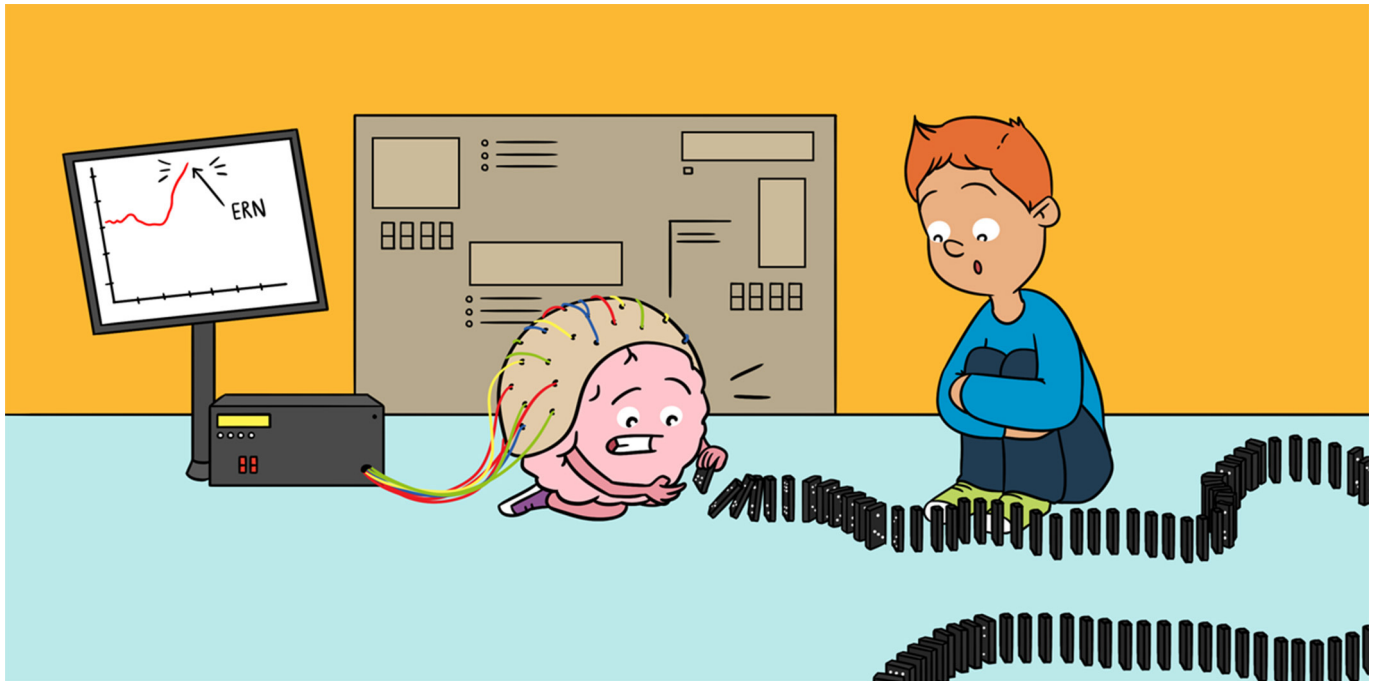
Ivan est doctorant à l'Unité dédiée aux sciences cognitives et cérébrales de la MRC de Cambridge. Dans ses recherches, il essaie de comprendre comment le cerveau et le comportement interagissent durant l'enfance et l'adolescence pour générer l'intelligence. Il espère appliquer les observations de ses recherches dans l'orientation des politiques éducatives particulièrement pour les jeunes ayant du mal à apprendre à l'école.

**DELIA FUHRMANN**

Delia est une psychologue fascinée par la manière dont l'esprit et le cerveau se développent. Elle travaille à l'Université de Cambridge et au King's College de Londres. Elle voudrait comprendre comment l'environnement agit sur l'âge. Sur son temps libre, elle aime jouer avec ses enfants, lire et danser.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**J JACOBS**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## TIRER LES LEÇONS DES ERREURS COMMISES: COMMENT LE CERVEAU GÈRE-T-IL LES ERREURS?

**Knut Overbye<sup>1</sup>, Rune Bøen<sup>2</sup>, René J. Huster<sup>3</sup> et Christian K. Tamnes<sup>2,4,5\*</sup>**

<sup>1</sup>Centre pour le changement de la durée de vie du cerveau et de la cognition, Département de psychologie, Université d'Oslo, Oslo, Norvège

<sup>2</sup>Centre de recherches PROMENTA, Département de psychologie, Université d'Oslo, Oslo, Norvège

<sup>3</sup>Laboratoire d'imagerie multimodale et de contrôle cognitif, Département de psychologie, Université d'Oslo, Oslo, Norvège

<sup>4</sup>NORMENT, Institut de médecine clinique, Université d'Oslo, Oslo, Norvège

<sup>5</sup>Département de recherche en psychiatrie, Hôpital de Diakonhjemmet, Oslo, Norvège

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



**ASHLEY**

ÂGE: 12



**JULIA**

ÂGE: 14



**SAMANTHA**

ÂGE: 15

Nous commettons tous des erreurs – et lorsque cela arrive, c'est une merveilleuse occasion pour le cerveau d'ajuster ce qu'il est en train de faire et d'apprendre. Pour étudier la manière dont le cerveau détecte et gère les erreurs, les chercheurs ont utilisé des casques équipés de capteurs pouvant mesurer l'activité cérébrale. Cette méthode a permis aux chercheurs de constater que le cerveau génère un type d'activité cérébrale spécifique lorsqu'on commet une erreur. Cette activité, qui est appelée négativité liée à l'erreur ou ERN, se produit presque au même moment où l'erreur est commise. C'est comme si le cerveau savait déjà, en quelques fractions de secondes, qu'on avait commis une erreur. Alors, de quelle région cérébrale provient cette ERN? Comment nous aide-t-elle à apprendre? Et comment change-t-elle lorsque nous grandissons et devenons adultes?

## FAIRE DES ERREURS

On est souvent mal à l'aise après avoir fait une erreur. C'est par exemple la déception qu'on ressent lorsqu'on rate la cible aux fléchettes, ou le sentiment désagréable qu'on a après avoir obtenu une mauvaise note à l'école. Ces sentiments peuvent être énervants ou douloureux, mais ils font partie de l'activité cérébrale qui nous fera réussir à l'avenir.

Faire une erreur pouvait provoquer une blessure ou la mort pour nos ancêtres lointains qui vivaient dans la nature, en chassant du gibier et en évitant les prédateurs. Leur cerveau les aidait à tirer les leçons de leurs erreurs et a permis la survie de l'espèce humaine. L'une des principales fonctions du cerveau consiste à prévoir l'avenir. Cela inclut la manière de changer notre comportement pour ne pas commettre les mêmes erreurs dans le futur. Il est donc important de savoir comment le cerveau détecte et traite les erreurs pour comprendre comment il fonctionne et comment nous apprenons.

Abordons les erreurs comme cela: tu te fixes un objectif que tu veux atteindre. Tu es par exemple en train de jouer au football et tu dois tirer un coup franc. Ton but est alors littéralement de marquer un but. Tu évalues la situation et choisis une stratégie. Disons que l'équipe adverse a formé un mur défensif et tu décides de faire une frappe enveloppée pour que la balle contourne le mur et rentre dans les buts. En frappant la balle, tu ne lui donnes pas assez de rotation et elle rebondit sur le poteau.

Dans cet exemple, l'erreur est due à une fausse prévision. Tu pensais que la technique utilisée pour tirer le coup franc te permettrait de marquer un but. Malheureusement, et à ta grande surprise, la balle a heurté le poteau et a rebondi dessus. En d'autres termes, tu n'as pas obtenu le résultat désiré. Tu es probablement déçu d'avoir manqué le but mais cette situation te donne une leçon importante. Elle te dit que ta vision sur le fonctionnement du monde et sur ta capacité à le changer n'est pas entièrement correcte. Ainsi, tu sauras désormais qu'il faudra tirer le prochain coup franc avec plus de rotation. Cette expérience t'aide à perfectionner tes tirs pour finalement parvenir à marquer un but.

## COMMENT LE CERVEAU TRAITE-T-IL LES ERREURS?

Les cellules du cerveau communiquent entre elles grâce à l'électricité. Cette activité électrique s'étend à l'extérieur de la tête en passant par les tissus cérébraux, la boîte crânienne et la peau. Elle peut être enregistrée à l'aide de casques équipés de capteurs appelés électrodes. C'est **l'électro-encéphalographie (EEG)** qui permet de mesurer l'activité cérébrale pendant qu'on réalise différentes tâches. Le cerveau génère constamment cette activité électrique puisqu'il n'arrête jamais de fonctionner. En regardant les modèles des «ondes

### L'ÉLECTRO-ENCÉPHALOGRAPHIE (EEG)

C'est une méthode qui enregistre l'activité électrique du cerveau.

## NÉGATIVITÉ LIÉE À L'ERREUR (ERN)

C'est une activité cérébrale électrique et négative qui se produit très rapidement après une erreur et qui signale la détection et le traitement de cette dernière.

### Figure 1

Cette figure représente la négativité liée à l'erreur (ERN) et la positivité de l'erreur. Un modèle spécifique d'activité cérébrale peut être observé lorsqu'on commet une faute. Sur le graphique, la ligne ondulée montre l'activité cérébrale au fil du temps. La ligne verticale quant à elle représente le moment au cours duquel l'erreur a été commise. Tu peux voir que l'ERN (en bleu) se produit presque immédiatement après la faute commise et devient plus intense au-dessus de la tête, tandis que la positivité de l'erreur (en rouge) intervient un peu tard. Error Positivity = Positivité de l'erreur; Error = erreur; ERN Scalp distribution = Répartition de l'ERN sur le cuir chevelu.

## CORTEX CINGULAIRE

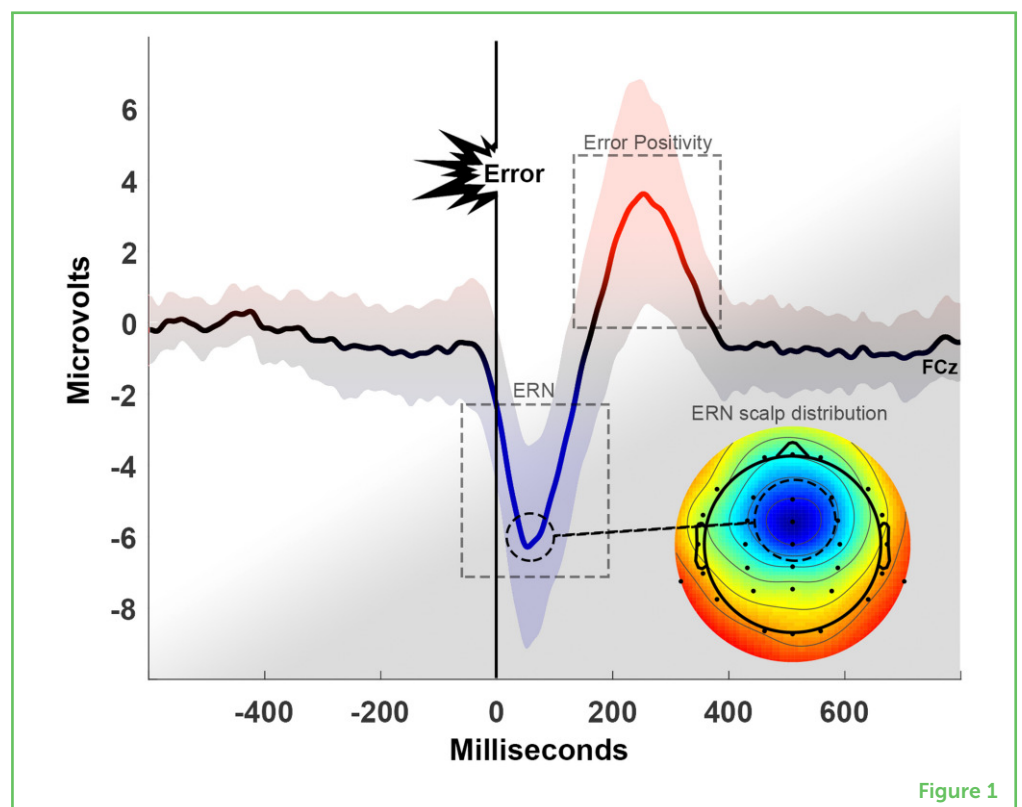
C'est une partie du cerveau qui se situe profondément à l'intérieur du cerveau.

## FAISCEAUX DE CINGULUM

Ils désignent des faisceaux de fibres nerveuses qui relient différentes parties du cerveau.

cérébrales» électriques, il est possible d'en apprendre davantage sur ce qui se passe dans le cerveau. On peut savoir si la personne examinée est éveillée ou endormie, si elle est détendue ou concentrée ou si elle vient de commettre une erreur.

Au laboratoire, nous examinons l'activité cérébrale liée aux erreurs en confiant une tâche très difficile à une personne qui doit nécessairement commettre plusieurs fautes. Par exemple, nous pouvons lui demander d'appuyer rapidement sur une touche d'un clavier lorsqu'une flèche gauche ou droite apparaît au centre d'un écran alors qu'elle est entourée par d'autres flèches indiquant une direction différente. Un type spécifique d'activité cérébrale apparaît à chaque fois que la personne fait une erreur. Il s'agit d'une activité électrique négative qui est la plus intense au sommet du crâne. Comme cette activité est négativement chargée et associée aux erreurs, on l'appelle **négativité liée à l'erreur (ERN)** [1] (Figure 1).



L'ERN provient d'une région cérébrale au fond de la partie antérieure du cerveau appelée **cortex cingulaire** [2] (Figure 2). Elle découle probablement de la détection d'une erreur par le cortex cingulaire et du signal d'alerte envoyé aux autres parties du cerveau à travers les liaisons appelées **faisceaux de cingulum** qui permettent d'éviter de commettre de nouvelles erreurs.

Curieusement, l'ERN survient très rapidement lorsqu'une erreur est commise, avant même qu'on ne s'en rende compte. Elle se produit



## Figure 2

Représentation du cortex cingulaire et des faisceaux de cingulum. À gauche, le cortex cingulaire, présenté en vert, est une région qui se situe profondément à l'intérieur du cerveau et qui constitue la source de l'ERN. À droite, les faisceaux de cingulum, qui désignent l'ensemble des fibres localisées en dessous du cortex cingulaire, relient les différentes régions du cerveau (illustration de Sila Genc).

Front = Avant;  
Back = Arrière.

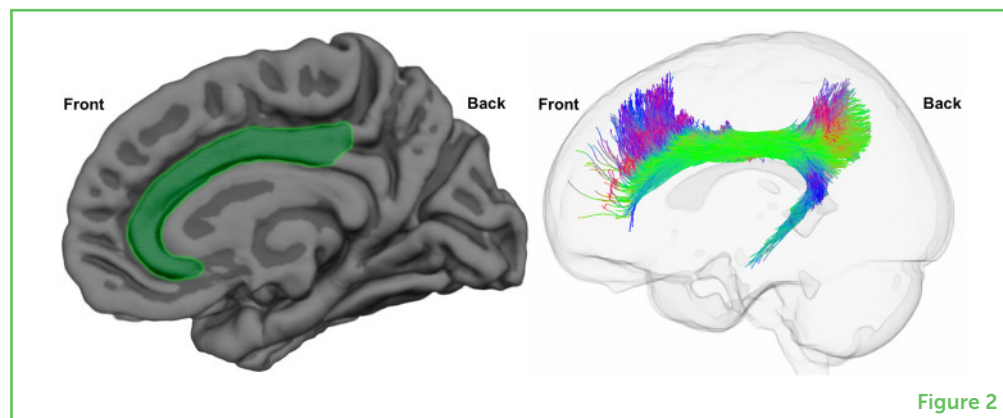


Figure 2

généralement au plus tard 100 millisecondes après une faute. Il est possible qu'elle soit même simultanée à l'erreur, alors que le sentiment de l'avoir commise ne surviendra pas avant au moins 200 millisecondes. C'est comme si notre cerveau était au courant de la faute commise avant «nous». Les scientifiques pensent que c'est exactement ce qui se passe.

Le cortex cingulaire compare nos actions réelles à celles qu'on aimerait entreprendre ou aux objectifs à atteindre et l'ERN indique à notre moi conscient qu'elles ne correspondent pas au résultat escompté. L'ERN signale ainsi cette erreur ou cette différence à notre attention. Le constat d'avoir commis une faute intervient au même moment qu'un autre signal cérébral appelé **positivité de l'erreur**. Il s'agit d'un signal électrique que les scientifiques pensent lié à la prise de conscience des erreurs.

## POSITIVITÉ DE L'ERREUR

C'est une activité cérébrale électrique et positive qui se produit 200 millisecondes après une erreur. Elle se produit lorsqu'on prend conscience de la faute commise.

## COMMENT LES ERREURS COMMISES NOUS AIDENT-ELLES À CORRIGER NOTRE COMPORTEMENT ET À APPRENDRE?

Plusieurs études scientifiques ont démontré qu'après avoir commis une faute, on réagit plus lentement par la suite. Cela peut s'expliquer par le fait que le cerveau essaie de se donner plus de temps pour éviter de refaire la même erreur. Plus l'ERN est forte après une erreur, plus la réaction a tendance à être lente la fois suivante [3].

Certaines personnes ont une ERN plus intense que d'autres. Sont-elles plus sensibles aux erreurs et peuvent-elles en apprendre davantage? Plusieurs études semblent soutenir ce point de vue. Par exemple, Hirsh et Inzlicht [4] ont révélé qu'une ERN plus forte était associée à de meilleures performances scolaires. Dans leur étude, ils ont mesuré l'activité cérébrale chez des étudiants et ont constaté que ceux qui avaient une plus grande ERN avaient aussi tendance à obtenir de meilleures notes.

Notons cependant qu'avoir une ERN forte n'est pas nécessairement une bonne chose. Les personnes plus anxieuses semblent avoir une ERN plus forte [5] et les réponses cérébrales très fortes face aux

erreurs sont associées à un manque d'attention accru plutôt qu'à une augmentation de la concentration. Si l'ERN montre que le cerveau réagit et répond aux erreurs, alors une ERN plus forte peut être une réaction excessive et indiquer que l'on s'inquiète ou s'énerve plus que nécessaire face à ses erreurs.

## COMMENT LES SIGNAUX D'ERREURS CHANGENT-ILS AVEC LA CROISSANCE?

Pendant l'enfance et l'adolescence, non seulement notre corps subit de nombreux changements, mais aussi notre manière de penser, notre ressenti, notre comportement et nos motivations. Ces changements nécessitent, tout comme nos responsabilités croissantes et les attentes auxquelles nous faisons face d'essayer et de faire des erreurs pour acquérir les compétences sociales et académiques dont on a besoin pour réussir en tant qu'adultes.

Les études montrent que l'ERN change avec l'âge et que ses signaux sont plus forts chez les adultes et les adolescents comparativement aux enfants [3]. Le fait que l'ERN augmente considérablement pendant l'enfance et l'adolescence est probablement lié à la manière dont le cerveau se développe. Les diverses régions du cerveau se développent à des rythmes différents. Certaines sont entièrement matures à la fin de l'enfance, tandis que d'autres se développent jusqu'à l'âge adulte [6]. Par exemple, le cortex cingulaire, qui produit l'ERN, continue de se développer après l'âge de 20 ans. En d'autres termes, cette partie du cerveau qui nous aide à tirer des leçons de nos fautes prend beaucoup plus de temps pour se développer par rapport à bien d'autres régions du cerveau.

## CONCLUSION

Commettre des erreurs est parfois ennuyant et frustrant. Cependant, il est très important pour nous d'apprendre de ces erreurs pour que nous puissions corriger nos réactions et agir différemment la fois suivante dans la même situation. Le cerveau est très sensible aux fautes et il génère une activité électrique dénommée ERN (négativité liée à l'erreur) lorsqu'on en fait une. Ce signal d'erreur (1) se produit avant qu'on ne se rende compte de l'erreur, (2) devient plus intense avec l'âge et (3) peut prédire la réussite scolaire ou académique. Il reste encore beaucoup de choses à découvrir sur les réactions du cerveau face aux erreurs. Des recherches supplémentaires sur l'ERN pourront aider à résoudre ces mystères.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons et la



Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction. Christian Tamnes a été soutenu par le Conseil de recherche de Norvège (#230345, #288083, #223273) et l'Office régional de la santé du sud-est de la Norvège (#2019069).

## RÉFÉRENCES

1. Tamnes, C. K., Walhovd, K. B., Torstveit, M., Sells, V. T., and Fjell, A. M. 2013. Performance monitoring in children and adolescents: a review of developmental changes in the error-related negativity and brain maturation. *Dev. Cogn. Neurosci.* 6:1–13. doi: 10.1016/j.dcn.2013.05.001
2. Cavanagh, J. F., and Frank, M. J. 2014. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends Cogn. Sci.* 18:414–21. doi: 10.1016/j.tics.2014.04.012
3. Overbye, K., Walhovd, K. B., Paus, T., Fjell, A. M., Huster, R. J., and Tamnes, C. K. 2019. Error processing in the adolescent brain: Age-related differences in electrophysiology, behavioral adaptation, and brain morphology. *Dev. Cogn. Neurosci.* 38:100665. doi: 10.1016/j.dcn.2019.100665
4. Hirsh, J. B., and Inzlicht, M. 2010. Error-related negativity predicts academic performance. *Psychophysiology* 47:192–6. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00877.x
5. Hajcak, G. 2012. What we've learned from mistakes: insights from error-related brain activity. *Curr. Direct. Psychol. Sci.* 21:101–6. doi: 10.1177/0963721412436809
6. Amlie, I. K., Fjell, A. M., Tamnes, C. K., Grydeland, H., Krogsrud, S. K., Chaplin, T. A., et al. 2016. Organizing principles of human cortical development—thickness and area from 4 to 30 years: insights from comparative primate neuroanatomy. *Cereb. Cortex* 26:257–67. doi: 10.1093/cercor/bhu214

**ÉDITEUR:** Nienke Van Atteveldt

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Jessie Claire Newville et Iryna Omelchenko

**CITATION:** Overbye K, Bøen R, Huster RJ et Tamnes CK (2023) Tirer les leçons des erreurs commises: comment le cerveau gère-t-il les erreurs? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00080-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Overbye K, Bøen R, Huster RJ and Tamnes CK (2020) Learning From Mistakes: How Does the Brain Handle Errors? *Front. Young Minds* 8:80. doi: 10.3389/frym.2020.00080

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Overbye, Bøen, Huster et Tamnes. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans

ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### ASHLEY, ÂGE: 12

Salut, je suis Ashley! J'aime danser le flamenco tous les jours, c'est fun et c'est une super activité physique. Le flamenco et les cours de théâtre sont mes matières favorites cette année. Je vais dans une école qui propose des cours d'arts du spectacle en plus des cours normaux. Pendant mon temps libre, j'aime faire des blagues et jouer aux cartes avec ma famille.



### JULIA, ÂGE: 14

Mon nom est Julia. Je suis en troisième (neuvième année scolaire) à Berlin. Je m'intéresse aux mathématiques, à la chimie et aux sciences, plus particulièrement aux neurosciences, aux sciences spatiales et à la mécanique quantique. J'aime aussi apprendre des langues. À la maison, je parle en ukrainien avec mes parents parce que nous sommes d'origine ukrainienne. En plus, j'apprends l'allemand, l'anglais et le français à l'école. Pendant mes heures libres, j'aime jouer du piano, danser et lire des livres.



### SAMANTHA, ÂGE: 15

Salut, je m'appelle Samantha! J'aime lire et écrire. Je suis même en train d'écrire une longue histoire en ce moment. La chimie et l'anglais sont mes matières préférées. Pendant mon temps libre, j'aime contempler les mystères de l'univers, regarder dans le vide et écrire des histoires.

## AUTEURS



### KNUT OVERBYE

Knut est un psychologue et neuroscientifique cognitif. Il a étudié comment le cerveau des adolescents réagit aux erreurs et aux surprises. Il recherche actuellement comment le cerveau change physiquement avec la pratique régulière d'une activité. Au travail comme à la maison, il adore programmer et trouver de nouvelles utilisations de la réalité virtuelle.



### RUNÉ BØEN

Runé est un assistant chercheur qui aide ses collègues à faire des expériences. Il s'intéresse au cerveau et à son fonctionnement et aimerait devenir un neuroscientifique cognitif à l'avenir. Il adore la science et apprendre de nouvelles choses. En dehors de son travail, il aime lire des livres, écouter des podcasts et regarder le football.

**RENÉ J. HUSTER**

René est un neuroscientifique cognitif qui étudie comment le cerveau nous aide à nous adapter aux changements environnementaux et comment nous réagissons face aux difficultés. Exemple: comment résister à l'envie de manger un biscuit tout de suite quand on sait qu'on en recevra trois si on attend 30 minutes. Pendant son temps libre, il aime s'entraîner au Jiu-jitsu ou jouer de la basse.

**CHRISTIAN K. TAMNES**

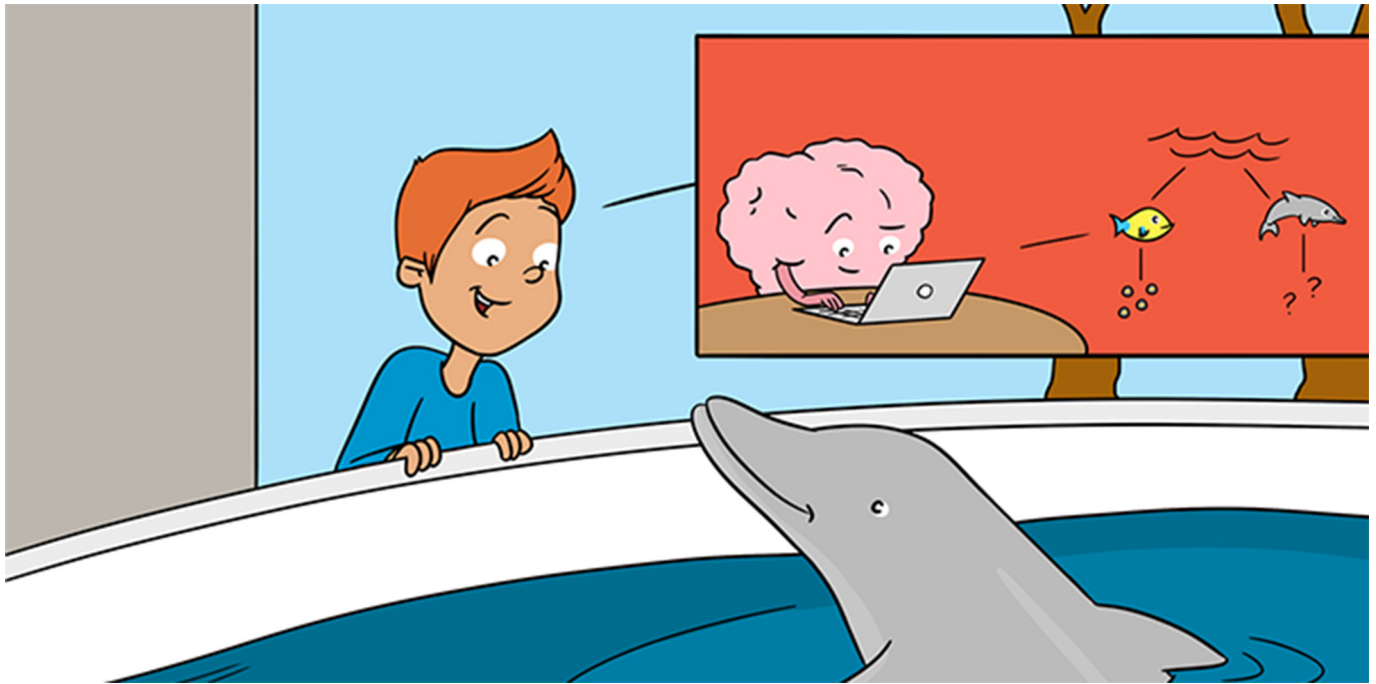
Christian est psychologue et neuroscientifique cognitif développemental. Il étudie comment le cerveau se développe pendant l'enfance et l'adolescence. Il s'intéresse aussi à la manière dont le développement cérébral fait de nous qui nous sommes. Dans ses recherches, il essaie de comprendre si la forme et les fonctions du cerveau en développement peuvent expliquer pourquoi certaines personnes sont très ouvertes ou intelligentes et pourquoi d'autres souffrent de maladies mentales. En dehors du travail, il aime surtout passer du temps avec ses deux enfants.

\*[c.k.tamnes@psykologi.uio.no](mailto:c.k.tamnes@psykologi.uio.no)

**French version provided by**

Version Française fournie par





## COMMENT UTILISER TA MÉMOIRE POUR APPRENDRE DE NOUVELLES CHOSES

**Marlieke van Kesteren\* et Martijn Meeter**

Faculté des sciences de l'éducation, Université libre d'Amsterdam, Amsterdam, Pays-Bas

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



DR. H.  
BAVINCK  
SCHOOL

ÂGES: 8–12



ELIZA  
ÂGE: 10



MALLETS  
BAY  
SCHOOL

ÂGES: 9–10

La mémoire est une fonction cérébrale essentielle. Imagine ce qu'il se passerait si tu ne te souvenais jamais de rien. Tu ne te souviendrais pas de ce que tu as appris à l'école. En fait, tu ne te souviendrais même pas qu'il fallait aller à l'école, ni d'où elle se trouve ! Beaucoup de gens pensent que la mémoire est comme un placard où l'on met des choses que l'on retrouve plus tard intactes. Mais la mémoire ne fonctionne pas réellement ainsi. Elle fonctionne plutôt comme des sites d'information sur Internet qui changent sans cesse de contenu en fonction de l'actualité dans le monde. Un site web bien fait contient également des liens vers d'autres sites où tu peux rechercher des informations liées. Le fait de bien se souvenir de quelque chose dépend de tout ce qui se passe dans ton cerveau pendant et après l'apprentissage. Il existe un facteur particulièrement important pour l'apprentissage, ce sont les connaissances déjà stockées dans ton cerveau. Lorsque nous avons déjà beaucoup de connaissances, il est plus facile d'en ajouter de nouvelles. Dans cet article, nous te montrerons comment tu peux utiliser ces connaissances sur la

formation de la mémoire pour t'aider à te souvenir des nouvelles choses que tu apprends à l'école.

## TES CONNAISSANCES ANTÉRIEURES FACILITENT L'APPRENTISSAGE

Prends un moment pour réfléchir à tout ce que tu sais déjà. Pense à des moments de ta vie, les gens que tu connais, les livres que tu as lus, les jeux auxquels tu as joué, ce que tu as appris à l'école, etc... Ça fait beaucoup de choses, n'est-ce pas? Eh bien, il est très utile d'avoir toutes ces connaissances stockées dans ton cerveau. Ces connaissances t'aident à comprendre le monde qui t'entoure, mais elles facilitent également l'apprentissage de nouvelles informations, puisque tu peux relier ces nouvelles informations à celles que tu connais déjà. Par exemple, lorsque tu connais déjà certaines choses sur le cerveau parce que tu as déjà lu des articles de *Frontiers For Young Minds* sur les neurosciences, il te sera probablement plus facile de te souvenir de ce que nous allons te dire. Les connaissances en neurosciences dans ton cerveau augmentent la probabilité que de nouveaux souvenirs restent. Cette structure s'appelle un **schéma** [1].

### SCHÉMA

Connaissances préalables dans ton cerveau.

### HIPPOCAMPE

Une région du cerveau qui t'aide à te souvenir en reliant les différentes parties d'un souvenir entre elles.

### CORTEX PRÉFRONTAL MÉDIAN

Une région du cerveau qui t'aide à intégrer de nouveaux souvenirs avec tes connaissances du schéma.

## COMMENT LA MÉMOIRE FONCTIONNE-T-ELLE DANS TON CERVEAU

Dans le cerveau, de nombreuses régions aident à stocker les souvenirs. La plus importante est appelée l'**hippocampe** (car elle a la forme de cet animal). Sans ton hippocampe, tu ne pourrais pas apprendre de nouvelles informations [2]. Les scientifiques pensent que l'hippocampe relie entre elles les différentes parties d'un souvenir. Par exemple, lorsque tu apprends que le poisson pond des œufs, l'hippocampe établit un lien entre «poisson» et «œufs» (voir [Figure 1](#)). Cela signifie que la mémoire elle-même n'est pas dans l'hippocampe, mais sans l'aide de celui-ci, tu ne pourrais pas relier les différentes parties de la mémoire entre elles. Cela se produit lorsque tu oublies quelque chose: les différentes parties de la mémoire sont encore là, mais elles ne peuvent plus être reliées entre elles.

Une autre région du cerveau, appelée **cortex préfrontal médian**, peut également t'aider à te souvenir d'informations, mais les scientifiques pensent que cette région fonctionne différemment de l'hippocampe [3]. Sur la base de ton schéma de connaissances, le cortex préfrontal médian détermine où placer au mieux les nouvelles informations que tu apprends, puis les relie à ton schéma. Cela signifie que lorsque tu apprends un nouveau type de poisson, comme le poisson rouge, ton cortex préfrontal médian le connectera immédiatement au fait de «pondre des œufs», car c'est ce dont tu t'es souvenu auparavant. Ce processus est appelé intégration, ce qui signifie combiner en un

## Figure 1

Ceci est une image de ton cerveau coupé au milieu. Tu peux voir à la fois l'hippocampe, en rouge, et le cortex préfrontal médian, en bleu. L'hippocampe relie des parties distinctes d'un souvenir, s'assurant que les souvenirs restent détaillés et vifs, comme lorsque tu te souviens du moment où ton poisson rouge a pondu. Le cortex préfrontal médian peut également t'aider à te souvenir de certaines informations, mais on pense qu'il le fait en intégrant de nouvelles connaissances à celles du schéma existant, de sorte que les souvenirs deviennent moins détaillés et plus généralisés. Ce processus peut également conduire à des idées fausses, comme lorsque tu penses à tort qu'un dauphin, parce qu'il ressemble à un poisson, pond également des œufs alors qu'en réalité, il donne naissance à des bébés dauphins vivants. Adapté de: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frog-spawn-Rana-temporaria-11d.svg> et <http://www.clker.com/clipart-brain-3.html>.

## MÉTHODE DES LOCI

Une technique de mémorisation dans laquelle tu associes des choses dont tu veux te souvenir à un endroit bien connu.

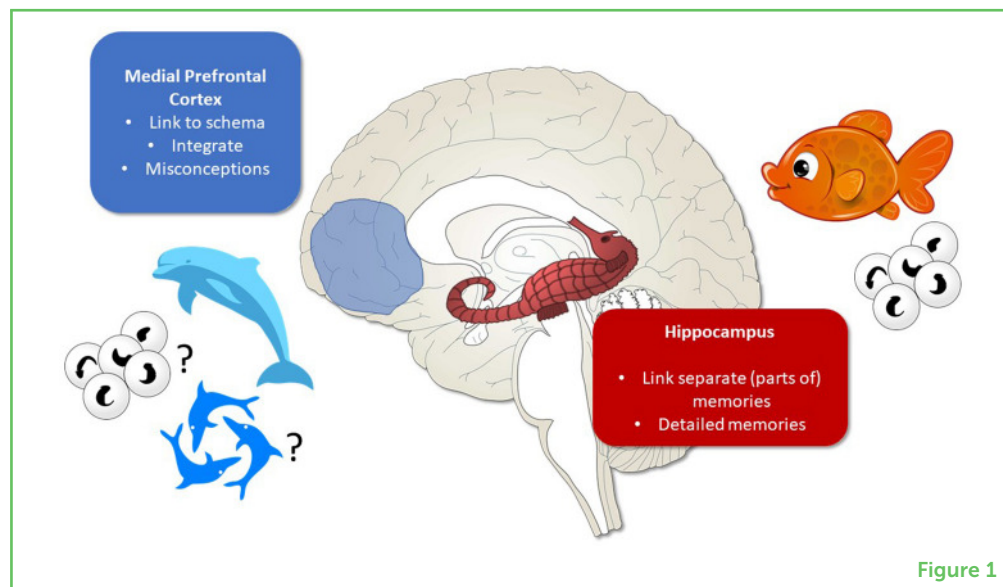


Figure 1

seul. Le processus d'intégration t'aide à découvrir les liens entre les connaissances nouvelles et les anciennes. Par exemple, si tu sais que les poissons pondent des œufs, et qu'un poisson rouge est un poisson, tu pourrais en conclure que le poisson rouge pond des œufs [4]. C'est un fait nouveau que ton cortex préfrontal médian t'a aidé à comprendre. Ainsi, tu peux constater qu'il peut être utile d'utiliser ce processus d'intégration lors de l'apprentissage de nouvelles informations.

## SCHÉMAS SCOLAIRES

Il peut être très utile d'utiliser ton schéma de connaissances lorsque tu apprends de nouvelles informations, en particulier à l'école [5]. Tu peux le faire de différentes manières. Par exemple, avant de commencer une leçon, tu peux revoir ce que tu as appris auparavant sur un sujet précis (par exemple, les poissons pondent des œufs). Une autre façon d'utiliser ton schéma de connaissances serait de faire une pause de temps en temps lorsque tu étudies, et de réfléchir à ce que tu viens d'apprendre et à la façon dont les nouvelles connaissances se relient à ce que tu connais déjà. Cela t'aidera à utiliser ton cortex préfrontal médian pour intégrer de nouvelles informations et mieux t'en souvenir pour les évaluations à l'école. Par ailleurs, cette intégration t'aide à construire de meilleurs schémas de connaissances afin que tu puisses te souvenir encore mieux des nouvelles informations connexes à l'avenir.

Parfois, nous pouvons utiliser des astuces afin de lier les nouvelles connaissances à notre schéma. Par exemple, lorsque tu apprends une liste de mots, tu peux lier ces mots à des endroits de ta chambre ou à un autre environnement familier. C'est ce qu'on appelle la **méthode des loci** (loci signifie «places» en latin [6]).



Cette méthode est utilisée par de nombreuses personnes afin de se souvenir d'informations de toutes sortes difficiles à relier au schéma de connaissances, comme une longue liste de courses. Tout en regardant ta liste de courses, tu peux imaginer chaque article quelque part dans ton salon, (par exemple, un pot de glace posé sur le canapé), et lorsque tu es au supermarché, il te suffit de penser à ton canapé pour te souvenir de ce que tu voulais acheter. Avec un peu d'entraînement, cette méthode fonctionnera aussi pour toi!

## PRENDRE CONNAISSANCE DES FAUX SOUVENIRS

Malheureusement, il n'y a pas que des bonnes nouvelles. Se reposer uniquement sur le schéma de connaissances peut engendrer de faux souvenirs. Par exemple, prenons les poissons qui pondent des œufs que nous avons mentionnés plus haut. Que se passe-t-il lorsque tu entends parler des dauphins? Parce que les dauphins ressemblent aux autres poissons et que tu en sais déjà assez sur les poissons, tu pourrais penser qu'ils pondent également des œufs. Cependant, cela n'est pas vrai. Les dauphins sont des mammifères, par conséquent ils donnent naissance à des bébés dauphins, tout comme les humains. Nous considérons de telles **idées comme étant fausses**. Ces idées fausses peuvent survenir lorsque ton schéma de connaissances à propos de quelque chose (dans ce cas, la façon dont les poissons donnent naissance à des bébés) est très fort. Cette idée fausse te rendra la tâche très difficile quand il s'agira de te souvenir de quelque chose qui ne semble pas convenir (le fait que le dauphin ne pond pas d'œufs). Dans ce cas, ton cortex préfrontal médian ne doit pas intégrer le dauphin à ton schéma de poisson. À la place, ton hippocampe devrait intervenir pour créer une mémoire séparée. Comment fait-on cela?

### IDÉE FAUSSE

Un souvenir erroné.

## QUELQUES CONSEILS

Voici quelques conseils pour t'aider à utiliser ton schéma de connaissances lorsque tu apprends de nouvelles choses à l'école. Ces conseils devraient également t'aider à éviter ou à te débarrasser des idées fausses:

**Réactiver:** Lorsque tu apprends de nouvelles informations, réactive le schéma de connaissances associé. Ferme les yeux et prends un moment pour te rappeler ce que tu as appris sur ce sujet auparavant et comment cela se connecte aux nouvelles informations que tu souhaites apprendre.

**Élaborer:** Essaie de lier de nouvelles informations à différents types de connaissances du schéma. Tu peux par exemple relier ta leçon de biologie sur les dauphins en tant que mammifères à tes souvenirs des schémas et à l'exemple du poisson que tu as lu ici. Plus tu crées de

liens, mieux tu peux intégrer de nouvelles informations et bien t'en souvenir. L'établissement de liens solides et détaillés peut également éviter la formation d'idées fausses.

**Espacer, répéter et alterner:** Tu peux créer et étendre au mieux des schémas en apprenant et en répétant de nouvelles informations par petits morceaux au fil du temps: pendant des heures, des jours, voire des semaines. L'alternance de sujets différents, pour ne pas toujours étudier la même chose, peut également être bénéfique pour ta mémoire.

**Se rappeler et se poser des questions:** Après avoir appris quelque chose, range ton livre ou ton ordinateur et essaye de te souvenir de ce que tu viens d'apprendre, simplement en utilisant ton cerveau. Ou, tu peux poser des questions sur ce que tu as appris. Cela t'aidera à intégrer les informations et tu pourras utiliser les questions plus tard pour t'interroger toi-même et questionner tes camarades de classe. Pour éviter les idées fausses, assure-toi de toujours vérifier si ta mémoire était correcte!

**Enseigner aux autres:** Un très bon moyen d'organiser tes schémas est d'enseigner à tes camarades de classe. À tour de rôle, lisez quelque chose, associez-le à votre schéma de connaissances, laissez-le pénétrer, puis essayez de l'expliquer à quelqu'un d'autre. Encore une fois, vérifie toujours par la suite si tu as commis des erreurs et discute des choses que tu ne comprends pas vraiment.

**Dormir:** C'est peut-être étrange, car cela ne se produit pas à l'école, mais le sommeil aide à construire des schémas solides et t'aide à oublier les informations moins importantes. Penses-y lorsque tes parents te disent qu'il est l'heure d'aller au lit!

**Suivre les idées fausses:** Réagis toujours lorsque les informations contredisent ton schéma de connaissances ou lorsque tu remarques que tu as formé une idée fausse au cours du processus. Essaye de créer un nouveau souvenir très vivace. Pour l'exemple du dauphin, pense à un drôle de dauphin avec un très gros ventre qui saute hors de l'eau et grince fort. Imagine à quel point tu serais mouillé et comment tu lui tapoterai le nez et le nourrirais avec un poisson. Plus tu utilises de détails et de sens pour ce souvenir, mieux c'est!

## PRENDS DU PLAISIR!

Essaye d'utiliser ces conseils lorsque tu apprends de nouvelles choses à l'école ou à la maison, et tu remarqueras que tu te souviendras beaucoup mieux. Nous espérons que cet article t'aidera à apprécier l'apprentissage!



## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier de tout cœur ceux qui ont aidé à la traduction des articles de cette collection pour les rendre plus accessibles aux enfants en dehors des pays anglophones, et la Fondation Jacobs pour avoir fourni les fonds nécessaires pour traduire les articles. Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention Marie Skłodowska-Curie n° 704506.

## RÉFÉRENCES

1. Bartlett, F. C. 1932. *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge: University Press.
2. Squire, L. R. 1992. Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol. Rev.* 99:195–231.
3. van Kesteren, M. T. R., Ruitter, D. J., Fernandez, G., and Henson, R. N. 2012. How schema and novelty augment memory formation. *Trends Neurosci.* 35:211–9. doi: 10.1016/j.tins.2012.02.001
4. Schlichting, M. L., and Preston, A. R. 2015. Memory integration: neural mechanisms and implications for behavior. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 1:1–8. doi: 10.1016/j.cobeha.2014.07.005
5. van Kesteren, M. T. R., Krabbendam, L., and Meeter, M. 2018. Integrating educational knowledge: reactivation of prior knowledge during educational learning enhances memory integration. *NPJ Sci. Learn.* 3:11. doi: 10.1038/s41539-018-0027-8
6. Available online at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Method\\_of\\_loci](https://en.wikipedia.org/wiki/Method_of_loci) (accessed on 8 February 2020).

**ÉDITEUR:** Nienke Van Atteveldt

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Gabrielle Edgerton et Marina Shpaner

**CITATION:** van Kesteren M et Meeter M (2023) Comment utiliser ta mémoire pour apprendre de nouvelles choses. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00047-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** van Kesteren M and Meeter M (2020) How to Use Your Memories to Help Yourself Learn New Things. *Front. Young Minds* 8:47. doi: 10.3389/frym.2020.00047

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 van Kesteren et Meeter. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du

droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### DR. H. BAVINCK SCHOOL, ÂGES: 8–12

Nous sommes quatre classes de l'école Bavinckschool à Haarlem, aux Pays-Bas. Nous sommes en tout 40 enfants qui ont envie d'apprendre un peu plus que le programme scolaire normal. Nous avons pris un énorme plaisir à vérifier des articles pour FYM: nous les avons lus avec beaucoup de concentration et d'enthousiasme, et en avons fait une évaluation critique. Nous avons vraiment aimé pouvoir contribuer à la science en donnant ce coup de main!



### ELIZA, ÂGE: 10

Salut! Je m'appelle Eliza. J'adore lire et faire des muffins. J'ai deux chiens, qui s'appellent Arnie et Benji. J'aime aussi faire des maths avec mon père. Ma mère a un doctorat en neurosciences, ce que je trouve très intéressant.



### MALLETS BAY SCHOOL, ÂGES: 9–10

Ces élèves de 4<sup>e</sup> année primaire aiment le plein air de leur bel État du Vermont aux États-Unis, où les hivers sont longs, les étés courts et la saison de la boue toujours au rendez-vous. Ils aiment aussi jouer au football américain, aux Hot Wheels, à Fortnite et au hockey.

## AUTEURS



### MARLIEKE VAN KESTEREN

Marlieke van Kesteren est une chercheuse postdoctorante en neurosciences de l'éducation à l'Université libre d'Amsterdam. Elle étudie comment nous pouvons utiliser au mieux nos connaissances pour apprendre de nouvelles informations. Pour ce faire, elle met les étudiants dans un IRM pendant qu'ils apprennent de nouvelles choses. Elle aime enseigner ses découvertes aux enfants dans les écoles et est ravie de pouvoir le faire grâce à Frontiers Young Minds. \*[marlieke.van.kesteren@vu.nl](mailto:marlieke.van.kesteren@vu.nl)



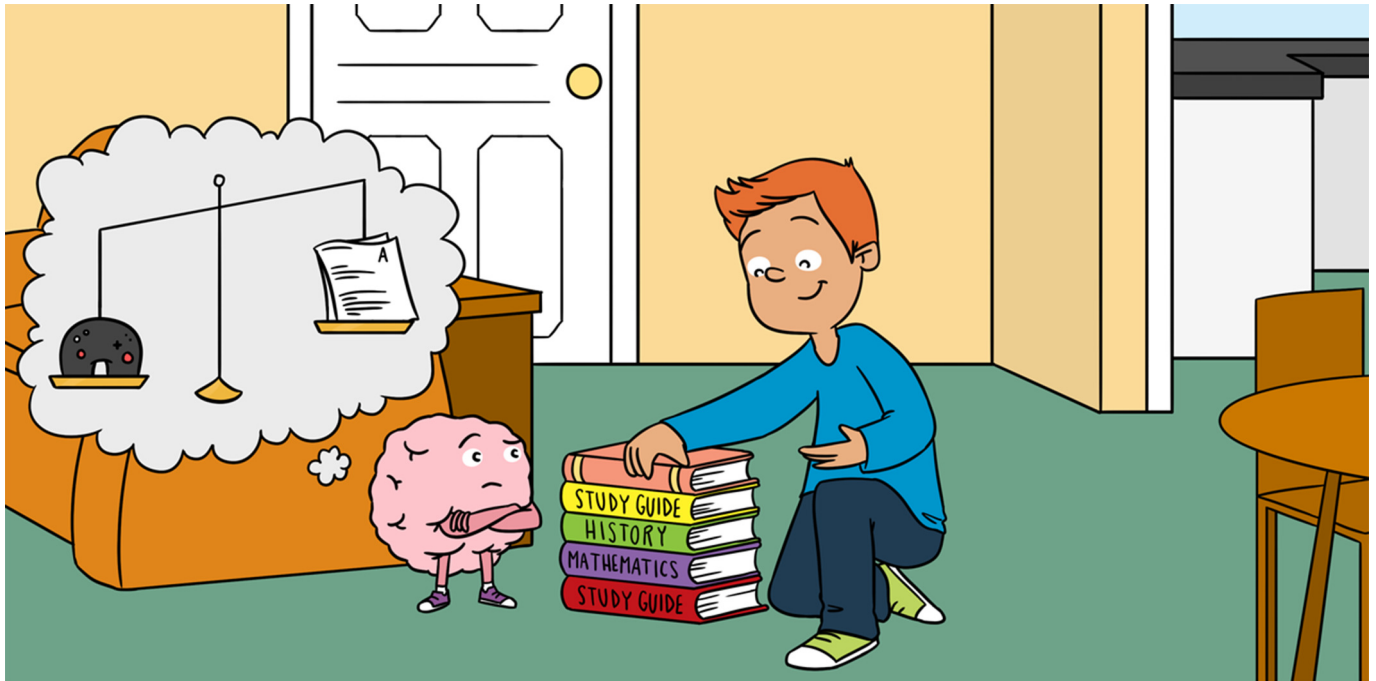
### MARTIJN MEETER

Martijn Meeter est professeur de sciences de l'éducation, qui se consacrent au fonctionnement de l'éducation. Son laboratoire est situé dans une université d'Amsterdam, aux Pays-Bas ([www.vu.nl](http://www.vu.nl)). Il étudie l'apprentissage et l'éducation grâce à de nombreuses techniques, et a construit de nombreux modèles informatiques du cerveau: des programmes qui simulent dans un ordinateur comment notre

cerveau fonctionne. Il est également le directeur d'un programme de formation des enseignants, une école qui transforme les étudiants en enseignants pour l'enseignement secondaire.

**French version provided by**  
Version Française fournie par





## EST-CE QUE ÇA EN VAUT LA PEINE? COMMENT LE CERVEAU DÉCIDE DE FOURNIR UN EFFORT (OU PAS)

Anne-Wil Kramer<sup>1\*</sup>, Hilde M. Huizenga<sup>1,2,3</sup>, Lydia Krabbendam<sup>4</sup> et Anna C. K. van Duijvenvoorde<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>Département de psychologie développementale, Université d'Amsterdam, Amsterdam, Pays-Bas

<sup>2</sup>Centre du cerveau et de la cognition d'Amsterdam, Amsterdam, Pays-Bas

<sup>3</sup>Domaine de recherche prioritaire de Yield, Amsterdam, Pays-Bas

<sup>4</sup>Département de psychologie clinique du développement, Université libre, Amsterdam, Pays-Bas

<sup>5</sup>Département de psychologie du développement, Institut de psychologie, Université de Leiden, Leiden, Pays-Bas

<sup>6</sup>Institut du cerveau et de la cognition, Université de Leiden, Leiden, Pays-Bas

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



SEAWELL  
ELEMENTARY

ÂGE: 10

Tout ce que nous faisons nécessite des efforts. Par exemple, pour marcher ou se déplacer à vélo, notre organisme doit fournir des efforts physiques. Un autre type d'effort est l'effort cognitif qui consiste à réfléchir et à utiliser son cerveau. Ça peut être par exemple de résoudre un Rubik's Cube – serais-tu prêt à fournir un effort pour y arriver? Parfois, le plaisir qu'on éprouve à trouver la solution d'un problème pèse plus lourd dans la balance que la nécessité de fournir un effort de réflexion. Mais parfois, on peut aussi estimer qu'une solution ne vaut pas la peine de faire un effort. Alors pourquoi et quand prend-on la décision de se creuser la cervelle? Si tu veux le savoir, lis cet article!

## INTRODUCTION

À l'école, les professeurs disent sans doute parfois que si tu avais fait un peu plus d'efforts, tu aurais réussi tel ou tel devoir, ou obtenu une meilleure note en fournissant encore plus d'efforts. Tu penses peut-être toi-même qu'en faisant un effort supplémentaire, tu pourrais avoir de meilleurs résultats – mais en fait, de quel type d'effort est-ce qu'on parle ici?

Les actions qui impliquent des efforts semblent être le contraire des gestes automatiques [1]. Par exemple, tu n'as rien à faire de particulier pour que ton cerveau voie les couleurs: c'est un processus automatique. À l'opposé, d'autres actions impliquent des processus non automatiques et demandent donc des efforts. En fait, l'effort est partout. Pense par exemple à l'effort qu'il faut faire pour aller à l'école à pied ou à vélo. On parle là d'un effort physique. Mais il existe aussi un autre type d'effort, l'**effort cognitif**, qui se rapporte à la réflexion. Tu fournis des efforts cognitifs quand tu veux réussir une tâche compliquée, que ce soit à l'école, quand tu fais un puzzle difficile ou essaies de résoudre une énigme.

Beaucoup de personnes considèrent comme désagréables les actions nécessitant des efforts, mais étant utiles sur le long terme, comme étudier pour un examen [2]. Mais pourquoi faire un effort cognitif serait-il désagréable? Et autre question, peut-être plus intéressante encore: pourquoi a-t-on parfois du plaisir à fournir certains efforts? Cet article va te faire découvrir pourquoi et quand tu décides d'exercer des efforts cognitifs, et ce qui se passe dans ton cerveau quand tu prends cette décision.

## COÛTS ET AVANTAGES

Imagine que demain, tu aies une interrogation pour laquelle tu dois travailler. Combien d'effort cognitif es-tu prêt à fournir? Des chercheurs ont découvert qu'en termes d'efforts, notre comportement pouvait être prédit d'après le calcul des coûts et avantages qu'ils comportent [1]. Mais quels peuvent bien être ces coûts et avantages?

Pour rester dans notre exemple, tu sais qu'étudier a pour avantage de te permettre d'avoir de bonnes notes. Or, avoir de bonnes notes est préférable pour ton bulletin de fin d'année – et puis tu fais peut-être aussi partie des gens qui, tout simplement, aiment avoir de bonnes notes à l'école. Quant aux coûts, il s'agit principalement de la quantité d'efforts cognitifs que tu vas devoir fournir: pour avoir une bonne note, il va peut-être falloir que tu utilises ton cerveau de manière intense.

### EFFORT COGNITIF

Effort de réflexion déployé pour réussir une tâche difficile.

### Figure 1

La ligne bleue représente la valeur d'une bonne note comme étant fonction de l'intensité de l'effort devant être fourni pour l'obtenir. Comme tu peux le voir, la valeur de cette bonne note baisse si elle implique de fournir davantage d'efforts cognitifs (d'étudier davantage). C'est la dévalorisation de l'objectif au vu des efforts à fournir: nous tenons moins à quelque chose à cause des efforts que cela nous demande. Dans le graphique, la ligne bleue constitue, par conséquent, une courbe de dévalorisation de l'objectif au vu des efforts à fournir. The value of a good grade = Valeur d'une bonne note, How hard you should study = Intensité de l'effort à fournir.

### IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE FONCTIONNELLE (IRMf)

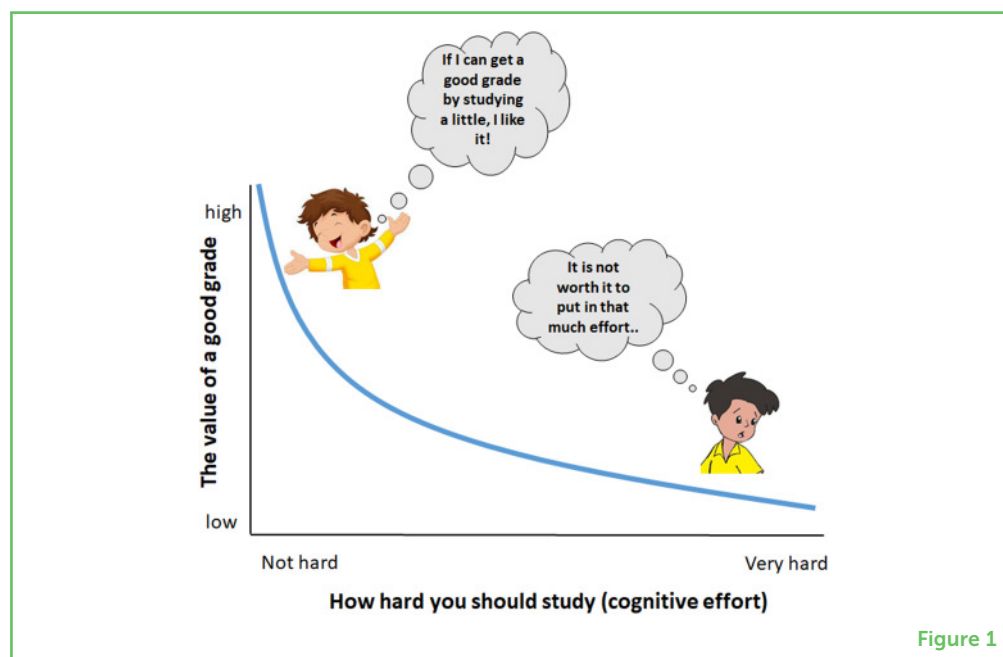
L'IRMf est une technique d'imagerie cérébrale utilisée pour voir quelles régions du cerveau sont actives à un moment donné.

### STRIATUM VENTRAL

Région cérébrale impliquée dans le signalement des avantages qu'il y a à fournir davantage d'efforts cognitifs.

Les chercheurs décrivent la décision de fournir des efforts cognitifs comme une fonction dépendante des potentiels coûts et avantages. Tu peux considérer cela comme une équation mathématique: la somme des coûts et avantages égale une certaine valeur. Plus tu accordes de la valeur à quelque chose, plus tu es prêt à investir des efforts cognitifs dans cette chose.

La Figure 1 montre que si tu dois faire de très gros efforts pour obtenir une bonne note, cet objectif perd de la valeur. Du coup, l'effort cognitif risque de baisser aussi, ou de relativiser la valeur de la bonne note. Il se produit donc une dévalorisation de l'objectif entraînant une diminution de la volonté de faire des efforts.



## MAIS ALORS... QU'EST-CE QUI SE PASSE DANS TON CERVEAU LORSQUE TU DÉCIDES DE FOURNIR UN EFFORT COGNITIF?

Pour mesurer ce qui se passe dans le cerveau lorsqu'on décide de fournir un effort cognitif, les chercheurs peuvent faire appel à une technique appelée **imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)** (pour une explication de l'IRMf, voir Encadré 1). L'IRMf permet de déterminer quelles régions du cerveau sont actives, c'est-à-dire quelles sont celles que tu utilises à ce moment précis. C'est grâce à l'IRMf que l'on a compris que le cerveau calculait constamment la valeur de nos actions futures en prenant en compte leurs coûts et avantages. Les avantages potentiels sont notamment signalés par une zone cérébrale spécifique, le **striatum ventral**. Cette zone, nichée à l'intérieur du cerveau, joue un rôle dans la mise en lumière de tous les types d'avantages [4]: l'argent, les aliments



## LE CORTEX CINGULAIRE ANTÉRIEUR

Région cérébrale impliquée dans le signalement des coûts qu'implique le fait de fournir davantage d'efforts cognitifs.

## LE CORTEX PRÉFRONTAL VENTROMÉDIAN

Région cérébrale qui évalue les coûts et les avantages.

### Figure 2

Le cerveau humain vu de face (à gauche) et de profil (à droite). À gauche, tu peux voir le striatum ventral (la zone qui indique les avantages). À droite, tu peux voir le cortex cingulaire antérieur (la zone qui signale le coût) et le cortex préfrontal ventromédian (la zone qui calcule les coûts-avantages).

délicieux, l'obtention d'une bonne note, etc. Et qu'en est-il des coûts? Des recherches ont montré que le coût de l'effort cognitif était principalement signalé par une autre zone du cerveau, **le cortex cingulaire antérieur** [5].

### Encadré 1 | Comment les neuroscientifiques mesurent-ils l'activité cérébrale?

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) est une technique d'imagerie cérébrale utilisée par les scientifiques pour visualiser l'activité cérébrale dans diverses circonstances. Le cerveau comporte environ 100 milliards de cellules, les neurones. Ces neurones communiquent entre eux via des signaux chimiques et électriques. Quand le nombre de signaux transmis augmente, les neurones ont besoin de plus d'oxygène. Cet oxygène est fourni par le sang. Et plus le sang contient d'oxygène, plus il est magnétique. L'IRMf permet de mesurer, grâce à ce signal magnétique, la quantité d'oxygène utilisée par les différentes régions cérébrales. On sait ainsi indirectement si une région cérébrale est plus ou moins active. Pour en savoir plus sur le fonctionnement des scanners IRM, tu peux lire cet autre article de Frontiers for Young Minds [3].

Une fois que le cerveau a évalué les coûts et les avantages, le striatum ventral et le cortex cingulaire antérieur travaillent de concert pour s'échanger ces informations. Ainsi, dans notre exemple, le cerveau évalue les coûts (efforts cognitifs) et les avantages (obtenir une bonne note) d'une préparation sérieuse, puis calcule le prix que tu accordes au fait d'obtenir une bonne note afin de t'indiquer si ça vaut la peine de travailler dur ce soir pour préparer ton interrogation de demain. Certains chercheurs supposent que cet échange d'informations se produit dans une région située à l'avant du cerveau, **le cortex préfrontal ventromédian** (Figure 2).

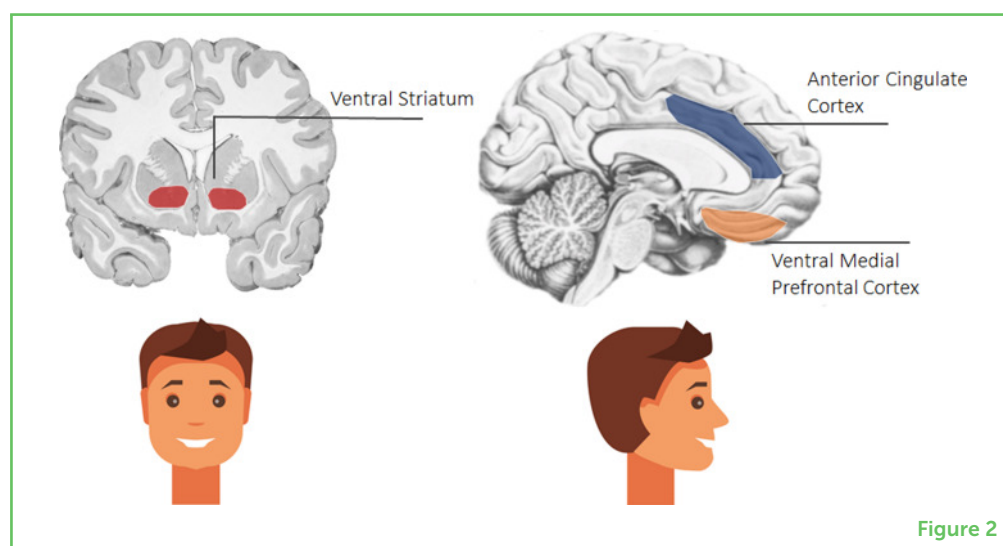


Figure 2

## À QUEL MOMENT VEUT-ON FOURNIR DES EFFORTS COGNITIFS?

Maintenant que nous savons ce qu'est l'effort cognitif et ce qui se passe dans notre cerveau au moment de décider quelle quantité nous

voulons en fournir, nous pouvons revenir à la question de départ: à quel moment veut-on déployer un effort cognitif?

Tu t'es peut-être rendu compte que le cerveau considérait l'effort cognitif comme coûteux. Par conséquent, un effort trop important va être perçu comme désagréable. En lisant cela, tu vas peut-être penser que notre cerveau nous rend paresseux, mais ce n'est pas nécessairement le cas. Il essaie plutôt de déterminer si cela vaut la peine de fournir des efforts cognitifs.

Il peut arriver qu'on ait plaisir à réfléchir longuement sur un problème, alors que parfois on n'a pas du tout envie de se creuser la tête. C'est que la volonté de fournir un effort cognitif est variable! La motivation à réfléchir peut dépendre du moment de la journée (matin ou soir), de comment on se sent (fatigué ou reposé), et du fait qu'on aime ou non l'activité qui nécessite l'effort en question [6].

## **EN CONCLUSION: QUELQUES ASTUCES POUR FOURNIR PLUS D'EFFORTS FACILEMENT**

Si la volonté de déployer des efforts cognitifs est variable, alors la question fondamentale est: peux-tu accroître ta volonté de faire un effort cognitif pour l'interrogation de demain? Bonne nouvelle, la réponse est OUI! Voici trois astuces simples que nous te conseillons d'essayer.

Premièrement, réduis tout ce qui a également un coût pour ton cerveau [1]: supprime les facteurs de distraction (notamment ton téléphone), cela t'aidera à te concentrer. La [Figure 3](#) illustre ce qui se passe dans ce cas: supprimer des facteurs de distraction allège le coût des efforts cognitifs.

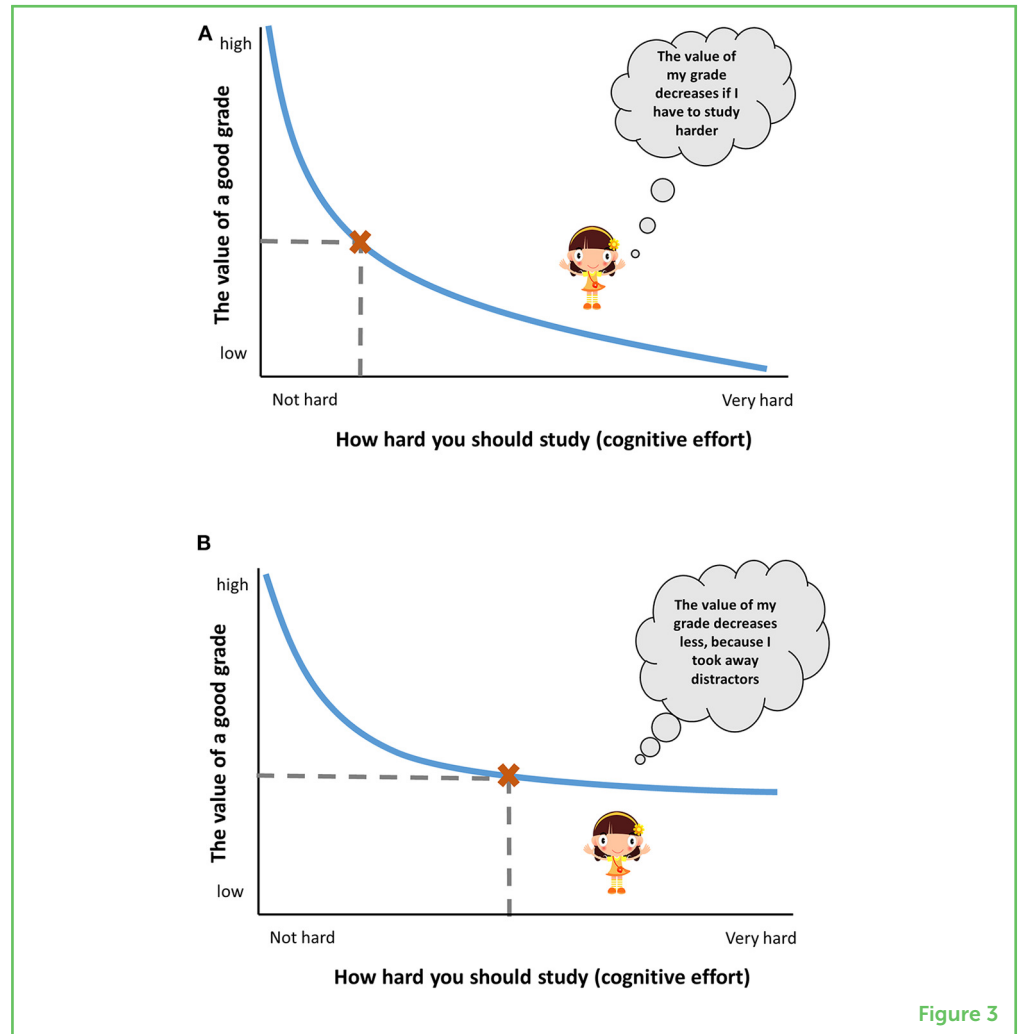
Deuxièmement, donne plus de poids aux avantages. Tu peux par exemple te récompenser avec une friandise dont tu raffoles après avoir travaillé dur pendant une heure, ou décider que si tu obtiens une bonne note, tu t'achèteras quelque chose qui te fera plaisir.

Troisièmement, essaie d'augmenter le plaisir que tu as à fournir les efforts eux-mêmes. Par exemple, si tu n'aimes pas les mathématiques, tu peux jouer à un jeu mathématique pour rendre ton travail plus agréable.

Grâce à ces trois astuces, tu vas maintenant pouvoir faire tes devoirs avec plus de plaisir. Nous te souhaitons bonne chance!

**Figure 3**

(A) Une courbe standard de dévalorisation de l'objectif au vu de l'effort qu'il exige: la valeur d'une bonne note diminue à mesure que l'effort cognitif augmente. La croix rouge dans les deux images indique le point où se trouve la moyenne de la valeur d'une bonne note, et la ligne pointillée grise montre les efforts à fournir pour obtenir cette note considérée comme ayant une valeur moyenne. (B) Si tu élimines certaines distractions comme le téléphone ou la télévision, faire plus d'efforts fait baisser la valeur d'une bonne note moins rapidement. Tu vas donc travailler davantage pour préparer ton interrogation parce que le coût de l'effort cognitif sera moindre.



## CONTRIBUTION DES AUTEURS

A-WK et AD ont écrit le manuscrit ensemble. HH et LK l'ont relu en y apportant des modifications.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction. Cette étude a été soutenue par la subvention Start Impulse accordée au NeuroLabNL par le Nationale Wetenschapsagenda (NWA).

## RÉFÉRENCES

1. Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., and Myers, J. 2013. An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behav. Brain Sci.* 36:661–726. doi: 10.1017/S0140525X12003196

2. Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., et al. 2017. Toward a rational and mechanistic account of mental effort. *Annu. Rev. Neurosci.* 40:99–124. doi: 10.1146/annurev-neuro-072116-031526
3. Parker, A. J. 2018. Fakes and forgeries in the brain scanner. *Front. Young Minds* 6:39. doi: 10.3389/frym.2018.00039
4. Sescousse, G., Caldú, X., Segura, B., and Dreher, J. C. 2013. Processing of primary and secondary rewards: a quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 37:681–96. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.02.002
5. Westbrook, A., Lamichhane, B., and Braver, T. 2019. The subjective value of cognitive effort is encoded by a domain-general valuation network. *J. Neurosci.* 39:3934–47. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3071-18.2019
6. Kool, W., and Botvinick, M. 2018. Mental labour. *Nat. Hum. Behav.* 2:899–908. doi: 10.1038/s41562-018-0401-9

**ÉDITEUR:** Jessica Massonnie

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Scott Huettel

**CITATION:** Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L et van Duijvenvoorde ACK (2023) Est-ce que ça en vaut la peine? Comment le cerveau décide de fournir un effort (ou pas). *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00073-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L and van Duijvenvoorde ACK (2020) Is It Worth It? How Your Brain Decides to Make an Effort. *Front. Young Minds* 8:73. doi: 10.3389/frym.2020.00073

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Kramer, Huizenga, Krabbendam et van Duijvenvoorde. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### SEAWELL ELEMENTARY, ÂGE: 10

Notre classe est pleine d'esprits éveillés qui aiment apprendre, mais aussi s'aider les uns les autres. Nous réfléchissons, nous résolvons les problèmes et nous apprenons! Nous réalisons des projets qui développent notre cerveau, et quand nous travaillons ensemble, nos idées sont parfois désordonnées, mais les résultats sont toujours intéressants et amusants. Une des façons dont nous essayons d'être au top? En accueillant notre critique intérieur! Nous adorons lire et réviser le travail



de nos camarades, et nous avons été très fiers de travailler avec Frontiers for Young Minds!

## AUTEURS



### ANNE-WIL KRAMER

Je suis doctorante à l'Université d'Amsterdam. Je passe mon temps à faire des efforts en tous genres. J'aime fournir des efforts physiques en parcourant Amsterdam à vélo et en nageant (mais pas dans les canaux!). J'aime aussi beaucoup fournir des efforts cognitifs, par exemple en jouant à des jeux ou en réfléchissant sur la manière dont les choses fonctionnent. Souvent, je regarde mon chat et me demande comment il peut passer toute la journée sans faire aucun effort et se sentir bien comme ça! En même temps, pour être honnête, moi aussi j'aime parfois ne rien faire. C'est pourquoi je me suis demandé comment tout ça fonctionnait. Pour nos recherches sur l'effort, nous amenons des gens à prendre des décisions sur la quantité d'efforts qu'ils veulent fournir. \*[a.kramer@uva.nl](mailto:a.kramer@uva.nl)



### HILDE M. HUIZENGA

Je suis professeure de psychologie développementale à l'Université d'Amsterdam. J'utilise beaucoup les mathématiques pour étudier comment les enfants deviennent des adultes et comment les adultes deviennent des personnes âgées. Il m'arrive de fournir de gros efforts de réflexion au bureau, mais aussi quand je cours, quand je discute avec mes filles adolescentes, ou quand je me promène à vélo à travers Amsterdam. C'est d'ailleurs à vélo que j'ai créé les figures qui illustrent cet article. J'espère qu'elles t'ont plu!



### LYDIA KRABBENDAM

Je suis professeure de neuropsychologie développementale à l'Université libre d'Amsterdam. Côté efforts cognitifs en éducation, je m'y connais parce que j'ai trois enfants en âge d'aller à l'école. J'étudie les interactions sociales au sein des classes, comment elles se rapportent à la relation entre ces interactions, et le développement cérébral et cognitif. Je trouve ce sujet intéressant, parce que le fait de travailler ou d'étudier avec des personnes que tu aimes rend les efforts plus agréables à fournir.

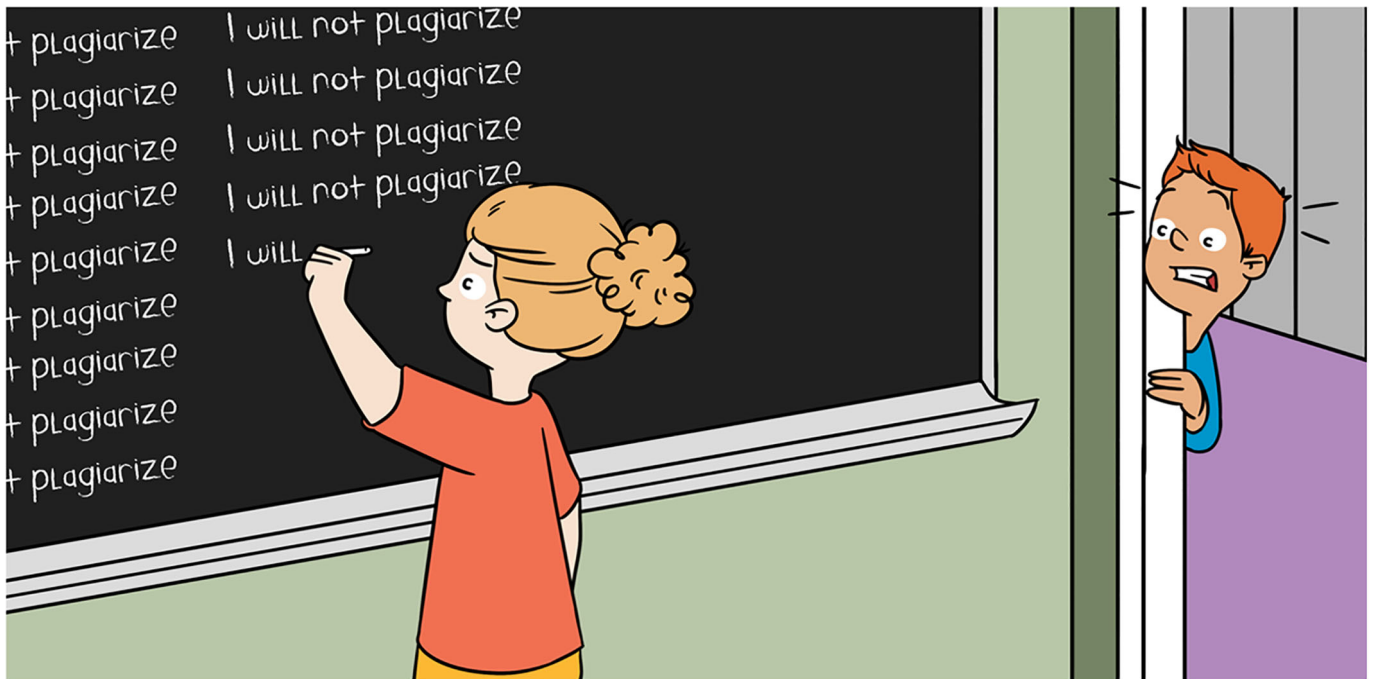


### ANNA C. K. VAN DUIJVENVOORDE

Je suis professeure associée en psychologie développementale et développement cérébral à l'Université de Leiden. Je veux tout savoir sur la motivation, l'apprentissage et le fonctionnement du cerveau! Par exemple, il est passionnant de savoir que la motivation change avec l'âge. Cela est-il lié au développement cérébral? J'avoue que je n'ai pas toujours été une écolière très motivée, mais lorsque j'ai pu me spécialiser en neuropsychologie, j'ai trouvé ce domaine fascinant. Du coup, je me suis mise à beaucoup travailler sans aucune difficulté! Par mes recherches, j'espère créer des sources de motivation qui permettront aux enfants de mieux apprendre.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**JACOBS**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## L'APPRENTISSAGE SOCIAL ET LE CERVEAU: COMMENT APPREND-ON DES AUTRES ET SUR EUX?

**Bianca Westhoff<sup>1,2\*</sup>, Iris J. Koele<sup>1,2</sup> et Ilse H. van de Groep<sup>2,3,4</sup>**

<sup>1</sup>Département de psychologie développementale, Institut de psychologie, Université de Leiden, Leiden, Pays-Bas

<sup>2</sup>Institut du cerveau et de la cognition de Leiden, Leiden, Pays-Bas

<sup>3</sup>Département de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent, Centre médical de l'Université d'Amsterdam, Amsterdam, Pays-Bas

<sup>4</sup>École Erasmus de sciences sociales et comportementales, Université Erasmus de Rotterdam, Rotterdam, Pays-Bas

### JEUNES EXAMINATEURS:



**ANISHA**

ÂGE: 13



**ELI**

ÂGE: 13



**HENRI**

ÂGE: 13



**SARAH**

ÂGE: 14



**SPANDANA**

ÂGE: 12

Lorsqu'on évoque l'apprentissage, tu penses certainement à ce qu'on t'a appris à l'école. Sais-tu toutefois qu'au quotidien, tu utilises un tout autre type d'apprentissage? Il s'agit de l'apprentissage social. Autrement dit, tu apprends des autres et sur eux en les côtoyant et en interagissant avec eux. Lorsque tu observes quelqu'un faire une erreur, cela t'apprend à ne pas la reproduire. Bien que l'apprentissage social soit courant, il est probable que tu n'aies pas beaucoup de connaissances à ce sujet. Ce type d'apprentissage est important car il nous permet d'apprendre plus efficacement et de savoir comment nous comporter avec les autres. Dans le présent article, nous allons examiner deux différents types d'apprentissage social, et nous démontrerons le rôle essentiel que joue le cerveau.



## QU'EST-CE QUE L'APPRENTISSAGE SOCIAL ET POURQUOI EST-IL IMPORTANT?

Lorsque tu penses à ce que tu as appris récemment, tu penses certainement d'abord à ce que tu as appris à l'école. Par exemple les mots d'anglais sur lesquels tu auras bientôt un test. Apprendre le vocabulaire d'une autre langue peut être utile: si jamais tu te rends en Angleterre pour les vacances, tu seras capable de demander ton chemin.

L'acquisition de savoirs (comme le vocabulaire anglais) est donc importante. En plus de l'apprentissage avec des livres, tu peux également apprendre des autres et à leur sujet. On appelle cela «**l'apprentissage social**» car ces connaissances reposent sur les gens qui nous entourent. Le plus souvent, nous sommes entourés des autres, les proches, les enseignants et les camarades de classe auprès de qui on apprend au quotidien sans même s'en rendre compte.

Parce que les humains sont de véritables êtres sociables, l'apprentissage social occupe une place essentielle dans notre développement et constitue une méthode d'apprentissage particulièrement efficace. Nous tirons des leçons des erreurs et des réussites des autres, ce qui nous épargne bien des efforts. Ce type d'apprentissage nous aide aussi à mieux connaître les autres et à mieux nous comporter avec eux. De telles compétences sociales te permettent de créer un meilleur lien social avec les autres, ce qui est bénéfique pour ton bien-être.

Cet article décrit deux types d'apprentissage social: comment nous apprenons des autres et comment nous apprenons à leur sujet. Afin de te montrer que tu as déjà recours à cet apprentissage au quotidien, nous utiliserons des exemples de situations que tu peux rencontrer à l'école. Par ailleurs, nous démontrerons comment l'apprentissage social fonctionne dans le cerveau, qui joue un rôle prépondérant dans l'apprentissage.

## COMMENT APPREND-ON DES AUTRES?

Un type d'apprentissage social essentiel est le fait d'apprendre des autres en observant leurs actions. En effet, les fautes commises et les succès enregistrés par les autres nous indiquent si nous devons agir de la même manière ou différemment [1].

Imagine que lors d'un contrôle en classe, tu ne connais pas suffisamment ta leçon pour obtenir une bonne note. Ton amie est assise à côté de toi et a déjà écrit ses réponses. Tu es tenté de jeter un œil à son travail quand soudain, l'un de tes camarades est surpris en train de tricher et est sanctionné. En observant cette situation, tu vas désormais penser que la triche est une action

### L'APPRENTISSAGE SOCIAL (SOCIAL LEARNING)

C'est le fait d'acquérir de nouvelles informations grâce à d'autres personnes dans un contexte social précis; par exemple apprendre des autres et sur eux.

répréhensible qui conduit à la punition. Par conséquent, tu as appris d'une autre personne que tricher pendant une évaluation est une mauvaise idée.

Lorsque tu apprends en observant les actions des autres, tu apprends des choix qu'ils font (la triche) et des conséquences qui en découlent (la punition). Si ces conséquences sont positives, cela va t'encourager à adopter le même comportement. Toutefois, si elles sont négatives, tu préféreras adopter un autre comportement.

Les scientifiques ont remarqué que les humains sont doués pour identifier le meilleur choix à faire. Toutefois, nous apprenons encore mieux en observant les autres [1]. Lorsque nous observons les actions des autres, que le résultat soit bon ou mauvais, nous obtenons une information supplémentaire sur le meilleur choix à faire. Cette information supplémentaire nous sert à réviser nos choix. Nous profitons donc de l'exemple des autres pour faire de meilleurs choix nous-mêmes. Apprendre des erreurs et des réussites des autres est donc bien plus efficace que de trouver une solution par soi-même.

## COMMENT APPREND-ON SUR LES AUTRES?

Nous venons d'expliquer que les gens apprennent plus facilement des autres en observant ce qu'ils font. Il existe un autre type d'apprentissage social qui consiste à apprendre sur les autres en interagissant avec eux. Lorsque nous apprenons sur les autres, nous apprenons ce qu'ils sont et comment ils se comportent. Ce type d'apprentissage nécessite qu'on prête attention à la conduite des autres afin de définir l'utilisation de cette information à l'avenir.

Imagine que tu te confies à l'une de tes camarades en lui disant que tu aimes bien le garçon à deux tables de la tienne et que tu découvres juste après que cette camarade n'est pas digne de confiance; elle révèle ton secret à toute la classe et cela te contrarie fortement. Dans ce cas, tu sais désormais qu'il est plus prudent de ne plus jamais te confier à cette personne.

Nous pouvons apprendre beaucoup de choses sur les autres, mais de nombreux scientifiques se penchent en particulier sur la confiance que l'on accorde aux gens. Savoir à qui se fier est très important parce que cela te permet de savoir si tu peux croire à ce que l'on te dit.

Les chercheurs ont constaté que pendant l'adolescence, nous apprenons à déterminer plus facilement et plus rapidement à qui nous pouvons faire confiance [2]. Ainsi, en grandissant, nous arrivons à mieux connaître les autres et cela nous permet de définir notre comportement envers eux, ce qui est nécessaire pour construire de bonnes relations.

## ERREUR DE PRÉDICTION

Il s'agit de la «surprise» produite en cas de différence entre ce à quoi tu t'attends et ce qu'il se passe en réalité.

<sup>1</sup> Si tu veux en savoir plus sur les calculs que fait ton cerveau quand tu apprends de nouvelles choses, lis l'article [3]!

### Figure 1

Les erreurs de prédiction favorisent l'apprentissage. La différence entre tes attentes (résultats escomptés) et ce qui se produit réellement (résultats réels) constitue une erreur de prédiction qui te permet d'actualiser tes connaissances, c'est-à-dire d'apprendre quelque chose de nouveau.

## STRIATUM VENTRAL

Il s'agit d'une des régions cérébrales qui, du fait qu'elle calcule les erreurs de prédiction, est impliquée dans l'apprentissage (social).

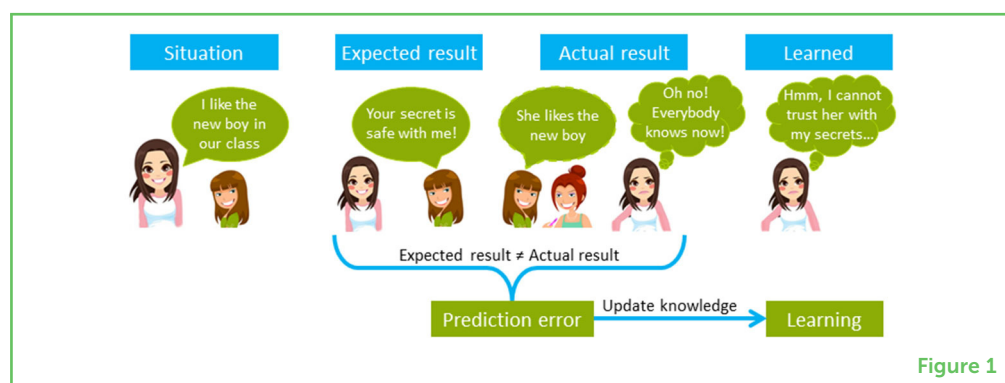
## CORTEX PRÉFRONTAL MÉDIAN (CPFm)

Il s'agit d'une des régions cérébrales qui, du fait qu'elle actualise les fausses attentes dans le cerveau avec les nouvelles informations obtenues après une erreur de prédiction, est impliquée dans l'apprentissage (social).

## COMMENT L'APPRENTISSAGE SOCIAL SE PRODUIT-IL?

Maintenant que nous avons présenté les deux principaux types d'apprentissage social, voyons comment ils se produisent. Lorsque nous apprenons une nouvelle information, nous l'ajoutons à celles que nous avons déjà. Le cerveau est impliqué dans ce processus. En effet, il fonctionne comme une calculatrice. Cela signifie que ton cerveau calcule constamment la différence entre ce à quoi tu t'attends et ce qu'il se passe en réalité. S'il se passe quelque chose d'inattendu, c'est la surprise générale! Celle-ci est appelée «**erreur de prédiction**» – lorsque tu fais une erreur dans tes prévisions. Le cerveau note cette imperfection et s'assure qu'elle t'ait servi de leçon en mettant à jour tes connaissances antérieures avec une nouvelle information.

Concernant l'apprentissage social, pense à l'exemple évoqué plus haut lorsque tu as confié le nom de la personne sur qui tu as craqué (Figure 1). Tu t'attendais à ce que ta camarade garde le secret; malheureusement, ça n'a pas été le cas. L'effet a donc été surprenant puisqu'il a été contraire à tes attentes. Ton cerveau a relevé cette erreur de prédiction et utilise cette nouvelle information pour corriger ce que tu sais de ta camarade. Tu as donc appris quelque chose concernant ta camarade et tu ne pourras plus facilement te fier à elle.<sup>1</sup>



## QUELLES PARTIES CÉRÉBRALES SONT IMPLIQUÉES?

Afin de réaliser toutes les opérations nécessaires pour l'apprentissage social, plusieurs régions cérébrales sont sollicitées [4]. Les chercheurs ont découvert au moins deux régions cérébrales importantes pour l'apprentissage social: le **striatum ventral** et le **cortex préfrontal médian (CPFm)** (Figure 2). Les chercheurs ont fait ces découvertes à l'aide d'un scanner IRM utilisé pour examiner le cerveau humain. Dans l'Encadré 1, tu trouveras davantage d'informations sur le fonctionnement de l'IRM.

Le striatum ventral est une région située au centre du cerveau que tu utilises quand tu prends des décisions, quand tu ressens du bonheur

**Figure 2**

Les régions du cerveau impliquées dans l'apprentissage social. Le striatum ventral (au centre du cerveau) calcule les erreurs de prédiction et les nouvelles informations reçues sont actualisées dans le cortex préfrontal médian (CPFm, situé à l'avant du cerveau). Ces deux régions sont donc importantes pour l'apprentissage social.

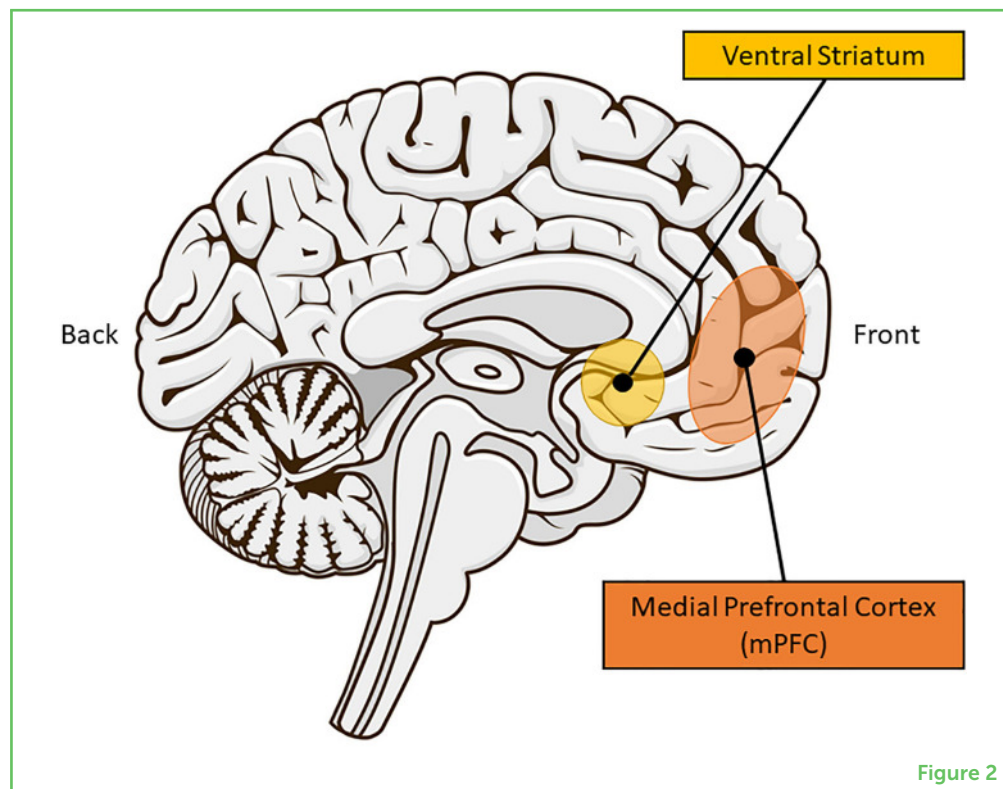


Figure 2

**Encadré 1 | Examen du cerveau: comment savoir ce qui s'y passe?**

Pour comprendre comment l'apprentissage social se produit, beaucoup de chercheurs examinent le cerveau à l'aide d'un scanner d'imagerie par résonance magnétique (IRM) (Figure 3). Ce scanner est un grand aimant qui permet de filmer le cerveau à travers le crâne. Par exemple, les scientifiques peuvent utiliser l'IRM pour filmer le cerveau d'un individu pendant que celui-ci joue à un jeu vidéo qui implique l'apprentissage sur et à propos des autres. C'est ainsi que les scientifiques peuvent déterminer quelles régions cérébrales sont impliquées dans l'apprentissage social. Pour obtenir de plus amples informations sur le fonctionnement des scanners IRM et sur comment ils sont utilisés pour examiner le cerveau, voir [5].

et quand tu reçois une récompense. Il est aussi important dans le calcul des erreurs de prédiction [4]. C'est donc une région cérébrale essentielle pour toute sorte d'apprentissage, dont l'apprentissage social.

Le CPFm désigne une partie située à l'avant du cerveau (derrière le front) qui s'avère être particulièrement importante pour réfléchir aux idées des autres afin de prendre des décisions qui les impliquent. Il est aussi associé à l'apprentissage: une fois que les erreurs de prédiction sont évaluées par le striatum ventral, le CPFm modifie les attentes que tu avais avec les nouvelles informations engendrées [4]. Il s'agit donc d'une région cérébrale essentielle quant à l'apprentissage social.

Le striatum ventral et le CPFm sont tous deux actifs dans l'apprentissage social, mais ils sont également impliqués dans d'autres comportements. Par ailleurs, le striatum ventral et le CPFm ne sont

### Figure 3

Les chercheurs utilisent l'IRM (MRI scanner) pour analyser le cerveau humain. Pour cela, les chercheurs (researchers) font coucher le participant sur un lit qui entre dans l'IRM. Deux autres chercheurs sont assis derrière un écran d'ordinateur qui leur présente les images cérébrales de la personne examinée une fois le scanner IRM lancé.

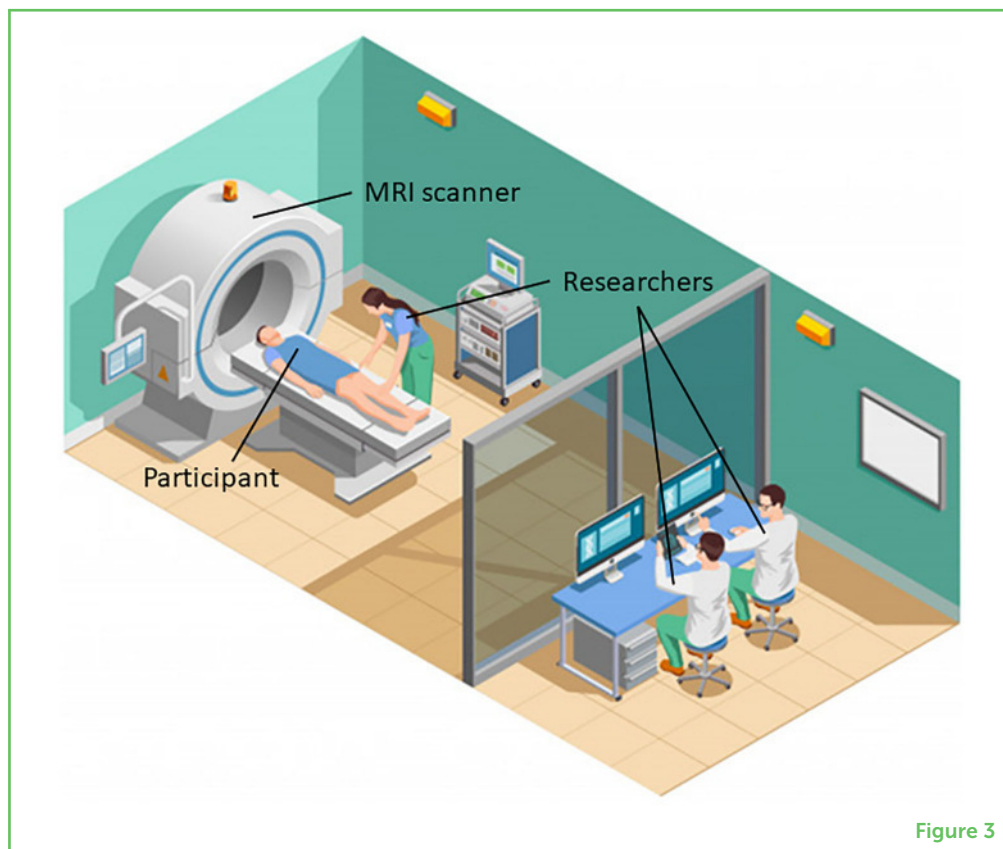


Figure 3

pas les seules régions du cerveau utilisées pour l'apprentissage social, d'autres régions interviennent dans ce processus. Toutes ces régions cérébrales travaillent ensemble et communiquent entre elles pendant que tu apprends des situations sociales complexes.

### RÉCAPITULATIF: CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'APPRENTISSAGE SOCIAL

Dans cet article, nous avons exploré les deux types d'apprentissage social et leur importance. Premièrement, le fait d'apprendre des actions, des erreurs et des réussites des autres est plus efficace que de se reposer sur nos propres idées. Ensuite, la socialisation nous permet de savoir à qui faire confiance et de construire de bonnes relations. Lorsque ce qui arrive ne reflète pas ce que tu as prédit, les erreurs de prédiction sont calculées dans le cerveau et entraînent un apprentissage. Les erreurs de prédiction sont évaluées dans le striatum ventral, que le CPFm utilise pour mettre à jour les informations déjà stockées dans le cerveau.

Maintenant que tu en sais plus sur l'apprentissage social, tu peux penser à tes propres exemples, aux différentes occasions au cours desquelles tu as appris des autres ou sur eux. Tu peux voir dans quelle mesure il t'a aidé à apprendre efficacement ou à adopter le comportement le plus adapté à l'égard des autres. La prochaine



fois que tu observes des gens ou que tu rencontres de nouvelles personnes, pense à ces formidables opérations qui se passent dans ton cerveau.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette Collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglophones et la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction. Nous remercions aussi Anna van Duijvenvoorde et Marieke Bos pour les commentaires qu'elles ont formulés sur la première version de cet article. BW a été soutenue par la subvention 464-15-176 de l'Open Research Area (ORA), financée par l'Organisation des Pays-Bas pour la recherche scientifique (NWO), décernée au Dr Anna C. K. van Duijvenvoorde. IK a été soutenue par la Subvention 014.041.030 de l'Organisation des Pays-Bas pour la recherche scientifique (NWO) décernée au Prof Berna Güroğlu. IG a été soutenue par l'Ammodo Science Award 2017 pour les Sciences sociales, attribué à la Prof. Eveline Crone.

## RÉFÉRENCES

1. Bandura, A. 1977. *Social Learning Theory*. New York, NY: General Learning Press.
2. Van den Bos, W., van Dijk, E., and Crone, E. A. 2012. Learning whom to trust in repeated social interactions: a developmental perspective. *Group Process. Intergroup Relat.* 15:243–56. doi: 10.1177/1368430211418698
3. Nussenbaum, K., and Cohen, A. 2018. Equation invasion! How math can explain how the brain learns. *Front. Young Minds* 6:65. doi: 10.3389/frym.2018.00065
4. Joiner, J., Piva, M., Turrin, C., and Chang, S. W. 2017. Social learning through prediction error in the brain. *NPJ Sci. Learn.* 2:8. doi: 10.1038/s41539-017-0009-2
5. Hoyos, P. M., Kim, N. Y., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086

**ÉDITEUR:** [Jessica Massonnie](#)

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** [Elizabeth Lorenc](#) et [Elizabeth Toomarian](#)

**CITATION:** Westhoff B, Koele IJ et van de Groep IH (2023) L'apprentissage social et le cerveau: Comment apprend-on des autres et sur eux? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00095-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Westhoff B, Koele IJ and van de Groep IH (2020) Social Learning and the Brain: How Do We Learn From and About Other People? *Front. Young Minds* 8:95. doi: 10.3389/frym.2020.00095



**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Westhoff, Koele et van de Groep. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### ANISHA, ÂGE: 13

Je suis en cinquième (2<sup>e</sup> année de secondaire) à l'école Synapse. J'aime les neurosciences, la physique quantique, les mathématiques et le chant.



### ELI, ÂGE: 13

Je suis en cinquième (2<sup>e</sup> année de secondaire) à l'école Synapse. J'aime cuisiner et lire.



### HENRI, ÂGE: 13

Je suis en quatrième (3<sup>e</sup> année de secondaire) à l'école Synapse. J'aime lire les articles de Frontiers.



### SARAH, ÂGE: 14

Je suis en quatrième (3<sup>e</sup> année de secondaire) à l'école Synapse. J'adore tout ce qui concerne les mathématiques, la science et les sorties en plein air. J'aime réaliser des expériences de chimie dans la cuisine, mesurer les distances que je cours et ma vitesse moyenne à ski. En dehors de la course que j'affectionne, j'aime lire, explorer de nouvelles choses et passer du temps avec mon chat. Toutes ces activités me permettent de maintenir l'équilibre entre vie active et repos.



### SPANDANA, ÂGE: 12

Mon nom est Spandana. La science est ma matière préférée à l'école. Ma meilleure amie est l'imagination; c'est pourquoi j'aime écrire des histoires. Parmi mes loisirs, j'adore discuter, regarder la télé, jouer au volleyball et dessiner. J'aime aussi les animaux, les chiens en particulier. J'aime poser des questions. Mes couleurs favorites sont le bleu sarcelle et le violet.



## AUTEURS



### BIANCA WESTHOFF

Je suis chercheuse à l'Université de Leiden, aux Pays-Bas. Je m'intéresse à la manière dont nous apprenons sur les gens autour de nous. J'étudie aussi le cerveau et son développement pendant l'adolescence. Je me focalise particulièrement sur comment ce développement cérébral affecte notre manière de nous comporter et d'apprendre sur les autres. \*[b.westhoff@fsw.leidenuniv.nl](mailto:b.westhoff@fsw.leidenuniv.nl)



### IRIS J. KOELE

Je suis chercheuse à l'Université de Leiden, aux Pays-Bas. Je suis particulièrement fasciné par la manière dont les adolescents apprennent de leurs amis et autres camarades, comment ces relations sociales évoluent avec le temps et l'activité cérébrale qui a cours durant ce type d'apprentissage. De plus, je m'intéresse aux jeunes gens qui ont des troubles de concentration et d'hyperactivité, en particulier à leur activité cérébrale lorsqu'ils obtiennent des récompenses pour eux-mêmes ou pour leurs amis.

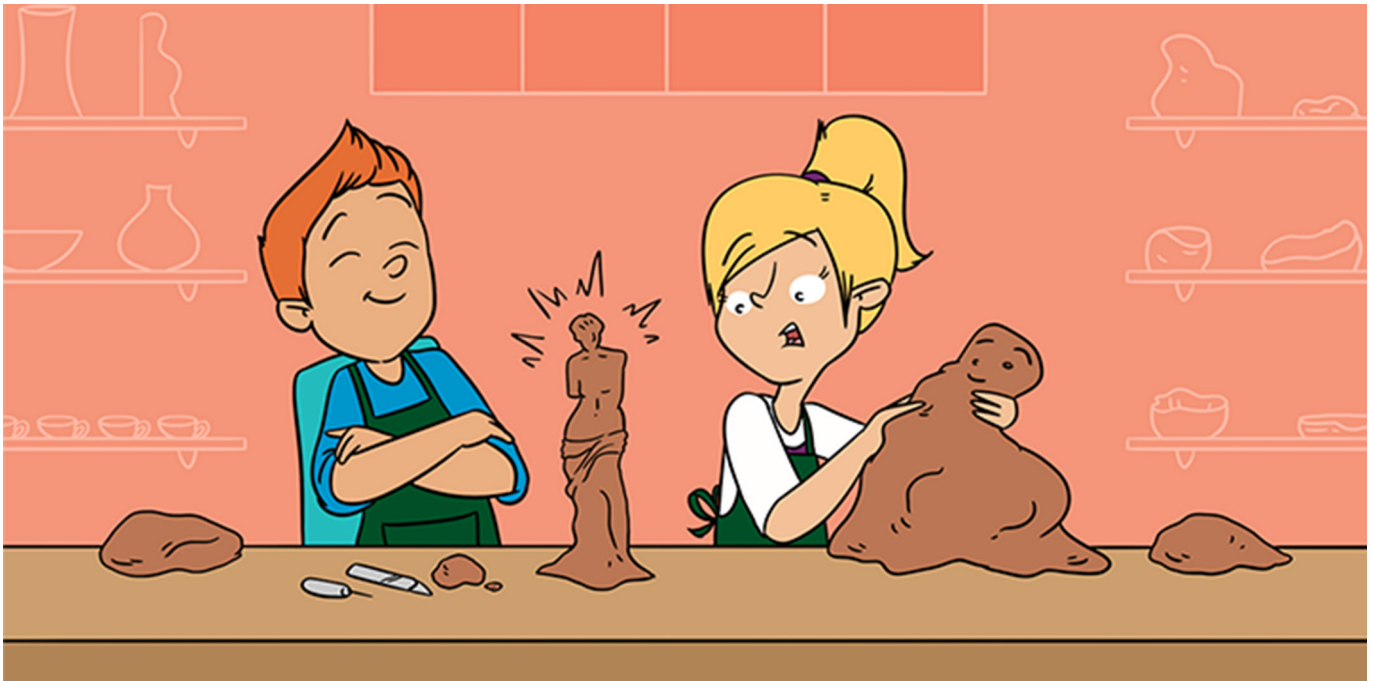


### ILSE H. VAN DE GROEP

Je suis chercheuse à l'Université Erasmus de Rotterdam et à l'Amsterdam UMC, aux Pays-Bas. Je cherche à comprendre pourquoi certaines personnes manifestent un comportement antisocial persistant (comme l'agressivité) tout au long de leur vie, alors que d'autres non. Pour appréhender ces différences, j'examine le cerveau et le comportement des jeunes adultes qui ont été arrêtés pour des crimes lorsqu'ils étaient enfants. Je cherche entre autres à savoir si l'apprentissage social et la prise de décisions fonctionnent différemment chez ces individus.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

 **JACOBS  
FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## LES NEUROMYTHES À L'ÉCOLE

Victoria C. P. Knowland<sup>1,2\*</sup> et Michael S. C. Thomas<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire du sommeil, du langage et de la mémoire, Département de psychologie, Université de York, York, Royaume-Uni

<sup>2</sup>Centre des neurosciences de l'éducation, Londres, Royaume-Uni

<sup>3</sup>Laboratoire de neurocognition développementale, Département des sciences psychologiques, Université Birkbeck de Londres, Londres, Royaume-Uni

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



ANYA  
ÂGE: 7



DR. H.  
BAVINCK  
SCHOOL  
ÂGES: 8–12



LIAM  
ÂGE: 8



MONICA  
ÂGE: 6



OLIVER  
ÂGE: 10

As-tu déjà entendu dire que nous n'utiliserions que 10% de notre cerveau? Il est bien sûr agréable de penser que nous disposons d'un vaste réservoir de capacités cérébrales inutilisées – mais est-il vrai que la majeure partie de notre cerveau reste en permanence totalement passive? Non! En réalité, chaque partie du cerveau humain est occupée 24 heures sur 24. Il existe beaucoup de ces «neuromythes», des croyances sur le cerveau qui semblent vraies, mais ne le sont pas. Il y a généralement une bonne raison à l'origine d'un neuromythe: il peut être vrai pour partie, ou correspondre à quelque chose que l'on souhaiterait être vrai. Cet article vous propose d'explorer trois neuromythes très répandus sur le cerveau en croissance, et t'explique pourquoi il est important de savoir ce qui est vrai et ce qui ne l'est pas. Nous y aborderons les questions de savoir si on peut changer son niveau d'intelligence, si les filles et les garçons pensent différemment, et si certains enfants sont plutôt «cerveau gauche» et d'autres «cerveau droit».



PALOMA

ÂGE: 8

### L'INTELLIGENCE

«Intelligence» est généralement le terme qu'on utilise pour dire à quel point quelqu'un est brillant – par exemple dans des tests qui mesurent des éléments comme la résolution de problèmes. Mais demandez à un groupe de scientifiques ce qu'est l'intelligence, et ils auront probablement tous des réponses différentes!

### LA GÉNÉTIQUE

La génétique et ce qui se transmet des parents aux enfants à travers l'ADN: elle détermine ainsi par exemple la couleur de tes cheveux, mais pas leur longueur.

## QU'EST-CE QU'UN NEUROMYTHE?

Un mythe est quelque chose que beaucoup de gens croient vrai, mais qui ne l'est pas (par exemple, que le roi Arthur ait réellement été un roi d'Angleterre), et «neuro» indique qu'il s'agit du cerveau. Un neuromythe est donc une affirmation au sujet du cerveau que beaucoup considèrent comme vraie, mais qui en réalité ne l'est pas. Il existe de nombreux neuromythes, comme la croyance selon laquelle nous n'utiliserions que 10% de notre cerveau, ou l'idée que notre cerveau serait inactif pendant notre sommeil. Tu en as peut-être toi-même entendu parler, et que tu en aies conscience ou non, les neuromythes peuvent influencer sur ce que tu penses de ton propre cerveau, ou sur la façon dont tu travailles à l'école. Par ailleurs, les parents et les enseignants croient parfois eux-mêmes en certains neuromythes, ce qui peut impacter leur manière de considérer les cerveaux en croissance. Par conséquent, les neuromythes peuvent influencer sur la façon dont les enseignants enseignent et dont les parents se comportent avec leurs enfants. Examinons tout d'abord chacun de nos trois neuromythes, puis nous nous demanderons pourquoi il est important de savoir repérer un mythe lorsqu'on en rencontre un.

### MYTHE N° 1: L'INTELLIGENCE EST PRÉDÉTERMINÉE

L'idée ici est que notre capacité à réussir certaines épreuves comme des examens scolaires ou des tests d'**intelligence** dépendrait de **la génétique**. La génétique concerne ce qui se transmet d'une génération à l'autre: des caractéristiques comme la couleur des yeux ou la taille d'une personne dépendent généralement fortement des gènes. Mais si ton intelligence était déterminée par la génétique, tes résultats scolaires dépendraient de la performance de tes parents à des tests d'intelligence ou de leurs propres résultats scolaires. Il est évident que ce mythe vient du fait que les enfants peuvent être très semblables à leurs parents. Aujourd'hui, on peut d'ailleurs mesurer le degré de similitude entre les enfants et leurs parents. Si on prend un groupe de jumeaux – des vrais (ou «monozygotes») et des faux (ou «dizygotes») –, parmi lesquels on étudie un comportement donné – par exemple, jongler –, on peut déterminer dans quelle mesure les différences concernant ce comportement sont influencées par la génétique ou dues à l'environnement dans lequel les enfants ont été élevés. En effet, les jumeaux monozygotes partagent 100% de leur patrimoine génétique et les jumeaux dizygotes 50% seulement, mais les deux types de jumeaux ont des environnements très similaires (ils vivent dans la même maison, suivent le même nombre de cours de jonglage, etc.). Si l'habileté à jongler est plus similaire entre les jumeaux monozygotes qu'entre les jumeaux dizygotes, cela indique que la similitude génétique des vrais jumeaux produit plus de similitude dans leur capacité à jongler, et donc que ce comportement est influencé par la génétique. On appelle cette influence génétique l'«héritabilité». L'héritabilité zéro des différences comportementales

signifie qu'elles sont totalement dues à l'environnement, et l'héritabilité à 100% que toutes les différences de comportement proviennent de différences génétiques.

La méthode des jumeaux permet de déterminer le rapport entre la génétique et le fait qu'une personne réussisse mieux qu'une autre à un examen scolaire. Et il s'avère qu'un peu plus de la moitié (60 à 65%) de la différence de performance scolaire est en effet due à la génétique (Oliver et al. [1] ont prouvé cela pour les sciences et les mathématiques). Mais il est évident que la génétique n'explique pas tout, loin de là: personne ne saurait grand-chose sur quoi que ce soit si on n'apprenait pas!

Il y a beaucoup d'éléments qui peuvent influencer la façon dont tu réussis en classe et qui n'ont rien à voir avec tes parents: par exemple, le fait de croire que ta performance peut évoluer si tu travailles suffisamment, ou d'avoir un très bon professeur. Tout enseignant sait que son action peut apporter un réel bénéfice à ses élèves. Une étude a démontré cela avec élégance: elle a constaté que l'influence de la génétique sur la capacité de lecture des élèves était plus forte dans les classes ayant de meilleurs enseignants [2]. Et voici pourquoi c'est élégant: lorsqu'une classe a un mauvais professeur, cela nuit au niveau de tous les élèves, quelle que soit la qualité de leurs gènes de lecture, tandis qu'avec un excellent professeur, les différences de capacité de lecture sont dues davantage au potentiel génétique de chaque élève. Pour illustrer cela, considérons un instant les enfants comme des plantes. Les plantes adultes devraient toutes atteindre des hauteurs différentes comme c'est le cas de leurs plantes mères respectives. Cependant, lorsqu'un jeune plant ne reçoit pas assez d'eau, il ne peut pas pousser au mieux de son potentiel, et ce, quelle que soit la hauteur de sa plante mère. Ce n'est que lorsqu'elle bénéficie d'assez d'eau (un excellent professeur) qu'une plante peut devenir aussi grande que sa génétique le permet (réussir aussi bien à l'école). Des recherches telles que cette étude sur la lecture nous montrent que s'il y a du vrai dans l'idée que l'intelligence se transmet d'une génération à l'autre, il est faux en revanche qu'elle est déterminée une fois pour toutes. La façon dont s'exprime notre intelligence dépend de nous et du monde qui nous entoure.

## **MYTHE N° 2: LES FILLES ET LES GARÇONS PENSENT DIFFÉREMMENT**

L'idée ici est que de naissance, les filles seraient meilleures dans certaines matières et les garçons dans d'autres. On pense généralement que les filles excellent naturellement dans les matières les plus créatives, les langues par exemple, tandis que les garçons sont souvent considérés comme meilleurs dans les domaines techniques tels que les mathématiques. De nombreuses études scientifiques ont pointé des différences entre des groupes d'hommes et des groupes

## ANALYSER

Déterminer ce qu'un ensemble d'informations peut signifier pour toi.

## DONNÉES

Un ensemble d'informations.

<sup>1</sup> Nous utilisons le terme «genre» pour désigner non la façon dont les gens se perçoivent, mais les différences biologiques entre les personnes de sexe féminin d'une part et masculin d'autre part.

### Figure 1

Voici un exemple de graphique montrant comment un groupe de filles et un groupe de garçons ont réussi un test de simulation. On peut voir que même si les filles réussissent légèrement mieux en tant que groupe (la courbe «Filles» est un peu plus à droite que la courbe «Garçons», ce qui indique qu'elles ont obtenu des scores légèrement plus élevés), les résultats se recoupent dans leur grande majorité.

Boys = Garçons,  
Girls = Filles,  
The number of people who get each score = Nombre d'individus pour chaque score,  
What people score on a test = Score obtenu par les individus lors du test.

de femmes: par exemple, les hommes sont plus aptes à faire tourner en pensée des représentations d'objets. Cependant, tout le monde ne croit pas en l'hypothèse de cette différence homme/femme. Une scientifique a ainsi **analysé** les **données** d'un ensemble d'études portant sur un total d'environ sept millions de personnes, examinant les différences entre les genres dans une gamme d'activités allant de la parole à l'habileté à lancer [3]. Elle a constaté que plus des trois quarts des études montraient que les différences entre les genres<sup>1</sup> étaient faibles ou pratiquement nulles, et ce, y compris dans des domaines où beaucoup de gens croient qu'il existe une grande différence, comme les compétences en mathématiques.

Autre élément à prendre en compte: les études sur les différences entre groupes ne portent que sur des groupes. Or, si l'on prend un groupe de garçons, certains d'entre eux seront excellents en maths, la plupart seront relativement bons, et certains seront mauvais. Et la même chose vaudra pour un groupe de filles. Même si, en tant que groupe, les garçons réussissent légèrement mieux à un test donné, cela ne nous apprend absolument rien sur chaque individu (comme tu peux le voir sur la **Figure 1**). Les résultats des deux groupes se chevaucheront considérablement. Un garçon fera probablement mieux que beaucoup de filles, et une fille fera probablement mieux que beaucoup de garçons.

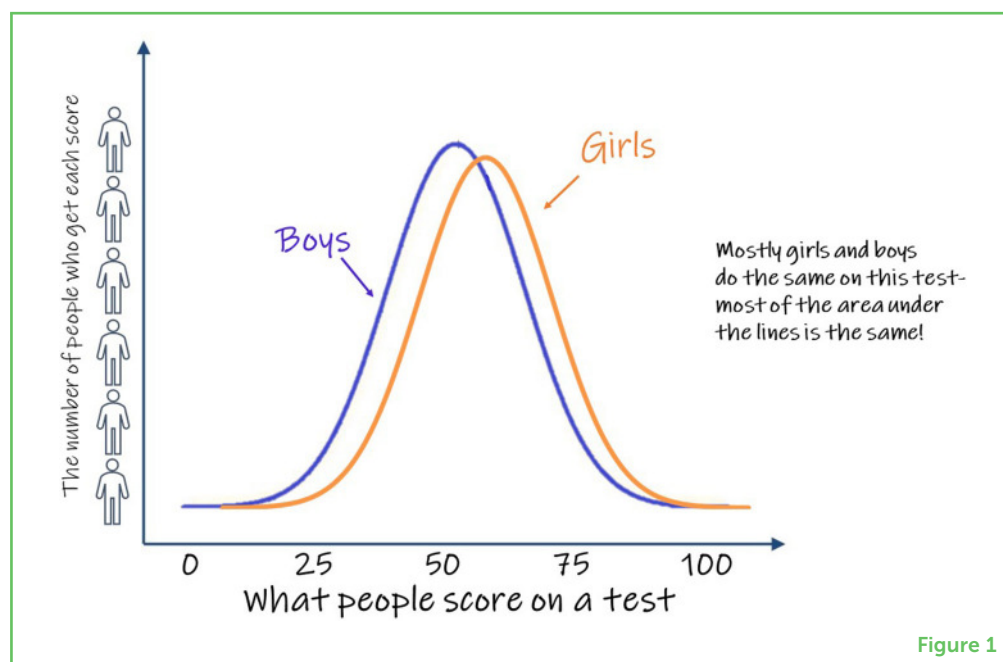


Figure 1

Autrement dit, même s'il peut exister des différences entre la façon dont pensent les filles et les garçons, ces différences sont minimes et il faut garder à l'esprit que les différences entre les groupes ne nous disent rien sur les individus qui les composent.



## MYTHE N° 3: CERTAINS ENFANTS SONT PLUTÔT «CERVEAU GAUCHE» ET D'AUTRES PLUTÔT «CERVEAU DROIT»

### HÉMISPHÈRE

C'est la moitié de quelque chose de rond: le cerveau a ainsi deux hémisphères (gauche et droit), de même que la Terre (nord et sud).

### SPÉCIALISATION

Si tu te spécialises dans une activité (par exemple le violoncelle), tu vas finir par vraiment bien la pratiquer. Dans cet article, nous abordons les zones cérébrales spécialisées dans une seule tâche comme lire des mots ou bouger les mains.

Il est important de différencier ici deux idées distinctes: (1) la division du cerveau en une moitié gauche associée à la logique et à la parole et une moitié droite associée à la créativité et aux émotions, et (2) le fait que chaque être humain ait un côté plus actif que l'autre, et soit donc, selon son cas, meilleur dans les activités relevant du cerveau gauche ou droit.

Comme nous l'avons vu pour les autres neuromythes, cette idée reçue recèle une part de vérité. Lorsqu'on observe un cerveau, l'une des choses les plus frappantes est qu'il comprend deux moitiés (ou «**hémisphères**») très différentes, mais qui, dans une large mesure, sont symétriques l'une de l'autre (comme illustré dans la [Figure 2](#)). Il est également vrai que différentes zones du cerveau se spécialisent dans différentes tâches, comme nous permettre de bouger les mains ou nous donner la phobie des araignées. Et certaines **spécialisations** concernent exclusivement (ou principalement) un côté du cerveau: c'est ce qu'on appelle la «latéralisation». L'exemple classique est que chez la plupart des gens, le langage (parler et écouter les autres parler) est maîtrisé par l'hémisphère gauche. Cependant, ce domaine ne dépend pas exclusivement du cerveau gauche: le cerveau droit joue également un rôle dans de nombreux aspects du langage, comme la capacité à comprendre ce qui fait qu'une blague est drôle une fois que l'hémisphère gauche a compris les phrases énoncées [4]. Les deux hémisphères cérébraux fonctionnent presque toujours ensemble de cette manière.

Bien que nous utilisions souvent différents hémisphères du cerveau pour différentes tâches, cela ne signifie pas que les gens fonctionnent

### Figure 2

Ce dessin présente les deux moitiés du cerveau.  
Right = droite,  
Left = gauche,  
Front of brain = avant du cerveau.

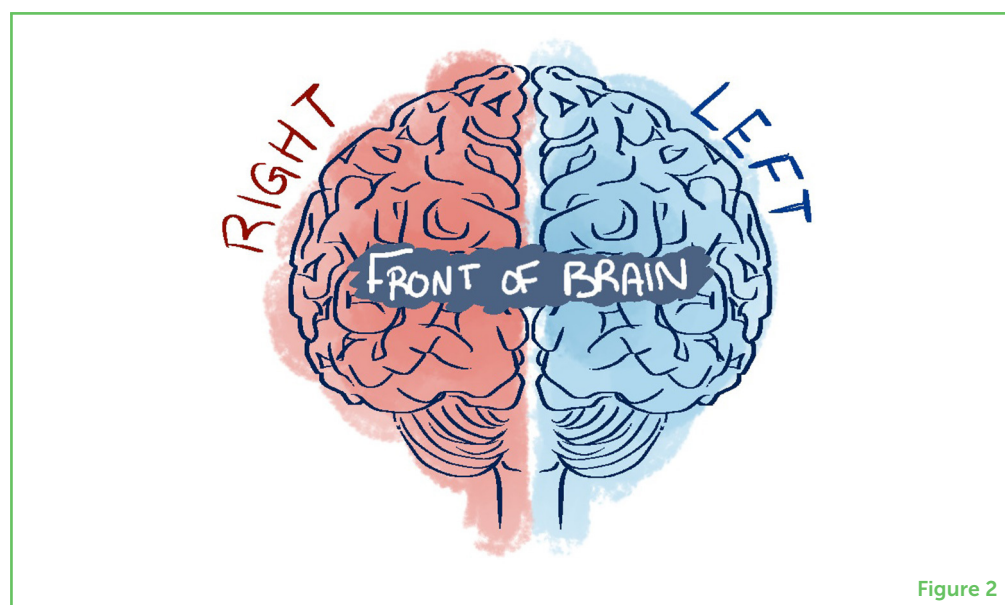


Figure 2

exclusivement avec leur cerveau droit ou leur cerveau gauche. Une vaste étude menée sur plus de 1000 personnes a montré que, dans l'ensemble, les êtres humains n'ont pas un hémisphère cérébral plus actif que l'autre [5]. La zone du cerveau où l'activité se produit dépend plutôt de ce que l'on fait, ainsi que de notre capacité à le faire. Par exemple, les musiciens ont plus de matière cérébrale dans certaines zones de l'hémisphère gauche que les non-musiciens [6], mais ce sont des différences qui concernent de petites zones spécifiques du cerveau, pas un hémisphère dans son ensemble. Pour conclure, certaines tâches relèvent bien du cerveau droit ou du cerveau gauche, mais pas le fonctionnement complet d'une personne.

## **POURQUOI EST-IL IMPORTANT DE SAVOIR QU'IL EXISTE DES NEUROMYTHES?**

Connaître l'existence des neuromythes est important parce que ces idées reçues affectent nos pensées et nos comportements: ils peuvent changer la façon dont nous nous voyons nous-mêmes et dont nous voyons les autres. Prenons de nouveau l'exemple du genre. De 8 à 9 ans, il n'y a pas de différence objective dans la façon dont les filles et les garçons réussissent en mathématiques. Pourtant, les filles (et leurs parents) jugent souvent leurs performances en mathématiques inférieures à celles des garçons [7]. Cela indique que les croyances répandues (dans ce cas, que les filles sont moins bonnes en maths) peuvent influencer sur la façon dont les enfants se perçoivent, ce qui peut en retour impacter leurs performances concrètes! Ainsi, dans une étude où un groupe d'étudiants passait un test de mathématiques, les hommes ont mieux réussi que les femmes lorsqu'on leur avait dit que le test montrait généralement des différences entre les genres, alors que lorsqu'on leur avait dit que c'était un test neutre en termes de genre, les femmes ont eu d'aussi bons résultats que les hommes [8]. Il est important d'avoir conscience de cela, car à la fin des études, les différences minimales du début se sont énormément développées: ainsi, 94% des professeurs de mathématiques au Royaume-Uni sont des hommes [9]. Cela montre clairement pourquoi il est important de faire attention aux neuromythes – ce que tu penses de ton cerveau et du cerveau de ceux qui t'entourent peut devenir réalité. Alors, commence par croire que tu peux avoir de bons résultats en maths!

## **CONTRIBUTION DES AUTEURS**

Écrit par VK et révisé par MT.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles

et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires à cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Oliver, B., Harlaar, N., Hayiou-Thomas, M. E., Kovas, Y., Walker, S. O., Petrill, S. A., et al. 2004. A twin study of teacher-reported mathematics performance and low performance in 7-year-olds. *J. Educ. Psychol.* 96:504-17. doi: 10.1037/0022-0663.96.3.504
2. Taylor, J., Roehrig, A. D., Soden-Hensler, B., Connor, C. M., and Schatschneider, C. 2010. Teacher quality moderates the genetic effects on early reading. *Science* 328:512-4. doi: 10.1126/Science.1186149
3. Shibley-Hyde, J. 2005. The gender similarities hypothesis. *Am. Psychol.* 60:581-92. doi: 10.1037/0003-066X.60.6.581
4. Marinkovic, K., Baldwin, S., Courtney, M. G., Witzel, T., Dale, A. M., and Halgren, E. 2011. Right hemisphere has the last laugh: neural dynamics of joke appreciation. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 11:113-30. doi: 10.3758/s13415-010-0017-7
5. Nielsen, J. A., Zielinski, B. A., Ferguson M. A., Lainhart, J. E., and Anderson, J. S. 2013. An evaluation of the left-brain vs. right-brain hypothesis with resting state functional connectivity magnetic resonance imaging. *PLoS ONE* 8:e71275. doi: 10.1371/journal.pone.0071275
6. Gaser, C., and Schlaug, G. 2003. Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J. Neurosci.* 23:9240-5. doi: 10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003
7. Herbert, J., and Stipek, D. 2005. The emergence of gender differences in children's perceptions of their academic competence. *J. Appl. Dev. Psychol.* 26:276-95. doi: 10.1016/j.appdev.2005.02.007
8. Spencer, S. J., Steele, C. M., and Quinn, D. M. 1999. Stereotype threat and women's math performance. *J. Exp. Soc. Psychol.* 35:4-28.
9. London Mathematical Society. 2013. *Advancing Women in Mathematics: Good Practice in UK University Departments*. London: London Mathematical Society.

**ÉDITEUR:** Nienke Van Atteveltdt

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Naomi Chaytor et Silvia Riva

**CITATION:** Knowland VCP et Thomas MSC (2023) Les neuromythes à l'école. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00049-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Knowland VCP and Thomas MSC (2020) *Neuro-Myths in the Classroom*. *Front. Young Minds* 8:49. doi: 10.3389/frym.2020.00049

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Knowland et Thomas. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### ANYA, ÂGE: 7

J'aime être active: je fais beaucoup de sport, avec enthousiasme et du mieux que je peux. Mes sports préférés sont la natation et la gymnastique. J'aime aussi découvrir de nouvelles histoires dans des livres, des contes ou des films, et inventer mes propres histoires quand je joue. Mais j'aime aussi les mathématiques, c'est ma matière préférée à l'école. J'aime chanter et tout ce qui a un rapport avec la musique, et je fais mes propres muffins pour le petit déjeuner chaque fois que je peux.



### DR. H. BAVINCKSCHOOL, ÂGES: 8–12

Nous sommes quatre classes de l'école Bavinckschool à Haarlem, aux Pays-Bas. Nous sommes en tout 40 enfants qui ont envie d'apprendre un peu plus que le programme scolaire normal. Nous avons pris un énorme plaisir à vérifier des articles pour FYM: nous les avons lus avec beaucoup de concentration et d'enthousiasme, et en avons fait une évaluation critique. Nous avons vraiment aimé pouvoir contribuer à la science en donnant ce coup de main!



### LIAM, ÂGE: 8

Je suis en troisième année de primaire. J'adore les peluches et ma mère. Je suis un artiste et j'aime aussi le ski. Quand je serai grand, je veux voyager partout dans le monde et dans l'espace.



### MONICA, ÂGE: 6

J'aime faire des dessins... parce que je veux exprimer ce que j'ai dans la tête. J'aime aller dans de nouvelles villes et de nouveaux pays. Je suis extrêmement créative et j'adore cuisiner. J'aime aussi lire des livres et apprendre des choses grâce à des enfants du monde entier. J'aime les sports comme la natation et le skate.



### OLIVER, ÂGE: 10

Je suis en cinquième année de primaire et j'aime la robotique, les mathématiques et les sciences. Je commence à apprendre la trompette. J'ai hâte que ce soit la saison du ski. Quand je serai grand, je veux être astronaute et voyager sur Mars!

**PALOMA, ÂGE: 8**

Bonjour, je m'appelle Paloma, mes activités préférées sont l'école et les voyages parce que j'aime apprendre de nouvelles choses. La science est ma matière préférée parce que c'est vraiment intéressant et que j'ai un très bon professeur. J'aime aussi beaucoup lire des bandes dessinées, je trouve ça amusant! Je suis également très préoccupée par la pollution et la conservation de l'eau, et j'espère trouver un jour des solutions à ces problèmes.

**AUTEURS****VICTORIA C. P. KNOWLAND**

Vic est chercheuse à l'Université de York. Son travail consiste à essayer de comprendre en quoi le sommeil peut être important pour l'apprentissage des langues durant l'enfance. Elle s'intéresse à la manière dont les compétences linguistiques diffèrent d'un enfant à l'autre ainsi qu'aux raisons de ces différences – par exemple, pourquoi certains enfants connaissent plus de mots que les autres. Elle s'implique également dans le soutien aux enfants qui ont des difficultés à communiquer. Avec Michael, Vic a écrit une série de courts articles sur les neuromythes liés à l'apprentissage en classe. \*[victoria.knowland@york.ac.uk](mailto:victoria.knowland@york.ac.uk)

**MICHAEL S. C. THOMAS**

Michael est professeur de neurosciences cognitives à l'institut Birkbeck de l'Université de Londres et directeur du Centre for Educational Neuroscience (Centre des neurosciences de l'éducation) de l'Université de Londres (<http://www.educationalneuroscience.org.uk/>). Il utilise différentes méthodes pour comprendre le fonctionnement du cerveau et les façons dont les gens, y compris ceux qui ont des difficultés de développement telles que l'autisme, diffèrent dans leur façon de penser. Dans le cadre des neurosciences de l'éducation, il cherche notamment à comprendre comment les enfants apprennent les sciences et les mathématiques, et étudie l'impact possible de l'utilisation des téléphones mobiles sur le cerveau des adolescents.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**JACOBSON**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth





## POUR EN FINIR AVEC UN MYTHE SIMPLISTE: LES STYLES D'APPRENTISSAGE, ÇA N'EXISTE PAS

Breanna C. Lawrence<sup>1\*</sup>, Burcu Yaman Ntelioglou<sup>2</sup> et Todd Milford<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Département de psychologie de l'éducation et de services aux étudiants, Faculté d'éducation, Université de Brandon, Brandon, MB, Canada

<sup>2</sup>Département des programmes et de la pédagogie, Faculté d'éducation, Université de Brandon, Brandon, MB, Canada

<sup>3</sup>Département des programmes et de l'instruction, Faculté d'éducation, Université de Victoria, Victoria, BC, Canada

### JEUNES EXAMINATEURS:



EMILY

ÂGE: 11



MIHAJLO

ÂGE: 16

La notion de «profil» ou de «style» d'apprentissage est peut-être l'un des mythes les plus répandus concernant les sciences de l'éducation. Il repose sur une hypothèse selon laquelle tous les apprenants pourraient être classés en fonction de leur profil d'apprentissage respectif, et que l'on apprendrait d'autant mieux que l'enseignement correspondrait à son style d'apprentissage privilégié. De nombreux chercheurs en sciences de l'éducation ont prouvé que cette croyance était certes populaire, mais fautive. La théorie des profils d'apprentissage réduit les processus sophistiqués et complexes que sont l'enseignement et l'apprentissage à des catégories simplifiées à l'extrême, tout en mettant les apprenants dans des «cases» risquant de limiter leurs potentiels. Des études réalisées par des spécialistes du cerveau et de l'éducation ont montré que l'apprentissage et l'enseignement ne se réduisaient pas à faire coïncider des méthodes d'enseignement et des soi-disant profils d'apprentissage.



## PROFIL OU STYLE D'APPRENTISSAGE

Il s'agit d'une théorie selon laquelle les apprenants peuvent être classifiés en fonction de leur profil d'apprentissage: visuel, auditif ou kinesthésique. D'après cette théorie, on apprendrait d'autant mieux que l'enseignement correspondrait à son style d'apprentissage.

## NEUROSCIENTIFIQUE

Un ou une scientifique qui étudie le cerveau et la façon dont il influe sur nos pensées et nos comportements.

## NEUROMYTHE

Croyance populaire mais erronée sur la façon dont le cerveau fonctionne.

## NEUROSCIENCES

Domaine scientifique qui étudie la structure et le fonctionnement du cerveau et du système nerveux.

<sup>1</sup> Voir [danielwillingham.com](http://danielwillingham.com)

## UN STYLE D'APPRENTISSAGE, C'EST QUOI AU JUSTE?

Tu as certainement déjà entendu des enseignants affirmer que les élèves avaient différents **profils ou styles d'apprentissage**, certains ayant un profil «visuel», c'est-à-dire préférant apprendre en regardant, lisant, etc., d'autres un profil «auditif», c'est-à-dire apprenant mieux en écoutant, et d'autres enfin un style «kinesthésique», apprenant donc de préférence en agissant. Tu as même peut-être déjà répondu à un questionnaire ou fait un test afin de déterminer ton propre profil. Beaucoup de personnes pensent aujourd'hui que nous pouvons tous être classés en fonction de tel ou tel profil d'apprentissage, et que nous apprenons mieux quand la méthode pédagogique correspond à notre style d'apprentissage préféré. Cette théorie a beau être très populaire, elle n'en est pas moins fautive, comme l'ont prouvé de nombreux **neuroscientifiques**. Toutefois, et malgré de multiples preuves, beaucoup d'éducateurs continuent à y croire [1]. Cette idée est un parfait exemple de **neuromythe**, c'est-à-dire de croyance populaire mais fautive sur la manière dont le cerveau fonctionne. Dans le présent article, nous allons t'expliquer pourquoi cette théorie est un neuromythe et pourquoi il peut s'avérer contre-productif d'y croire. Nous t'expliquerons aussi comment les **neurosciences**, discipline qui étudie le fonctionnement cérébral, nous permettent de mieux comprendre la complexité des processus de l'enseignement et de l'apprentissage.

## EN QUOI LA NOTION DE PROFILS D'APPRENTISSAGE EST-ELLE UN NEUROMYTHE?

Il faut savoir que la théorie des profils d'apprentissage ne repose sur aucune preuve scientifique. Cela n'empêche pas de nombreuses personnes, et parmi elles de nombreux enseignants, de croire à cette théorie. Il s'agit là certainement d'un des neuromythes les plus répandus [2]. Un groupe de recherche [3] a révélé que plus de 90% des membres du corps enseignant croient à ce concept, et un autre [4] que plus de 60% des enseignants pensent qu'un élève apprend mieux si la méthode pédagogique appliquée correspond à son style d'apprentissage.

Il semblerait que beaucoup de personnes croient facilement aux affirmations non fondées lorsque celles-ci donnent l'impression d'intégrer des informations liées aux neurosciences. La notion de profil d'apprentissage est un exemple d'outil pédagogique qui semble pertinent parce que certains éléments de la théorie sont en effet vrais.<sup>1</sup>

Ainsi, il est vrai que nous avons tous des préférences quant à notre manière d'apprendre. Présenter les contenus de plusieurs manières est une pratique pédagogique importante que les futurs enseignants apprennent pendant leur formation. Cependant, cela ne signifie pas qu'adapter l'enseignement au style d'apprentissage préféré d'un élève

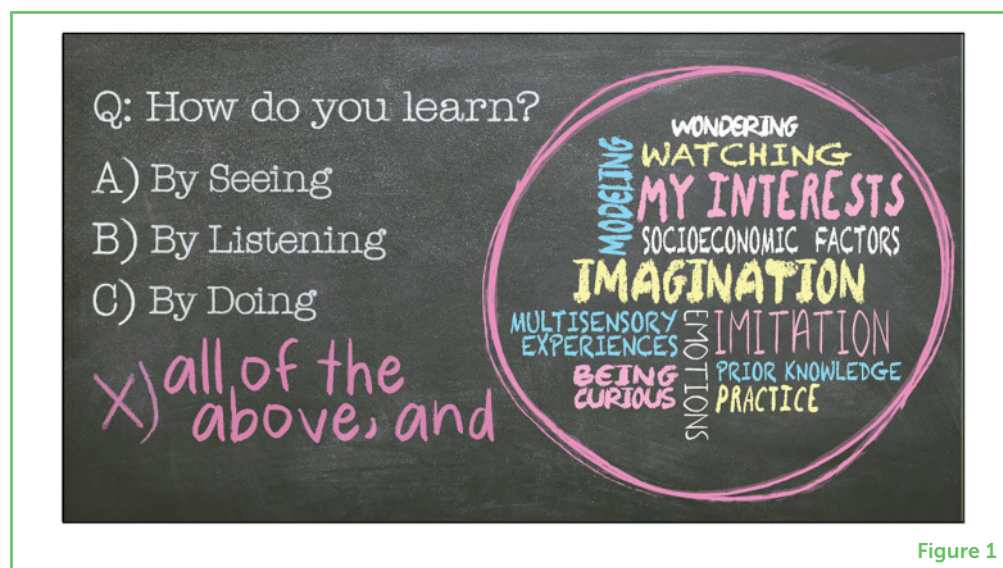
facilite sa compréhension des contenus dispensés, car ce n'est pas ainsi que le cerveau fonctionne.

## EN QUOI LE NEUROMYTHE DES PROFILS D'APPRENTISSAGE EST-IL DANGEREUX?

Si on croit en ce neuromythe, cela peut être nuisible en ce sens qu'il réduit les processus complexes que sont l'enseignement et l'apprentissage à des catégories simplifiées à l'extrême, tout en mettant les apprenants dans des «cases» risquant de limiter leurs potentiels (Figure 1). Il est bien sûr séduisant de penser que les élèves pourraient apprendre plus facilement s'il suffisait de modifier les méthodes pédagogiques pour les faire coïncider avec leurs styles d'apprentissage respectifs. Sauf que la manière dont le cerveau traite les informations est beaucoup plus complexe que cela.

**Figure 1**

Cette infographie sur les façons dont apprend l'être humain montre que celles-ci ne peuvent pas être réduites à quelques catégories figées. Créé par Brendon Ehinger (<http://ehinger.ca/>).  
 How do you learn? = Comment apprends-tu? = By seeing = Par la vue, By listening = Par l'écoute, By doing = Par l'action, All of the above, and = Par tout ce qui précède, et.



**Figure 1**

Imagine un instant que tu croies que ton style d'apprentissage est le style visuel, c'est-à-dire que tu as plus de facilité à apprendre avec des contenus présentés visuellement. En cours d'anglais, pour améliorer ton expression orale et ton accent, tu vas donc lire et regarder de nombreux exemples écrits de conversations, et même la transcription phonétique des mots (manière d'écrire les mots selon leur prononciation), mais bien sûr, ta préférence supposée pour les informations visuelles ne va pas te permettre d'améliorer ta maîtrise orale de l'anglais. De nombreux mots vont continuer à te poser des problèmes de prononciation, et le jour où quelqu'un t'adressera la parole en anglais, tu auras du mal à le comprendre. Autrement dit, dans cette situation précise, ton supposé «style d'apprentissage visuel» ne t'aide pas à apprendre. L'apprentissage et la pratique d'une langue nécessitent l'usage coordonné de la vue, de l'écoute et de l'action—mais pas uniquement: la mémorisation, les émotions, la motivation, la réflexion et l'imagination jouent elles aussi un

rôle important dans l'acquisition d'une langue [5]. Il est souvent impossible pour les enseignants de limiter leur enseignement à des styles d'apprentissage spécifiques – et c'est tant mieux, car cela pourrait s'avérer plus préjudiciable qu'utile et générer de nombreuses frustrations. C'est pourquoi nous demandons aux enseignants de considérer le neuromythe des profils d'apprentissage avec la plus grande prudence, aucune preuve scientifique ne venant étayer que les méthodes d'enseignement qui s'y réfèrent permettent réellement aux élèves d'apprendre mieux ni plus facilement.

En réalité, l'apprentissage est un processus interconnecté. Pour aller chercher n'importe quelle information dans notre mémoire, nous la traitons à travers de multiples sens, en associant ce que nous avons entendu, dit, retenu, vu, ressenti, les odeurs que nous avons senties, etc. Tu comprends donc que si les enseignants qui croient au mythe des profils d'apprentissage essaient de cantonner chaque élève à la «case» d'un profil donné, cela peut restreindre considérablement l'utilisation d'autres sens et processus nécessaires à l'apprentissage, et donc nuire à une bonne acquisition de nouveaux contenus par certains élèves.

### PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

C'est la capacité du cerveau à former de nouvelles connexions neuronales, à s'adapter et à se modifier en fonction des expériences vécues.

### RÉSEAU DE NEURONES

Ensemble de neurones interconnectés.

### NEURONE

Cellule du système nerveux qui transmet des informations à d'autres cellules (nerveuses, musculaires ou glandulaires). Les neurones sont considérés comme les principaux composants du cerveau.

## LES NEUROSCIENCES NOUS AIDENT À COMPRENDRE LA COMPLEXITÉ DES PROCESSUS DE L'ENSEIGNEMENT ET DE L'APPRENTISSAGE

C'est grâce aux neurosciences que nous comprenons de mieux en mieux la complexité des processus de développement et de modification du cerveau à mesure qu'il apprend. Il est important que les enseignants sachent que les recherches en neurosciences indiquent que l'apprentissage se fonde sur l'expérience et non sur de supposés styles d'apprentissage. Il est donc souhaitable qu'ils acquièrent certaines notions de neurosciences pour mieux enseigner une fois sur le terrain, face à des élèves. Durant leur formation, les futurs enseignants découvrent la notion de **plasticité cérébrale**, qui signifie que le cerveau est capable de s'adapter aux expériences. Il est donc souhaitable que les enseignants fassent faire des expériences nombreuses et variées à leurs élèves, mais aussi qu'ils tiennent compte de ce que les élèves savent déjà, de leurs aptitudes et de leurs intérêts. Les événements que nous vivons au quotidien, ainsi que les cours auxquels nous assistons, créent des **réseaux de neurones** qui nous aident à nous remémorer ce que nous avons appris. Un réseau de **neurones** est un ensemble de neurones (cellules nerveuses) interconnectés. À sa naissance, l'être humain possède seulement un pourcentage réduit de ce réseau de neurones: la grande majorité du réseau va se créer au fil des expériences de sa vie.<sup>2</sup> C'est par des découvertes et des pratiques significatives que les réseaux de neurones se renforcent et que les apprenants gagnent en confiance, en compétence, et en cohésion avec ce qu'ils apprennent. En réponse aux expériences, des neurones sont créés, qui finissent par s'assembler

<sup>2</sup> Voir <https://human-memory.net/brain-neurons-synapses/>.

en réseaux capables de se spécialiser dans des fonctions telles que la maîtrise d'une langue supplémentaire. Pour résumer, à mesure que tu apprends de nouvelles choses, ton cerveau s'adapte en créant de nouvelles connexions, ce qui modifie le réseau des neurones. Apprendre nécessite du temps et de la pratique: pour apprendre, disons une nouvelle langue, plus tu la pratiqueras et plus tu seras en contact avec elle par tous tes sens, plus tu auras de facilité à traiter et à exécuter les compétences nécessaires, comme l'expression et la compréhension orales et écrites.

## CONCLUSION: APPRENDRE EST UN PROCESSUS INCROYABLEMENT COMPLEXE

Le neuromythe des profils d'apprentissage peut s'avérer très problématique dans la mesure où il fait de l'apprentissage et de l'enseignement des processus simplifiés à l'excès qui, pour cette raison, n'aident pas les élèves à apprendre plus efficacement. Bien que cette théorie séduisante se soit révélée fausse, beaucoup de personnes continuent à y croire: c'est un des neuromythes les plus répandus au sein du corps enseignant! Ce qu'il est important de retenir, c'est qu'apprendre implique des processus de réflexion et repose sur nos expériences. On sait que nos connaissances préalables, nos aptitudes et nos centres d'intérêt jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage, pas un soi-disant «profil». Les processus qui sous-tendent l'apprentissage, de même que la manière dont notre corps et notre cerveau sont interconnectés, sont **multidimensionnels**, et les scientifiques qui étudient la façon dont nous apprenons découvrent et apprennent eux-mêmes constamment de nouvelles choses sur la façon dont fonctionnent ces processus. Les apprenants doivent être exposés à des tâches diverses et avoir accès aux connaissances de différentes manières et sur différents supports. La manière dont les savoirs sont enseignés doit être pertinente, à la fois vis-à-vis de leur contenu (une nouvelle langue par exemple) et vis-à-vis de la personne qui veut les apprendre. Nous espérons t'avoir convaincu qu'enseigner dépasse largement le simple fait de faire coïncider un apprenant avec tel ou tel style d'apprentissage!

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

### MULTIDIMENSIONNEL

Complexe, constitué de plusieurs éléments.

## RÉFÉRENCES

1. Riener, C., and Willingham, D. 2010. The myth of learning styles. *Change* 42:32–35. doi: 10.1080/00091383.2010.503139
2. Newton, P. M. 2015. The learning styles myth is thriving in higher education. *Educ. Psychol.* 6:1908. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01908
3. Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., and Jolles, J. 2012. Neuromyths in education: prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Front. Psychol.* 3:429. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00429
4. Dandy, L., and Bendersky, K. 2014. Student and faculty beliefs about learning in higher education: implications for teaching. *Int. J. Teach. Learn. High. Educ.* 26:358–80. Available online at: <http://www.isetl.org/ijtlhe/>
5. Geake, J. 2008. Neuromythologies in education. *Educ. Res.* 50:123–33. doi: 10.1080/00131880802082518

**ÉDITEUR:** Nienke Van Atteveldt

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Tijana Bojić et Vladimir Litvak

**CITATION:** Lawrence BC, Yaman Ntelioglou B et Milford T (2023) Pour en finir avec un mythe simpliste: Les styles d'apprentissage, ça n'existe pas. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00110-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Lawrence BC, Yaman Ntelioglou B and Milford T (2020) It Is Complicated: Learning and Teaching Is Not About "Learning Styles". *Front. Young Minds* 8:110. doi: 10.3389/frym.2020.00110

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Lawrence, Yaman Ntelioglou et Milford. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### EMILY, ÂGE: 11

Je m'appelle Emily, j'ai 11 ans. Plus tard, je veux devenir avocate et astronaute. Je vis à Londres, en Angleterre, et j'entrerai au collège (en secondaire) cette année. La littérature anglaise est ma matière favorite. Pendant mon temps libre, j'aime nager, faire de la danse irlandaise et lire Harry Potter.





**MIHAJLO, ÂGE: 16**

Salut! Je m'appelle Mihajlo et je suis actuellement en seconde (5<sup>e</sup> année de secondaire) au Third Belgrade Lyceum. Ce que je trouve génial avec les sciences, c'est qu'on ne sait jamais ce qui va se passer à la fin. Ce qui m'a attiré vers les neurosciences, c'est qu'on sait encore très peu de choses sur le cerveau et le système nerveux, et que nous, scientifiques passionnés, avons encore beaucoup à découvrir dans ce domaine. J'aime apprendre de nouvelles choses et c'est pourquoi je fais beaucoup de recherches avec mon mentor en sciences.

**AUTEURS****BREANNA C. LAWRENCE**

Breanna est professeure de psychologie de l'éducation (l'étude de l'enseignement et de l'apprentissage) et conseillère d'orientation. Elle forme des étudiants qui veulent devenir enseignants dans les domaines du développement de l'enfant, de l'adolescent, et des théories de l'apprentissage. Elle forme également des professeurs qui souhaitent devenir conseillers d'orientation. Ses recherches, qui portent sur des questions liées à la résilience des enfants et des adolescents, sont nourries par une décennie d'expérience professionnelle avec des familles dans des contextes éducatifs et cliniques de santé mentale. Elle aime les couchers de soleil au-dessus des prairies et les aventures en plein air avec son mari et leurs deux enfants. \*[lawrenceb@brandonu.ca](mailto:lawrenceb@brandonu.ca)

**BURCU YAMAN NTEGILOU**

Burcu est professeure en éducation à l'Université de Brandon, au Canada. Elle forme de futurs enseignants et donne par ailleurs des cours universitaires à des professionnels de l'enseignement souhaitant perfectionner leurs méthodes pédagogiques. Fervente défenseuse de la diversité et de l'égalité dans le domaine de l'éducation, Burcu s'intéresse à la manière dont les apprenants développent des capacités en langues, en lecture et en écriture dans un monde de plus en plus interconnecté. Pendant ses loisirs, Burcu aime regarder des matchs de hockey sur glace, car elle est fière de ses deux fils, Deniz (16 ans) et Derin (10 ans), tous deux joueurs de hockey.

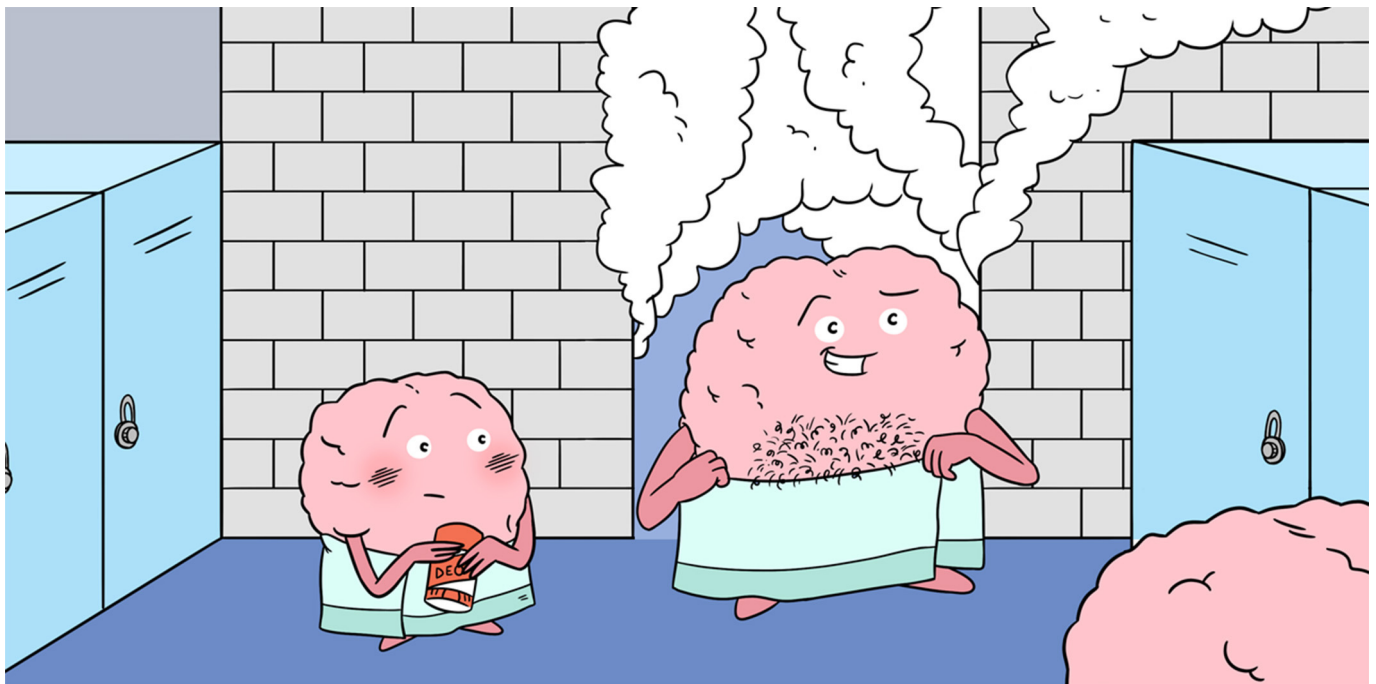
**TODD MILFORD**

Todd Milford est professeur associé en éducation scientifique à l'Université de Victoria (Australie) et responsable du département des programmes et de l'instruction. Avant cela, il a été enseignant en art, droit et éducation à l'Université Griffith de Brisbane (Australie). Il aime faire du vélo et jouer au basketball dans la rue devant chez lui.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**JACOBS**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth





## TON CERVEAU PENDANT LA PUBERTÉ

**Marjolein E. A. Barendse\*, Theresa W. Cheng et Jennifer H. Pfeifer**

Laboratoire de neurosciences sociales du développement, Département de psychologie, Université de l'Oregon, Eugene, OR, États-Unis

### JEUNE ÉXAMINATEUR:



**BENJAMIN**

ÂGE: 11

La puberté est une étape normale dans la vie qui diffère d'une personne à une autre. Chez certains adolescents, elle est précoce et chez d'autres, elle est tardive. C'est pourquoi les enfants d'un même âge peuvent avoir l'air si différents les uns des autres: leur corps grandit à un rythme différent. Par ailleurs, les chercheurs ont constaté que la puberté transforme l'organisme humain et son cerveau. Cela s'explique par le fait qu'elle entraîne des changements hormonaux liés aux cellules cérébrales, lesquels changements influencent la manière dont le cerveau grandit et apprend. Ces changements sont nécessaires puisqu'ils préparent le cerveau à de nouvelles formes d'apprentissage. Ils peuvent également t'amener à prendre des décisions qui ne s'avèrent pas être une bonne idée. Dans cet article, nous présentons les impacts de la puberté sur le cerveau et l'importance des changements cérébraux dans la vie adulte.

## QU'EST-CE QUE LA PUBERTÉ ET QUE SONT LES HORMONES?

### LES HORMONES

Ce sont des petits messagers qui parviennent aux différentes parties de l'organisme en passant par le sang. La testostérone et l'œstradiol constituent deux hormones essentielles pour la puberté.

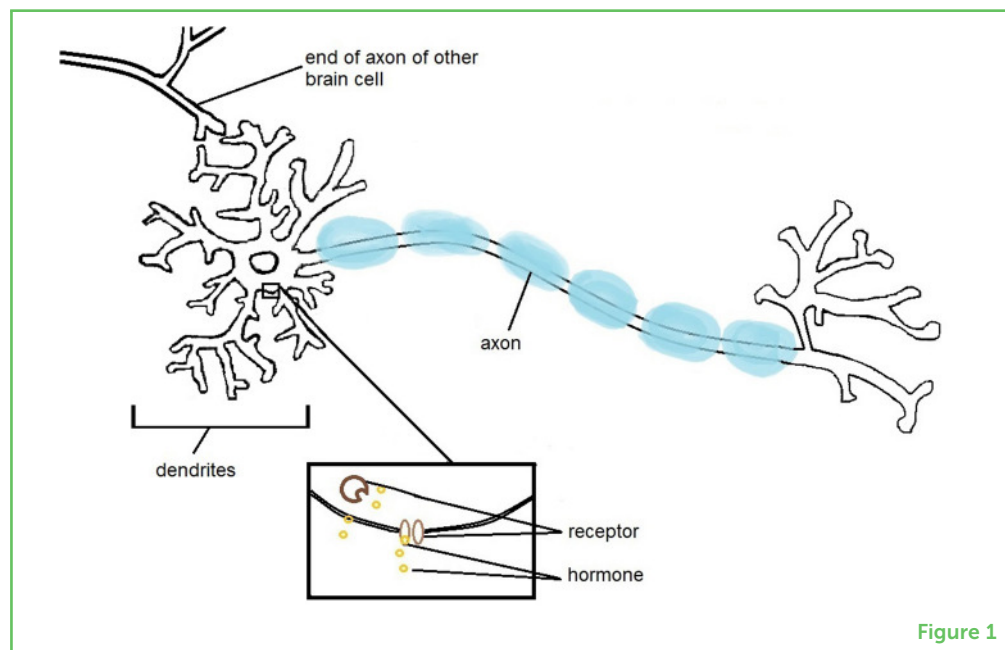
### UN RÉCEPTEUR

Il s'agit d'une structure sur ou dans une cellule permettant aux hormones ou à d'autres messagers de s'accrocher.

### Figure 1

Cellule cérébrale et ses différentes parties. L'encadré représente une vue en zoom de la manière dont les hormones peuvent s'attacher aux récepteurs dans ou sur la cellule. La myéline en bleu est une couche de protection qui entoure l'axone et permet aux signaux de voyager plus rapidement. End of axon of other brain cell = fin de l'axone d'une autre cellule cérébrale.

La puberté, qui commence au début de l'adolescence, correspond à une étape normale dans la croissance d'un individu. Lorsque tu penses à la puberté, tu as peut-être en tête, parmi d'autres changements corporels parfois gênants, les boutons, les odeurs corporelles et la pousse des poils, mais sais-tu ce qui dans ton corps, provoque ces changements? En effet, le cerveau signale à l'organisme d'enclencher la puberté en lui transmettant des messages sous forme d'hormones. **Les hormones** sont des petites molécules fabriquées par l'organisme qui se déplacent dans différentes parties du corps et dans le cerveau en passant par le sang. Elles sont importantes pour la transmission des messages dans tout l'organisme et facilitent la communication entre les organes. Lorsqu'une hormone atteint sa destination, elle s'attache à **un récepteur** sur, ou dans une cellule (voir [Figure 1](#)), ce qui déclenche une réaction dans la cellule concernée qui peut influencer son comportement et même sa survie. La réaction de la cellule dépend de sa nature et du type d'hormone.



Les hormones sont très importantes dans le lancement du processus de la puberté. En effet, la puberté commence lorsque le cerveau signale au corps qu'il doit produire davantage certaines hormones. La [Figure 2](#) explique ce fonctionnement.

La testostérone et l'œstradiol sont deux hormones essentielles qui sont responsables des changements corporels liés à la puberté. Les niveaux de testostérone augmentent surtout chez les garçons, tandis que l'œstradiol est plus important chez les filles. La testostérone peut par exemple voyager jusqu'aux cellules ciliées et entraîner l'apparition

### Figure 2

Cette figure montre comment un signal cérébral augmente les hormones de la puberté. Ce signal part de la région cérébrale appelée hypothalamus. Cette région fabrique une hormone appelée GnRH qui voyage jusqu'à l'hypophyse (pituitary gland), petit organe situé au fond du cerveau. D'autres hormones (LH et FSH) sont fabriquées au niveau de l'hypophyse. Ces hormones voyagent jusqu'aux organes génitaux (sex organs or gonads, les testicules chez les garçons et les ovaires chez les filles), qui fabriquent la testostérone et l'œstradiol.

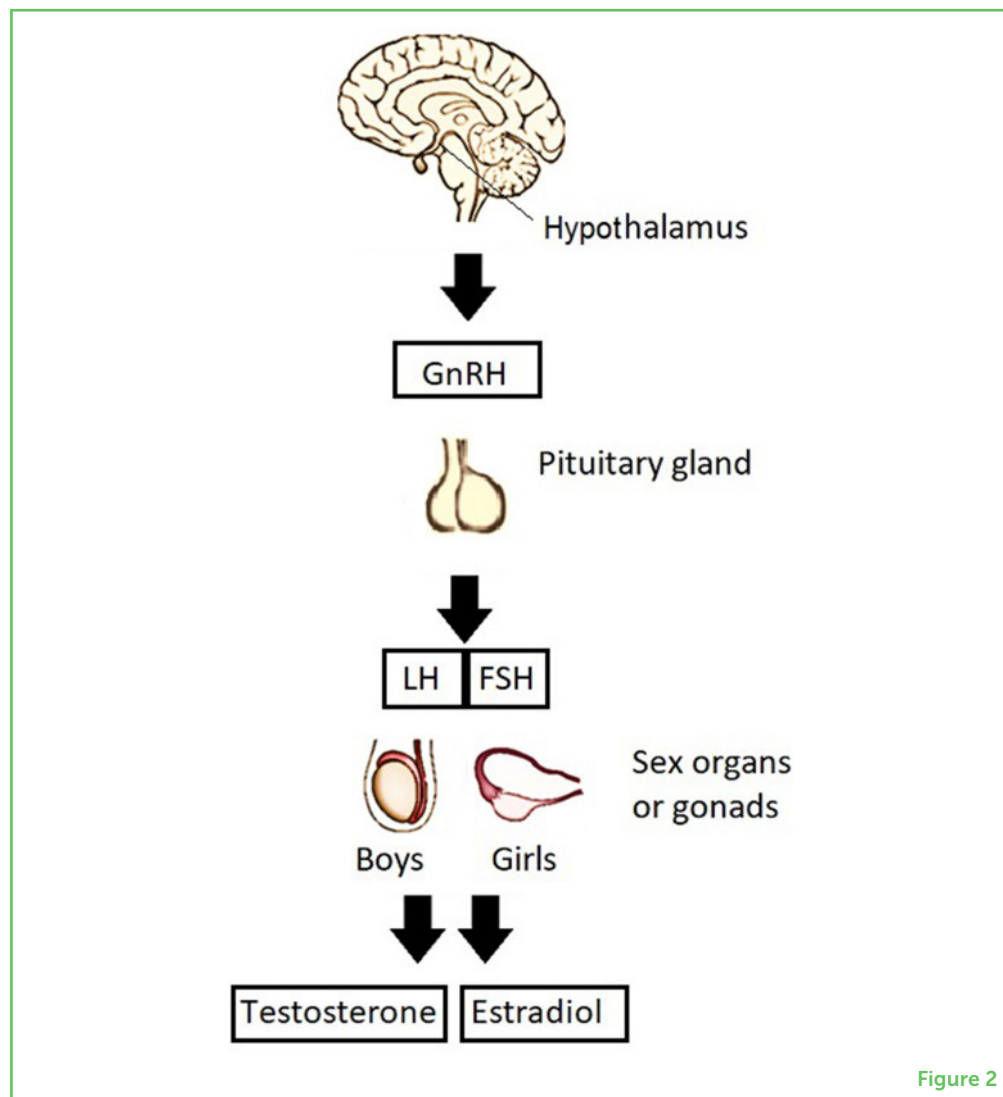


Figure 2

de poils plus foncés ou plus épais, la pilosité sous les aisselles ou sur le visage. L'œstradiol quant à lui, joue un rôle fondamental dans le développement des seins chez les filles. La testostérone et l'œstradiol sont aussi nécessaires pour la fécondité, rendant possible la procréation.

L'âge auquel tout ce processus se déroule varie considérablement d'un individu à un autre. En moyenne, les filles ont tendance à connaître la puberté à partir de 10 ans, alors que cette dernière commence chez les garçons un an plus tard. Les différences observées chez les individus sont basées sur les gènes et en partie sur les expériences vécues pendant l'enfance. Par exemple, les enfants qui ont été soumis à beaucoup de stress ont tendance à connaître la puberté un peu plus tôt.

## LES HORMONES PEUVENT MODIFIER L'ORGANISATION DU CERVEAU ET LE COMPORTEMENT DES CELLULES CÉRÉBRALES

### DENDRITE

Elle désigne la partie du cerveau qui reçoit des signaux des autres cellules.

### L'AXONE

Il désigne la partie du cerveau qui envoie des signaux aux autres cellules.

### L'AMYGDALÉ

C'est une petite région située presque au fond du cerveau qui stimule les émotions comme la peur.

Les hormones comme la testostérone et l'œstradiol peuvent se fixer aux cellules cérébrales. Une cellule cérébrale est différente des cellules des autres parties de l'organisme: elle est constituée d'un corps cellulaire et de parties qui ressemblent aux fibres décollées (voir [Figure 1](#)). Elle comporte généralement plusieurs «fibres» courtes appelées **dendrites** qui permettent de recevoir les signaux d'autres cellules. Ces cellules disposent aussi d'une «fibre» appelée **l'axone** qui envoie des signaux aux autres cellules.

Les hormones peuvent influencer les cellules cérébrales de deux manières [1].

Tout d'abord, les hormones peuvent influencer la manière dont le cerveau est organisé, même si cela nécessite un peu de temps pour se produire. Les changements observés dans l'organisation du cerveau concernent notamment le nombre de ses cellules ou des changements liés à la taille et à la forme des dendrites et des axones. La testostérone, par exemple, entraîne le développement de nouvelles cellules dans une région cérébrale: **l'amygdale** interne. Étant donné que les garçons produisent plus de testostérone pendant la puberté, cette région est plus grande chez eux que chez les filles [2]. Cette observation a été faite au cours d'une étude menée chez les animaux; toutefois, les recherches sur les humains qui se sont concentrées sur les niveaux des hormones et la taille de l'amygdale révèlent que cette dernière fonctionne de la même manière chez les êtres humains.

Les hormones peuvent aussi influencer la manière dont les cellules cérébrales sont activées face à certaines situations ou à l'environnement. Elles peuvent faciliter ou empêcher la communication entre les différentes cellules. Cela peut également entraîner des changements à long terme dans les cellules cérébrales. Par exemple, les niveaux de testostérone chez les souris (et les humains) augmentent au cours d'une compétition ou d'un combat. Une étude a démontré que les souris qui gagnent un combat développent plus de récepteurs pour la testostérone dans les régions cérébrales qui sont importantes pour la récompense et le comportement social [3]. Ces nouveaux récepteurs peuvent également changer le comportement de la souris au prochain combat. Cela met en avant un processus où les expériences telles que la victoire s'allient aux hormones pour le développement du cerveau. Ce processus est particulièrement important pendant la puberté, lorsque les niveaux des hormones sont plus élevés que pendant l'enfance et lorsque le cerveau est en pleine croissance.

Nous ignorons encore beaucoup de choses quant à la manière dont les hormones influencent l'organisation et les actions des cellules

cérébrales chez les humains. Mais nous savons que ces effets sont différents dans une certaine mesure entre les garçons et les filles et entre les différentes régions cérébrales. Les chercheurs commencent tout juste à réfléchir à la manière dont les changements liés aux hormones du cerveau sont importants pour le comportement et plusieurs questions restent donc sans réponses pour le moment.

## LA PUBERTÉ PEUT RENDRE L'APPRENTISSAGE DE CERTAINES CHOSES PLUS DIFFICILE, ET D'AUTRES PLUS FACILE

Les enfants apprennent plus facilement certaines choses par rapport aux adolescents et aux adultes. Par exemple, les plus petits sont particulièrement forts dans l'apprentissage de nouvelles langues. Il est assez difficile d'apprendre une deuxième langue après l'âge de 9 à 11 ans. Cette difficulté est probablement due aux changements observés dans la manière dont le cerveau traite le langage et les autres informations linguistiques. Une étude s'est penchée sur le rôle de la puberté dans ces changements. Les chercheurs ont fait écouter aux enfants une langue «étrangère» imaginaire et ont examiné la manière dont leurs cerveaux essayaient de la comprendre [4]. L'activité dans plusieurs régions cérébrales importantes pour la langue changeait au fur et à mesure que les enfants grandissaient. Elle était aussi moins dense dans certaines régions cérébrales liées à la langue chez les enfants dont la puberté était plus avancée. Ceci pourrait être la preuve du rôle de la puberté dans les changements cérébraux liés aux langues.

Par ailleurs, elle facilite d'autres types d'apprentissage. Elle permet de mieux se connaître et de découvrir les compétences sociales et émotionnelles qui préparent les adolescents à l'âge adulte. Le cerveau change pendant l'adolescence et favorise plusieurs types d'apprentissage. À titre d'exemple, la rétroaction, à travers laquelle ton cerveau traite les informations pour t'indiquer si tu as trouvé la bonne réponse ou non, est une étape importante dans l'apprentissage de nouvelles compétences. Une étude sur plus de 200 enfants, adolescents et adultes a étudié la manière dont le cerveau réagit face à l'apprentissage à travers la rétroaction. La manière dont les individus apprennent à travers la rétroaction est liée à l'activation des différentes parties du **striatum**, principale région cérébrale de l'apprentissage. Certaines parties du striatum étaient plus actives chez les adolescents que chez les enfants ou les adultes; ce qui démontre que les individus apprennent différemment à travers la rétroaction pendant leur adolescence [5].

Explorer de nouveaux domaines et prendre des risques comme parler de soi, tester des activités dans lesquelles tu n'es pas forcément doué ou oser parler à la personne pour laquelle tu as craqué sont également des compétences importantes dans l'apprentissage de

### LE STRIATUM

C'est une région au centre du cerveau qui traite des récompenses et de la rétroaction. Elle est appelée striatum étant donné que ses différents types de tissus lui donnent une forme striée.

nouvelles connaissances. Décider de prendre un risque peut être plus facile si tu espères gagner quelque chose, comme une récompense. Les scientifiques ont constaté qu'une partie du striatum s'active aussi lorsqu'une personne reçoit des récompenses, notamment la nourriture et l'argent. Une étude portant sur des individus âgés de 8 à 27 ans a été menée sur cette zone cérébrale. Selon les chercheurs, les enfants dont la puberté était avancée et les personnes avec un taux de testostérone élevé ont montré plus d'activation dans cette partie du striatum devant une récompense. Ceci pourrait démontrer l'importance des hormones dans la sensibilité accrue du cerveau aux récompenses pendant la puberté [6].

Ces différentes études démontrent que la manière dont le cerveau réagit à la rétroaction et aux récompenses change pendant la puberté. Cela encourage les adolescents à en apprendre plus sur eux-mêmes et sur les autres et favorise la découverte de soi ainsi que le développement personnel. Il convient de noter que ces changements cérébraux peuvent aussi être liés au fait que certains problèmes de santé mentale et la toxicomanie ont tendance à se développer à l'adolescence. À titre illustratif, si les adolescents sont plus sensibles aux récompenses, ils le sont aussi face à l'envie de prendre de l'alcool ou de la drogue. En outre, les enfants qui atteignent la puberté à un âge précoce ou plus rapidement que leurs semblables peuvent connaître des problèmes de santé mentale qui, selon les chercheurs, sont partiellement dus à l'impact néfaste de certaines hormones sur le cerveau, mais davantage de recherches doivent être menées pour vérifier cette hypothèse. La majorité des enfants atteignent la puberté sans connaître de problèmes de santé mentale et les chercheurs cherchent des méthodes pour améliorer encore cette proportion.

## CONCLUSION

La puberté est une période marquée par de grands changements qui peuvent parfois être difficiles, troublants ou bouleversants. Certains de ces changements sont causés par les hormones qui agissent sur les cellules de l'organisme et du cerveau. Les hormones peuvent influencer le cerveau à long terme en changeant son organisation ou ses réactions face à certaines situations. Ces changements sont importants car ils ouvrent à des méthodes d'apprentissage qui préparent les adolescents à l'âge adulte, même s'ils ferment la porte à d'autres techniques d'apprentissage utilisées pendant l'enfance. Les écoles peuvent exploiter ces changements cérébraux en créant des conditions idéales permettant par exemple aux élèves d'explorer de nouveaux domaines et de prendre des risques. Lire et compter ne sont pas les seules choses à apprendre : savoir prendre des décisions nous permettant de mieux nous comprendre et de mieux comprendre les autres constitue un nouveau type d'apprentissage auquel le cerveau peut particulièrement être sensible pendant la puberté.



## REMERCIEMENTS

TC a été soutenu par le Centre national pour l'avancement des sciences translationnelles de l'Institut national de santé publique sous le numéro TL1TR002371. Le contenu du présent article est exclusivement de la responsabilité de ses différents auteurs et ne représente pas nécessairement le point de vue officiel de l'Institut national de santé publique. Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette Collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons et la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Schulz, K. M., Molenda-Figueira, H. A., and Sisk, C. L. 2009. Back to the future: the organizational-activational hypothesis adapted to puberty and adolescence. *Horm. Behav.* 55:597–604. doi: 10.1016/j.yhbeh.2009.03.010
2. Ahmed, E. I., Zehr, J. L., Schulz, K. M., Lorenz, B. H., DonCarlos, L. L., and Sisk, C. L. 2008. Pubertal hormones modulate the addition of new cells to sexually dimorphic brain regions. *Nat. Neurosci.* 11:995–7. doi: 10.1038/nn.2178
3. Fuxjager, M. J., Forbes-Lorman, R. M., Coss, D. J., Auger, C. J., Auger, A. P., and Marler, C. A. 2010. Winning territorial disputes selectively enhances androgen sensitivity in neural pathways related to motivation and social aggression. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107:12393–8. doi: 10.1073/pnas.1001394107
4. McNealy, K., Mazziotta, J. C., and Dapretto, M. 2011. Age and experience shape developmental changes in the neural basis of language-related learning. *Dev. Sci.* 14:1261–82. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01075.x
5. Peters, S., and Crone, E. A. 2017. Increased striatal activity in adolescence benefits learning. *Nat. Commun.* 8:1983. doi: 10.1038/s41467-017-02174-z
6. Braams, B. R., van Duijvenvoorde, A. C. K., Peper, J. S., and Crone, E. A. 2015. Longitudinal changes in adolescent risk-taking: a comprehensive study of neural responses to rewards, pubertal development, and risk-taking behavior. *J. Neurosci.* 35:7226–38. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4764-14.2015

**ÉDITEUR:** Jessica Massonnie

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Zoltan Sarnyai

**CITATION:** Barendse MEA, Cheng TW et Pfeifer JH (2023) Ton cerveau pendant la puberté. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00053-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Barendse MEA, Cheng TW and Pfeifer JH (2020) Your Brain on Puberty. *Front. Young Minds* 8:53. doi: 10.3389/frym.2020.00053

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Barendse, Cheng et Pfeifer. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNE EXAMINATEUR



### BENJAMIN, ÂGE: 11

Les mathématiques et l'anglais sont mes matières favorites à l'école, comme j'aime apprendre de nouvelles choses et être mis au défi. Le water-polo est mon activité extra-scolaire préférée, car j'aime jouer en équipe et me faire de nouveaux amis. Je souhaite devenir médecin depuis que j'ai vu une cellule vivante d'un cerveau à Oxford. Je lis donc des articles et suis des cours. J'aime aussi les chiens.

## AUTEURS



### MARJOLEIN E. A. BARENDSE

Je suis post-doctorante en neurosciences sociales du développement à l'Université de l'Oregon. Avant que je ne commence à travailler dans l'Oregon, j'ai fait mes études aux Pays-Bas et en Australie. Je suis fascinée par la manière dont le cerveau et la puberté fonctionnent ainsi que par les facteurs qui influencent le développement du cerveau chez les enfants et les adolescents. Pendant mes heures libres, j'adore faire de l'escalade et découvrir de nouveaux endroits. \*[barendse@uoregon.edu](mailto:barendse@uoregon.edu)



### THERESA W. CHENG

J'étudie la psychologie et les neurosciences dans le merveilleux État de l'Oregon. Dans mes recherches, je m'intéresse à la manière dont la puberté, le stress et les expériences sociales changent le cerveau adolescent. J'ai enseigné la science à l'école primaire et au secondaire et ce que je préfère dans mon travail, c'est de parler de science. Sur mon temps libre, j'aime cuisiner, danser et faire de la randonnée. Dans le cadre de mon projet scientifique en 10ème, j'ai essayé de démontrer que la nourriture servie dans la cafétéria de notre établissement était illégale – en d'autres termes, qu'elle n'était pas assez nutritive conformément aux règles fédérales.



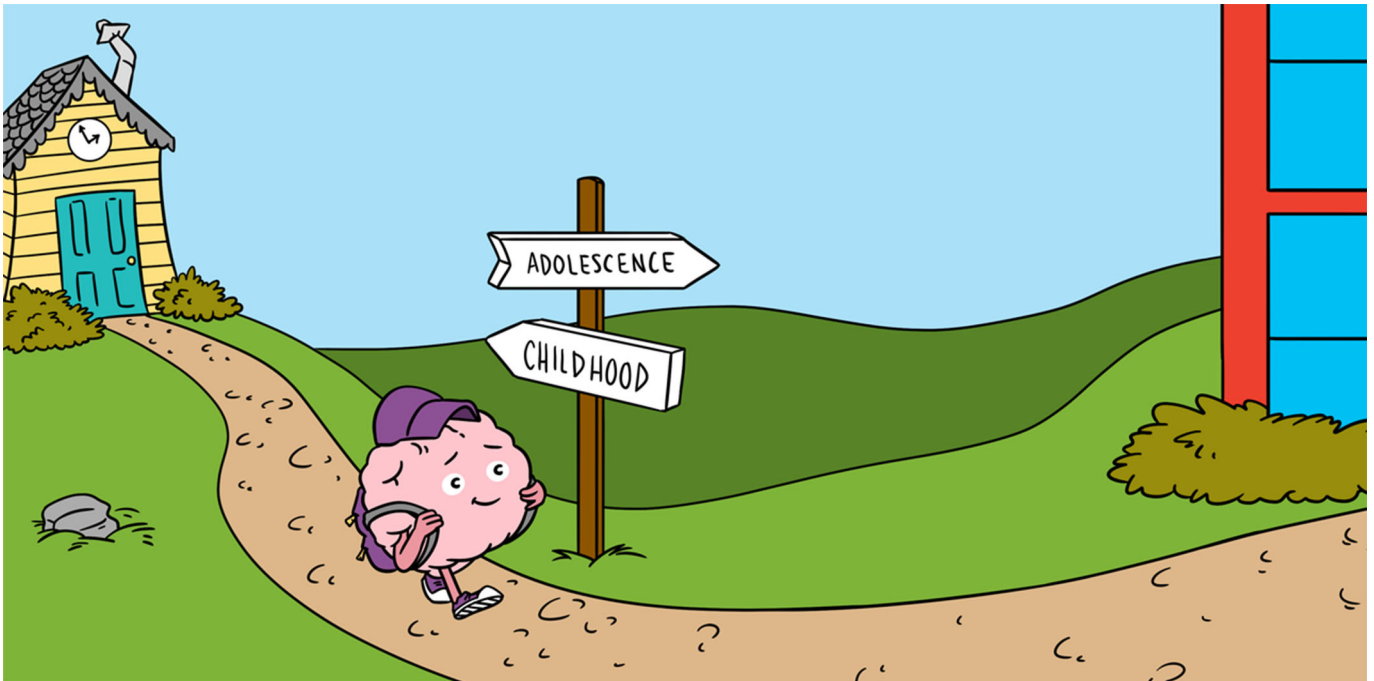
### JENNIFER H. PFEIFER

J'étudie la manière dont les changements majeurs observés dans les cerveaux des adolescents, leur corps et leur rapport avec la société sont liés à leur bien-être. Je m'intéresse aux moments précis où plusieurs changements s'opèrent à la fois – comme le début de la puberté, qui correspond à la fin de l'école primaire, ou la fin du secondaire, qui correspond au début des études universitaires ou de la

vie professionnelle. Certes, ces transitions clés peuvent être difficiles, mais elles représentent de véritables opportunités pour remettre les jeunes sur le bon chemin. J'adore jouer du piano et faire la chasse aux pierres précieuses sur la côte.

**French version provided by**  
Version Française fournie par





## LE CERVEAU ADOLESCENT EST ABSOLUMENT IMPRESSIONNANT

Kathryn L. Mills<sup>1,2\*</sup> et Jeya Anandakumar<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de développement cérébral contextuel, Département de psychologie, Centre de neurosciences translationnelles, Université d'Oregon, Eugene, OR, États-Unis

<sup>2</sup>Centre de recherche PROMENTA, Département de psychologie, Université d'Oslo, Oslo, Norvège

<sup>3</sup>Université de Portland State, Portland, OR, États-Unis

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



ISABELLA

ÂGE: 13



ALINE

ÂGE: 13



MARILIA

ÂGE: 13

Le développement du cerveau humain dure de nombreuses années. Cet organe, qui évolue considérablement pendant l'enfance, continue à se transformer durant la deuxième décennie de la vie, ce qui rend passionnante cette période dite «adolescence». Les adolescents possèdent un cerveau plus susceptible d'évoluer que le cerveau adulte et, contrairement aux enfants plus jeunes, sont capables d'agir eux-mêmes sur le développement de leur cerveau. L'augmentation des capacités de traitement de l'information et de la sensibilité sociale permet par ailleurs, à cette période de la vie, de se repérer de mieux en mieux dans les interactions sociales complexes. Le présent article aborde des recherches actuelles sur le développement cérébral qui peuvent être utilisées pour donner aux adolescents de meilleurs outils pour aborder le monde qui les entoure. Il formule également des recommandations pour favoriser,

pendant l'adolescence, le développement cérébral et optimiser l'environnement d'apprentissage en milieu scolaire.

## INTRODUCTION

Le cerveau adolescent est **impressionnant**, et cet article va te le prouver! L'adolescence débute souvent par des changements physiques dus à la puberté. Mais dans le cerveau aussi, des changements s'opèrent, et ils vont continuer jusque dans la vingtaine [1]. Les changements cérébraux se reflètent dans les changements de comportement fréquents à l'adolescence, comme le désir de découvrir de nouvelles choses, de nouer de nouvelles relations et d'apprendre à évoluer au sein de la société.

## LA STRUCTURE CÉRÉBRALE CHANGE PENDANT L'ADOLESCENCE

L'**imagerie par résonance magnétique (IRM)**, une technique qui utilise des aimants et des ondes radioélectriques, permet de prendre des photos du cerveau d'une personne couchée dans un tunnel qui ressemble un peu à un très grand donut (Figure 1). Grâce à l'IRM, on peut voir comment, tout au long de l'adolescence, le cerveau humain change, en termes de structure (anatomie) comme d'organisation (connexions).

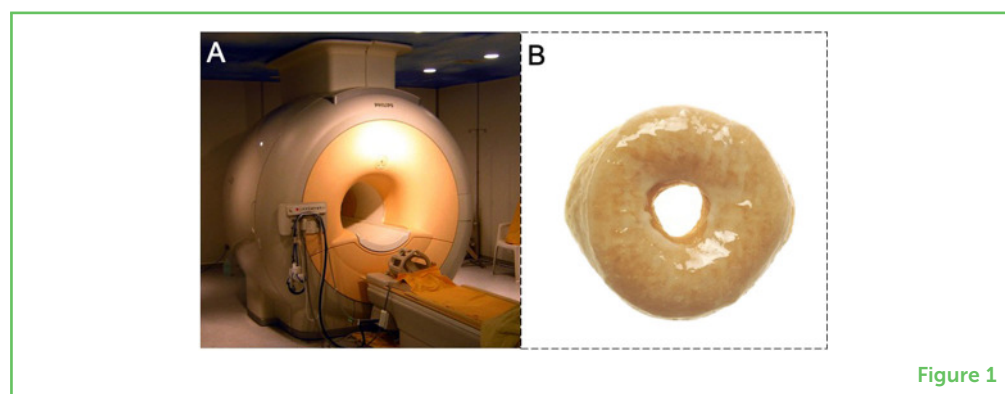


Figure 1

Le cerveau comporte plusieurs zones, mais cet article s'intéresse principalement à sa partie principale: le **téleencéphale** et ses tissus (Figure 2A). Le téleencéphale est constitué de deux types de tissus: la matière grise et la substance blanche. La matière grise se compose de cellules cérébrales appelées **neurones** et de leurs interconnexions. Elle constitue l'intérieur du téleencéphale, mais aussi son écorce (le **cortex**). Elle contient la majorité des corps cellulaires des neurones et joue un rôle essentiel dans le contrôle musculaire, la perception sensorielle, la prise de décision et la maîtrise de soi. La quantité de matière grise diminue à l'adolescence d'environ 1,5 % par an ([1]; Figure 2B),

### IMPRESSIONNANT

Ce qui inspire l'admiration, l'appréhension ou la peur.

### IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM)

L'IRM est une technique qui consiste à scanner des parties du corps, le cerveau par exemple, pour le photographier de l'intérieur.

### Figure 1

(A) La machine qui permet de faire l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ressemble un peu à (B) un donut.

### TÉLEENCÉPHALE

C'est la partie antérieure du cerveau qui est impliquée dans les pensées, les décisions, les émotions et le caractère.

### NEURONE

Cellule nerveuse.

### CORTEX

C'est la couche externe (l'écorce) du téleencéphale, qui se compose de matière grise.

mais cette diminution n'est pas une mauvaise chose! Il semblerait qu'elle soit liée au perfectionnement des connexions entre les cellules cérébrales, ainsi qu'à l'augmentation d'un autre tissu du télencéphale: la substance blanche.

La substance blanche du télencéphale est quant à elle située sous le cortex. Elle est composée de longues fibres neuronales, appelées **axones**, qui envoient les signaux permettant la connexion de différentes zones du cerveau. La substance blanche augmente au début de l'adolescence, puis semble se stabiliser à partir de quinze ans environ (Figure 2C). Cette augmentation de la substance blanche serait liée à une accélération des signaux envoyés entre les cellules nerveuses. La Figure 3 présente l'anatomie de la matière grise et de la substance blanche.

## AXONES

Ce sont des parties fines et allongées d'un neurone, qui transmettent les signaux d'une extrémité à l'autre du neurone.

### Figure 2

(A) Image d'une section du télencéphale humain obtenue par IRM. Cette photo est une vue du cerveau depuis le haut du crâne. Les formes grises qui semblent tourbillonner autour des zones blanches constituent la matière grise du cortex, et les parties blanches s'appellent... la substance blanche. (B) La quantité de matière grise présente dans le cortex diminue pendant l'adolescence, tandis que (C) la quantité de substance blanche du télencéphale augmente pendant la même période. Dans les graphiques B et C, chaque point représente la mesure cérébrale par IRM d'un individu à un moment donné. Ces points sont connectés par des lignes pour rendre visibles les mesures collectées pour un individu. Les données ont été recueillies dans quatre laboratoires de recherche, et les quatre lignes en gras illustrent les moyennes pour chaque site (figure adaptée de Tamnes et al. [2] et Mills et al. [1]).

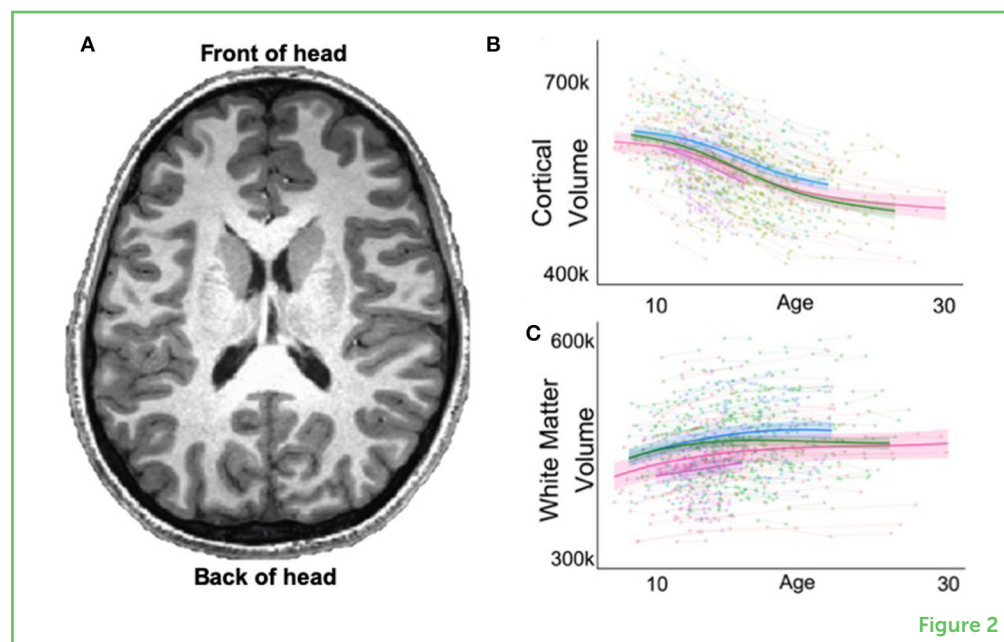


Figure 2

## LES MODIFICATIONS DE L'ORGANISATION CÉRÉBRALE À L'ADOLESCENCE

L'IRM peut également servir à voir comment le cerveau est organisé, c'est-à-dire de quelle façon ses différentes parties sont liées entre elles. Étant donné que le cerveau humain se modifie fortement à l'adolescence, son organisation peut être influencée par les activités et les expériences de la personne, ainsi que par le milieu dans lequel elle vit. Le cerveau est un vaste réseau: certaines de ses zones communiquent entre elles lorsque l'on fait différentes choses, comme penser à d'autres personnes ou se déplacer géographiquement. Ces schémas de communication cérébrale peuvent être étudiés grâce à une technique légèrement différente de l'IRM: l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Celle-ci permet de mesurer la quantité d'oxygène sanguin circulant à travers le cerveau,



### Figure 3

À gauche, silhouette d'une tête humaine avec, en superposition, l'image du cerveau pour en donner une autre vision. Au milieu, dessin d'une coupe transversale du cerveau humain exposant la substance blanche sous le cortex. La substance blanche est composée de deux zones dont l'une (appelée corona radiata) est illustrée ici. La colonne corticale d'un jeune humain en développement est représentée dans l'encadré jaune. Ce dessin montre comment les neurones sont disposés dans le cortex, mais la matière grise corticale comporte aussi plusieurs composantes cellulaires invisibles ici, dont les cellules gliales et les vaisseaux sanguins. Ces dessins proviennent de deux référentiels d'images en libre accès: WikiMedia Commons et Pixabay.

### CHOIX INTERTEMPOREL

Il s'agit de la préférence d'un individu soit pour une petite récompense disponible immédiatement, soit pour une récompense plus importante, mais liée à un délai d'attente.

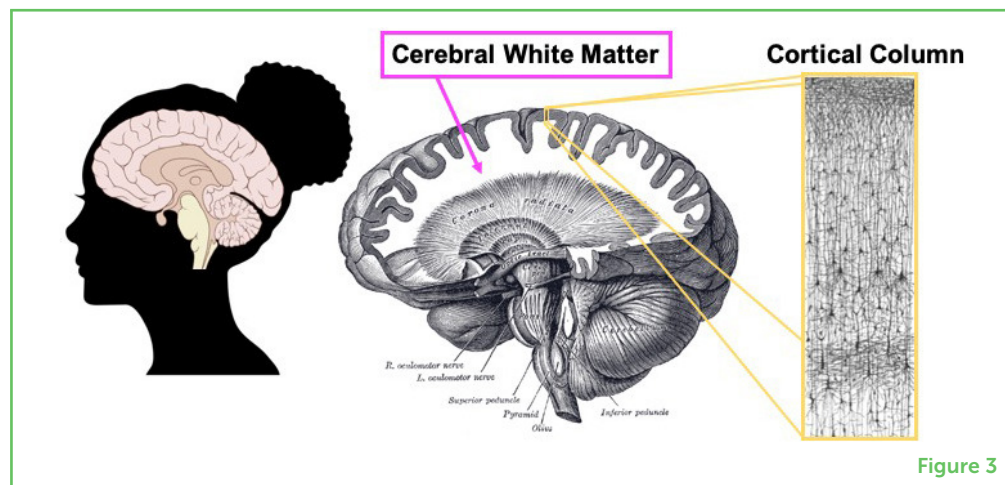


Figure 3

et par conséquent l'activité cérébrale. Lorsque différentes parties du cerveau présentent des schémas d'activité similaires, on dit qu'elles sont connectées de manière fonctionnelle.

Les comportements caractéristiques de l'adolescence, comme le fait de s'intéresser aux autres ou de prendre des décisions, sont liés à certains schémas d'activité cérébrale de différentes parties du cerveau fonctionnellement connectées. Toutefois, tous les adolescents ne présentent pas la même organisation cérébrale, et tous ne présentent pas les mêmes comportements. Les schémas d'activité cérébrale qui diffèrent d'une personne à l'autre peuvent être liés à des différences de comportement.

L'un des comportements qui changent à l'adolescence est ce qu'on appelle le **choix intertemporel**. Ce comportement est lié à notre aptitude à attendre une récompense plus ou moins longtemps, et plus particulièrement à choisir entre une petite récompense disponible immédiatement et une récompense plus importante, mais conditionnée à un délai d'attente. Nous avons étudié la façon dont cette préférence évolue durant le passage à l'adolescence. Ce que nous avons constaté, c'est que les schémas d'activité cérébrale qui relient les régions du cerveau impliquées dans le contrôle du comportement à d'autres régions impliquées, elles, dans l'évaluation de ce que peut nous apporter le monde, étaient liés au choix intertemporel de la personne concernée [3]. À l'encontre du stéréotype selon lequel les adolescents n'auraient généralement pas la patience d'attendre pour recevoir une récompense plus importante lorsqu'une récompense moindre est immédiatement disponible, notre étude a montré qu'il existait des différences comportementales entre les individus, et qu'elles étaient liées à l'organisation cérébrale de chacun.

Des études fondées sur l'imagerie cérébrale ont démontré que le cerveau se réorganisait à l'adolescence. Compte tenu des

importants changements observés, les expériences faites par un individu durant cette période pourraient contribuer à modeler son organisation cérébrale. En adoptant certains types de comportements, les adolescents renforcent certains schémas de leur activité cérébrale, ce qui leur permet de progresser notablement durant cette période sur les plans intellectuel et émotionnel.

## **POURQUOI LE DÉVELOPPEMENT DU CERVEAU ADOLESCENT CONSTITUE-T-IL UNE OPPORTUNITÉ UNIQUE?**

Les changements qui ont lieu à l'adolescence dans la structure et l'organisation cérébrales sont plus importants qu'à l'âge adulte, mais moins que pendant l'enfance. Par ailleurs, contrairement à l'enfance, l'adolescence est une période au cours de laquelle on peut réellement modeler la manière dont le cerveau se développe. Cela s'explique par le fait qu'à l'adolescence, on sait plus de choses sur soi-même et sur le monde, que l'on est plus motivé, plus engagé, et que l'on est plus à même de faire des choix susceptibles d'impacter le cerveau. C'est pour tout cela que le cerveau adolescent est si impressionnant.

Parmi les compétences cérébrales qui augmentent au cours de l'adolescence, on peut citer la pensée abstraite, la capacité à considérer plusieurs points de vue ou à réfléchir sur le processus même de la réflexion. Certains chercheurs estiment que l'adolescence est l'âge le plus propice pour résoudre des problèmes de façon innovante et créative grâce à la capacité à réfléchir à plusieurs concepts en même temps qui la caractérise [4]. Les capacités cérébrales déjà développées à l'adolescence peuvent être mises à profit pour favoriser une bonne évolution du cerveau, mais pour cela, il faut que les adolescents aient la liberté de faire leurs propres choix. Par exemple, le fait d'encourager des adolescents à fixer eux-mêmes leurs objectifs stimule chez eux l'activité cérébrale impliquée dans la construction de leur identité et la prise en compte des conséquences à long terme. Les adolescents se soucient souvent de la manière dont ils sont considérés par leurs pairs. Bien que cet aspect de la sensibilité sociale soit généralement considéré comme négatif dans le comportement adolescent, il peut en réalité être positif lorsque le sujet vit dans un environnement sain [5]. Autre aspect de la sensibilité sociale qui augmente pendant l'adolescence: l'intérêt pour les structures sociales de grande envergure et les événements se produisant dans le monde [6]. Les adultes, qui ont souvent une plus grande capacité à agir sur l'environnement social que les adolescents, devraient s'efforcer de donner à ces derniers plus d'opportunités d'action pour favoriser chez eux une bonne croissance cérébrale.

## **QUE PEUVENT FAIRE LES ENSEIGNANTS POUR AMÉLIORER LES CONDITIONS D'APPRENTISSAGE DE LEURS ÉLÈVES ADOLESCENTS?**

Le cerveau adolescent étant très malléable, il est important qu'enseignants et parents favorisent son bon développement. L'une des méthodes les plus efficaces pour cela est l'enrichissement des conditions de l'apprentissage scolaire. On sait qu'à l'adolescence, la faculté à comprendre des sujets de plus en plus complexes se développe. Si on permet aux adolescents de comprendre ce qui se passe dans leur cerveau, ils pourront donc s'investir davantage dans leur propre développement. Pour cela, on peut par exemple inclure dans l'enseignement des sujets qui les concernent particulièrement comme la prise de décisions, les drogues, la résolution des conflits ou les choix pédagogiques. Nous te présentons ci-dessous quelques autres méthodes d'optimisation de l'environnement d'apprentissage scolaire. N'hésite pas à les partager avec tes enseignants!

### **METTRE EN ŒUVRE UN APPRENTISSAGE PLUS COLLABORATIF ET DES MÉTHODES PLUS VARIÉES**

Plutôt que d'ignorer la forte motivation qu'ont les adolescents à socialiser, les enseignants peuvent s'en servir en encourageant les discussions de groupe et l'engagement social de leurs élèves. Ils peuvent également leur demander leur avis sur certaines activités scolaires afin de les aider à s'intéresser et à s'impliquer davantage dans les conditions de leur apprentissage. Autre possibilité: créer des systèmes de mentorat où des élèves des classes supérieures viennent aider leurs camarades plus jeunes à acquérir de nouvelles compétences, ainsi qu'à considérer celles-ci sous un autre point de vue, des élèves de classes différentes apportant des compétences différentes à une discussion ou à un projet.

### **MODIFIER L'AMÉNAGEMENT DE LA CLASSE**

Visualise l'aménagement de ta classe: comment les tables et les chaises sont-elles disposées? En rangs stricts ou en petits cercles? Le fait d'être assis en rangs parallèles et de ne voir ses camarades que de dos ou de côté peut donner aux élèves un sentiment d'isolement. Pour faciliter la collaboration ainsi que l'apprentissage, pourquoi ne pas disposer les tables et les chaises différemment? Tu pourrais demander à tes professeurs s'ils accepteraient une nouvelle disposition des tables, en petits cercles par exemple. Outre le fait que cela irait dans le sens de la motivation sociale typique de l'adolescence, cela pourrait résoudre l'anxiété sociale de certains en facilitant la communication entre élèves.

## PROMOUVOIR L'INDÉPENDANCE

Les enseignants peuvent encourager l'indépendance en classe en permettant aux élèves de prendre des initiatives, comme proposer une partie du programme ou définir les grandes lignes d'un projet donné. Donner aux élèves l'occasion d'explorer ce qui les intéresse facilite l'apprentissage. Et leur permettre de définir eux-mêmes leur méthode de travail et de résoudre les difficultés en collaborant entre eux les prépare mieux à relever de nouveaux défis et à réussir dans les situations difficiles.

## INTERAGIR AVEC LA COMMUNAUTÉ

L'environnement scolaire est généralement très artificiel et très structuré. C'est pourquoi il est utile d'encourager les élèves à collaborer avec le monde extérieur. Des excursions sur le terrain peuvent par exemple leur donner l'occasion d'appliquer concrètement certaines choses qu'ils ont apprises en classe. Ce genre d'activité nourrit également la sensibilité accrue des adolescents à leur environnement social.

## POUR CONCLURE, QU'EST-CE QUE CELA SIGNIFIE POUR TOI?

L'adolescence est une période de croissance, de développement et d'apprentissage rapides. Tes camarades et toi, vous pouvez la mettre à profit pour influencer consciemment sur votre développement cérébral et renforcer certains schémas d'activité cérébrale en adoptant certains types de comportements. Un des moyens pour y arriver consiste à mieux comprendre ce qui se passe dans ton cerveau – comme tu viens de le faire en lisant cet article. Impressionnant, n'est-ce pas?

## CONTRIBUTION DES AUTEURS

KM a élaboré l'ébauche de cet article, avant de le rédiger à quatre mains avec JA.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont relu et édité cet article pour leurs commentaires intéressants et leurs suggestions pertinentes. KM remercie Celilo Mitchell et Jerome Mitchell pour leur inspiration. Ils remercient en outre tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Mills, K. L., Goddings, A. L., Herting, M. M., Meuwese, R., Blakemore, S. J., Crone, E. A., et al. 2016. Structural brain development between childhood and adulthood: convergence across four longitudinal samples. *Neuroimage* 141:273–81. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.07.044
2. Tamnes, C. K., Herting, M. M., Goddings, A. L., Meuwese, R., Blakemore, S. J., Dahl, R. E., et al. 2017. Development of the cerebral cortex across adolescence: a multisample study of inter-related longitudinal changes in cortical volume, surface area, and thickness. *J. Neurosci.* 37, 3402–12.
3. Anandakumar, J., Mills, K. L., Earl, E. A., Irwin, L., Miranda-Dominguez, O., Demeter, D. V., et al. 2018. Individual differences in functional brain connectivity predict temporal discounting preference in the transition to adolescence. *Dev. Cogn. Neurosci.* 34:101–13. doi: 10.1016/j.dcn.2018.07.003
4. Stevenson, C. E., Kleibeuker, S. W., de Dreu, C. K. W., and Crone, E. A. 2014. Training creative cognition: adolescence as a flexible period for improving creativity. *Front. Hum. Neurosci.* 8:827. doi: 10.3389/fnhum.2014.00827
5. Telzer, E. H. 2016. Dopaminergic reward sensitivity can promote adolescent health: a new perspective on the mechanism of ventral striatum activation. *Dev. Cogn. Neurosci.* 17:57–67. doi: 10.1016/j.dcn.2015.10.010
6. Sherrod, L. 2007. "Civic engagement as an expression of positive youth development," in *Approaches to Positive Youth Development*, eds R. K. Silbereisen and R. M. Lerner (London: SAGE Publications Ltd), 59–74. doi: 10.4135/9781446213803

**ÉDITEUR:** Sabine Peters

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Aikaterini Dounavi et Carmen Flores Nakandakare

**CITATION:** Mills KL et Anandakumar J (2023) Le cerveau adolescent est absolument impressionnant. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00075-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Mills KL and Anandakumar J (2020) The Adolescent Brain Is Literally Awesome. *Front. Young Minds* 8:75. doi: 10.3389/frym.2020.00075

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Mills et Anandakumar. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### ISABELLA, ÂGE: 13

Je m'appelle Isabella, j'ai 13 ans. Je suis née à New York, mais je vis en Suisse. J'aime l'art, lire, chanter, danser et jouer du piano. Mon sport préféré est la natation. Je m'intéresse aussi aux mathématiques, à la nature et à la science, et plus particulièrement à tout ce qui concerne l'espace, le temps et la matière. Plus tard, je voudrais être ingénieure aéronautique ou architecte. J'aime apprendre de choses nouvelles sur le monde qui nous entoure.



### ALINE, ÂGE: 13

Mon nom est Aline et j'ai 13 ans. Mes loisirs sont le théâtre, la clarinette, le dessin et la lecture. Je suis fascinée par la mythologie grecque; mes livres favoris sont les séries des Harry Potter et des Percy Jackson. À l'école, j'aime beaucoup les mathématiques et les sciences.



### MARILIA, ÂGE: 13

Salut! Mon nom est Marilia. J'ai 13 ans. J'aime le patin à glace, la gymnastique rythmique et le football. J'ai un petit chien que j'adore! J'aimerais voyager en Australie pour voir des koalas. J'aime être avec mes amis et aller nager ou regarder des films avec eux.

## AUTEURS



### KATHRYN L. MILLS

Kate Mills est professeure assistante au Département de Psychologie de l'Université d'Oregon. Elle étudie les modifications du cerveau entre l'enfance et l'âge adulte, et la façon dont chaque personne développe des stratégies propres pour réussir dans son environnement spécifique. Elle passe tout son temps libre avec sa famille, à la découverte des superbes paysages qui entourent sa maison, à Eugene dans l'Oregon.

\*[klmills@uoregon.edu](mailto:klmills@uoregon.edu)



### JEYA ANANDAKUMAR

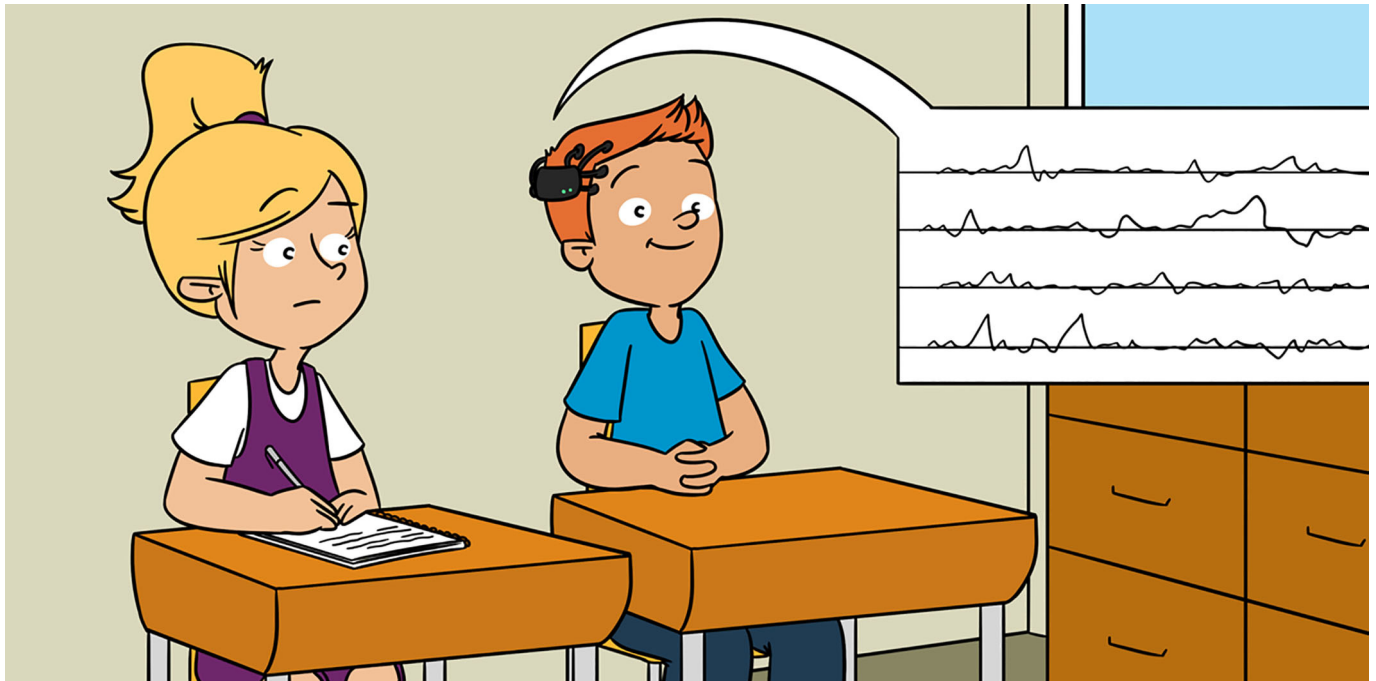
Jeya Anandakumar est étudiante de premier cycle à la l'Université de Portland State dans l'Oregon. Elle étudie la biologie et la chimie et se spécialise dans les neurosciences. Ses domaines de recherche sont notamment les neurosciences du développement et la neurogénétique. Elle a déjà été jeune examinatrice pour Frontiers for Young Minds. Pendant ses loisirs, elle aime jouer de la flûte et prendre des cours de danse.

**French version provided by**

Version Française fournie par

**JACOBS  
FOUNDATION**  
Our Promise to Youth





## MESURER LES ONDES CÉRÉBRALES EN CLASSE

Nienke van Atteveldt<sup>1\*</sup>, Tieme W. P. Janssen<sup>1</sup> et Ido Davidesco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculté des sciences du comportement et du mouvement, Section de psychologie développementale clinique et Institut Learn!, Université Vrije d'Amsterdam, Amsterdam, Pays-Bas

<sup>2</sup>Département de psychopédagogie, Université du Connecticut, Storrs, CT, États-Unis

### JEUNES ÉXAMINATEURS:

THE  
SCHOOL  
FOR  
SCIENCE  
AND MATH  
AT  
VANDERBILT



ÂGES: 14–15

### ONDES CÉRÉBRALES

Cycles de courants électriques générés par les groupes de neurones activés au même moment.

Par le passé, les chercheurs spécialistes du cerveau étudiaient le fonctionnement cérébral dans les laboratoires spécialisés d'universités et d'hôpitaux. Depuis peu, ils utilisent aussi des appareils mobiles et plus discrets que les personnes examinées peuvent porter sur la tête en dehors des laboratoires. Ces appareils permettent notamment aux chercheurs d'évaluer l'activité cérébrale des élèves pendant une journée de cours. Science-fiction? Évolution alarmante de type «Big Brother»? Le présent article expose ce que ces appareils peuvent faire – et ce qu'ils ne peuvent pas faire, notamment lire les pensées! Nous y expliquons aussi comment ce genre de recherche peut vous être utile à toi et à tes camarades.

As-tu déjà entendu parler des **ondes cérébrales**? Et as-tu une idée de ce que c'est? Dans cet article, nous allons t'expliquer de quoi il s'agit, comment on peut les mesurer (en laboratoire ou en classe), et en quoi c'est intéressant de le faire.

## L'ÉLECTROENCÉPHALOGRAMME MESURE L'ACTIVITÉ ÉLECTRIQUE CÉRÉBRALE

### NEURONES

Cellules du cerveau qui communiquent entre elles par transmission de signaux électriques.

### EEG

L'électroencéphalographie (ou électroencéphalogramme) est une technique qui permet de mesurer l'activité électrique des neurones (signaux électriques transmis au même moment) d'une personne en plaçant un casque d'électrodes sur son cuir chevelu.

### ÉLECTRODES

Dans le cadre d'un EEG, les électrodes sont des détecteurs placés sur le cuir chevelu d'une personne pour enregistrer les courants électriques produits par ses neurones cérébraux.

### FRÉQUENCE

Vitesse d'une onde cérébrale, ou nombre de fois qu'elle monte et descend en une 1 seconde. La fréquence se mesure en Hertz (Hz); 1 Hz correspond à un cycle par seconde.

### BANDES DE FRÉQUENCE

Gammes de fréquences d'ondes cérébrales associée à un certain état d'esprit. Par exemple, les fréquences comprises entre 1 et 4 Hz sont appelées bande delta, une bande associée au sommeil profond.

Les cellules du cerveau s'appellent les **neurones**, et chaque cerveau en compte environ 86 milliards. Elles sont très bavardes, un peu comme des élèves dans une classe! Mais plutôt que d'utiliser des mots, elles communiquent grâce aux signaux électriques qu'elles génèrent. L'intensité de ces signaux croît et décroît comme les vagues vont et viennent: c'est pour ça qu'on les appelle «ondes cérébrales». Les ondes cérébrales se mesurent à l'aide d'une méthode dénommée électroencéphalographie (**EEG**): pour cela, de petits détecteurs appelés **électrodes** sont placés sur le cuir chevelu de la personne examinée [1]. Généralement, toutes ces électrodes (il y en a jusqu'à 256!) sont maintenues en place par une sorte de casque, mais des dispositifs mobiles récents intègrent un nombre bien inférieur d'électrodes dans des mini-casques très sophistiqués. L'EEG ne permet pas d'évaluer l'activité électrique d'un neurone isolé, car les courants électriques qu'il génère sont trop faibles. Ces signaux électriques ne peuvent être mesurés que quand plusieurs neurones les transmettent au même moment. Pense à un festival de musique réunissant des milliers de personnes: si une seule personne applaudit, le groupe qui joue sur scène ne l'entendra pas, mais si le public tout entier claque des mains en même temps, les musiciens l'entendront.

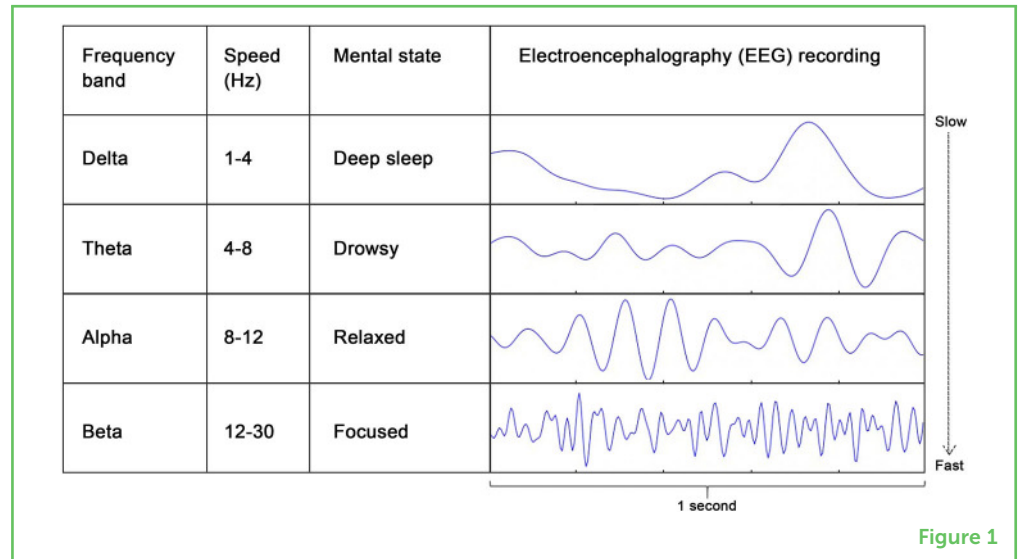
## LA VITESSE DES ONDES CÉRÉBRALES

La vitesse des ondes cérébrales varie. Les ondes lentes sont comparables aux grandes vagues de la mer qui remuent les bateaux de haut en bas, tandis que les ondes rapides ressemblent aux petites ondulations qui se produisent à la surface de l'eau. À l'électroencéphalogramme (dont l'abréviation est également EEG), on enregistre une combinaison d'ondes cérébrales rapides et lentes se produisant dans le même temps.

Bon, très bien te dis-tu, mais en quoi est-ce intéressant? Pour le comprendre, imagine-toi tôt le matin, dormant encore à moitié et avec l'esprit un peu brumeux. Si on mesurait tes ondes cérébrales à ce moment-là, on s'apercevrait qu'elles sont relativement lentes. Maintenant, imagine que tu es en train de passer un examen à l'école et que tu es très concentré. Dans cette situation, un EEG enregistrerait des ondes cérébrales plus rapides. Ces exemples te montrent que la vitesse des ondes cérébrales, appelée **fréquence**, est liée à l'état d'esprit dans lequel on se trouve. L'EEG permet d'identifier différentes gammes de fréquences. Par exemple, la gamme delta correspond à des ondes cérébrales relativement lentes qui montent et descendent 1 à 4 fois par seconde, c'est-à-dire à 1 à 4 Hertz (Hz), le Hertz étant l'unité de mesure de la fréquence. La **Figure 1** donne un aperçu des gammes de fréquences (également appelées **bandes de fréquence**) et de leur lien avec notre état d'esprit.

**Figure 1**

Elle montre les bandes de fréquences lentes et rapides mesurées à l'EEG et le rapport qu'elles entretiennent avec l'état d'esprit. La fréquence des ondes cérébrales, qui représente le nombre d'ondes par seconde, est évaluée en Hertz (Hz). Deep sleep = Profondément endormi, Drowsy = Somnolent, Relaxed = Détendu, Focused = Concentré.



## AU-DELÀ DE LA VITESSE: LES POTENTIELS LIÉS AUX ÉVÉNEMENTS

Les bandes de fréquences ont beau être très intéressantes, leur analyse ne permet pas de répondre à toutes les questions, par exemple sur la façon dont notre cerveau décode les mots qu'il entend ou comment il contrôle les réactions impulsives, en t'empêchant par exemple d'exploser quand ta petite sœur t'énerve. Pour cela, les chercheurs analysent autrement les ondes cérébrales: ils calculent les potentiels liés aux événements (**PLE**). Ce terme désigne les réactions cérébrales électriques liées à certaines activités comme lire un mot ou contrôler ses pulsions. Avec cette méthode, ce qu'on examine, ce sont les parties du signal de l'EEG causé par ces événements spécifiques. Pour y avoir recours, on enregistre l'EEG pendant que le participant exécute une tâche informatisée spécialement conçue pour permettre l'analyse d'une fonction cérébrale donnée comme la maîtrise des pulsions.

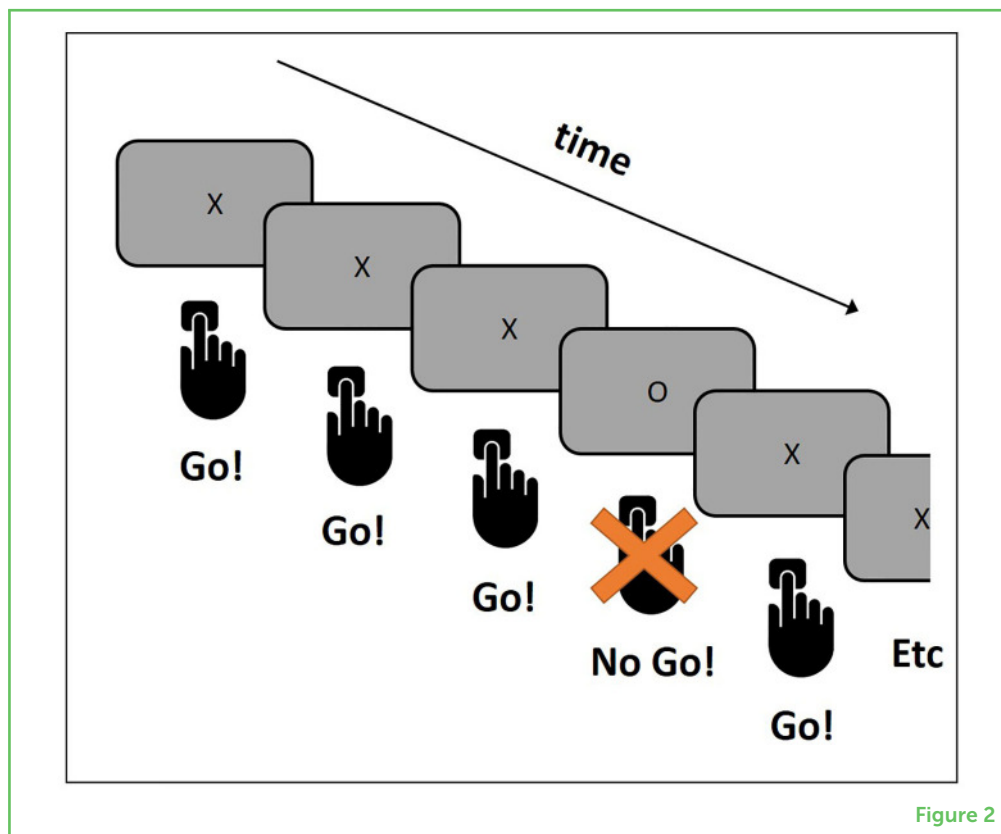
Voici un exemple de ce type de tâches informatisées, ici la tâche «Go/No Go» (**Figure 2**). Le participant est assis devant un écran. Une par une, différentes lettres apparaissent sur l'écran. Un «X» signifie «appuyer sur le bouton» (Go!) et un «O» signifie «NE PAS appuyer sur le bouton» (No Go!). Dans cette tâche, comme le «X» apparaît plus fréquemment que le «O», les participants se préparent automatiquement à appuyer sur le bouton dès qu'une lettre apparaît sur l'écran, mais ils doivent contrôler leurs pulsions pour ne pas appuyer au cas où ce serait un «O» qui s'afficherait. Une fois la tâche terminée, les chercheurs analysent l'EEG enregistré pendant qu'apparaissent des «X» et des «O» à l'écran. À ton avis, quelle est la lettre qui les intéresse le plus?

### PLE

Le potentiel lié aux événements (PLE) est évalué à l'aide de l'EEG. Ce terme désigne les réactions cérébrales électriques à certains événements spécifiques, comme la perception d'un son ou la lecture d'un mot. Pour explorer ces réactions, on demande au participant de faire un exercice informatisé au cours duquel l'événement qui intéresse les chercheurs est répété. Les parties du signal de l'EEG générées par cet événement répété sont pondérées (c'est-à-dire qu'on calcule leur résultat moyen). Cette pondération permet d'obtenir un résultat moyen à partir d'une activité cérébrale aléatoire, et la partie de l'EEG qui fournit ce résultat est le PLE.

**Figure 2**

Illustration de la tâche Go/No Go. Les lettres X et O apparaissent l'une après l'autre sur un écran. Les participants doivent rapidement appuyer sur le bouton quand c'est un X et NE PAS appuyer lorsque c'est un O. Comme les X sont beaucoup plus fréquents que les O, il n'est pas facile pour les participants d'inhiber leur impulsion d'appuyer sur le bouton lorsque c'est un O qui s'affiche à l'écran.



Tu l'as sans doute deviné: les chercheurs s'intéressent aux réponses enregistrées par l'EEG quand un «O» apparaissait, car alors, la personne devait contrôler son impulsion pour ne pas appuyer sur le bouton. Pour étudier la réponse du cerveau face aux «O», les scientifiques isolent la réponse enregistrée dans l'EEG à chaque apparition d'un «O», puis calculent la moyenne de toutes ces réponses. La réponse moyenne de l'EEG à cet événement spécifique constitue le PLE, qui reflète les efforts fournis par le cerveau pour maîtriser une impulsion. On peut imaginer le processus de calcul du PLE comme un genre de tamis qui filtre tous les signaux inutiles de l'EEG pour ne laisser que ceux qui intéressent le plus les chercheurs.

## LES LIMITES DES EXPÉRIENCES EN LABORATOIRE

Les expériences menées sur les EEG et les PLE en laboratoire ont beaucoup appris aux scientifiques sur le fonctionnement cérébral. Elles sont généralement réalisées pendant que les participants exécutent des tâches informatisées conçues pour permettre l'évaluation de certaines fonctions cérébrales comme lire des mots, faire de l'arithmétique ou maîtriser ses impulsions. Mais les expériences en laboratoire sont assez différentes des activités que nous accomplissons réellement au quotidien.

Repense par exemple à la tâche «Go/No Go» qui permet d'étudier le contrôle des impulsions en faisant apparaître sur un écran des «X» et des «O». Crois-tu que ce soit la même chose que contrôler ton impulsion de bouger ou de discuter avec un camarade pendant que le professeur vous donne des instructions? Dans un laboratoire EEG, tu serais assis tout seul dans une pièce calme où tu exécuterais une tâche comme appuyer sur des boutons et, parfois, essayer de ne pas appuyer sur un bouton. Mais si ce type d'expérience de laboratoire nous renseigne sur la façon dont le cerveau gère les impulsions, que nous dit-il de la façon dont les élèves gèrent les leurs quand ils sont à l'école? Tu vois ici les limites des expériences en laboratoire, dues au fait qu'elles mesurent l'activité cérébrale dans des situations assez artificielles [2].

## QUELLE UTILISATION POUR LES APPAREILS EEG PORTABLES EN CLASSE?

Un autre aspect du comportement humain est difficile à étudier en laboratoire: c'est la manière dont les individus – des élèves en classe par exemple – interagissent. En toute logique, les expériences en laboratoire sont extrêmement limitées pour répondre à cette question, mais les récents développements dans le domaine des appareils EEG portables permettent désormais aux scientifiques de mener des recherches sur le cerveau en dehors des laboratoires.

C'est exactement ce qu'une équipe des chercheurs de l'Université de New York a fait dernièrement [3]. Dans le cadre d'un partenariat avec un lycée local, ils ont mesuré l'activité cérébrale d'un enseignant et d'un groupe d'élèves pendant onze cours de biologie (Figure 3A). À chaque cours, les élèves participaient à diverses activités, faisant des exposés, regardant des vidéos éducatives ou participant à des discussions en groupe. Et ce que les chercheurs ont découvert, c'est que pendant ces activités pédagogiques, les ondes cérébrales des élèves étaient en **synchronie**, c'est-à-dire que leurs ondes cérébrales montaient et descendaient en même temps. Plus intéressant encore, les scientifiques ont constaté que les élèves les plus impliqués dans le cours étaient les plus synchronisés avec leurs camarades (Figure 3B).

Les appareils EEG portables sont un outil formidable, car on peut les utiliser non seulement dans la recherche, mais aussi dans l'enseignement. Dans «BrainWaves», un programme scolaire de neurosciences développé à l'Université de New York, les étudiants se servent de l'EEG pour découvrir leurs propres cerveaux et explorer le mode de fonctionnement des neurosciences. Par ailleurs, ils coopèrent avec un scientifique pour élaborer leurs propres projets de recherche en utilisant l'EEG, par exemple pour étudier comment le cerveau réagit face à des représentations de personnes

### SYNCHRONIE

Phénomène durant lequel des ondes cérébrales montent et descendent en même temps (de manière synchrone). Ce phénomène peut se produire au sein d'un seul cerveau (il s'agit alors d'ondes émises dans différentes régions cérébrales) ou dans les cerveaux de plusieurs personnes, auquel cas on parle de synchronie entre cerveaux.



### Figure 3

(A) L'EEG peut être utilisé pour mesurer en classe les ondes cérébrales chez des élèves de lycée (selon Dikker et al. [3]). (B) Les ondes cérébrales des élèves peuvent être fortement synchronisées avec celles de leurs camarades, c'est le cas de ceux qui sont les plus actifs en classe (schéma de gauche). Chez les élèves qui participent moins au cours, la synchronie avec les autres élèves s'avère plus faible (schéma de droite).

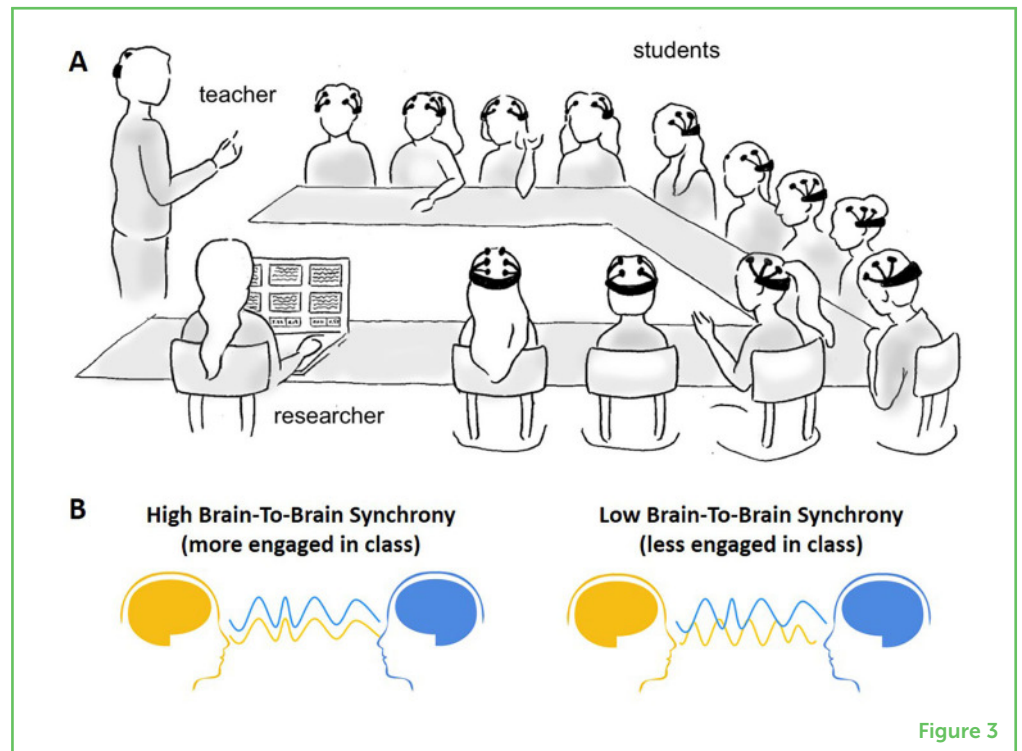


Figure 3

célèbres ou inconnues, ou comment la musique agit sur la capacité de concentration.

Soulignons cependant que les appareils EEG portables ne sont pas conçus pour remplacer les recherches en laboratoire. Ils peuvent en revanche compléter ces dernières en fournissant des données sur les processus cérébraux dans des situations de la vie quotidienne. Mais les études sur le cerveau en milieu naturel comportent elles aussi des avantages et des inconvénients. La qualité des données recueillies par les EEG portables n'est pas aussi bonne que celle d'informations collectées en laboratoire, les appareils portables comportant beaucoup moins d'électrodes et les participants bougeant beaucoup plus. De plus, les chercheurs ne contrôlent pas les milieux extérieurs aux laboratoires, ce qui peut poser des difficultés d'interprétation des résultats obtenus.

### ALORS: SCIENCE-FICTION OU PAS?

Maintenant que tu as lu l'article jusqu'ici, que penses-tu de tout ça? Est-ce que ça t'intéresserait de porter un EEG à l'école ou es-tu plutôt effrayé par cette idée? Sache en tout cas, pour te rassurer, qu'à l'heure actuelle, ces appareils ne fournissent rien d'autre qu'une mesure générale de l'activité cérébrale et ne peuvent pas lire dans les pensées! Il sera donc inutile de t'inquiéter pour ça si un jour on te propose de porter un de ces appareils pour une étude. Lire dans les pensées relève aujourd'hui encore de la science-fiction!



Certaines entreprises qui fabriquent et commercialisent de tels appareils affirment qu'ils peuvent être utilisés pour contrôler les élèves, en analysant la force des différentes ondes cérébrales et en les interprétant comme des preuves de concentration ou de distraction. Pour plusieurs raisons, nous pensons que ce n'est pas une bonne idée. Tout d'abord parce que nous devons encore mener beaucoup de recherches avant de bien comprendre ce que signifient les signaux des EEG en termes de fonctions cérébrales. Ensuite, parce qu'il n'est pas nécessaire que les élèves soient concentrés tout le temps: nous savons en effet que le cerveau a aussi besoin de temps de repos, et qu'avoir de temps en temps la tête ailleurs peut profiter à l'apprentissage [4].

## CONCLUSION

Les appareils EEG portables offrent de formidables opportunités, comme celle d'étudier le fonctionnement cérébral en milieu naturel – en classe par exemple. Étudier le cerveau sur le terrain est particulièrement intéressant pour mieux comprendre les interactions sociales, les EEG portables pouvant servir à évaluer simultanément l'activité cérébrale de plusieurs personnes pendant qu'elles interagissent les unes avec les autres. Par ailleurs, ces appareils peuvent aider les élèves à mieux appréhender la manière dont le cerveau fonctionne. Mais la science avance à petits pas: laissons donc la possibilité de lire les pensées d'autrui aux récits et aux films de science-fiction et en attendant, demandons-nous si nous voulons vraiment qu'elle se réalise un jour [5].

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour à cette traduction.

L'illustration de la [Figure 2](#) est issue de Dikker et al. [3] (Droits d'auteur 2017 avec l'autorisation d'Elsevier).

Nous remercions aussi les membres et donateurs d'Emerging Field Group Portable Brain Technologies in Educational Neuroscience Research, financé par EARLI et la Fondation Jacobs. NA et TJ sont par ailleurs soutenus par une subvention de démarrage du Conseil européen de la recherche (#716736).

Le projet BrainWaves a été élaboré grâce au soutien du Programme Science Education Partnership de l'Institut national américain des sciences médicales générales (National Institute of General Medical Sciences).

## RÉFÉRENCES

1. Biasiucci, A., Franceschiello, B., and Murray, M. M. 2019. Electroencephalography. *Curr. Biol.* 29:R80–5. doi: 10.1016/j.cub.2018.11.052
2. van Atteveldt, N., van Kesteren, M. T. R., Braams, B., and Krabbendam, L. 2018. Neuroimaging of learning and development: improving ecological validity. *Frontline Learn. Res.* 6:186–203. doi: 10.14786/flr.v6i3.366
3. Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., et al. 2017. Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Curr. Biol.* 27:1375–80. doi: 10.1016/j.cub.2017.04.002
4. Immordino-Yang, M. H., Christodoulou, J. A., and Singh, V. 2012. Rest is not idleness: implications of the brain's default mode for human development and education. *Perspect. Psychol. Sci.* 7:352–64. doi: 10.1177/1745691612447308
5. Williamson, B. 2018. Brain data: scanning, scraping and sculpting the plastic learning brain through neurotechnology. *Postdigit. Sci. Educ.* 1:65. doi: 10.1007/s42438-018-0008-5

**ÉDITEUR:** Stephan E. Vogel

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Menton Deweese

**CITATION:** van Atteveldt N, Janssen TWP et Davidesco I (2023) Mesurer les ondes cérébrales en classe. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00096-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** van Atteveldt N, Janssen TWP and Davidesco I (2020) Measuring Brain Waves in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:96. doi: 10.3389/frym.2020.00096

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 van Atteveldt, Janssen et Davidesco. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT, ÂGES: 14–15

Nous sommes une classe d'élèves issus de l'ensemble de la ville de Nashville, et nous nous rencontrons une fois par semaine à l'Université Vanderbilt pour apprendre de nouvelles choses dans les domaines de la science, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques. Nous menons des expériences dans notre salle de cours et dans certains laboratoires du campus.



## AUTEURS



### **NIENKE VAN ATTEVELDT**

Nienke est neuroscientifique. Elle associe plusieurs méthodes afin d'étudier les différences individuelles en matière d'apprentissage et de motivation. Elle est très engagée dans la recherche de moyens par lesquels les recherches en neuroscience sur l'apprentissage et le développement peuvent être utiles aux élèves et aux enseignants. Son objectif final en tant que chercheuse est de mettre des savoirs et des outils à disposition des enseignants pour permettre à plus de jeunes d'avoir plaisir à apprendre. Nienke dirige le Lab of Learning à l'Université Vrije d'Amsterdam, voir le lien [www.laboflearning.com](http://www.laboflearning.com). \*[n.m.van.atteveldt@vu.nl](mailto:n.m.van.atteveldt@vu.nl)



### **TIEME W. P. JANSSEN**

Tieme est neuroscientifique. Il utilise beaucoup l'électroencéphalographie (EEG). Il est passionné par le fonctionnement cérébral, et notamment par les fonctionnements «différents», par exemple chez les enfants atteints d'un trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H). L'un de ses domaines de recherche intègre l'application des neurosciences aux besoins sociaux. Il utilise par exemple le neurofeedback pour aider les personnes atteintes de TDAH à entraîner leur capacité d'attention ou pour montrer aux enfants qu'ils ont eux-mêmes le contrôle de leur cerveau. Tieme aime faire sortir la recherche en neurosciences des laboratoires pour la mettre en œuvre dans des salles de classe ou d'autres milieux de la «vraie vie» grâce à l'EEG portable.

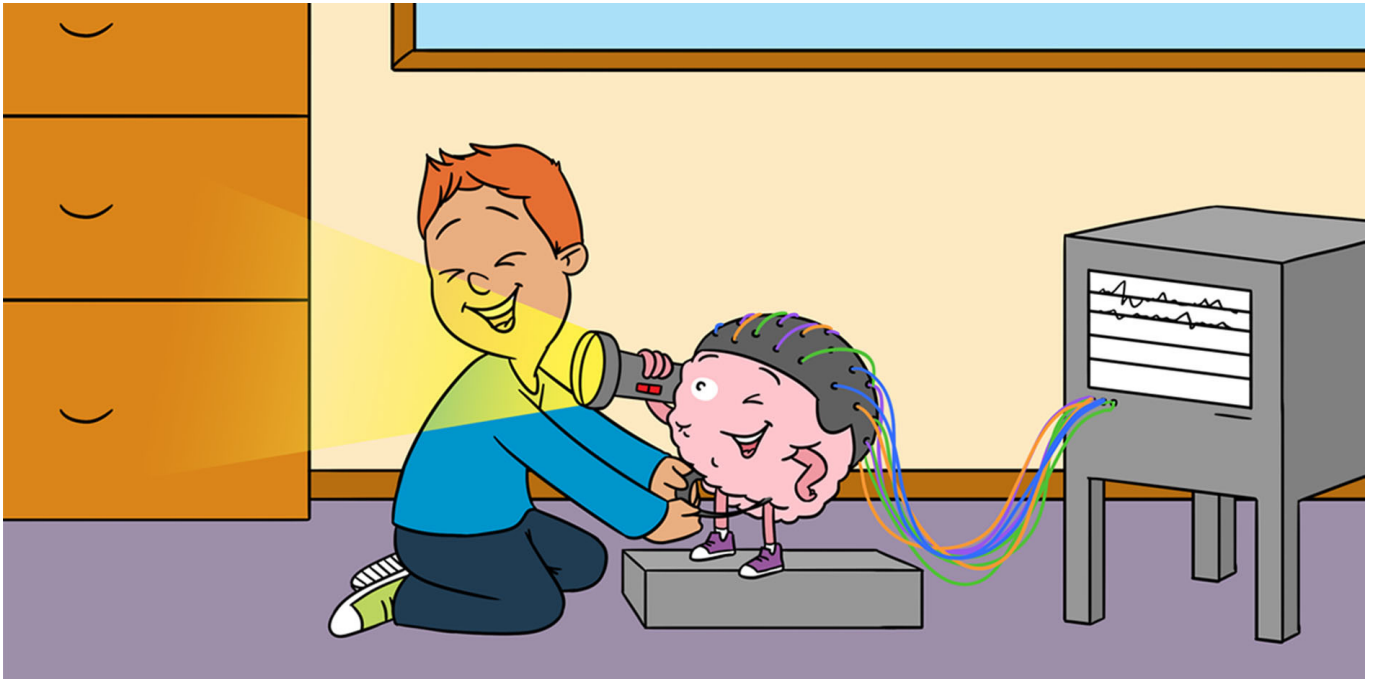


### **IDO DAVIDESCO**

Ido est neuroscientifique. Il aime faire des liens entre les neurosciences et l'éducation. Il mène ses recherches en milieu scolaire grâce à des appareils EEG portables qui lui permettent de mesurer l'activité cérébrale des élèves comme des enseignants. Il crée aussi des passerelles entre les étudiants et les scientifiques, et des occasions pour les étudiants de s'engager dans la recherche de terrain dans les domaines du cerveau et du comportement.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

 **JACOBS  
FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## UTILISER LA LUMIÈRE POUR COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU CERVEAU EN CLASSE

**Mojtaba Soltanlou**<sup>1,2,3,4\*</sup> et **Christina Artemenko**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Département de psychologie, Université de Tübingen, Tübingen, Allemagne

<sup>2</sup>LEAD Graduate School & Research Network, Université de Tübingen, Tübingen, Allemagne

<sup>3</sup>Institut du cerveau, Université de Western Ontario, London, ON, Canada

<sup>4</sup>Département de psychologie, Université de Western Ontario, London, ON, Canada

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



ISTITUTO  
EUROPEO  
LEOPARDI

ÂGES: 11–12

Sais-tu qu'il est possible d'étudier le cerveau en classe? On pense généralement que ce n'est possible qu'en laboratoire, à l'aide de grands appareils sophistiqués. L'imagerie spectroscopique proche infrarouge fonctionnelle (ISPIf), nouvelle technique qui utilise la lumière pour contrôler l'intensité de l'activité cérébrale, a de nombreux avantages, notamment d'être particulièrement adaptée à l'observation du cerveau des bébés et des enfants. C'est aussi l'une des meilleures techniques pour étudier les fonctions cérébrales du quotidien dans des situations réelles, par exemple en classe ou pendant une conversation. Cependant, de même que les autres techniques de mesure cérébrale, elle a certaines limites. Dans le présent article, nous te présentons le fonctionnement et l'utilisation de l'ISPIf, ses avantages et ses limites. Et tu verras que lorsqu'elle est utilisée en neurosciences éducatives, elle peut aider les scientifiques à comprendre comment les enfants apprennent!

## SPECTROSCOPIE PROCHE INFRAROUGE FONCTIONNELLE (ISPIf)

Nouvelle technique qui aide les scientifiques à observer aisément le fonctionnement cérébral d'une personne grâce à un type de lumière spécifique appelée lumière proche infrarouge.

## LUMIÈRE PROCHE INFRAROUGE

Type de lumière spécifique capable de traverser la peau, les os et le cerveau, et qui permet d'évaluer l'activité cérébrale.

### Figure 1

(A) L'ISPIf utilise la lumière pour observer les fonctions cérébrales. (B) Sources (en rouge) et détecteurs (en bleu) de lumière dans une ISPIf. La lumière passant à travers le cerveau est représentée sous forme de petites bananes jaunes. (C) Casque d'ISPIf sur la tête d'un bébé.

## QU'EST-CE QUE LA SPECTROSCOPIE PROCHE INFRAROUGE FONCTIONNELLE (ISPIf)?

L'imagerie spectroscopique, également appelée **spectroscopie proche infrarouge fonctionnelle (ISPIf)**, nouvelle technique grâce à laquelle les chercheurs peuvent facilement observer le fonctionnement cérébral (Figure 1A), emploie un type de lumière particulier: la **lumière proche infrarouge**. Celle-ci est particulière en ce sens qu'elle peut traverser la peau, les os et le cerveau. Elle est envoyée dans le cerveau par une source (des diodes lumineuses dessinées en rouge dans la Figure 1B) puis recueillie par un détecteur au moment où elle ressort (en bleu dans la Figure 1B). La différence entre la quantité de lumière émise et la quantité recueillie permet de connaître le degré d'activité du cerveau. Mais qu'est-ce qui explique cette différence entre lumière émise et lumière recueillie? Une partie de cette lumière se serait-elle perdue en traversant le cerveau?

Pour répondre à ces questions, il faut connaître le fonctionnement cérébral. Le cerveau fonctionne grâce à l'oxygène que lui fournit le sang. Quand le cerveau est actif, le flux sanguin augmente et l'oxygène davantage. Or, le sang absorbe la lumière proche infrarouge: c'est pourquoi, quand on envoie cette lumière dans un cerveau en activité, elle a diminué en quantité à la sortie, ayant été partiellement absorbée par le sang. Autrement dit, plus la quantité de lumière absorbée est grande, plus cela indique une activité cérébrale intense.

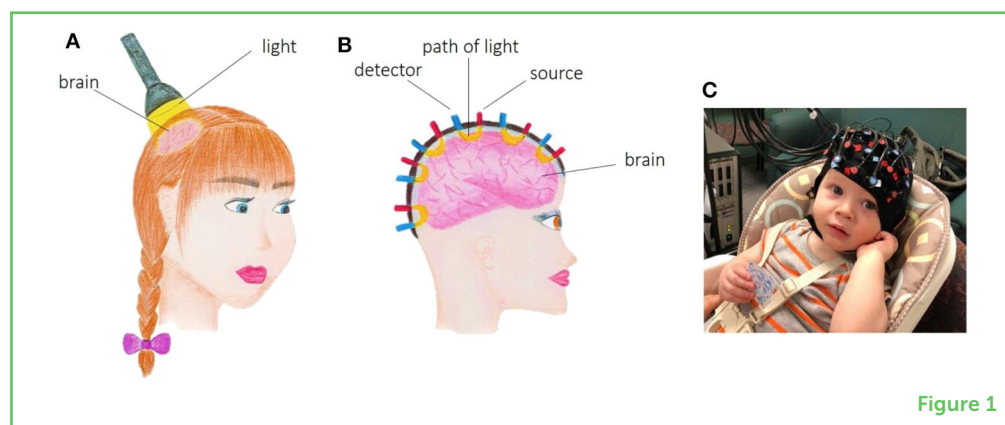


Figure 1

## AVANTAGES, USAGES ET LIMITES DE L'ISPIf

L'ISPIf offre de nombreux avantages:

- Elle permet d'examiner des personnes assises ou debout.
- Elle est portable et peut être utilisée presque partout.
- Elle est facile et rapide à mettre en place (quelques minutes seulement).
- Elle est bon marché.
- Elle mesure les fonctions cérébrales plusieurs fois par seconde.

- Elle est silencieuse et indolore.
- Elle peut être utilisée conjointement avec d'autres techniques de mesure cérébrale.
- Elle tolère les mouvements corporels comme ceux qu'entraîne le fait de parler, d'écrire ou de marcher.

Grâce à ces avantages, on peut utiliser l'ISPIf dans de nombreuses situations (Figure 2). D'une part, elle permet d'examiner le cerveau en milieu naturel, dans des situations de la vie quotidienne, plutôt qu'au laboratoire. En effet, certains dispositifs sont suffisamment petits pour pouvoir être transportés partout où l'étude doit être réalisée. De plus, les personnes n'ont pas besoin de rester couchées pendant l'examen. Elles peuvent être assises à un bureau et faire leurs devoirs ou travailler sur ordinateur. L'ISPIf permet d'analyser des activités mentales plus complexes que d'autres techniques d'étude du cerveau qui ne peuvent analyser que des tâches à choix multiple. Par ailleurs, l'ISPIf étant confortable pour la personne examinée, elle peut être utilisée pour étudier le cerveau de bébés et d'enfants (Figure 1C), chose impossible avec d'autres techniques de mesure cérébrale, les jeunes enfants bougeant beaucoup. Enfin, il est possible d'observer les fonctions cérébrales longtemps (jusqu'à une heure), et sur plusieurs personnes à la fois. Tous ces atouts font de l'ISPIf une technique très utile pour étudier le cerveau en situation, ainsi que chez des personnes pour qui les autres techniques ne fonctionneraient pas.

Mais l'ISPIf n'a pas que des avantages, et il faut aussi être conscient de ses limites. Premièrement, cette technique mesure environ 3 cm du cerveau à la fois. Or, pour cet organe comprenant des zones de très petite taille, c'est beaucoup. Les mesures effectuées par l'ISPIf peuvent donc englober des parties cérébrales assurant d'autres fonctions que celles que l'on souhaite observer, et être par conséquent moins précises que celles qu'on aurait obtenues avec d'autres techniques [1]. De plus, l'ISPIf ne peut mesurer que l'activation de régions situées à environ 1,5 à 2 cm de la surface du cerveau. Elle ne peut donc pas servir à mesurer des fonctions localisées à l'intérieur du cerveau. Ensuite, l'ISPIf fournit des informations sur les fonctions du cerveau et non sur ses structures [1]. Cela signifie qu'elle permet de mieux comprendre comment le cerveau fonctionne, mais pas à quoi il ressemble. Par ailleurs, étant donné que l'ISPIf mesure la quantité de sang, elle est sensible au rythme cardiaque, à la pression artérielle et aux veines présentes dans la peau de la personne examinée, avec pour conséquence que certaines modifications indépendantes du cerveau peuvent se confondre avec les mesures des fonctions cérébrales. Enfin, l'ISPIf étant une technique très récente, tous les scientifiques n'analysent pas les données de la même manière. L'analyse des données est un procédé qui consiste à combiner et à transformer les données cérébrales collectées auprès de différentes personnes pour les rendre compréhensibles pour tout le monde. Pour récapituler, disons que les scientifiques qui souhaitent utiliser l'ISPIf



## Figure 2

L'ISPIf peut être utilisée dans de nombreuses situations de la vie courante, notamment quand on mange, quand on discute, quand on danse ou quand on joue de la musique. Elle permet également de voir l'activité cérébrale chez une femme et son bébé lorsqu'ils communiquent.

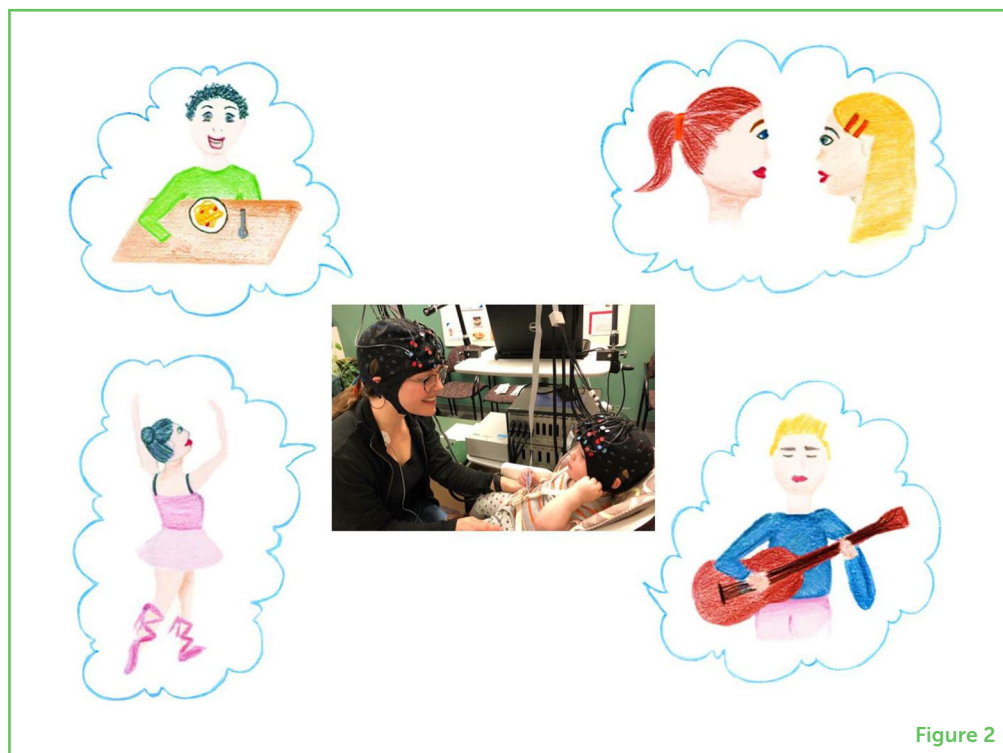


Figure 2

pour mesurer le fonctionnement cérébral doivent prendre en compte non seulement ses atouts, mais aussi ses limites.

## ISPIF: COMMENT SE PASSE L'EXAMEN ET COMMENT UTILISE-T-ON LES DONNÉES QU'IL FOURNIT?

Selon l'étude et la question de recherche, les participants peuvent être examinés soit individuellement, soit en groupe. Réaliser une ISPIf passe par plusieurs étapes: premièrement, on mesure la tête de la personne pour déterminer certains points importants, notamment son centre, ce qui permet d'identifier la partie du cerveau mesurée par chaque capteur. Deuxièmement, on fixe les sources lumineuses et les détecteurs sur la tête de la personne à l'aide d'une sorte de cagoule élastique. Troisièmement, on demande au sujet examiné de réaliser une tâche pendant que ses fonctions cérébrales sont mesurées par l'ISPIf (Figure 3) (la tâche à effectuer peut être n'importe quoi, un exercice de mathématiques ou autre chose). Quatrièmement, une fois que la personne a effectué la tâche, on éteint le dispositif et on lui retire la cagoule, ce qui marque la fin de l'expérimentation.

L'expérience est généralement répétée sur un certain nombre de participants (environ 40 enfants) avant que l'on puisse analyser les données recueillies. Mais qu'est-ce qu'«analyser les données» signifie au juste? Supposons que notre question de recherche soit: «Quelles sont les parties du cerveau activées quand on fait un calcul?» Pour y répondre, on va mesurer le fonctionnement cérébral dans deux

### Figure 3

Tandis qu'une jeune fille résout un problème de mathématiques, un dispositif d'ISPIf enregistre ses fonctions cérébrales.



Figure 3

situations distinctes: une où les personnes examinées sont en train de résoudre des problèmes mathématiques, et une autre où elles se reposent. Ensuite, toutes les données des participants sont combinées et analysées par un logiciel. L'équipe scientifique calcule alors le niveau de l'activation cérébrale pendant que les sujets faisaient d'une part des calculs et d'autre part se reposaient, puis compare ces niveaux. On constate alors une grande différence d'activation entre les phases de calcul et les phases de repos, mais seulement dans certaines régions du cerveau et pas dans d'autres. On peut alors en conclure que les zones cérébrales qui présentent une forte différence entre calcul et repos sont celles qui jouent un rôle important dans les mathématiques.

## CONCLUSION

L'ISPIf est une technique qui permet de mesurer le fonctionnement cérébral, y compris chez des groupes de populations spécifiques comme les bébés et les enfants [2], ainsi que dans des situations réelles telles que dans une salle de classe [3]. Ces particularités rendent cette technique particulièrement précieuse pour les recherches en **neurosciences éducatives** [4], qui en utilisent les résultats pour perfectionner l'enseignement à l'école. La plupart des techniques d'imagerie cérébrale conviennent aux adultes, mais présentent des limites quand il s'agit d'étudier des enfants, raison pour laquelle on ne sait pas encore grand-chose sur la manière dont le cerveau évolue entre la naissance et l'âge adulte. Mais heureusement, l'ISPIf contribue désormais à combler cette lacune en nous permettant d'observer les changements cérébraux et les processus d'apprentissage chez l'enfant [5, 6]. Nous espérons que son usage dans les neurosciences éducatives

### NEUROSCIENCES ÉDUCATIVES

Domaine de l'étude du cerveau qui vise à améliorer l'enseignement à l'école.

permettra un jour de comprendre comment les enfants apprennent à lire, à écrire et à calculer.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Bahar Rad, un artiste de 16 ans, pour les illustrations des figures, Merle Bode pour avoir édité ces figures et Zoë Kirste pour la révision linguistique. Nous exprimons notre gratitude à l'égard de Megan et Warren pour nous avoir permis d'utiliser les photos de leur participation à une étude sur l'ISPIf. Nous remercions aussi tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires à cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086
2. Edwards, L. A., Wagner, J. B., Simon, C. E., and Hyde, D. C. 2016. Functional brain organization for number processing in pre-verbal infants. *Dev. Sci.* 19:757–69. doi: 10.1111/desc.12333
3. Obersteiner, A., Dresler, T., Reiss, K., Vogel, A. C. M., Pekrun, R., and Fallgatter, A. J. 2010. Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research. *ZDM* 42:541–54. doi: 10.1007/s11858-010-0256-7
4. Soltanlou, M., Sitnikova, M. A., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. Applications of functional near-Infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: the case of mathematics and language. *Front. Psychol.* 9:277. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00277
5. Artemenko, C., Soltanlou, M., Ehlis, A.-C., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. The neural correlates of mental arithmetic in adolescents: a longitudinal fNIRS study. *Behav. Brain Funct.* 14:5. doi: 10.1186/s12993-018-0137-8
6. Soltanlou, M., Artemenko, C., Ehlis, A.-C., Huber, S., Fallgatter, A. J., Dresler, T., et al. 2018. Reduction but no shift in brain activation after arithmetic learning in children: a simultaneous fNIRS-EEG study. *Sci. Rep.* 8:1707. doi: 10.1038/s41598-018-20007-x

**ÉDITEUR:** [Stephan E. Vogel](#)

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** [Ruggero Bettinardi](#)

**CITATION:** Soltanlou M et Artemenko C (2023) Utiliser la lumière pour comprendre le fonctionnement du cerveau en classe. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00088-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Soltanlou M and Artemenko C (2020) Using Light to Understand How the Brain Works in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:88. doi: 10.3389/frym.2020.00088

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Soltanlou et Artemenko. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### ISTITUTO EUROPEO LEOPARDI, ÂGES: 11–12

Nous sommes une classe d'élèves en première année de secondaire à l'Istituto Europeo Leopardi. Nous nous appelons Lucrezia, Sofia, Benedetta, Eleonora, Francesco, Matteo, Marco, Emma, Greta et Lidia. Nous vivons à Milan, en Italie, et avons entre 11 et 12 ans. Nous sommes un groupe drôle, gentil et créatif, et nous aimons les sciences et le sport. Bisous de nous tous!

## AUTEURS



### MOJTABA SOLTANLOU

Je suis chercheur à l'Université de Western Ontario, au Canada. Avant de m'engager dans la recherche, je travaillais comme thérapeute, accompagnant des enfants atteints de diverses pathologies. Mes recherches visent à comprendre ce qui se passe dans le cerveau d'un enfant lorsqu'il apprend une matière comme les mathématiques, et pourquoi certains ont des difficultés d'apprentissage. Pendant mon temps libre, j'aime faire du sport, jouer du târ (un instrument originaire d'Iran et d'Azerbaïdjan), et lire des livres sur des sujets historiques. \*[mojtaba.soltanlou@gmail.com](mailto:mojtaba.soltanlou@gmail.com)



### CHRISTINA ARTEMENKO

Je suis chercheuse à l'Université de Tübingen, en Allemagne. Je travaille sur les mathématiques et le calcul. Je cherche à savoir ce qui se passe dans le cerveau lorsqu'on fait des calculs, et j'utilise l'ISPIF à cette fin. Je veux comprendre ce qui rend le calcul difficile et pourquoi certaines personnes rencontrent des difficultés en mathématiques. En dehors du travail, je joue de la flûte et j'aime aussi le ballet et le volleyball.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**JACOB'S**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## L'IMPORTANCE DE L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM) DANS L'ÉTUDE DU CERVEAU PENDANT LA LECTURE

Nora Maria Raschle<sup>1\*</sup>, Réka Borbás<sup>1</sup>, Carolyn King<sup>2</sup> et Nadine Gaab<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Jacobs Center for Productive Youth Development, Université de Zurich, Zurich, Suisse

<sup>2</sup>Laboratoires de neurosciences cognitives, Hôpital pour enfants de Boston, École de médecine de Harvard, Boston, MA, États-Unis

<sup>3</sup>Faculté des sciences de l'éducation de Harvard, Cambridge, MA, États-Unis

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



CASCADIA  
ELEMENTARY

ÂGES: 8-9

Dans la série Harry Potter, le Sortilège de légilimancie est utilisé pour entrer dans l'esprit des gens et accéder à leurs pensées. Mais comme nous le savons, la magie va de pair avec une grande responsabilité et ne doit être utilisée qu'avec prudence. Il en va de même de l'imagerie par résonance magnétique (IRM), un outil puissant permettant d'obtenir des images détaillées des différentes parties de l'organisme, dont le cerveau, car elle aussi doit être utilisée et interprétée avec précaution. Certains moldus utilisent l'IRM pour étudier les secrets du cerveau humain. Certes, elle ne peut pas être utilisée pour lire les pensées des gens, mais elle peut nous dire à quoi ressemble un cerveau, comment il fonctionne, comment il grandit et comment il apprend. Par exemple, l'IRM peut nous aider à comprendre comment le cerveau apprend à lire, et ce qui différencie

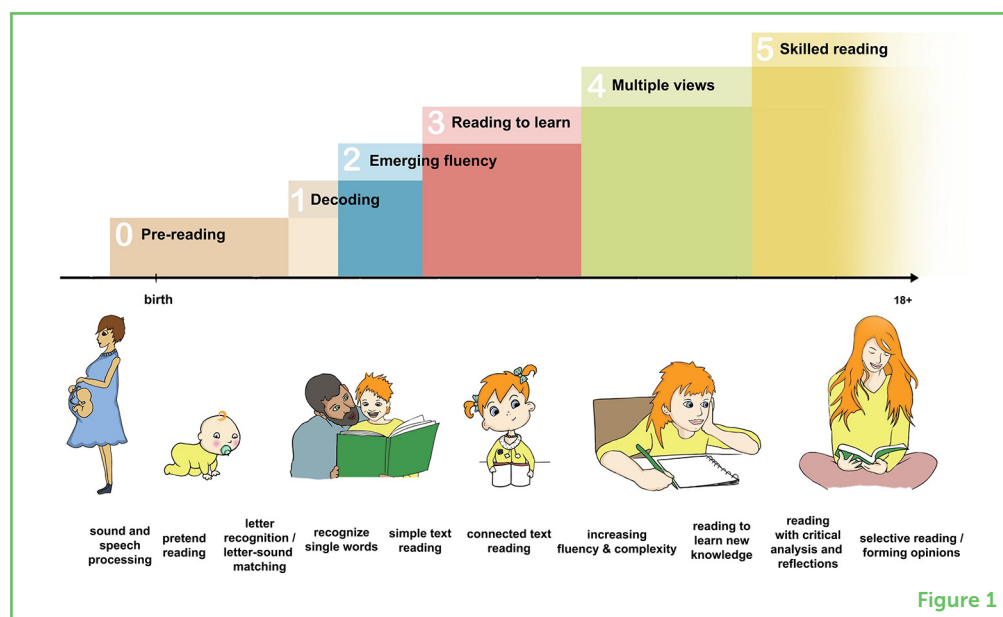
## les enfants qui ont du mal avec l'apprentissage de la lecture des autres enfants.

Toi, tu aimes lire? Et as-tu lu les 7 tomes de Harry Potter? La lecture est une compétence qui s'acquiert en suivant les instructions d'enseignants ou d'un parent et qui exige beaucoup de pratique, à la maison comme à l'école. Plusieurs choses peuvent nous aider à devenir bons en lecture. En grandissant, nous faisons de nombreuses expériences, et notre corps, nos pensées, nos sentiments, ainsi que l'environnement qui nous entoure, sont en constante évolution. Au début de notre vie, nous apprenons des choses relativement faciles comme comprendre le sens de certains sons, reconnaître les visages ou marcher. Mais en fait, l'apprentissage commence avant même la naissance! À mesure que nous grandissons, nous maîtrisons des tâches plus complexes comme prononcer des mots puis des phrases, lire ou interagir avec les autres. L'acquisition de nouvelles compétences va de pair avec le développement du cerveau. Mais beaucoup d'éléments peuvent influencer sur le développement, parmi lesquels des modifications de l'environnement, les expériences d'apprentissage que l'on fait, et même l'ADN, qui est l'information génétique que les parents transmettent à leurs enfants.

Tout ceci vaut bien sûr aussi pour la lecture, compétence qu'il faut pratiquer longtemps avant de la maîtriser – et qui émerge en fait bien avant qu'on ouvre son premier livre ou qu'on aille à l'école. Avant même notre naissance, nous percevons des sons et des éléments fondamentaux du langage. Ces expériences vécues modèlent les zones cérébrales qui nous seront utiles plus tard pour l'apprentissage de la lecture. En 1983, la professeure Jeanne Chall [1] affirmait que la lecture s'apprenait en plusieurs étapes (Figure 1). Aujourd'hui, nous savons que de nombreux facteurs peuvent influencer sur ces étapes, et

**Figure 1**

La lecture s'apprend très progressivement. Il faut traverser plusieurs étapes avant d'arriver à lire couramment. L'apprentissage de la lecture commence dès la petite enfance et se poursuit pendant les années de scolarité jusqu'au début de l'âge adulte (illustrations: N. M. Raschle; la partie supérieure du graphique a été adaptée de Chall [1]).





que l'apprentissage de la lecture peut varier fortement d'un enfant à l'autre et d'une région du globe à l'autre. Ces différences sont dues au grand nombre de paramètres pouvant agir sur cet apprentissage, notamment l'endroit où l'on grandit, la langue maternelle et son vocabulaire, la capacité à jouer avec les sons de la langue (par exemple, dire «banane» sans prononcer le son /b/), la faculté de comprendre les histoires racontées [2], etc.

## COMMENT LE CERVEAU APPREND À LIRE

Les techniques d'imagerie cérébrale telles que l'**IRM** permettent d'examiner le cerveau en train d'apprendre. L'appareil est un peu comme un gros appareil photo capable de prendre des images à l'intérieur de différentes parties du corps – le cerveau par exemple. L'IRM fonctionne en mesurant des signaux venant des molécules d'eau que contient l'organisme. Chaque partie de notre corps étant un peu différente des autres, son signal IRM lui est spécifique. L'informatique permet aux scientifiques de créer des images détaillées à partir de ces signaux (si tu souhaites en savoir plus sur le fonctionnement de l'IRM, tu peux lire «The physics of MRI and how we use it to reveal the mysteries of the mind» écrit pour les enfants par Kathryn Broadhouse, mais non traduit en français [3]). Grâce à l'IRM, on peut donc analyser la manière dont le cerveau fonctionne pendant qu'on est en train de faire ou de ressentir quelque chose (fonction cérébrale) et la manière dont il est construit (sa structure physique).

Des connexions entre les différentes zones du cerveau se créent à mesure que ce dernier grandit et apprend. Au fil du temps, ces connexions créent des réseaux qui travaillent ensemble. Agissant comme un groupe de musique bien rodé, les réseaux cérébraux nous aident à acquérir des compétences telles que la lecture. Pendant que nous apprenons, les cellules du cerveau (les **neurones**) se connectent les unes aux autres en étendant leurs minuscules bras (appelés **axones**) et parfois même en en faisant pousser de nouveaux. Avec le temps, un grand nombre d'axones se trouvent interconnectés et forment de longues «autoroutes» cérébrales qu'on appelle la **substance blanche**. Ces «autoroutes» relient entre elles les différentes régions du cerveau et transmettent des informations. La technique de l'IRM a permis aux scientifiques de comprendre que si nous sommes à même de lire, c'est parce que différentes parties du cerveau s'activent et communiquent entre elles lorsque nous apprenons. Ces zones cérébrales ont de drôles de noms à consonance proche du latin: la zone occipito-temporale, qui est la partie du cerveau où nous traitons les lettres et les mots, le cortex temporo-pariétal, qui nous permet de jouer avec les sons de notre langue (par exemple en devinant que «banane» sans le son /b/ donne «anane»), et le gyrus frontal inférieur, qui est en quelque sorte le «capitaine» qui nous dirige. C'est le fait que ces différentes zones communiquent régulièrement qui consolide la substance blanche – les «autoroutes» de l'information cérébrale.

### IRM

IRM signifie «imagerie par résonance magnétique». L'IRM permet d'obtenir des images de toutes les parties du corps humain. Elle fonctionne grâce à des aimants puissants et à des ondes radioélectriques.

### NEURONE

Cellule nerveuse du cerveau ou de la moelle épinière.

### AXONE

Partie des cellules nerveuses qui peut se connecter aux autres cellules et, de ce fait, transporter des informations d'une cellule à une autre.

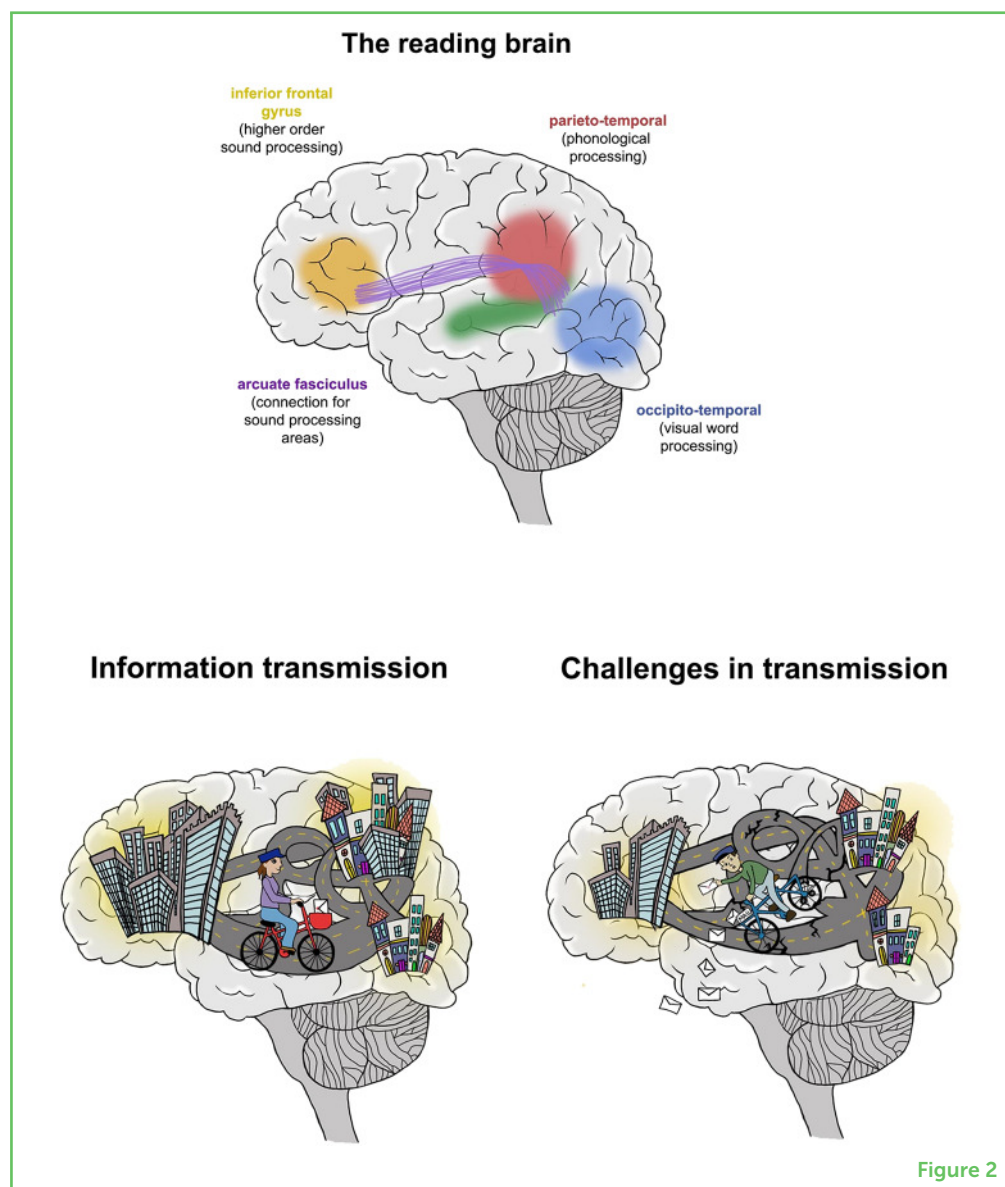
### SUBSTANCE BLANCHE

Ensemble d'axones qui connectent différentes régions cérébrales entre elles.

Une de ces «autoroutes» est particulièrement importante pour la lecture: il s'agit d'un ensemble d'axones appelé faisceau arqué, parce qu'il a la forme d'un arc. Au sein du réseau des régions cérébrales utiles à la lecture, des voies comme le faisceau arqué facilitent le transport des informations d'une région cérébrale à une autre. Chez les enfants qui ont du mal à lire, le réseau cérébral dédié à la lecture est parfois construit un peu différemment, ou bien c'est l'information qui emprunte d'autres voies. Ainsi, dans certains cerveaux, les routes assurant le transport des informations entre les régions impliquées dans la lecture peuvent être plus étroites que la moyenne et être à une voie au lieu de deux. Elles peuvent également être moins faciles à parcourir, un peu comme une route qui aurait un revêtement irrégulier ou compterait de nombreux feux de circulation. De telles particularités compliquent la communication entre les régions cérébrales, rendant l'apprentissage de la lecture difficile pour certains enfants (Figure 2).

### Figure 2

Que se passe-t-il dans le cerveau quand on lit (reading brain)? En haut, tu peux voir les noms et les fonctions des régions cérébrales qui constituent ensemble le réseau de la lecture (inferior frontal gyrus, parieto-temporal, arcuate fasciculus, occipito-temporal). Quand on lit, elles s'activent et communiquent entre elles. La transmission des informations au sein de ce réseau peut bien se passer (dessin en bas à gauche), mais elle peut aussi s'avérer plus problématique (dessin en bas à droite). (Illustrations: N. M. Raschle).



## LA DYSLEXIE DÉVELOPPEMENTALE ET LE PARADOXE DES DYSLEXIQUES

Le développement du cerveau humain est complexe, et il n'est donc pas surprenant qu'il ne se produise pas exactement de la même manière chez tout le monde. Certaines particularités développementales peuvent avoir des conséquences qui seront découvertes plus tard dans la vie de la personne. Sur vingt élèves, il y en a en moyenne un ou deux pour qui apprendre à lire s'avère très difficile. Beaucoup de chercheurs aimeraient être capables de prédire chez l'enfant s'il aura ou non des difficultés à lire, et de le prédire aussi tôt que possible, car plus l'enfant est jeune, plus il est facile de l'aider. En effet, un cerveau jeune est particulièrement flexible pour apprendre certaines choses comme les langues: c'est pourquoi les enfants apprennent de nouvelles langues plus facilement que les adultes, mais aussi pourquoi il est plus facile de résoudre les problèmes lorsqu'ils surgissent que plus tard. Sans compter que les enfants ne recevant pas de soutien pour résoudre leurs difficultés peuvent devenir frustrés, tristes, se sentir intimidés, voire renoncer à toute volonté d'apprendre. Il y a aussi des parents qui s'impatientent et croient que leurs enfants ne fournissent pas suffisamment d'efforts. C'est pour toutes ces raisons importantes que les spécialistes voudraient pouvoir identifier ces enfants le plus tôt possible.

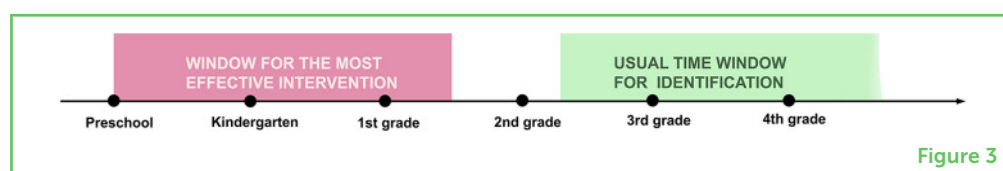
### DYSLEXIE

C'est un trouble d'apprentissage qui entraîne des difficultés de lecture dues à différents problèmes comme identifier les sons de la langue parlée et savoir comment ils se rapportent aux lettres et aux mots.

### Figure 3

Le paradoxe des dyslexiques. Chez la plupart des enfants, les problèmes de lecture ne sont découverts qu'après la deuxième ou la troisième année de primaire (zone verte), alors que le meilleur moment pour les aider se situe avant (zone rose).

On diagnostique parfois une **dyslexie** développementale à certains enfants qui ont des difficultés à lire. La dyslexie développementale est un trouble de la lecture, ce qui n'a rien à voir avec le manque de travail, le manque d'effort ou la paresse. Généralement, ce diagnostic est posé après deux ou trois ans d'école primaire, quand l'enfant a déjà subi de multiples échecs de lecture. Or, à ce stade, l'élève va devoir rattraper un important retard pour arriver à s'en sortir, ce qui constitue un véritable défi. Comme nous l'avons déjà dit, la recherche a montré que le meilleur moment pour aider un enfant à apprendre à lire était la maternelle ou le CP, car à cet âge, son cerveau est plus malléable. On appelle «paradoxe des dyslexiques» le fait que le moment où l'on identifie les difficultés de lecture chez les élèves ne correspond pas au meilleur moment pour les aider (Figure 3).



Des scientifiques ont montré que des indices précoces de difficultés de lecture pouvaient être détectés grâce à des tests oraux, écrits ou informatisés. Nous étions curieuses de savoir si l'IRM pouvait aussi servir à déceler des différences précoces dans le cerveau des enfants voués à présenter plus tard des difficultés de lecture, et nous avons

constaté que les enfants en question semblent avoir un réseau de lecture différent de la norme [4–6]. Mais ces problèmes peuvent être résolus grâce à un soutien et à un enseignement approprié.

## AIDER LES AUTRES, C'EST MAGIQUE!

Contrairement aux sorcières et aux sorciers dans Harry Potter, les scientifiques ne sont pas en mesure de lire dans les pensées des gens – ni d'ailleurs d'utiliser d'autres formes de magie. En revanche, nous disposons de diverses méthodes et techniques, dont l'IRM, pour étudier le cerveau en apprentissage. L'IRM, qui permet aux scientifiques d'examiner les parties du cerveau servant pour la lecture, montre aussi ce qui se passe dans le cerveau des enfants présentant des difficultés de lecture. Chaque étude nous renseigne davantage sur la manière dont on apprend et sur les raisons pour lesquelles certaines personnes ont plus de difficultés à apprendre que d'autres. Un jour, ces informations nous permettront donc d'aider chaque enfant à réussir, et ça... c'est tout simplement magique!

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction. Nous souhaitons dédier cet article à tous les enfants qui ont des difficultés de lecture, et remercier les éducateurs, parents et enseignants qui les accompagnent.

## RÉFÉRENCES

1. Chall, J. S. 1983. *Stages of Reading Development*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company.
2. Castles, A., Rastle, K., and Nation, K. 2018. Ending the reading wars: Reading acquisition from novice to expert. *Psychol. Sci. Public Interest*. 19:5–51. doi: 10.1177/1529100618772271
3. Broadhouse, K. 2019. The physics of MRI and how we use it to reveal the mysteries of the mind. *Front. Young Minds* 7:23. doi: 10.3389/frym.2019.00023
4. Raschle, N. M., Zuk, J., and Gaab, N. 2012. Functional characteristics of developmental dyslexia in left-hemispheric posterior brain regions predate reading onset. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109:2156–61. doi: 10.1073/pnas.1107721109
5. Raschle, N. M., Chang, M., and Gaab, N. 2011. Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage* 57:742–9. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.09.055

6. Langer, N., Peysakhovich, B., Zuk, J., Drottar, M., Sliva, D., Smith, S., et al. 2017. White matter alterations in infants at risk for developmental dyslexia. *Cereb. Cortex* 27:1027–36. doi: 10.1093/cercor/bhv281

**ÉDITEUR:** Stephan E. Vogel

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Carol Thompson

**CITATION:** Raschle NM, Borbás R, King C et Gaab N (2023) L'importance de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) dans l'étude du cerveau pendant la lecture. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00072-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Raschle NM, Borbás R, King C and Gaab N (2020) The Magical Art of Magnetic Resonance Imaging to Study the Reading Brain. *Front. Young Minds* 8:72. doi: 10.3389/frym.2020.00072

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Raschle, Borbás, King et Gaab. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### CASCADIA ELEMENTARY, ÂGES: 8–9

Nous sommes un groupe d'élèves de troisième année de primaire et nous aimons la lecture et les mathématiques. Il y a 9 filles et 14 garçons dans notre classe. Nous formons un groupe très vivant qui aime discuter et apprendre de nouvelles choses. Cette année, nous avons énormément collaboré, discuté et écouté les autres, et nous sommes très heureux de faire partie de la communauté Frontiers!

## AUTEURS

### NORA MARIA RASCHLE

Nora est professeure assistante en psychologie au Centre Jacobs pour le Développement productif de la jeunesse de l'Université de Zurich, en Suisse. Son équipe du NMR Kids Lab s'intéresse à la manière dont le cerveau humain grandit, évolue et apprend. Nora aime aussi faire des dessins pour expliquer des sujets scientifiques et pense que le savoir peut être transmis d'une manière drôle et compréhensible pour tous. Avec ses trois enfants, elle adore essayer de nouvelles choses comme faire un gâteau géant, chanter des chansons au karaoké (bien qu'elle



chante comme une casserole), fabriquer des tas de choses (par exemple des robots) ou visiter des endroits amusants. \*[nora.raschle@jacobscenter.uzh.ch](mailto:nora.raschle@jacobscenter.uzh.ch)



### RÉKA BORBÁS

Réka est doctorante en neuropsychologie au Centre Jacobs pour le Développement productif de la jeunesse de l'Université de Zurich, en Suisse. Elle travaille avec des familles et se passionne pour le fonctionnement du cerveau des enfants et des adultes. Actuellement, elle sensibilise des familles pour leur faire passer une IRM qui lui permettra d'examiner leurs cerveaux. Au sein du NMR Kids Lab, elle essaie de rendre les recherches amusantes pour tout le monde et crée des jeux passionnants pour jouer dans le scanner. Pendant ses heures libres, elle adore jouer à des jeux de plateau, jouer avec son chat angora et faire des gâteaux pour ses amis et sa famille.



### CAROLYN KING

Carolyn est assistante de recherche aux Laboratoires des Neurosciences cognitives de l'Hôpital pour enfants et de l'École de médecine de Harvard. Elle travaille chaque jour avec des enfants dans le but de comprendre pourquoi certains d'entre eux apprennent la lecture et les mathématiques différemment des autres. Elle passe beaucoup de temps à jouer à des jeux de réflexion avec des enfants d'âge préscolaire et de maternelle, et il lui arrive aussi de voyager à travers les États-Unis pour tester de nouveaux jeux. Carolyn adore randonner en haute montagne et jouer avec les alpagas, les lapins et les chats qui vivent dans l'élevage d'alpagas de sa grand-mère. L'un des alpagas est même parti se balader en montagne, et Carolyn espère un jour partir avec lui en randonnée.



### NADINE GAAB

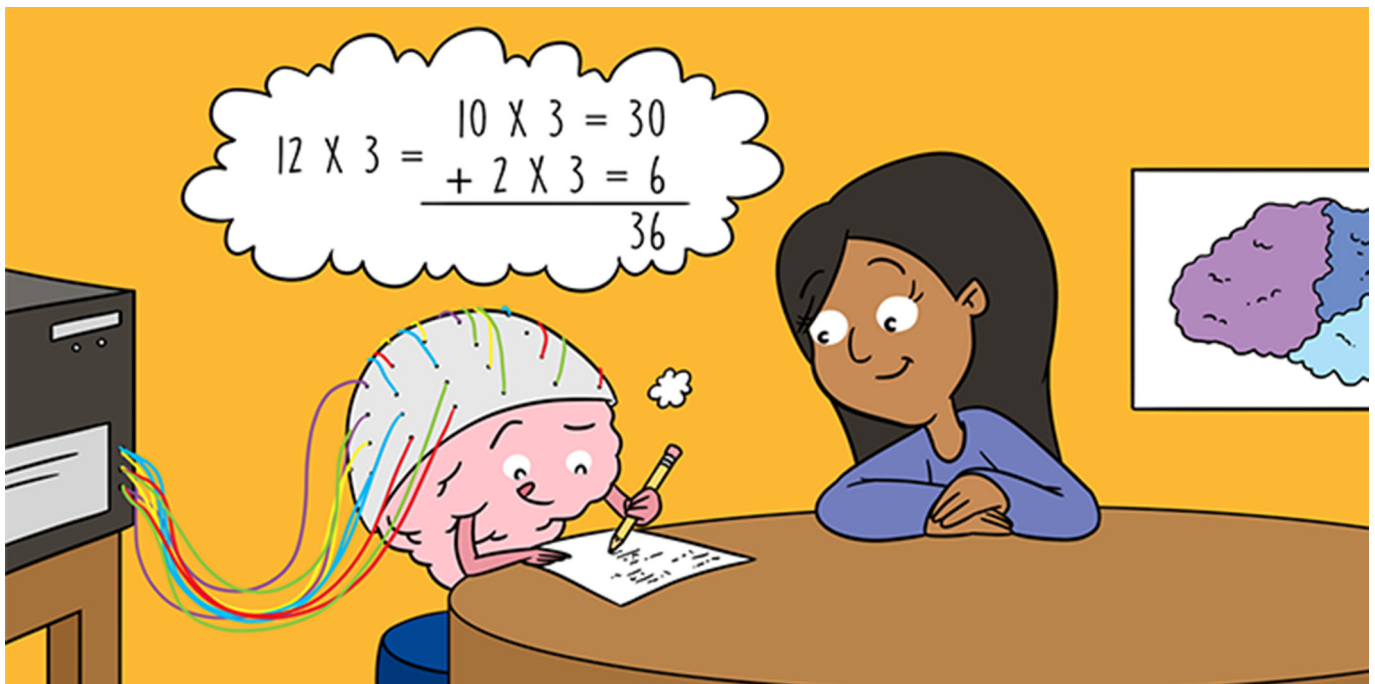
Nadine est professeure à l'Hôpital pour enfants et à l'École de médecine de Harvard. Elle aime étudier le cerveau des enfants, parler avec ses étudiants, enseigner, assister à des réunions ennuyeuses, et jouer avec les enfants qui viennent au laboratoire. Elle se déplace aussi dans des endroits (généralement intéressants) où elle explique aux gens ce qu'est la dyslexie, comment on apprend à lire et comment fonctionne le cerveau. Pendant son temps libre, elle aime jouer à des jeux de plateau avec ses trois enfants et aller regarder les matchs de foot de sa fille et les matchs de base-ball de son fils. Elle adore le poisson et la glace au chocolat – d'ailleurs, quand elle était petite, elle rêvait de devenir cuisinière.

**French version provided by**

Version Française fournie par

 **JACOBS  
FOUNDATION**  
Our Promise to Youth





## COMBIEN FONT $2 \times 4$ ? COMPRENDRE COMMENT LE CERVEAU RÉSOUT LES PROBLÈMES ARITHMÉTIQUES

Nikolaus Koren<sup>†</sup>, Judith Scheucher<sup>†</sup> et Stephan E. Vogel<sup>\*</sup>

Section Neurosciences de l'éducation, Institut de Psychologie, Université de Graz, Graz, Autriche

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



DR. H.  
BAVINCK  
SCHOOL

ÂGES: 8–12



LIJIA  
ÂGE: 12

Combien font  $2 \times 4$ ? Cela semble facile, mais as-tu déjà pensé à la façon dont tu résous ce problème? Dans cet article, tu découvriras deux stratégies différentes que nous utilisons pour résoudre des problèmes d'arithmétique. Tu apprendras également à connaître les différentes zones du cerveau (comme le sillon intrapariétal) qui fonctionnent ensemble lorsque tu utilises ces différentes stratégies. La stratégie et les régions du cerveau que tu utilises changent avec le temps à mesure que tu te familiarises avec l'arithmétique. Cette transition est particulièrement visible dans la façon dont les zones cérébrales fonctionnent et communiquent entre elles: certaines zones deviennent plus actives, tandis que d'autres le deviennent moins. Après avoir lu cet article, tu en sauras plus sur les techniques que nous utilisons pour résoudre les problèmes d'arithmétique et les zones du cerveau nécessaires pour trouver les réponses à ton prochain devoir de mathématiques.

## DYSCALCULIE DE DÉVELOPPEMENT

Il s'agit d'une difficulté à apprendre ou à comprendre l'arithmétique. Pour un bon aperçu de l'article de Young Minds; Quand votre cerveau ne peut pas faire  $2 + 2$ : un cas de dyscalculie de développement [1].

### Figure 1

Exemple de mise en place d'une étude portant sur la résolution de problèmes arithmétiques. Les participants sont confrontés à un problème arithmétique sur un écran d'ordinateur. Une fois la réponse donnée, un nouveau problème apparaît. Pour chaque problème, les chercheurs notent le temps qu'il a fallu pour résoudre le problème (vitesse) et si la réponse était correcte (précision).

## INTRODUCTION

Parce que les mathématiques sont l'une des compétences les plus importantes à maîtriser, comprendre comment les problèmes d'arithmétique sont résolus peut avoir un très grand impact sur ton quotidien. Non seulement tu as besoin de mathématiques tous les jours à l'école, mais tu en auras aussi besoin dans ta vie d'adulte. Si tu souhaites devenir programmeur, ingénieur ou scientifique, tu seras confronté aux chiffres au quotidien. Parce que les mathématiques sont importantes dans presque tous les emplois, les personnes peu douées en mathématiques ont parfois du mal à trouver un travail. Certaines d'entre elles pourraient même souffrir de ce qu'on appelle la **dyscalculie de développement**. Par conséquent, comprendre ce qui se passe dans le cerveau quand on effectue un calcul peut être très utile pour les enfants qui ont des difficultés avec les mathématiques. Comprendre la raison de ces difficultés permet aux enseignants de structurer leurs cours de manière à permettre aux enfants d'apprendre plus facilement. Et bien sûr, être curieux de savoir comment les choses fonctionnent est toujours une raison suffisante pour mener une expérience!

## EXISTE-T-IL DIVERSES FAÇONS DE RÉSOUDRE UN PROBLÈME ARITHMÉTIQUE?

Pour étudier l'arithmétique, les enfants et les adultes sont généralement invités à résoudre des problèmes d'arithmétique aussi rapidement et précisément que possible. Les problèmes sont généralement présentés sur un écran d'ordinateur, l'un après l'autre (voir [Figure 1](#)). Une fois que le participant a répondu, le

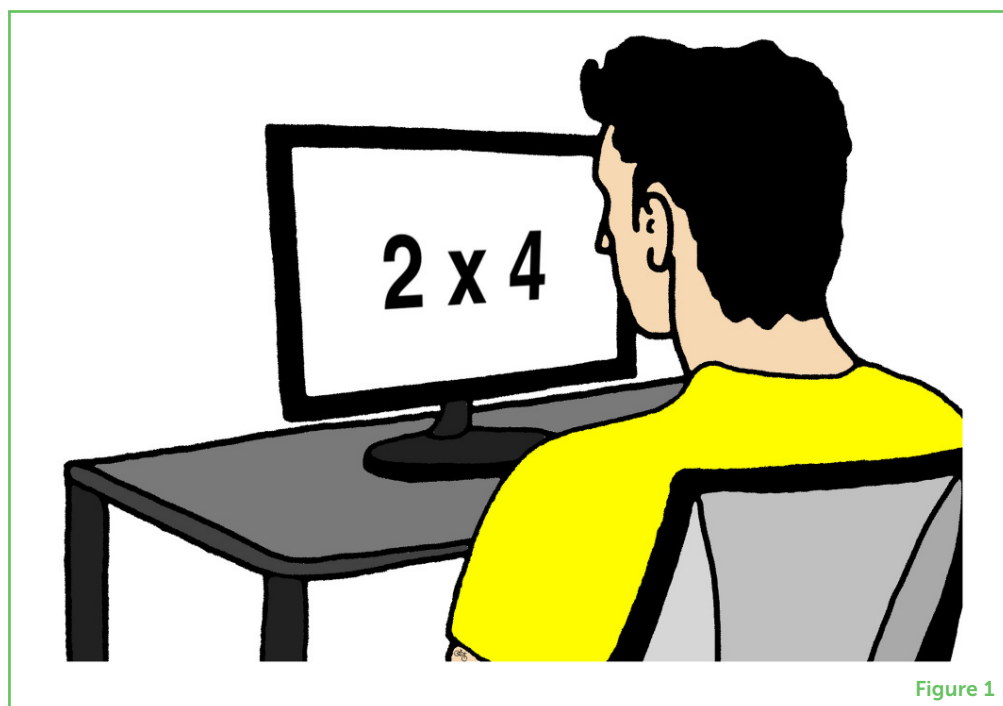


Figure 1

problème suivant apparaît. Pour étudier les différentes stratégies que nous utilisons en arithmétique, les scientifiques utilisent généralement un mélange de différentes opérations arithmétiques de difficulté variable.

En utilisant ces méthodes, les scientifiques ont découvert que les problèmes arithmétiques peuvent être divisés en deux catégories: les petits et les grands problèmes. Les petits problèmes sont résolus très rapidement et les participants font moins d'erreurs lors de la résolution de ces problèmes. Un bon exemple serait « $2 \times 4$ ». Les grands problèmes sont généralement plus difficiles à résoudre. Les participants mettent plus de temps à résoudre ces problèmes et font également plus d'erreurs. Un bon exemple serait « $12 \times 3$ ». Les scientifiques sont parfois en désaccord sur la façon dont on peut définir la limite entre les petits et les grands problèmes. La difficulté à résoudre un problème dépend de ton âge et de tes capacités. Cependant, les différences de vitesse et d'erreur entre les petits et les grands problèmes suggèrent que nous utilisons deux stratégies principales pour les résoudre [2].

La première stratégie, à savoir le calcul de la réponse, est souvent utilisée pour de grands problèmes. C'est ce qu'on appelle la stratégie procédurale, car trouver la réponse implique plusieurs étapes - ou plusieurs procédures. Par exemple, pour résoudre « $12 \times 3$ », tu peux diviser le problème en deux plus simples comme « $10 \times 3 = 30$ » et « $2 \times 3 = 6$ ». Ensuite, tu peux additionner les résultats pour obtenir la réponse: « $36$ ». Mais l'ajout d'étapes supplémentaires a ses inconvénients. Cela prend plus de temps et chaque étape augmente également le risque de faire des erreurs. Cependant, ce n'est pas la stratégie que tu utiliseras toujours pour résoudre ce même problème. Après l'avoir résolu plusieurs fois, la bonne réponse apparaîtra un jour dans ta tête. Cela montre que la façon dont tu résous ce problème a changé.

Tu utilises maintenant la deuxième stratégie: connaître la réponse par cœur - souvent appelée «recherche de faits». En pratiquant le même problème plusieurs fois, tu as stocké sa réponse dans ta mémoire à long terme. Le passage de l'utilisation de stratégies procédurales à l'utilisation de la recherche de faits est une étape importante dans le développement des capacités arithmétiques [3]. Au lieu de calculer la réponse, tu peux maintenant t'en souvenir. De plus, en devenant meilleur pour résoudre des problèmes plus faciles, tu deviens également meilleur pour résoudre des problèmes plus difficiles. Pour mieux comprendre ces changements, nous devons regarder à l'intérieur de notre cerveau pendant qu'il résout les problèmes d'arithmétique. Pour ce faire, les scientifiques utilisent différents outils, tels que **l'électroencéphalographie (EEG)** et **l'imagerie de résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)**, voir Figure 2).

### ÉLECTRO- ENCÉPHALOGRAPHIE (EEG)

Un outil de neuroscience pour mesurer les signaux électriques produits par le cerveau. Cette méthode peut nous dire avec une grande précision à quel moment les zones cérébrales effectuent une tâche spécifique.

### IMAGERIE DE RÉSONANCE MAGNÉTIQUE FONCTIONNELLE (IRMf)

Un outil pour mesurer les différences d'oxygène dans le cerveau. Parce que les zones actives ont besoin de plus d'oxygène lorsque nous effectuons une tâche, nous pouvons définir avec une grande précision les parties qui font le travail.

### Figure 2

Enfants participant à l'une de nos études d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf, à gauche) et d'électroencéphalographie (EEG, à droite). Ces deux outils permettent aux scientifiques d'étudier le cerveau pendant qu'il fonctionne.



Figure 2

## QUELLES ZONES DU CERVEAU SONT IMPLIQUÉES DANS LA RÉOLUTION DES PROBLÈMES ARITHMÉTIQUES?

Essayer de comprendre le fonctionnement du cerveau peut parfois donner l'impression que l'on est en train de résoudre un puzzle compliqué. Tout comme un puzzle qui est composé de différentes pièces, ton cerveau est composé de différentes zones cérébrales (voir Figure 3). Comprendre la fonction de chaque zone cérébrale te donnera une image plus claire de la façon dont elle s'intègre dans le puzzle.

### Figure 3

Dans cette figure, tu peux voir un certain nombre de zones cérébrales et une connexion qui sont importantes pour l'arithmétique. Deux d'entre elles se trouvent dans le cortex frontal (rouge) et deux dans le cortex pariétal (jaune). La façon dont elles fonctionnent ensemble lorsque tu calcules dépend de ton âge et de tes capacités. Une autre zone cérébrale importante, l'hippocampe, se trouve au centre même de ton cerveau et n'est donc pas visible.

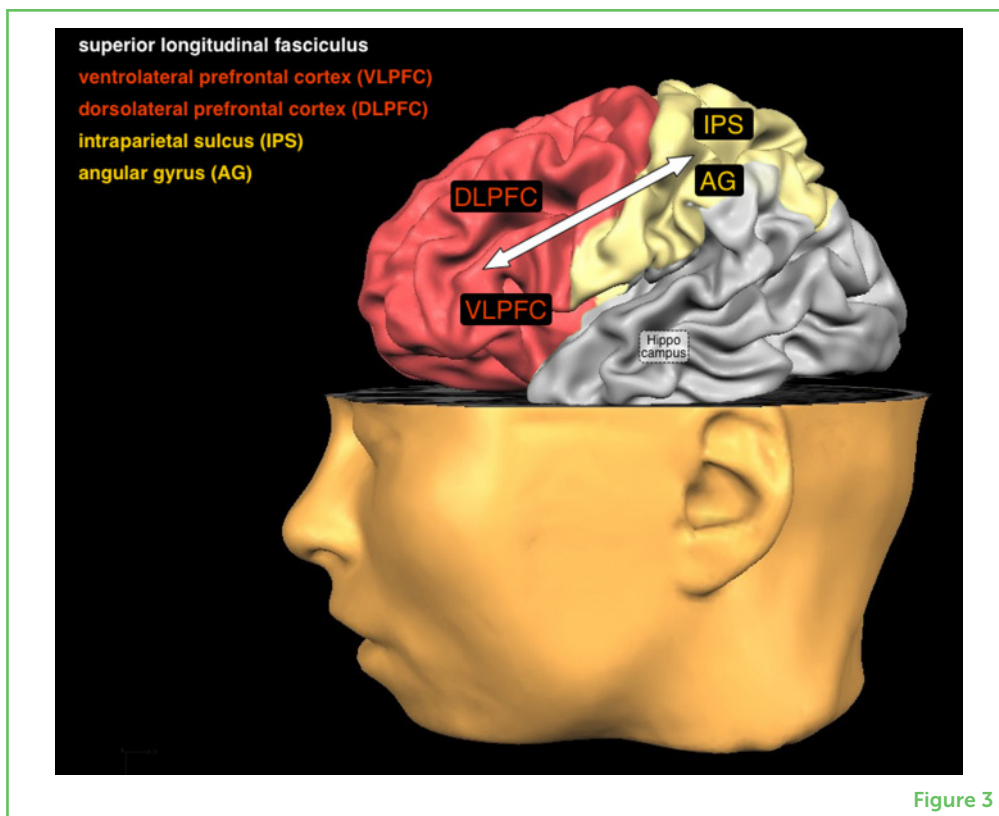


Figure 3

La première pièce du puzzle est le sillon intrapariétal. Il est situé dans le cortex pariétal et est chargé de comprendre la signification des nombres [4]. La première étape de la résolution d'un problème arithmétique est de comprendre la grandeur d'un nombre. Par exemple, tu dois savoir que «4 chiens» sont plus que «2 chiens». Tu dois également comprendre l'ordre des nombres (c'est-à-dire que «1» vient avant «2», que «2» vient avant «3», et ainsi de suite). Lors du calcul, tu utilises ta compréhension de la grandeur et de l'ordre pour trouver la bonne réponse.

Les pièces suivantes du puzzle impliquent trois zones cérébrales dans le cortex frontal. Le cortex préfrontal ventrolatéral travaille avec les régions du cortex pariétal pour atténuer les distractions, comme lorsque tu rêvasses à propos de ta prochaine balade à vélo avec tes amis. Le cortex préfrontal dorsolatéral est nécessaire pour manipuler les nombres, comme pour diviser un gros problème en étapes plus faciles. Il s'avère que le gyrus frontal inférieur joue un rôle important parce qu'il ignore les réponses similaires qui se trouvent être incorrectes [5].

Les dernières pièces de notre puzzle sont l'hippocampe et le gyrus angulaire. L'hippocampe est situé au plus profond de ton cerveau. Il joue un rôle important dans le stockage des faits arithmétiques [6]. L'hippocampe est le bouton «enregistrer» de ton cerveau. En matière de mathématiques, il fonctionne avec le cortex frontal pour t'aider à stocker les réponses aux problèmes arithmétiques sous forme de faits arithmétiques dans ta mémoire à long terme. Le gyrus angulaire est alors impliqué dans la recherche de ces faits lorsque tu résous des problèmes arithmétiques.

## COMMENT LA RÉOLUTION DES PROBLÈMES ARITHMÉTIQUES CHANGE-T-ELLE À MESURE QUE NOUS VIEILLISSONS?

As-tu déjà tenté d'assembler un puzzle difficile avec des amis? Si tel est le cas, vous avez probablement travaillé ensemble pour le résoudre. Ton cerveau fonctionne de la même manière. Différentes régions du cerveau travaillent ensemble lors de la résolution d'un problème. La dernière pièce de notre puzzle consiste à comprendre comment ces zones cérébrales fonctionnent ensemble lorsque tu effectues des calculs. Comme tu le sais maintenant, la façon dont tu résous les problèmes arithmétiques change à mesure que tu vieillis. Au lieu d'utiliser principalement des stratégies procédurales pour résoudre des problèmes d'arithmétique, tu commences à utiliser plus souvent la recherche de faits. Mais ce n'est pas la seule chose qui change. Les scientifiques ont découvert qu'au cours de ce processus, la manière dont les différentes **zones du cerveau** fonctionnent ensemble change également. Par exemple, lorsque tu es jeune, le cortex frontal joue

### ZONES DU CERVEAU

Le cerveau peut être divisé en quatre parties principales: le cortex frontal, le cortex pariétal, le cortex temporal et le cortex occipital. Chaque cortex contient des zones cérébrales ayant des fonctions uniques.



## MÉMOIRE DE TRAVAIL

Une fonction cruciale de ton cerveau. Semblable à la mémoire de travail d'un ordinateur, elle stocke des informations dans ton esprit afin de pouvoir les utiliser lorsque tu en as besoin.

un rôle très important. Il gère ta **mémoire de travail** et ton attention, car la façon dont tu résous les problèmes arithmétiques implique plusieurs étapes (stratégies procédurales). Lorsque tu vieillis et que tu commences à utiliser la recherche de faits, le rôle de ton cortex frontal change. Lorsque tu regardes le cortex frontal à l'aide de l'IRMf ou de l'EEG, tu peux voir qu'il devient moins actif à mesure que tu vieillis. Il est toujours impliqué dans le processus de recherche de la bonne réponse, mais il n'a pas à travailler aussi dur qu'avant. Peut-être as-tu vécu quelque chose de similaire en coopérant avec tes amis. Au début, l'un de vous devait peut-être garder un œil sur le progrès de chacun et donner des instructions sur la marche à suivre (semblable au cortex frontal). Après avoir résolu avec succès quelques énigmes ensemble, vous êtes en mesure de travailler ensemble sans avoir besoin de quelqu'un chargé de vérifier le progrès de chacun. Le rôle de l'hippocampe change également. Lors de la recherche des faits, il est plus actif chez les jeunes enfants que chez les adultes [7]. En effet, lorsque tu es jeune, l'hippocampe travaille toujours dur pour enregistrer les réponses aux problèmes d'arithmétique dans ta mémoire à long terme. En vieillissant, ton hippocampe doit travailler de moins en moins, car tu rencontres de moins en moins de nouvelles réponses à enregistrer.

Toutes les zones du cerveau travaillent ensemble en communiquant les unes avec les autres. Cette communication se produit sur un vaste réseau de voies (appelées «matière blanche») qui relie toutes les zones du cerveau. Ces réseaux sont similaires à la manière dont les routes relient différentes villes. L'une de ces routes dans le cerveau est appelée le fascicule longitudinal supérieur. Cette route relie le cortex préfrontal au cortex pariétal (où se trouve l'IPS) [8]. Parce que diverses régions du cerveau sont impliquées dans le processus de résolution de problèmes arithmétiques à certains moments de ta vie, les connexions entre ces régions changent également. Les scientifiques essaient toujours de comprendre pleinement comment et pourquoi ces connexions changent avec l'âge. Cela signifie que, même si nous en savons déjà beaucoup sur la façon dont tu résous les problèmes arithmétiques, nous devons faire davantage de recherches pour compléter le puzzle du cerveau calculateur.

## RÉCAPITULATIF

Même si à première vue cela s'apparente à un processus simple, la résolution d'un problème arithmétique implique de nombreuses étapes. Par ailleurs, plus nous vieillissons, plus nous utilisons des stratégies différentes pour résoudre ces problèmes d'arithmétique. Presque toutes les parties impliquées dans ton cerveau changent. Dans un premier temps, de nombreuses zones du cerveau travaillent ensemble pour résoudre un problème arithmétique. Certaines parties te permettent de rester concentré sur la tâche, d'autres en gardent une trace et mémorisent les résultats de tes calculs.



L'hippocampe enregistre le résultat correct dans ta mémoire à long terme. En vieillissant, tu n'as besoin que de quelques zones cérébrales spécialisées pour résoudre le même problème. Ton cerveau fonctionne maintenant très efficacement. La prochaine fois que tu feras tes devoirs de maths, prends une minute pour réfléchir à toutes les différentes zones du cerveau impliquées!

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier de tout cœur ceux qui ont aidé à la traduction des articles de cette collection pour les rendre plus accessibles aux enfants en dehors des pays anglophones, et la Fondation Jacobs pour avoir fourni les fonds nécessaires pour traduire les articles.

## RÉFÉRENCES

1. Bugden, S., and Ansari, D. 2014. When your brain cannot do  $2 + 2$ : a case of developmental dyscalculia. *Front. Young Minds* 2:8. doi: 10.3389/frym.2014.00008
2. Siegler, R. S. 1996. *Emerging Minds: The Process of Change in Children's Thinking*. New York, NY: Oxford University Press. doi: 10.5860/choice.34-5984
3. De Smedt, B. 2016. "Individual differences in arithmetic fact retrieval," in *Mathematical Cognition and Learning*, eds D. B. Berch, D. C. Geary, and K. M. Koepke (San Diego, CA: Academic Press). p. 219–43. doi: 10.1016/B978-0-12-801871-2.00009-5
4. Vogel, S. E., Goffin, C., and Ansari, D. 2015. Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: an fMR-adaptation study. *Dev. Cogn. Neurosci.* 12, 61–73. doi: 10.1016/j.dcn.2014.12.001
5. De Visscher, A., Vogel, S. E., Reishofer, G., Hassler, E., Koschutnig, K., De Smedt, B., et al. 2018. Interference and problem size effect in multiplication fact solving: individual differences in brain activations and arithmetic performance. *Neuroimage* 15:718–27. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.01.060
6. Qin, S., Cho, S., Chen, T., Rosenberg-Lee, M., Geary, D. C., and Menon, V. 2014. Hippocampal-neocortical functional reorganization underlies children's cognitive development. *Nat. Neurosci.* 17:1263–9. doi: 10.1038/nn.3788
7. Cho, S., Metcalfe, A. W. S., Young, C. B., Ryali, S., Geary, D. C., and Menon, V. 2012. Hippocampal–prefrontal engagement and dynamic causal interactions in the maturation of children's fact retrieval. *J. Cogn. Neurosci.* 24:1849–66. doi: 10.1162/jocn\_a\_00246
8. Matejko, A. A., and Ansari, D. 2015. Drawing connections between white matter and numerical and mathematical cognition: a literature review. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 1:35–52. doi: 10.1016/j.neubiorev.2014.11.006

**ÉDITEUR:** Sabine Peters

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Sok King Ong

**CITATION:** Koren N, Scheucher J et Vogel SE (2023) Combien font  $2 \times 4$ ? Comprendre comment le cerveau résout les problèmes arithmétiques. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00048-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Koren N, Scheucher J and Vogel SE (2020) How Much Is  $2 \times 4$ ? Understanding How the Brain Solves Arithmetic Problems. *Front. Young Minds* 8:48. doi: 10.3389/frym.2020.00048

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Koren, Scheucher et Vogel. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### DR. H. BAVINCKSCHOO, ÂGES: 8–12

Nous sommes quatre classes de l'école Bavinckschool à Haarlem, aux Pays-Bas. Nous sommes en tout 40 enfants qui ont envie d'apprendre un peu plus que le programme scolaire normal. Nous avons pris un énorme plaisir à vérifier des articles pour FYM: nous les avons lus avec beaucoup de concentration et d'enthousiasme, et en avons fait une évaluation critique. Nous avons vraiment aimé pouvoir contribuer à la science en donnant ce coup de main!



### LIJIA, ÂGE: 12

Lijia est une lectrice assidue. Depuis qu'elle est petite, elle lit toute seule la plupart des livres qu'elle peut trouver à la bibliothèque ou à la maison, y compris de gros romans. Elle est curieuse de la vie et du fonctionnement des êtres humains. Elle suit actuellement des cours de niveau de 4ème dans une école internationale en Asie du Sud-Est.



## AUTEURS

### NIKOLAUS KOREN

Je suis étudiant en troisième cycle à l'université de Graz, en Autriche, où je suis actuellement en train de terminer ma Maîtrise en psychologie avec une spécialisation sur les neurosciences cognitives. Ma thèse de Maîtrise porte sur les corrélats électrophysiologiques de la résolution de problèmes arithmétiques chez les enfants. Je pense qu'il est important de communiquer les résultats scientifiques en dehors de son propre domaine de recherche. Quand je ne suis pas dans le laboratoire, j'explore la nature avec des amis à pied ou à vélo.



**JUDITH SCHEUCHER**

Je suis une étudiante de troisième cycle à l'université de Graz, en Autriche, où j'étudie la psychologie avec une spécialisation en neurosciences cognitives. Pour ma thèse de Maîtrise, j'utilise l'électroencéphalographie (EEG) afin d'étudier la résolution de problèmes arithmétiques chez les enfants. À l'avenir, j'ai l'intention de poursuivre un doctorat dans le domaine des neurosciences et de continuer à travailler dans ce domaine fascinant. Mon temps libre est principalement consacré à jouer de la musique dans un groupe, à apprendre à jouer de nouveaux instruments de musique et à lire des tonnes de romans policiers nordiques.

**STEPHAN E. VOGEL**

Je suis professeur assistant à l'Institut de psychologie de l'Université de Graz. Mes recherches se concentrent sur le développement du cerveau humain. Je suis particulièrement intéressé par la manière dont les réseaux du cerveau et ses fonctions changent à mesure que nous vieillissons. Pour étudier ces processus, j'utilise différents outils neuroscientifiques tels que l'électroencéphalographie (EEG) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Je travaille et interagis également avec les enseignants pour les aider à mieux comprendre comment le cerveau de l'enfant apprend. Pendant mon temps libre, j'aime faire de l'alpinisme et du ski dans les belles montagnes d'Autriche. \*[stephan.vogel@uni-graz.at](mailto:stephan.vogel@uni-graz.at)

† Ces auteurs ont contribué à parts égales à ce travail.

**French version provided by**

Version Française fournie par





## L'IMPORTANCE DE LA PENSÉE SPATIALE DANS L'APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES

**Katie A. Gilligan\***

École de Psychologie, Université de Surrey, Guildford, Royaume-Uni

JEUNE  
EXAMINATEUR:



GONI  
ÂGE: 11

La pensée spatiale, ou raisonnement spatial, est ce qui te permet de percevoir l'emplacement et la dimension des objets, ainsi que la façon dont différents objets sont en relation les uns avec les autres. Elle te permet également de visualiser et de manipuler des objets et des formes dans ta tête. La pensée spatiale est non seulement très importante pour toutes sortes de tâches quotidiennes, mais de récentes recherches montrent qu'elle joue un rôle essentiel dans l'apprentissage des mathématiques. Les enfants et les adolescents qui réussissent bien dans les tâches spatiales ont également de bons résultats en mathématiques. On sait que certaines des zones cérébrales utilisées dans la pensée spatiale sont également activées lorsque l'on fait des mathématiques. La bonne nouvelle, c'est que de nombreuses études ont montré que l'on pouvait améliorer sa pensée spatiale en s'entraînant. Cela signifie que le fait de pratiquer des jeux spatiaux et des activités spatiales peut améliorer tes performances spatiales. Dans le présent article, nous allons examiner ces différents moyens, ainsi que les éléments prouvant que l'entraînement spatial peut également améliorer tes performances en mathématiques.

## PENSÉE SPATIALE

C'est la façon dont notre cerveau traite la position et la forme de différents objets.

## MATHÉMATIQUES

Matière relative aux nombres et aux quantités.

## INTRODUCTION

Comment sais-tu de quelle manière tu dois organiser des objets, par exemple pour faire ta valise ou classer tes livres dans ton cartable? Comment sais-tu mettre chacune de tes chaussures au bon pied et boutonner correctement ta chemise? Comment es-tu capable de trouver ton chemin dans un centre commercial et comment sais-tu ce que tu dois faire si tu es descendu du bus au mauvais arrêt? Toutes ces tâches reposent sur des capacités de raisonnement spatial. Sans même nous en apercevoir, nous faisons appel à ces capacités des centaines de fois par jour. Et au-delà des activités les plus quotidiennes, la plupart des gens, y compris les enseignants, ne se rendent pas compte combien la **pensée spatiale** peut influencer sur ta réussite scolaire, tout particulièrement en cours de **mathématiques**. Alors, qu'est-ce que la pensée spatiale, et peut-on devenir expert ou experte en raisonnement spatial?

## COMMENT MESURE-T-ON LA PENSÉE SPATIALE?

Nous utilisons la pensée spatiale pour percevoir l'emplacement (la position) et les dimensions (longueur, taille, etc.) des objets, ainsi que la façon dont ils sont en relation les uns avec les autres. Il est important de comprendre que la pensée spatiale n'est pas une compétence unique, mais un ensemble de compétences diverses. Nous décrivons ci-dessous certaines des principales compétences spatiales, et les tests que les scientifiques utilisent pour les mesurer.

### Rotation mentale

La rotation mentale nous permet de faire tourner des images en pensée. Si tu veux essayer, ferme les yeux et imagine un objet – par exemple une voiture. Maintenant, peux-tu imaginer à quoi ressemblerait cette voiture si elle était renversée? Pour y parvenir, tu dois faire appel à la rotation mentale. La **Figure 1** illustre un test de rotation mentale. Peux-tu déterminer laquelle des deux images du bas est identique à celle du haut? Pour y parvenir, il te faut faire tourner les vaches dans ta tête. Tu pourras alors dire que la vache de gauche est identique à celle du haut, alors que tu pourras tourner autant que tu veux la vache de droite, elle sera toujours orientée dans la mauvaise direction. Pour faire ce test, il faut effectuer une rotation mentale. Et il est non seulement possible de faire tourner des objets dans notre tête, mais nous sommes également capables d'imaginer à quoi ressemblerait un objet s'il était cassé en deux, recourbé ou plié.

### La perception figure/fond

Les compétences de perception figure/fond sont les aptitudes spatiales nécessaires pour distinguer un objet ou une image d'un arrière-plan plus complexe. Elles nous permettent de comprendre comment des structures complexes sont constituées de parties

**Figure 1**

Exemple de tâche de rotation mentale.

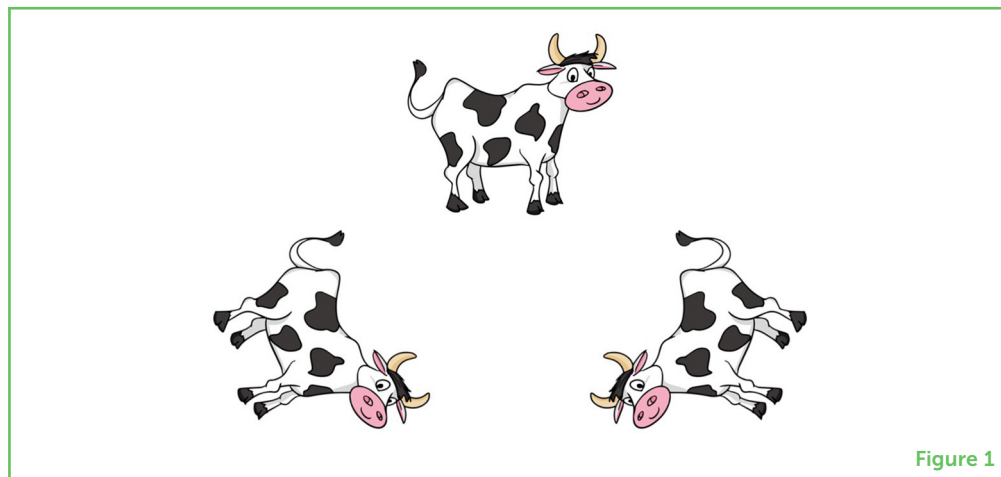


Figure 1

distinctes. La **Figure 2** en est une illustration très simple: dans l'image complexe, arrives-tu à trouver la forme correspondant à la forme orange?

**Figure 2**

Exemple de tâche de perception figure/fond.

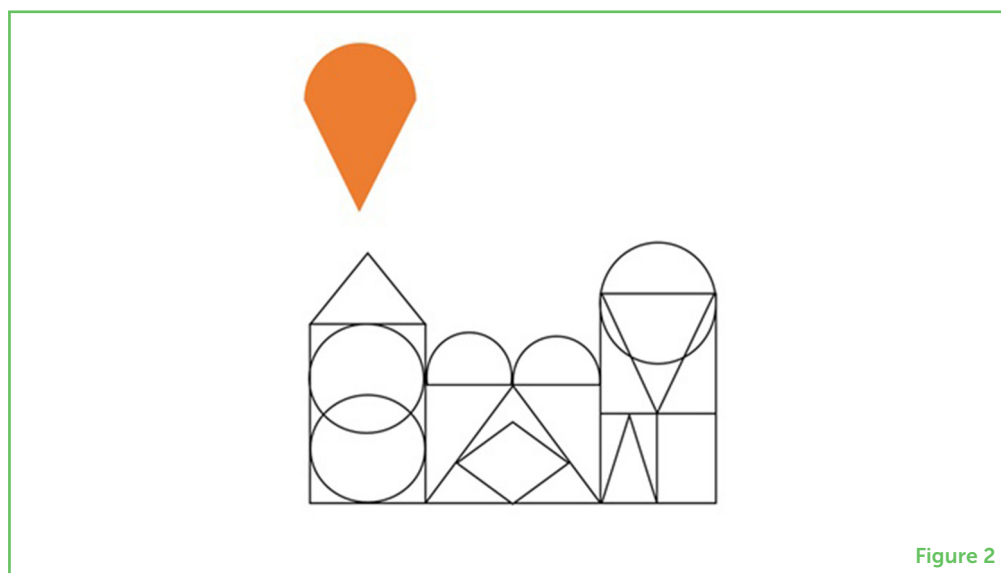


Figure 2

**MISE À L'ÉCHELLE SPATIALE**

La mise à l'échelle spatiale est la capacité à transformer des informations entre des représentations de différentes tailles. Une mise à l'échelle spatiale sera par exemple nécessaire pour te permettre de comprendre que l'image du parc que tu vois sur la carte affichée sur l'écran de ton smartphone représente le même parc que celui dans lequel tu te trouves. Nous faisons également appel à cette capacité lorsque nous assemblons un meuble en kit en suivant les instructions d'une feuille de papier illustrée de petits croquis. Pour construire, disons une armoire, on doit être capable de comprendre que le petit dessin d'une porte d'armoire sur le croquis représente la porte grandeur nature que l'on a déballée et que l'on doit maintenant



monter. Dans chaque image de la **Figure 3**, il y a un ballon placé entre deux arbres. Parmi les deux images du bas, laquelle est identique à celle du haut? Tu remarqueras que les deux images du bas ne sont pas de la même taille que celle du haut. Autrement dit, il faut utiliser la mise à l'échelle spatiale pour pouvoir les comparer (la bonne réponse est l'image de gauche).

### Figure 3

Exemple de tâche de mise à l'échelle spatiale.

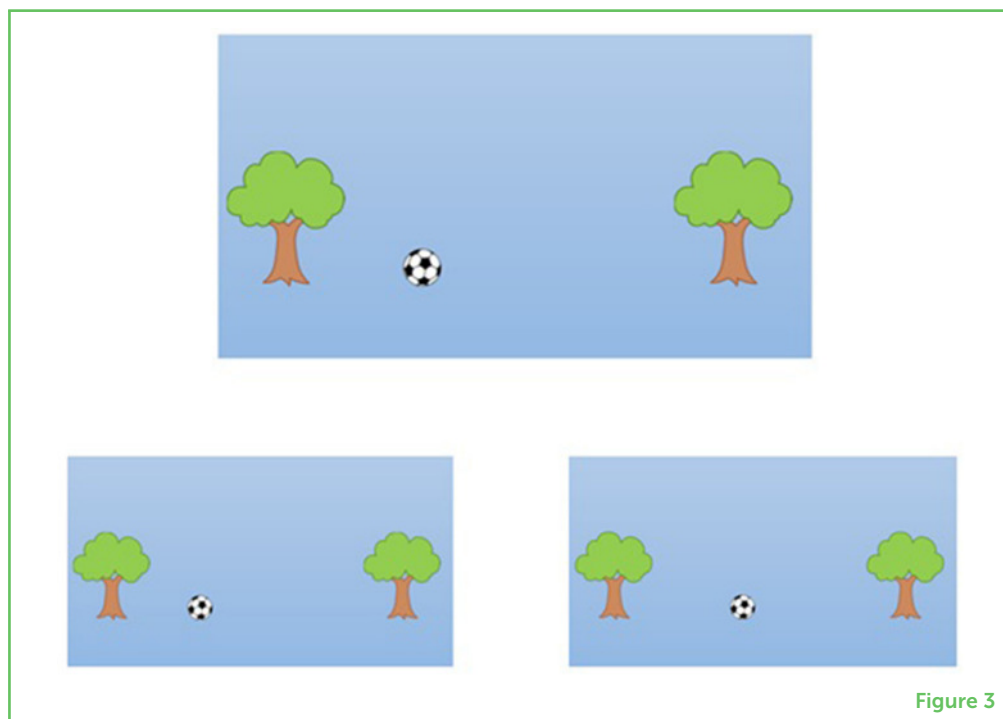


Figure 3

### Orientation

Les compétences en matière d'orientation nous sont essentielles pour nous déplacer dans nos environnements et nous amener là où nous devons aller. Pour s'orienter correctement, il faut être capable de comprendre les relations entre les bâtiments, d'utiliser des points de repère, d'imaginer à quoi ressemblent les rues ou les bâtiments sous un angle différent, de mémoriser des itinéraires et de comprendre la disposition de son environnement.

### LA PENSÉE SPATIALE EST IMPORTANTE À L'ÉCOLE COMME AU TRAVAIL

Au-delà de son importance évidente dans la vie quotidienne, la pensée spatiale joue également un rôle non négligeable dans ta réussite scolaire, notamment en ce qui concerne les cours de mathématiques. En effet, les personnes douées pour les tâches de raisonnement spatial obtiennent également des scores élevés aux épreuves de mathématiques, et ce, quel que soit leur âge. Une étude a ainsi montré que les bébés les plus doués dans le maniement des blocs de construction étaient également les plus performants pour compter et connaître les nombres [1]. Pour les enfants du

primaire, de nombreuses études ont montré que différents types de raisonnement spatial étaient importants pour résoudre différentes tâches mathématiques [2]. Ainsi, les enfants performants en mise à l'échelle spatiale sont également doués pour positionner des nombres sur une ligne de chiffres, et ceux qui sont bons en rotation mentale réussissent mieux dans les tâches de calcul comportant des nombres manquants comme  $3 + \square = 5$ . Pour les adultes, avoir de bonnes compétences spatiales est essentiel dans certains emplois. Par exemple, les ingénieurs ont besoin de compétences spatiales pour visualiser la structure d'un pont ou d'un bâtiment, les géologues pour pouvoir s'orienter dans un paysage, les médecins pour faire des injections au bon endroit et de la bonne manière, mais aussi pour lire correctement les radios, les biologistes pour comprendre comment les aliments se déplacent dans les différentes parties de notre système digestif, etc. Des recherches ont montré qu'une fois adultes, les personnes qui avaient de bonnes compétences spatiales à l'adolescence étaient plus susceptibles d'occuper des emplois dans des domaines scientifiques, technologiques, mathématiques ou d'ingénierie.

## ET SI LES TÂCHES SPATIALES NE SONT PAS MON FORT?

La bonne nouvelle est que si tu n'as pas de facilité particulière pour les activités spatiales, ce n'est pas une raison de t'inquiéter. La pensée spatiale est une compétence cognitive qui semble répondre particulièrement bien à l'entraînement. De nombreuses études ont été menées sur l'amélioration des capacités spatiales grâce à différents types d'**entraînement cognitif**. Notons ici que lorsque les scientifiques cognitifs (les personnes qui font des recherches sur le cerveau) utilisent les mots «entraînement» ou «exercice», ils parlent généralement de pratique – pas de sport. Ainsi, l'«entraînement spatial» implique généralement des tâches faisant appel à du papier et à des crayons, à des jeux spatiaux sur ordinateur ou à des activités spatiales comme construire des structures avec des blocs. De nombreuses études ont montré qu'en pratiquant, on pouvait améliorer son raisonnement spatial [3].

Et voici une nouvelle encore meilleure: des recherches récentes ont montré que lorsqu'on améliore sa pensée spatiale, on améliore également ses résultats en mathématiques! Lorsque le fait d'entraîner une de ses compétences conduit à en améliorer une autre, cela s'appelle un transfert. Des études portant sur d'autres types de raisonnement montrent qu'il est très difficile de transférer les bienfaits d'un exercice cérébral vers des compétences non entraînées. (Tu trouveras des informations sur d'autres types d'entraînement cérébral et sur leur efficacité [ici](#) [7]). Par conséquent, l'entraînement au raisonnement spatial, dont les résultats peuvent être transférés à d'autres compétences,

### ENTRAÎNEMENT COGNITIF

C'est le fait d'entraîner des capacités de réflexion spécifiques dans le but de les améliorer.

par exemple mathématiques, est un phénomène rare et donc précieux.

Des recherches que j'ai moi-même menées récemment ont montré que des enfants obtenaient de meilleurs résultats à une épreuve de mathématiques après avoir regardé une petite vidéo sur la pensée spatiale [4]. D'autres chercheurs ont également montré que la pratique d'un type de puzzle, le tangram, mais aussi d'autres jeux spatiaux, pouvait améliorer les compétences en mathématiques [5]. Malheureusement, le raisonnement spatial n'est généralement pas enseigné dans les écoles. Mais il existe de nombreuses façons très simples de t'y entraîner dans ta vie quotidienne et à l'école. Par exemple utiliser plus de diagrammes et de graphiques pour t'aider lorsque tu apprends de nouveaux sujets à l'école, te servir d'un langage plus spatial comprenant par exemple des mots comme ci-dessus, sur, autour, à travers, parallèle, symétrique, etc., faire des gestes lorsque tu expliques des idées complexes à tes amis ou à tes frères et sœurs plus jeunes, t'entraîner à construire des choses avec des blocs ou des Lego, faire des puzzles, assembler des meubles... et même emballer des cadeaux! Il se peut par ailleurs que certains jeux vidéo comme Minecraft (où les joueurs doivent utiliser des blocs en 3D pour construire des bâtiments ou des villes), ainsi que les jeux où les joueurs doivent s'orienter dans des labyrinthes ou des espaces inconnus, permettent également d'améliorer la pensée spatiale.

## **MAIS POURQUOI LA PENSÉE SPATIALE EST-ELLE IMPORTANTE EN MATHÉMATIQUES?**

Nous, les chercheuses et chercheurs, n'avons pas encore réussi à comprendre pourquoi les compétences spatiales et mathématiques étaient liées – et donc pourquoi les personnes douées pour la pensée spatiale l'étaient aussi pour les mathématiques.

Il existe plusieurs hypothèses possibles. L'une d'entre elles serait que nous utilisons les mêmes zones du cerveau pour les tâches spatiales et pour les mathématiques. Pour voir quelles parties du cerveau sont activées (allumées) pour tel ou tel type d'activité, on fait appel à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Cette technique utilise un scanner qui montre quelles parties du cerveau sont actives à différents moments. Elle peut donc montrer quelle zone cérébrale s'allume (s'active) lorsque la personne examinée réalise une tâche mathématique. Or, des recherches ont montré que certaines compétences spatiales reposaient sur la même zone du cerveau que certaines compétences mathématiques – le lobe pariétal [6]. Cela signifie que les programmes d'apprentissage qui font appel à la pensée spatiale pourraient renforcer dans cette partie du cerveau les connexions entre les neurones (qui sont les cellules du cerveau),

ce qui serait utile à la fois pour la pensée spatiale et pour les mathématiques!

## CONCLUSION

La prochaine fois que tu essaies de mettre autant de vêtements que possible dans ta valise ou que tu suis attentivement la carte sur l'écran de ton téléphone, rappelle-toi à quel point tes capacités spatiales sont précieuses – peut-être même plus que les compétences en alphabétisation et en calcul, car elles ont un impact énorme sur la façon dont tu te déplaces et dont tu fonctionnes au quotidien. De plus, comme le suggère cet article, entraîner ta pensée spatiale pourrait également améliorer tes compétences en mathématiques. Alors, développons tous notre pensée spatiale!

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires à cette traduction.

## ARTICLE SOURCE ORIGINAL

Gilligan, K. A., Hodgkiss, A., Thomas, M. S., and Farran, E. K. 2019. The developmental relations between spatial cognition and mathematics in primary school children. *Dev. Sci.* 22:e12786. doi: 10.1111/desc.12786

## RÉFÉRENCES

1. Verdine, B. N., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., Newcombe, N. S., Filipowicz, A. T., and Chang, A. 2014. Deconstructing building blocks: preschoolers' spatial assembly performance relates to early mathematical skills. *Child Dev.* 85:1062–76. doi: 10.1111/cdev.12165
2. Mix, K. S., Levine, S. C., Cheng, Y.-L., Young, C., Hambrick, D. Z., Ping, R., et al. 2016. Separate but correlated: the latent structure of space and mathematics across development. *J. Exp. Psychol. Gen.* 145:1206–27. doi: 10.1037/xge0000182
3. Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., et al. 2013. The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychol. Bull.* 139:352–402. doi: 10.1037/a0028446
4. Gilligan, K. A., Thomas, M. S. C., and Farran, E. K. 2019. First demonstration of effective spatial training for near-transfer to spatial performance and far-transfer

- to a range of mathematics skills at 8 years. *Dev. Sci.* e12909. doi: 10.1111/de.sc.12909
5. Cheng, Y. L., and Mix, K. S. 2014. Spatial training improves children's mathematics ability. *J. Cogn. Dev.* 15:2-11. doi: 10.1080/15248372.2012.725186
  6. Hawes, Z., Moriah Sokolowski, H., Ononye, C. B., and Ansari, D. 2019. Neural underpinnings of numerical and spatial cognition: An fMRI meta-analysis of brain regions associated with symbolic number, arithmetic, and mental rotation. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 103:316–33. doi: 10.1016/j.neubiorev.2019.05.007
  7. Goffin, C., and Ansari, D. 2018. Can brain training train your brain? Using the scientific method to get the answer. *Front. Young Minds* 6:26. doi: 10.3389/frym.2018.00026

**ÉDITEUR:** [Stephan E. Vogel](#)

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** [Elizabeth Johnson](#)

**CITATION:** Gilligan KA (2023) L'importance de la pensée spatiale dans l'apprentissage des mathématiques. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00050-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Gilligan KA (2020) Make Space: The Importance of Spatial Thinking for Learning Mathematics. *Front. Young Minds* 8:50. doi: 10.3389/frym.2020.00050

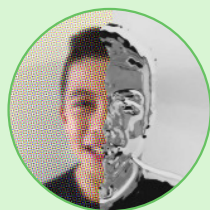
**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Gilligan. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNE EXAMINATEUR

### GONI, ÂGE: 11

J'aime lire, jouer à des jeux vidéo et faire du sport. Je joue au football, au basketball, et j'aime aussi l'escrime et la course de fond. Mes plats préférés sont le pho et les sushis. J'aime l'histoire, la géographie et étudier les animaux. Je joue du piano. Je parle hébreu, anglais et j'apprends le chinois. Je viens de rentrer aux États-Unis après 1 an en Israël.





## AUTEUR

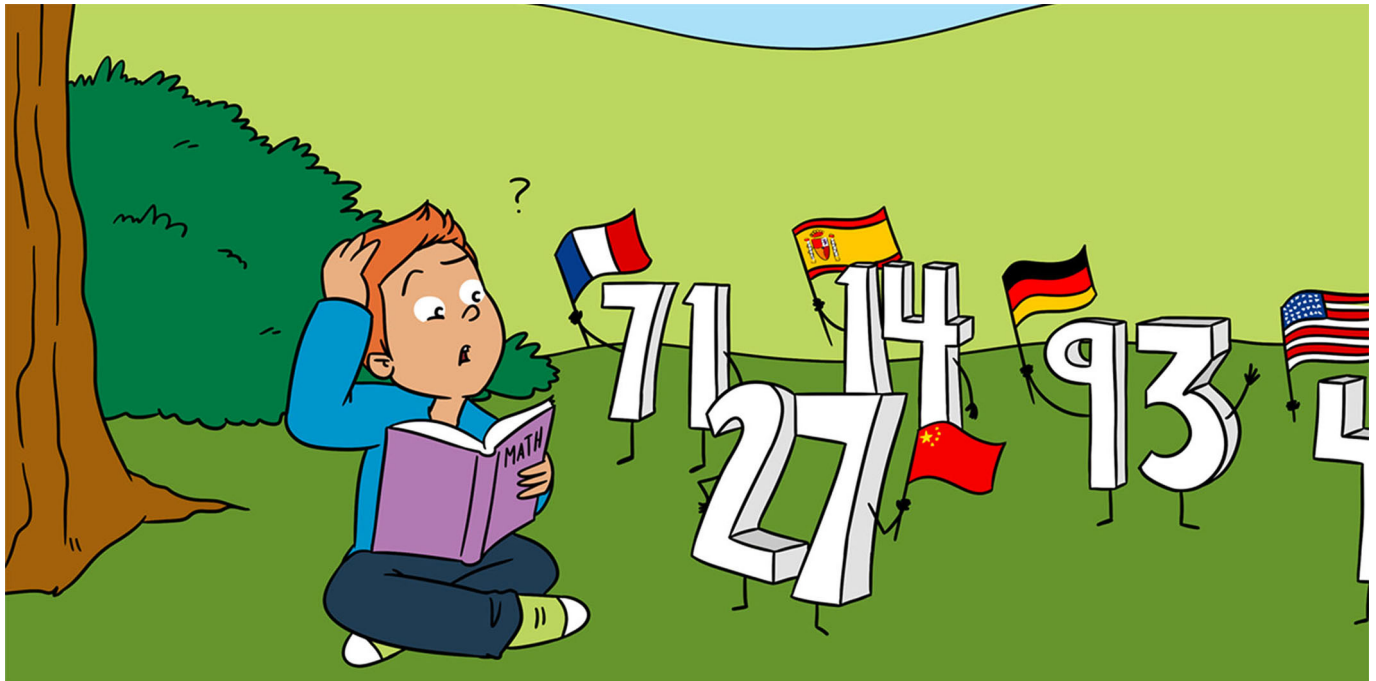
### KATIE A. GILLIGAN

Ma recherche a pour but de comprendre comment les enfants apprennent les mathématiques, et en particulier quel est le rôle de la pensée spatiale dans la réussite en mathématiques. Je m'intéresse au développement de différents moyens d'entraînement permettant d'améliorer les compétences mathématiques des enfants à l'école, par exemple jouer à des jeux informatiques qui utilisent des formes et font appel à la pensée spatiale, regarder des vidéos qui enseignent des stratégies spatiales, jouer avec des éléments à manipuler comme des blocs de construction ou des Lego. \*[k.gilligan@surrey.ac.uk](mailto:k.gilligan@surrey.ac.uk)

**French version provided by**  
Version Française fournie par







## QUARANTE-DEUX OU DEUX ET QUARANTE: APPRENDRE LES MATHÉMATIQUES DANS DIFFÉRENTES LANGUES

Julia Bahnmüller<sup>1,2,3\*</sup>, Hans-Christoph Nuerk<sup>2,4</sup> et Krzysztof Cipora<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Centre de cognition mathématique, Université de Loughborough, Loughborough, Royaume-Uni

<sup>2</sup>LEAD Graduate School & Research Network, Université de Tübingen, Tübingen, Allemagne

<sup>3</sup>Laboratoire de plasticité neurocognitive, Institut des sciences Leibniz, Tübingen, Allemagne

<sup>4</sup>Département de psychologie, Université de Tübingen, Tübingen, Allemagne

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



THE  
BOMBAY  
INTER  
NATIONAL  
SCHOOL

ÂGES: 13–14



BRIDGET  
ÂGE: 11



SIENA  
ÂGE: 10

La pratique des mathématiques simples semble être un exercice courant.  $2 + 2$  font 4 en France et en Chine.  $7 \times 8$  est égal à 56 aux États-Unis d'Amérique et en Allemagne. Certes, nous utilisons tous les mêmes symboles pour écrire les nombres (1, 2, 3, 4, ...), mais nous employons d'autres mots pour ces derniers, simplement parce que nous parlons des langues différentes. Dans le présent article, nous donnerons des exemples de nombres en lettres dans différentes langues. Nous montrerons aussi comment les nombres avec plusieurs chiffres sont construits et comment ils peuvent faciliter ou compliquer l'apprentissage des mathématiques et la gestion des grands nombres.

<sup>1</sup> "Maths" est l'abréviation de mathématiques utilisée au Royaume-Uni. Aux États-Unis d'Amérique, on utilise "math".

<sup>2</sup> Le «x» dans  $7 \times 8$  est un symbole de multiplication. Cependant, on utilise aussi «·» ( $7 \cdot 8$ ) ou «\*» ( $7 * 8$ ).

### SYSTÈME DE NUMÉROTATION INDO-ARABE

C'est un ensemble de symboles employés dans la plupart des pays pour écrire les nombres. Le Système de numérotation indo-arabe utilise exactement 10 symboles: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, et 0. Ces dix symboles servent à écrire des nombres à un seul chiffre et nous les combinons pour obtenir des nombres à plusieurs chiffres.

### LA RÈGLE DE LA VALEUR DE POSITION

C'est une règle qui nous permet d'écrire autant de nombres que nous souhaitons avec les 10 symboles que nous connaissons déjà (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 0). Elle implique que la valeur d'un chiffre est connue lorsqu'on regarde sa position dans un nombre à plusieurs chiffres. Par exemple, dans 92, la valeur de 9 est 90 ( $9 \times 10$ ) et celle de 2 est 2 ( $2 \times 1$ ) alors que dans 29 c'est le contraire: la valeur de 9 est 9 ( $9 \times 1$ ) et celle de 2 est 20 ( $2 \times 10$ ). Par conséquent,

## LES NOMBRES ET LES MATHÉMATIQUES SONT UNIVERSELS

La pratique des mathématiques simples<sup>1</sup> semble être un exercice courant que tout le monde fait. Même les très jeunes enfants le font avant d'aller à l'école, par exemple lorsqu'ils comptent des billes. Cette réalité s'applique aussi aux calculs:  $2 + 2 = 4$  en France et en Chine.  $7 \times 8 = 56$  aux États-Unis et en Allemagne.<sup>2</sup> La plupart des pays utilisent le **système de numérotation indo-arabe** pour écrire les nombres. Ce système utilise dix symboles auxquels tu es probablement habitué: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 0. Ces dix symboles servent à écrire des nombres à un seul chiffre et nous les combinons pour obtenir des nombres à plusieurs chiffres.

Les nombres à plusieurs chiffres obéissent à **la règle de la valeur de position**, qui nous permet d'écrire autant de nombres que nous souhaitons avec les dix symboles que nous connaissons déjà.

La règle de la valeur de position signifie que l'on ne peut déterminer la valeur d'un chiffre qu'en fonction de sa place dans un nombre à plusieurs chiffres. Par exemple, la valeur de 9 dans 92 est 90 ( $9 \times 10$ ) et celle de 2 dans 92 est 2 ( $2 \times 1$ ). Toutefois, dans 29 c'est le contraire: la valeur de 9 est seulement 9 ( $9 \times 1$ ) et celle de 2 est 20 ( $2 \times 10$ ). C'est pourquoi 92 est différent de 29, même si les deux nombres sont le résultat d'une combinaison des mêmes chiffres.

Avoir les mêmes règles et les mêmes symboles est important, car cela permet de mieux aborder les nombres et les calculs. Cela revient presque à dire qu'il existe un seul langage mathématique dans le monde et que s'instruire en mathématiques dans un pays est suffisant pour comprendre les mathématiques n'importe où ailleurs. Où que tu sois,  $2 + 2 = 4$ .

## LES LANGUES NOMMENT LES NOMBRES DIFFÉREMMENT, CE QUI PEUT FACILITER OU COMPLIQUER L'APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES

Un seul petit problème se pose. Certes nous utilisons presque tous les mêmes symboles pour écrire les nombres, mais nous employons des mots différents pour ces derniers parce que nous parlons des langues différentes. Le **Tableau 1** présente des exemples de nombres en lettres de 1 à 10 dans différentes langues. Comme tu peux le constater, ils diffèrent considérablement d'une langue à une autre, tout comme la plupart des autres mots. La connaissance des nombres de 1 à 10 et de leurs sens dans une langue constituent l'une des premières et des plus importantes étapes dans l'apprentissage des mathématiques. Toutefois, apprendre dix nombres en lettres est aussi difficile pour les

92 est différent de 29, même si les deux nombres sont le résultat d'une combinaison des mêmes chiffres.

### Tableau 1

Nombres en lettres dans différentes langues. Pas d'inquiétude, tu n'as pas besoin de les examiner tous en détail. Regarde juste ceux qui sont écrits en bleu, car ils ont quelque chose de spécial par rapport aux nombres en mandarin, qui sont très réguliers. Tu peux également voir la traduction des nombres à deux chiffres en anglais. La construction de ces nombres est assez compliquée. Si tu veux savoir comment les prononcer, regarde sur internet. Pour le mandarin, l'anglais, l'allemand et l'hindou, rends-toi sur [bing.com/translator](https://www.bing.com/translator) et écris le nombre en question. Pour le basque, regarde ces vidéos Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=6eb0J4Vg5ys&feature> (nombres de 1 à 19), <https://www.youtube.com/watch?v=wPbYCBzsw2A&feature> (nombres de 20 à 39).

enfants qui parlent plusieurs langues. Finalement, ils doivent apprendre dix nouveaux nombres, voire onze si nous considérons 0 et 10.

|     | Mandarin                       | English                         | French                | German                                       | Basque  | Hindi                                   |     |
|-----|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--|---|---|-----|
| 0   | ling                           | zero                            | zéro                  | null   | zero, hutsa   | shuniye                                 | 0   |
| 1   | yi                             | one                             | un                    | eins   | bat   | ek                                      | 1   |
| 2   | èr                             | two                             | deux                  | zwei   | bi  | do                                      | 2   |
| 3   | sān                            | three                           | trois                 | drei   | hiru  | teen                                    | 3   |
| 4   | si                             | four                            | quatre                | vier   | lau   | chat                                    | 4   |
| 5   | wǔ                             | five                            | cinq                  | fünf   | bost  | panch                                   | 5   |
| 6   | liù                            | six                             | six                   | sechs  | sei   | chekh                                   | 6   |
| 7   | qi                             | seven                           | sept                  | sieben                                       | zazpi   | saat                                    | 7   |
| 8   | bā                             | eight                           | huit                  | acht   | zortzi  | aath                                    | 8   |
| 9   | jiǔ                            | nine                            | neuf                  | neun   | bederatzi   | nao                                     | 9   |
| 10  | shí                            | ten                             | dix                   | zehn   | hamar   | das                                     | 10  |
| 11  | shí yī<br>[dix un]             | <b>eleven</b><br>[onze]         | <b>onze</b>           | <b>elf</b><br>[onze]                         | hamaika<br>[dix un]                                       | <b>gyarah</b><br>[un dix]               | 11  |
| 12  | shí èr<br>[dix deux]           | <b>twelve</b><br>[douze]        | <b>douze</b>          | <b>zwölf</b><br>[douze]                      | hamabi<br>[dix deux]                                      | <b>baarah</b><br>[deux dix]             | 12  |
| 13  | shí sān<br>[dix trois]         | <b>thirteen</b><br>[trois dix]  | <b>treize</b>         | <b>dreizehn</b><br>[trois dix]               | hamahiru<br>[dix trois]                                   | tehrah<br>[treize]                      | 13  |
| 16  | shí liù<br>[dix six]           | <b>sixteen</b><br>[six dix]     | <b>seize</b>          | <b>sechzehn</b><br>[six dix]                 | hamasei<br>[dix six]                                      | <b>saulah</b><br>[seize]                | 16  |
| 17  | shí qī<br>[sept dix]           | <b>seventeen</b><br>[sept dix]  | dix-sept              | <b>siebzehn</b><br>[sept dix]                | hamazazpi<br>[dix sept]                                   | satrah<br>[dix-sept]                    | 17  |
| 20  | èr shí<br>[deux dix]           | twenty<br>[vingt]               | vingt                 | zwanzig<br>[vingt]                           | hogeī<br>[vingt]  | bees<br>[vingt]                         | 20  |
| 21  | èr shí yī<br>[deux dix un]     | twenty-one<br>[vingt un]        | vingt et un           | <b>einundzwanzig</b><br>[un et vingt]        | hogeita bat<br>[vingt et un]                              | <b>ikis</b><br>[un et vingt]            | 21  |
| 29  | èr shí jiǔ<br>[deux dix neuf]  | twenty-nine<br>[vingt neuf]     | vingt-neuf            | <b>neunundzwanzig</b><br>[neuf et vingt]     | hogeita<br>bederatzi<br>[vingt et neuf]                   | <b>unatis</b><br>[trente moins un]      | 29  |
| 48  | sì shí bā<br>[quatre dix huit] | forty-eight<br>[quarante huit]  | quarante-huit         | <b>achtundvierzig</b><br>[huit et quarante]  | borrogeita<br>zortzi<br>[quarante et huit]                | <b>adtalis</b><br>[huit et quarante]    | 48  |
| 75  | qī shí wǔ<br>[sept dix cinq]   | seventy-five<br>[septante cinq] | soixante-quinze       | <b>fünfundsiebzig</b><br>[cinq et septante]  | hirurogeita<br>hamabost<br>[soixante et quinze]           | <b>chayahatar</b><br>[cinq et septante] | 75  |
| 97  | jiǔ shí qī<br>[neuf dix sept]  | ninety-seven<br>[nonante-sept]  | quatre-vingt-dix-sept | <b>siebenundneunzig</b><br>[sept et nonante] | laurogeita<br>hamazazpi<br>[huitante et dix nonante sept] | <b>sataanave</b><br>[sept et sept]      | 97  |
| 100 | yī bǎi<br>[un cent]            | one hundred<br>[cent]           | cent                  | (ein)hundred<br>[(un) cent]                  | ehun<br>[cent]  | ek sau<br>[un cent]                     | 100 |

Tableau 1

L'apprentissage des nombres en lettres plus grands que dix diffère beaucoup d'une langue à une autre (fais le jeu de la Figure 1). Dans certaines langues, la manière dont les nombres à plusieurs chiffres sont désignés est très simple et très claire. Le mandarin (la langue la plus répandue en Chine) est une de ces langues. En mandarin, le nombre 29 se traduit par «deux-dix-neuf» et 97 par «neuf-dix-sept». Une telle langue est qualifiée de «transparente» par les scientifiques. Ce qui signifie qu'en mandarin, les nombres en lettres traduisent précisément la manière dont on écrit ceux à plusieurs chiffres et démontrent clairement la règle de la valeur de position:  $97 = 9 \times 10 + 7 =$  «neuf-dix-sept».

### Figure 1

Quel nombre en lettres sur la gauche correspond à quel nombre indo-arabe sur la droite? Essaye de trouver la réponse par toi-même puis suis la ligne afin de savoir si tu as raison. Cet article propose certains indices qui peuvent t'aider à trouver la bonne réponse et le [Tableau 1](#) peut aussi t'être utile.

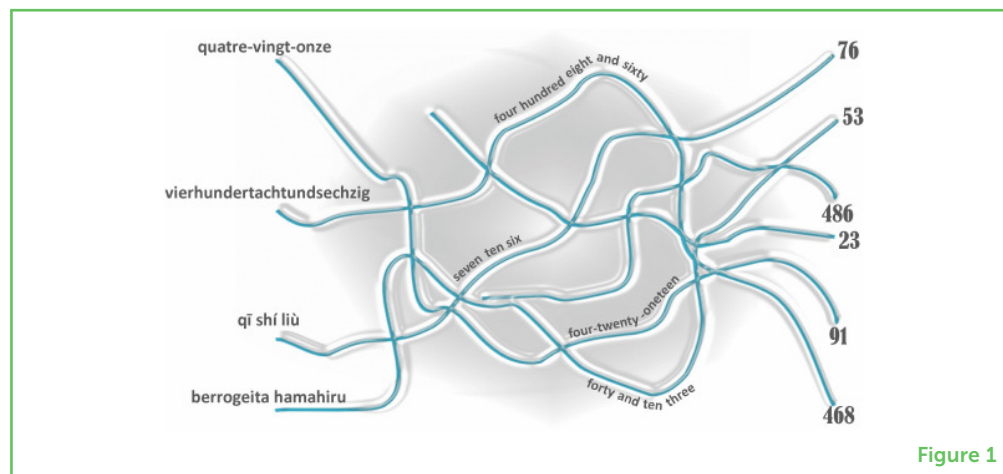


Figure 1

### TRANSPARENT

Transparent est le synonyme de clair ou bien structuré. Pour ce qui est de l'écriture en lettres, l'adjectif transparent est utilisé pour décrire les langues où les nombres se disent précisément en suivant la manière dont ils sont écrits en chiffres. Les langues transparentes mettent clairement en lumière la règle de la valeur de position (par exemple,  $97 = 9 \times 10 + 7 =$  «neuf-dix-sept»).

### INVERSION DES NOMBRES

Dans certaines langues, l'ordre dans les nombres à deux chiffres est permuté. À titre d'exemple, plutôt que de dire quarante-deux pour 42, on dira deux-et-quarante. Cette permutation constitue l'inversion des nombres.

Les scientifiques ont constaté que l'apprentissage des mathématiques et la gestion des nombres à plusieurs chiffres sont plus faciles pour les enfants qui parlent une langue avec des nombres faciles. Toutefois, le problème est que toutes les langues n'utilisent pas nécessairement des nombres faciles. Mais alors, à quoi ressemblent les nombres complexes? Examine les mots qui correspondent à 97. En basque (langue principalement parlée dans une région du nord de l'Espagne), on dit «laurogeita hamazazpi», qui veut dire «quatre-vingt-dix-sept» ( $80 + 17$ ). En français, nous disons «quatre-vingt-dix-sept», ( $4 \times 20 + 10 + 7$ ). La construction de ces nombres est vraiment compliquée. En hindi (l'une des langues les plus répandues en Inde), certains nombres nécessitent même la soustraction plutôt que l'addition pour former un nombre en lettres. Par exemple, le nombre 29 se dit «unatis», qui signifie «un avant trente» ( $30 - 1$ ).

Le [Tableau 1](#) indique les nombres à plusieurs chiffres dans différentes langues. Tous ceux qui sont en bleu sont, d'une certaine manière, uniques. L'apprentissage des nombres de la dizaine est particulièrement difficile dans beaucoup de langues. Ne serait-il pas plus simple de dire «un-dix-deux» au lieu de «douze» pour 12? Douze est un nouveau nombre qu'il faut apprendre, alors que «un-dix-deux» (comme en mandarin) pourrait simplement servir de règle générale. Dans certaines langues, on change parfois l'ordre des nombres pour désigner les unités en premier. Cette permutation est ce qu'on appelle l'**inversion des nombres**. En anglais, seuls quelques nombres de la dizaine (de treize à dix-neuf) sont permutés. Dans d'autres langues comme l'allemand, le néerlandais, l'arabe ou le maltais, tous les nombres à deux chiffres connaissent l'inversion (97 est «siebenundneunzig» en allemand; ce qui veut dire «sept et quatre-vingt-dix»). Les grands nombres sont encore plus confus. Le nombre allemand 234 se traduit par «deux-cent-quatre-et trente». Dans cet exemple, on prononce d'abord le chiffre de gauche, puis celui de droite et enfin celui du milieu. C'est compliqué, n'est-ce pas?

C'est d'ailleurs pourquoi les enfants qui parlent des langues avec des nombres permutés ont du mal à traiter les nombres à plusieurs chiffres. Les enfants allemands (permutation nécessaire) commettent par exemple 5 fois plus d'erreurs que les jeunes japonais (aucune permutation requise) quand ils doivent écrire des nombres [1]. Près de la moitié de leurs erreurs est due à la confusion quant à l'ordre normal des nombres [2]. Par exemple, lorsqu'ils entendent «cinq-et-quarante», ils écrivent souvent 54 au lieu de 45. Tout enfant qui grandit avec un système de nombres plus transparents peut donc se réjouir de pouvoir les apprendre plus facilement.

### **TOUTEFOIS, AVEC DE LA PRATIQUE, LA PLUPART DES GENS COMPRENNENT COMMENT ÇA MARCHE**

Nous savons déjà que les enfants qui parlent une langue avec des nombres non transparents rencontrent plus de difficultés avec les mathématiques que ceux dont la langue comporte des nombres transparents. Toutefois, en grandissant, cette difficulté a tendance à s'estomper. Si l'apprentissage des nombres non transparents est juste une question de temps ou de pratique, pose-t-elle réellement un problème? Oui, car même si beaucoup d'enfants les maîtrisent rapidement, d'autres ont du mal à s'en sortir. Par exemple, une étude a révélé que les enfants qui ont des difficultés avec les nombres écrits à l'âge de 7 ans sont plus susceptibles d'avoir des difficultés en mathématiques 3 ans plus tard [3]. Ces difficultés peuvent donc permettre de détecter les enfants qui ont besoin d'aide en mathématiques. Plus vite on les aidera, mieux ils s'en sortiront.

### **... MAIS, LES PROBLÈMES RESSURGISSENT LORSQU'ON ESSAIE DE FAIRE DES MATHS DANS UNE AUTRE LANGUE!**

De plus en plus de personnes voyagent ou vivent dans d'autres pays dont ils doivent apprendre la langue. Parfois, cette nouvelle langue a une manière particulière de désigner les nombres à plusieurs chiffres et ceux-ci doivent être appris par cœur. Cela peut poser de gros problèmes, notamment si tu viens de Pologne (aucune permutation requise) et que tu souhaites vivre en Allemagne (permutation requise). C'est notamment le cas de Krzysztof, l'un des auteurs de cet article. Chaque fois qu'il fait des courses et veut les payer, il s'embrouille. Quand la caissière lui dit «Neunundzwanzig euro, bitte!» [«Neuf-et-vingt euros, s'il vous plaît!», la première question que Krzysztof se pose est: «Comment ai-je pu dépenser presque cent euros pour des courses que je compte consommer dans les 3 prochains jours?» Il a beau savoir qu'il doit procéder par permutation et faire des recherches sur ce sujet, il lui faut toujours quelques instants pour se calmer et payer le bon montant.



Apprendre des nombres en lettres dans une nouvelle langue est un bon début, même si cela est déjà délicat. Il convient de noter toutefois que tu n'auras pas forcément pour autant envie de faire des mathématiques dans cette langue. Généralement, les gens préfèrent faire des maths dans une seule langue, et pas dans celle qu'ils viennent juste d'apprendre. Il est plus probable qu'ils privilégient leur langue maternelle ou celle avec laquelle ils ont appris les maths.

## CONCLUSION

Nous utilisons chaque jour les nombres ainsi que leur désignation et pour beaucoup d'entre nous, ils sont faciles – du moins après suffisamment de pratique. Cependant, lorsqu'on les examine attentivement, il est intéressant de voir comment les langues diffèrent dans la désignation des nombres à plusieurs chiffres. Malgré ces différences, leur construction n'est pas hasardeuse mais obéit à des règles précises. Regarde de nouveau le jeu de la [Figure 1](#). Maintenant que tu as appris les règles énoncées, vois si tu peux lire certains de ces nombres plus aisément. Un examen détaillé des nombres en lettres permet de comprendre pourquoi les enfants qui parlent une seule langue ont plus de difficultés en mathématiques que ceux qui en parlent deux. Il nous aide aussi à identifier de manière précoce les enfants ayant des difficultés en maths et à trouver des solutions pour les aider. Bien sûr, les règles de construction de ces nombres ne constituent pas le seul point essentiel pour l'apprentissage des mathématiques, mais elles sont une pièce déterminante du puzzle.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Ani, âgé de 11 ans, pour ses commentaires sur la première version du manuscrit. Nous remercions aussi tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette Collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglophones et la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Moeller, K., Zuber, J., Olsen, N., Nuerk, H.-C., and Willmes, K. 2015. Intransparent German number words complicate transcoding—a translingual comparison with Japanese. *Front. Psychol.* 6:740. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00740
2. Zuber, J., Pixner, S., Moeller, K., and Nuerk, H.-C. 2009. On the language-specificity of basic number processing: transcoding in a language with inversion and its relation to working memory capacity. *J. Exp. Child Psychol.* 102:60–77. doi: 10.1016/j.jecp.2008.04.003



3. Moeller, K., Pixner, S., Zuber, J., Kaufmann, L., and Nuerk, H.-C. 2011. Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance—a longitudinal study on numerical development. *Res. Dev. Disabil.* 32:1837–51. doi: 10.1016/j.ridd.2011.03.012

**ÉDITEUR:** [Stephan E. Vogel](#)

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** [Ariel Starr](#) et [Shubha Tole](#)

**CITATION:** Bahnmueller J, Nuerk H-C et Cipora K (2023) Quarante-deux ou deux et quarante: Apprendre les mathématiques dans différentes langues. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00084-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Bahnmueller J, Nuerk H-C and Cipora K (2020) Forty-Two or Two-and-Forty: Learning Maths in Different Languages. *Front. Young Minds* 8:84. doi: 10.3389/frym.2020.00084

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Bahnmueller, Nuerk H-C et Cipora. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### ÉCOLE INTERNATIONALE DE BOMBAY, ÂGES: 13–14

Nous sommes des élèves de sixième à l'École Internationale de Bombay (deux groupes de 20 élèves chacun) et nous nous intéressons aux articles de *Frontiers for Young Minds*. Nous aimons tester nos compétences en rédaction lorsque nous commentons un manuscrit. Apprendre, explorer et repousser nos limites nous amuse. Il y a beaucoup à apprendre chez *Frontiers for Young Minds*!

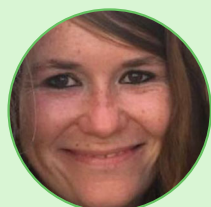
### BRIDGET, ÂGE: 11

Salut, je suis Bridget et j'aime les mêmes choses que Siena – j'adore apprendre!



**SIENA, ÂGE: 10**

Salut, je m'appelle Siena, j'aime lire, écrire et j'adore aussi les chats. Je suis au CM2 (cinquième année de primaire).

**AUTEURS****JULIA BAHNMUELLER**

Dans mes recherches, je m'intéresse à la manière dont les enfants apprennent les mathématiques de base et comment les adultes utilisent les nombres. Je m'intéresse particulièrement à la manière dont les différentes langues aident, ou pas, à apprendre les mathématiques. Je souhaite aussi utiliser ce que j'apprends dans mes recherches pour aider les enfants qui ont des difficultés en mathématiques, en lecture et en écriture. Ma langue maternelle est l'allemand, mais je parle aussi anglais et français, et j'essaie actuellement d'apprendre à parler espagnol.

**HANS-CHRISTOPH NUERK**

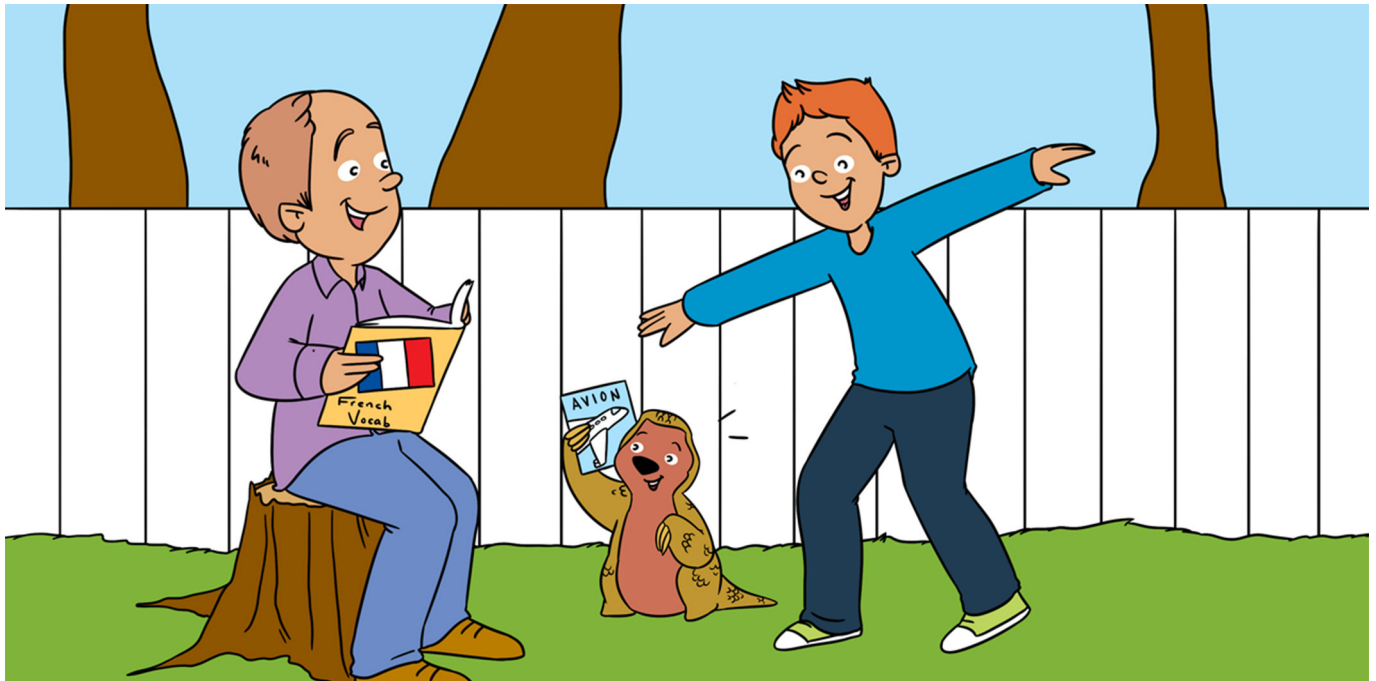
Dans mon enfance, j'ai commencé à parler un peu tard, à l'âge de 2 ans. Alors que j'étais en vacances à l'époque, j'ai rencontré une petite fille de mon âge qui parlait déjà. J'étais toutefois précoce quant à l'apprentissage des nombres et du calcul. C'est peut-être l'une des raisons pour lesquelles je m'intéresse à l'influence du langage sur le traitement des nombres et des maths. Le calcul est-il plus facile dans certaines langues que dans d'autres? Avons-nous absolument besoin de la langue pour manipuler les nombres? La langue est-elle particulièrement importante lorsque les problèmes mathématiques se compliquent?

**KRZYSZTOF CIPORA**

Je suis chercheur à Loughborough, au Royaume-Uni, mais je suis originaire de Pologne. J'ai aussi vécu en Allemagne pendant quelques années. Le polonais est ma langue maternelle et c'est peut-être pourquoi les nombres allemands me posent un problème. Je mène des recherches sur la manière dont le cerveau traite les nombres et sur le type d'informations qu'il utilise pour les gérer. En dehors de cela, je m'intéresse à beaucoup de sujets scientifiques en général. Pendant mon temps libre, j'aime voyager et me promener. Mes animaux préférés sont les pingouins, les pandas géants, les alpagas et les koalas.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**JACOB'S**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## COMMENT APPRENDRE PLUS FACILEMENT LE VOCABULAIRE D'UNE LANGUE ÉTRANGÈRE?

**Brian Mathias<sup>1,2\*</sup>, Christian Andrä<sup>3,4</sup>, Katja M. Mayer<sup>5</sup>, Leona Sureth<sup>2</sup>, Andrea Klingebiel<sup>2</sup>, Gesa Hartwigsen<sup>6</sup>, Manuela Macedonia<sup>2,7</sup> et Katharina von Kriegstein<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Faculté de psychologie, Université technique de Dresde, Dresde, Allemagne

<sup>2</sup>Groupe de recherche Mécanismes neuronaux de la communication humaine, Institut Max Planck des sciences humaines cognitives et cérébrales, Leipzig, Allemagne

<sup>3</sup>Département de recherche scolaire et sur la formation des professeurs, Université de Leipzig, Leipzig, Allemagne

<sup>4</sup>Département du sport scolaire, Faculté des sciences du sport, Institut de psychologie du sport et d'éducation physique, Université de Leipzig, Leipzig, Allemagne

<sup>5</sup>Institut de psychologie, Université de Münster, Münster, Allemagne

<sup>6</sup>Groupe de recherche Lise Meitner Cognition et plasticité, Institut Max Planck des sciences humaines cognitives et cérébrales, Leipzig, Allemagne

<sup>7</sup>Institut d'ingénierie de l'information, Université Johannes Kepler, Linz, Autriche

### JEUNES EXAMINATEURS:



**ETHAN**  
ÂGE: 10



**JAIDEN**  
ÂGE: 13

As-tu déjà essayé de te souvenir d'un mot dans une langue étrangère? Quelle stratégie as-tu utilisée? Dans plusieurs études, nous avons examiné les avantages des images et des gestes dans l'apprentissage du vocabulaire d'une langue étrangère. Nous avons constaté que les deux aident les enfants à l'école primaire et les adultes à maîtriser les mots plus rapidement que lorsqu'ils les apprennent en les écoutant. Pour les enfants, les images sont tout aussi utiles que les gestes et pour les adultes, les gestes sont plus importants que les images. Les régions visuelles et motrices du cerveau jouent

un rôle fondamental dans l'acquisition du vocabulaire. Selon nos recherches, l'apprentissage du vocabulaire d'une langue étrangère avec des images et des gestes est plus efficace, car grâce à eux, les enfants et les adultes acquièrent les significations des mots à travers de multiples sens.

## COMMENT APPRENDRE LE VOCABULAIRE D'UNE LANGUE ÉTRANGÈRE?

Les langues sont importantes parce qu'elles facilitent la communication entre les personnes. L'humanité compte aujourd'hui plus de 6000 différentes langues [1] comportant chacune des milliers de mots qui se rapportent aux objets dans l'environnement, aux personnes, aux endroits, aux sentiments et aux idées. L'article que tu es en train de lire est rédigé en français, qui est peut-être ta **langue maternelle (L1)** – la langue que tu as apprise dès la naissance. Mais tu as peut-être aussi appris le français à l'école, avec tes enseignants, dans des livres ou encore en entendant des mots de français en dehors de l'école, dans la rue par exemple. Dans ce dernier cas, tu l'as probablement acquise comme une **langue étrangère (L2)**. L'acquisition du **vocabulaire** constitue l'une des principales étapes pour apprendre une nouvelle langue. Elle nécessite beaucoup de temps et de pratique.

Pour apprendre un mot de langue L2, il faut connaître sa prononciation, son orthographe et son sens. Les enfants et les adultes emploient diverses stratégies pour y parvenir. Ils peuvent, par exemple, écouter des enregistrements audios ou apprendre des listes de vocabulaire. Les recherches récentes démontrent que ces techniques sont moins efficaces que les stratégies qui s'appuient sur ce qu'on appelle l'«**enrichissement**» [2]. L'«enrichissement» correspond aux informations qui se présentent pendant l'apprentissage et qui permettent d'appréhender la signification d'un mot par de multiples sens [3]. Plutôt que d'apprendre un mot d'une langue étrangère (L2) juste en l'écoutant, on peut l'apprendre en regardant une image qui s'y rapporte tout en l'écoutant. Cette méthode s'applique à la lecture des livres d'images et à l'apprentissage du vocabulaire avec des cartes illustrées. Une autre méthode d'enrichissement consiste à faire des gestes qui symbolisent le sens d'un mot prononcé. Pour le mot «avion», on peut par exemple écarter les bras pour symboliser ses ailes.

Le fait de voir les images tout en écoutant des mots de la L2 est une sorte d'enrichissement multisensoriel puisque cette technique exploite les informations perçues par différents sens, notamment la vue et l'ouïe. La gestuelle réalisée en écoutant des mots de la L2 constitue une forme d'enrichissement sensorimoteur car cette technique utilise les informations perçues par les sens et celles

### LANGUE MATERNELLE (L1)

C'est la langue à laquelle une personne a été exposée et qu'elle a apprise dès la naissance.

### LANGUE ÉTRANGÈRE (L2)

Elle désigne une langue que le locuteur ne connaît pas et qui est parlée dans une autre région du monde.

### VOCABULAIRE

C'est l'ensemble des mots utilisés dans une langue.

### ENRICHISSEMENT

Ce sont les informations supplémentaires acquises pendant l'apprentissage qui aident à illustrer le sens d'un mot d'une langue étrangère.

perçues grâce aux mouvements corporels. Nous avons évalué le type d'enrichissement le plus efficace quant à l'apprentissage de la L2 [3, 4] et la réaction correspondante du cerveau [3, 5, 6]. Les adultes et les enfants ont appris le vocabulaire de la L2 en utilisant trois différentes méthodes: en écoutant les mots face à leurs images (enrichissement multisensoriel), en écoutant les mots tout en regardant une gestuelle réalisée (enrichissement sensorimoteur) et en écoutant simplement les mots prononcés (aucun enrichissement). Selon notre **hypothèse**, les images et la gestuelle seraient bénéfiques pour les enfants et les adultes et leur permettraient de mieux acquérir le vocabulaire.

**HYPOTHÈSE**

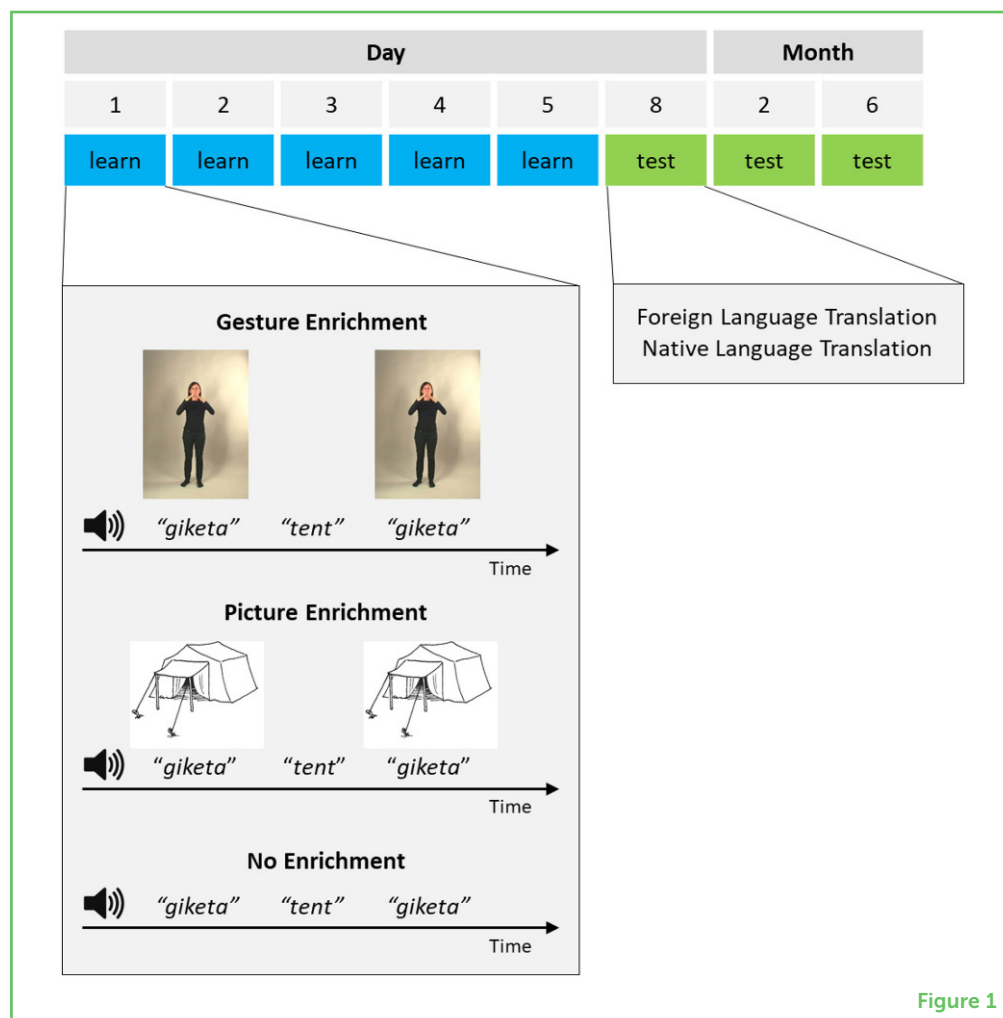
C'est une proposition qui peut être vérifiée suite à la réalisation d'expériences scientifiques.

**Figure 1**

Elle représente la méthode d'apprentissage d'une langue étrangère. Les adultes et les enfants ont appris le vocabulaire de la langue étrangère pendant 5 jours. Ils l'ont fait avec des gestes (enrichissement gestuel, gesture enrichment), en regardant des images (enrichissement pictural, picture enrichment) ou seulement en écoutant la prononciation des mots (aucun enrichissement, no enrichment). Ils ont passé des tests de vocabulaire 8 jours, 2 mois et 6 mois après l'apprentissage. De fait, on leur a demandé de traduire une liste des mots de la langue maternelle (traduction de la langue maternelle, native language translation) et un ensemble de termes de la langue étrangère (traduction de la langue étrangère, foreign language translation).

**LES IMAGES ET LES GESTES PERMETTENT-ILS AUX ADULTES DE MIEUX APPRENDRE LE VOCABULAIRE D'UNE LANGUE ÉTRANGÈRE?**

Notre hypothèse a d'abord été évaluée chez les jeunes adultes [3]. 22 adultes ont entendu des mots de la L2 et leur traduction dans la L1 pendant une formation de 5 jours. Ils ont appris des termes qu'ils n'avaient jamais rencontrés avant, comme *diwume* et *giketa*. La liste



**Figure 1**

du vocabulaire qu'ils ont appris est disponible ici. Des images ont été associées à certains mots (Figure 1), comme «tente», qui a été matérialisée par un dessin. D'autres étaient accompagnés d'un petit film montrant une actrice en train de faire des gestes correspondant au terme. Par exemple, une vidéo présentant une actrice en train de boire le contenu d'une bouteille imaginaire a été associée au mot «bouteille». Les adultes devaient exécuter le même mouvement que l'actrice. Le reste des mots de la L2 ont été appris seulement en écoutant leur traduction dans la L1.

## Figure 2

Résultats des tests de traduction. En haut: notes obtenues par les jeunes adultes (à gauche) et par les enfants (à droite) lors des tests de traduction réalisés 6 mois après l'apprentissage de la langue étrangère [3, 4]. Les gestes (barres vertes) et les images (barres violettes) leur ont permis d'apprendre aisément les différentes significations des mots de la langue étrangère comparativement à l'apprentissage non enrichi (barres noires). Les lignes de chaque barre représentent les estimations des variations observées dans les notes d'évaluation de tous les jeunes adultes et enfants. En bas: les notes obtenues pour les mots non illustrés ont été soustraites à celles obtenues pour les mots appris avec enrichissement pour illustrer les avantages de l'enrichissement. Pour les adultes, l'intérêt de l'enrichissement du vocabulaire acquis au moyen de la gestuelle est supérieur à celui des mots appris à travers des images, ce qui signifie que les gestes sont même plus utiles que les images.

Des tests de vocabulaire ont été réalisés 8 jours, deux mois et 6 mois après l'apprentissage. L'un d'eux exigeait des adultes de trouver les équivalents en L2 de certains termes de la L1. Dans un autre test, ils ont reçu une liste de mots de la L2 dont ils devaient donner la traduction. Nous avons analysé les notes obtenues à l'issue de ces évaluations et remarqué que les notes correspondant au vocabulaire appris à l'aide d'images et de gestes étaient meilleures que celles correspondant au vocabulaire appris sans enrichissement, et que cette différence était toujours présente 6 mois plus tard [3]. Nous avons aussi constaté que les images et les gestes sont aussi importants l'un que l'autre sur le court terme (8 jours et 2 mois après l'apprentissage) mais que sur le long terme (6 mois après l'apprentissage), les gestes sont plus utiles que les images pour la maîtrise du vocabulaire (Figure 2).

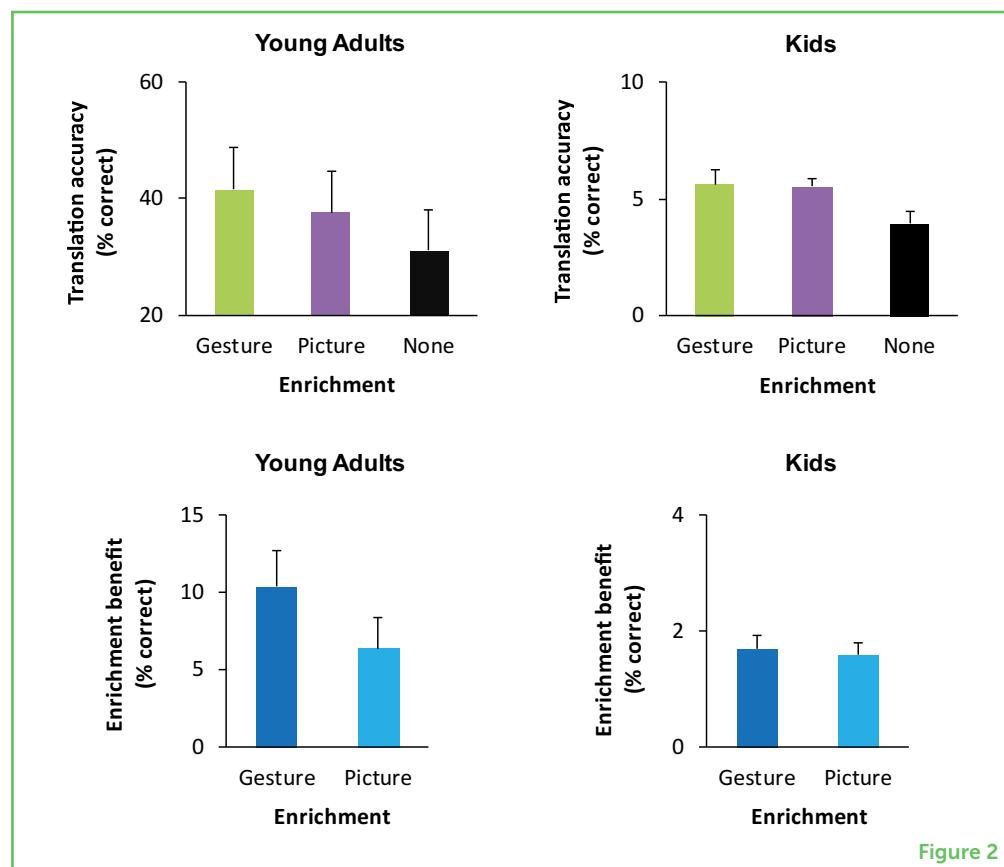


Figure 2



## ET LES ENFANTS?

Par la suite, nous avons évalué si l'enrichissement gestuel aide aussi les enfants [4]. 97 écoliers allemands âgés de 8 ans ont appris des mots en anglais (L2) pendant 5 jours à travers des images, des gestes ou sans méthode d'enrichissement (Figure 1). Il s'agissait de mots qu'ils n'avaient jamais rencontrés dans leurs cours d'anglais. Ils ont passé les mêmes tests de vocabulaire que les adultes 8 jours, 2 mois et 6 mois après l'apprentissage en donnant leurs réponses à l'oral et non par écrit.

Nous avons observé qu'ils avaient obtenu, 8 jours, 2 mois et 6 mois après l'apprentissage, des notes plus élevées pour le vocabulaire appris à travers des images et des gestes par rapport à celles correspondant au vocabulaire acquis sans enrichissement. Tout comme les adultes, les images et les gestes sont aussi utiles l'un que l'autre sur le court terme (8 jours et 2 mois après le début de l'apprentissage). Mais à la différence des adultes, les performances des enfants découlant de l'apprentissage basé sur les gestes et les images étaient les mêmes 6 mois après (Figure 2). Ces résultats prouvent que les gestes et les images ont la même utilité pour les enfants qui apprennent la L2. Dans l'ensemble, les notes des enfants étaient inférieures à celles des adultes, probablement parce que leur formation était moins intensive.

## QUELLES SONT LES RÉGIONS CÉRÉBRALES IMPLIQUÉES DANS L'ACQUISITION DU VOCABULAIRE D'UNE LANGUE ÉTRANGÈRE?

Notre prochaine étape consistait à essayer de comprendre comment l'enrichissement multisensoriel et sensorimoteur favorise l'acquisition du vocabulaire de la L2. Pour répondre à cette question, nous nous sommes tournés vers le cerveau. Nous savions que le fait de voir les autres faire des mouvements peut susciter des réactions dans une région cérébrale appelée «**mouvement biologique sulcus temporal supérieur**» (bmSTS) [7] et que la gestuelle entraîne des réponses dans la région cérébrale dénommée **cortex moteur** [8]. Notre hypothèse stipulait donc que le bmSTS et le cortex moteur réagissent plus lorsque les enfants et les adultes entendent des mots de la L2 accompagnés de gestes plutôt que des mots illustrés par des images. Nous avons fait la même prédiction pour le vocabulaire de la L2 acquis au moyen des images: en effet, nous avons supposé qu'une région cérébrale visuelle désignée «**complexe occipital latéral**» (COL) répond mieux quand les enfants et les adultes entendent le vocabulaire de la L2 enrichi par des images que quand il s'agit de mots non illustrés.

Jusqu'ici, nous avons testé ces hypothèses chez les adultes [3]. Pour voir les régions cérébrales qui étaient actives, 22 adultes ont passé un scanner cérébral après 5 jours d'apprentissage du vocabulaire de

### LE MOUVEMENT BIOLOGIQUE SULCUS TEMPORAL SUPÉRIEUR (BMSTS)

C'est une région cérébrale visuelle qui réagit lorsqu'on voit des mouvements corporels.

### CORTEX MOTEUR (MOTOR CORTEX)

C'est une région cérébrale qui initie les mouvements en contrôlant les muscles.

### COMPLEXE OCCIPITAL LATÉRAL (COL, OU «LOC» EN ANGLAIS)

C'est une région cérébrale visuelle qui réagit lorsqu'on voit des objets.

la L2. De plus amples informations sur la manière dont le scanner cérébral mesure l'activité du cerveau sont disponibles dans cet article de *Frontiers for Young Minds* [9]. Nous avons examiné les réactions du bmSTS, du cortex moteur et du COL pendant que les adultes entendaient et traduisaient le vocabulaire de la L2 (Figure 3). Nous avons constaté que les réponses du COL permettent de savoir si un mot a été appris avec des images et celles du bmSTS et du cortex moteur indiquent si le vocabulaire a été acquis au moyen des gestes. Ces résultats révèlent que certaines réactions cérébrales sont liées aux effets positifs de l'enrichissement pictural et gestuel.

Dans la recherche scientifique, une seule méthode ne suffit généralement pas pour démontrer qu'une conclusion est vraie ou fausse. Cela s'explique par le fait que toutes les méthodes présentent des points forts et des points faibles. Par conséquent, nous avons cherché à savoir si le bmSTS et le cortex moteur facilitent l'enrichissement de la L2 à travers une méthode appelée «**stimulation magnétique transcrânienne**» (SMT) [5, 6]. Au cours de la SMT, de faibles signaux magnétiques peuvent affecter l'activité cérébrale et modifier le comportement de l'individu. Nous avons constaté en utilisant la SMT que le bmSTS et le cortex moteur aident les adultes à mieux traduire les mots appris par des gestes.

### STIMULATION MAGNÉTIQUE TRANSCRÂNIENNE (SMT)

C'est une méthode neuroscientifique au cours de laquelle le cerveau est affecté par de faibles signaux magnétiques.

#### Figure 3

Elle présente les résultats de l'imagerie cérébrale. Les deux images sur la gauche montrent l'extérieur du côté gauche du cerveau et celles sur la droite sont deux vues du centre cérébral. Les régions cérébrales qui traitent les données relatives aux mouvements visuels (le bmSTS), les informations motrices (le cortex moteur) et celles provenant des objets visuels (le COL) sont colorées en bleu. Les régions dont l'imagerie cérébrale a détecté une activité accrue lors de la traduction du vocabulaire de la langue étrangère après l'apprentissage enrichi par des gestes et des images sont représentées en vert clair [3].

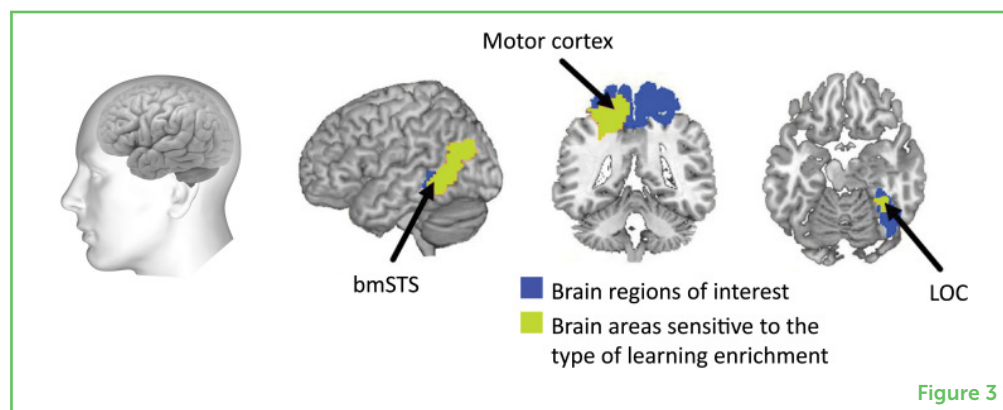


Figure 3

### LA PORTÉE DE NOS RÉSULTATS

L'enrichissement de l'apprentissage à travers des images et des gestes permet aux enfants et aux adultes de mieux apprendre le vocabulaire d'une langue étrangère. Cependant, ces derniers tirent plus profit des gestes, alors que les premiers bénéficient tout autant des images et de la gestuelle. Ceci signifie que le type d'enrichissement adapté aux grandes personnes ne convient pas nécessairement aux plus jeunes. Dans nos études, les enfants et les adultes ont effectué diverses formations et nous proposons que les prochaines recherches se concentrent sur la manière dont les types de formations reçues peuvent perfectionner les effets d'enrichissement. Nous avons aussi constaté que le cerveau utilise ses régions visuelles et motrices pour

se souvenir des traductions du vocabulaire illustré de la L2. Autrement dit, les stratégies d'enseignement basées sur l'enrichissement peuvent fonctionner parce qu'un réseau de régions cérébrales visuelles et motrices contribue à l'amélioration des résultats d'apprentissage. Pour conclure, l'enrichissement est utile à l'acquisition de la L2 dans la mesure où il nous permet d'appréhender la signification des mots à travers nos propres sens.

## CONTRIBUTION DES AUTEURS

BM a produit la première ébauche du manuscrit. CA, KM, LS, AK, GH, MM, et KK ont aussi contribué à l'élaboration de ce manuscrit.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette Collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi que la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction. Cette recherche a été financée par la subvention KR 3735/3-1 de la Fondation allemande pour la recherche, une bourse de recherche scolaire du centre de Saxe pour la recherche scolaire et sur la formation des professeurs (ZLS), et une bourse post-doctorale Erasmus Mundus en neurosciences cognitives de l'audition. B. M. est aussi soutenu par la Subvention de consolidation du Conseil européen de la recherche SENSOCOM 647051 à KK.

## RÉFÉRENCES

1. Graddol, D. 2004. The future of language. *Science* 303:1329–31. doi: 10.1126/science.1096546
2. Repetto, C., Pedroli, E., and Macedonia, M. 2017. Enrichment effects of gestures and pictures on abstract words in a second language. *Front Psychol.* 8:2136. doi: 10.3389/fpsyg.2017.02136
3. Mayer, K. M., Yildiz, I. B., Macedonia, M., and von Kriegstein, K. 2015. Visual and motor cortices differentially support the translation of foreign language words. *Curr. Biol.* 25:530–5. doi: 10.1016/j.cub.2014.11.068
4. Andrä, C., Mathias, B., Schwager, A., Macedonia, M., and von Kriegstein, K. 2020. Learning foreign language vocabulary with gestures and pictures enhances vocabulary memory for several months post-learning in eight-year-old school children. *Educ. Psychol. Rev.* 1–36. doi: 10.1007/s10648-020-09527-z
5. Mathias, B., Sureth, L., Hartwigsen, G., Macedonia, M., Mayer, K. M., and von Kriegstein, K. 2019. A causal role of sensory cortices in behavioral benefits of "learning by doing". *arXiv* 1903.04201.
6. Mathias, B., Klingebiel, A., Hartwigsen, G., Sureth, L., Macedonia, M., Mayer, K. M., et al. 2020. Motor cortex causally contributes to auditory word

recognition following sensorimotor-enriched vocabulary training. *arXiv* 2005. 08956.

7. Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., et al. 2000. Brain areas involved in perception of biological motion. *J. Cogn. Neurosci.* 12:711–20. doi: 10.1162/089892900562417
8. Leonardo, M., Fieldman, J., Sadato, N., Campbell, G., Ibañez, V., Cohen, L., et al. 1995. A functional magnetic resonance imaging study of cortical regions associated with motor task execution and motor ideation in humans. *Hum. Brain Mapp.* 3:83–92. doi: 10.1002/hbm.460030205
9. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S., 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds.* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086

**ÉDITEUR:** [Stephan E. Vogel](#)

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** [Christine Kurlawalla-Martinez](#)

**CITATION:** Mathias B, Andrä C, Mayer KM, Sureth L, Klingebiel A, Hartwigsen G, Macedonia M et von Kriegstein K (2023) Comment apprendre plus facilement le vocabulaire d'une langue étrangère? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00089-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Mathias B, Andrä C, Mayer KM, Sureth L, Klingebiel A, Hartwigsen G, Macedonia M and von Kriegstein K (2020) How Can We Learn Foreign Language Vocabulary More Easily? *Front. Young Minds* 8:89. doi: 10.3389/frym.2020.00089

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Mathias, Andrä, Mayer, Sureth, Klingebiel, Hartwigsen, Macedonia et von Kriegstein. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS

### ETHAN, ÂGE: 10

Je m'intéresse à tout ce qui concerne les STIM (science, technologie, ingénierie et mathématiques), plus particulièrement l'impression 3D, la robotique et l'astronomie. Comme loisirs, j'aime les Lego, jouer aux cartes, apprendre des tours de magie et regarder the Office sur Netflix.





### JAIDEN, ÂGE: 13

Je m'intéresse à la science depuis l'âge de 7 ans. Mon magazine préféré est Scientific American. La chimie, l'économie et l'entrepreneuriat sont mes matières préférées. Mes principaux loisirs sont le saut d'obstacles, les jeux de société & de cartes, les puzzles et les énigmes.

## AUTEURS



### BRIAN MATHIAS

Brian Mathias cherche à comprendre comment les individus apprennent et se souviennent des sons complexes comme ceux produits lors de discussions ou par la musique. Il enquête sur la manière dont le cerveau gère les formes de communications multisensorielles et sensorimotrices. Brian est actuellement chercheur à la l'Université technique de Dresde, en Allemagne, et a étudié la psychologie et la neuroscience à l'Université McGill au Canada. \*[brian.mathias@tu-dresden.de](mailto:brian.mathias@tu-dresden.de)



### CHRISTIAN ANDRÄ

Christian Andrä travaille à l'Université de Leipzig en tant que chargé de cours et chercheur dans la formation des enseignants. Ses recherches se concentrent sur l'apprentissage en mouvement. Dans plusieurs projets, il élabore des contenus d'enseignement qui peuvent être présentés au moyen de l'enrichissement sensorimoteur. Depuis 2008, il est membre du groupe de recherches «École en mouvement», dont l'objectif est de réduire le temps passé assis pour utiliser les nombreux atouts de l'activité physique dans le quotidien scolaire.



### KATJA M. MAYER

Katja M. Mayer a obtenu son diplôme en psychologie à l'Université de Tübingen, en Allemagne, et a rédigé sa thèse l'Institut Max Planck en cybernétique biologique. Par la suite, elle s'est inscrite à l'Université de Newcastle pour son doctorat en neuroscience. Elle est post-doctorante à l'Institut Max Planck en sciences humaines cognitives et cérébrales de l'Université de Münster. Ses recherches reposent sur la perception multisensorielle et l'apprentissage. Elle est actuellement psychothérapeute.



### LEONA SURETH

Leona Sureth est étudiante en médecine à la l'Université de Leipzig, en Allemagne. Les mystères du cerveau humain la fascinent beaucoup; c'est pourquoi elle s'intéresse au fonctionnement cérébral et à la manière dont la science peut être utilisée pour le comprendre. En dehors de la médecine et des neurosciences, Leona adore les jeux de balles, notamment le jonglage.



### ANDREA KLINGEBIEL

Andrea Klingebiel est étudiante en médecine à l'Université de Leipzig. Elle est passionnée de neurosciences et adore participer aux recherches et expériences qui s'y rapportent. C'est pourquoi elle a été très fière de travailler sur ce superbe projet. Elle aime étudier le cerveau humain et apporter sa modeste contribution pour mieux le comprendre.

**GESA HARTWIGSEN**

Son groupe de recherches à l'Institut Max Planck en sciences humaines cognitives et cérébrales met l'accent sur la cognition et la plasticité neuronale dans le réseau linguistique. Ses recherches reposent sur ces questions: comment le réseau linguistique s'adapte-t-il aux défis neuronaux induits par la neurostimulation, les bruits ou la formation? Comment le cerveau se remet-il et répare-t-il ses fonctions après une lésion? Le groupe essaie de répondre à ces interrogations et à bien d'autres.

**MANUELA MACEDONIA**

Dr. Manuela Macedonia est une scientifique chevronnée à l'Université Linz Johannes Kepler à Linz, en Autriche, et consultante à l'Institut Max Planck en sciences humaines cognitives et cérébrales, en Allemagne. Manuela examine les différents modes d'enrichissement de la langue; elle mène donc des recherches relatives aux effets à court et à long terme de la gestuelle sur la mémoire en lien avec les langues étrangères. Dans ses recherches appliquées, elle crée et évalue des environnements et des enseignements virtuels pour des appareils mobiles qui facilitent un apprentissage généralisé des langues étrangères.

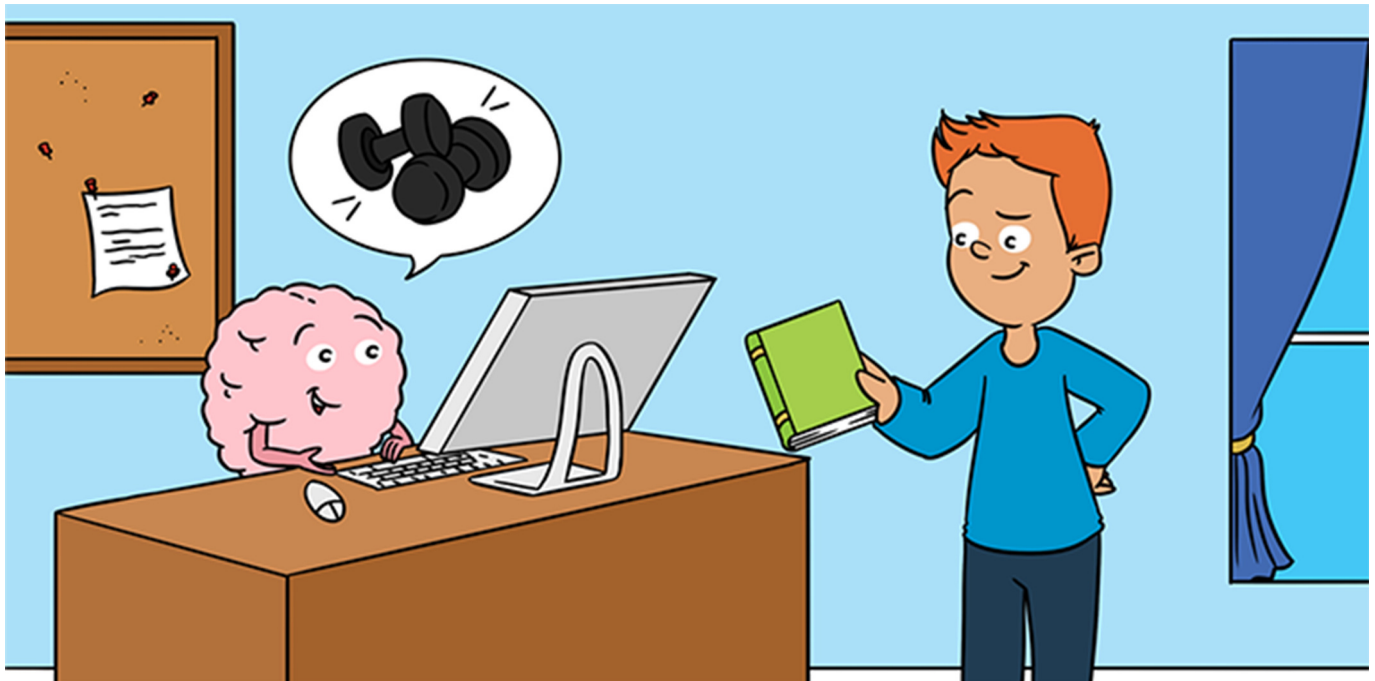
**KATHARINA VON KRIEGSTEIN**

Katharina von Kriegstein examine les cerveaux des participants pour mieux comprendre la communication entre les individus et les différences observées chez les personnes qui ont des troubles communicationnels. Elle a étudié la médecine et la philosophie et est actuellement professeure de neuroscience cognitive et clinique à la Faculté de psychologie de l'Université technique de Dresde, en Allemagne.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**J** JACOBS  
FOUNDATION  
Our Promise to Youth





## SI TU VEUX ENTRAÎNER TON CERVEAU, LIS CET ARTICLE!

**Dietsje Jolles<sup>1,2\*</sup> et Linda Van Leijenhorst<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Institut d'études sur la pédagogie et l'enfance, Université de Leiden, Leiden, Pays-Bas

<sup>2</sup>Institut du cerveau et de la cognition de Leiden, Université de Leiden, Leiden, Pays-Bas

### JEUNE ÉXAMINATRICE:



VELIANA

ÂGE: 11

Imagine un instant que tu puisses devenir plus intelligent ou intelligente en jouant simplement à des jeux. Ce serait génial! Il suffirait de passer quelques heures chaque semaine devant ton ordinateur, et tu serais capable de mieux te concentrer, d'apprendre plus rapidement et de te souvenir de plus de choses. Tes notes monteraient en flèche, tu finirais tes études sans problème... et la vie sera parfaite, non? Si tu regardes sur internet, tu trouveras toutes sortes de jeux et d'applications qui prétendent stimuler le cerveau et libérer l'accès à tout son potentiel. Dans cet article, nous allons parler des connaissances scientifiques qui se cachent derrière ces soi-disant «jeux d'entraînement cérébral». En théorie, il devrait être possible de s'entraîner pour devenir plus intelligent. Mais les preuves attestant que les programmes de stimulation cérébrale y parviennent réellement sont, au mieux, controversées. Nous allons également émettre des suggestions pour les programmes d'entraînement cérébral de la prochaine génération et présenter des solutions

## alternatives pour améliorer ses compétences cognitives (pourquoi pas tout simplement lire un livre?).

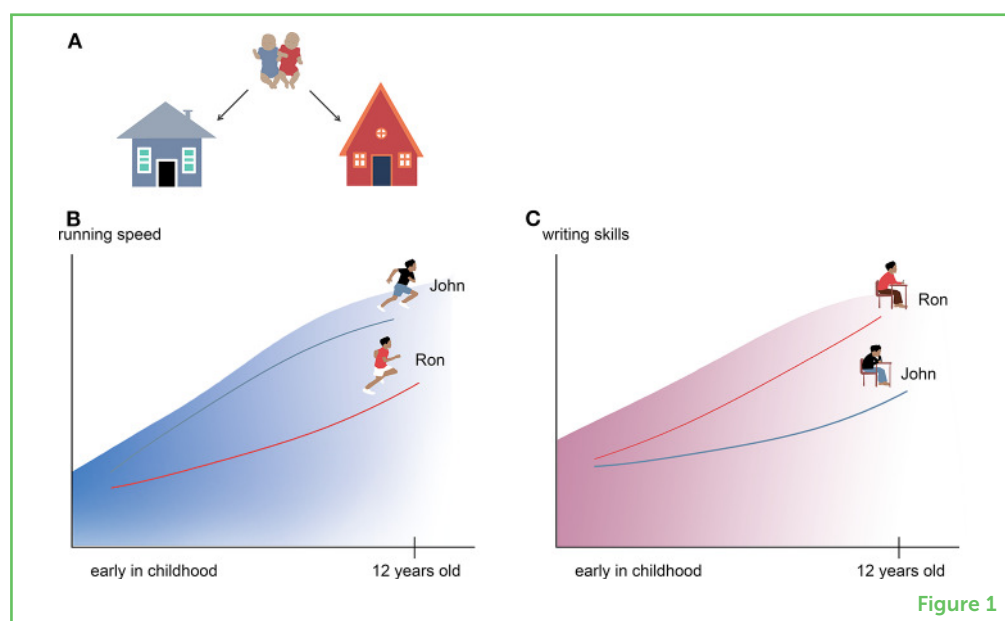
Beaucoup d'enfants voudraient devenir plus intelligents ou plus créatifs. Sur internet, tu peux trouver des jeux et des programmes qui prétendent t'aider à entraîner ton intelligence. Mais est-il réellement possible de mieux faire fonctionner son cerveau? Ces soi-disant jeux d'entraînement cérébral en valent-ils la chandelle? Tu pourras répondre toi-même à ces questions après avoir lu cet article!

## LA FLEXIBILITÉ DU CERVEAU

### Figure 1

Les gènes et l'environnement ont un impact conjoint sur le développement. **(A)** Imagine deux garçons, John et Ron, qui sont de vrais jumeaux, ce qui signifie qu'ils ont exactement les mêmes gènes. Pour une raison ou une autre, ils grandissent dans des familles différentes. Tous les membres de la famille de John sont des joueurs de football passionnés et aiment courir le week-end. Dans la famille de Ron, on préfère rester à la maison pour lire et écrire des histoires. John et Ron se rencontrent à l'âge de douze ans. **(B, C)** Ils sont étonnés du fait qu'ils présentent à la fois beaucoup de traits communs et d'importantes différences. Passionné de sport, John aime jouer au football, et il a les meilleures notes de sa classe en athlétisme. Ron aime lire, écrire, et il est très fier des bonnes notes qu'il obtient à l'école. On voit ici que bien que les deux frères possèdent les mêmes gènes, leur environnement va déterminer le niveau d'expression de leurs talents.

T'es-tu déjà demandé pourquoi certains enfants excellent dans les activités sportives, alors que d'autres sont meilleurs à la guitare ou en calcul? Doit-on s'en prendre à l'hérédité quand on a du mal se concentrer ou faut-il plutôt redoubler d'efforts? Depuis de nombreuses années, les scientifiques cherchent à déterminer quelle est la part de la génétique (l'inné) et de l'environnement (l'acquis) dans nos talents et compétences. Mais il n'y a pas de réponse simple à cette question, car les gènes et l'environnement vont toujours de pair [1]. Si l'hérédité peut influencer sur les limites maximales de nos performances et de notre capacité d'apprentissage, c'est l'environnement qui détermine la manière dont nos compétences vont se développer. Autrement dit, le cerveau est naturellement doté d'une certaine flexibilité dans la façon dont il se développe. Cette flexibilité nous permet de nous adapter à l'environnement dans lequel nous grandissons. Pour illustrer cette idée, nous allons prendre l'exemple de deux garçons, John et Ron (Figure 1). Ce sont de vrais jumeaux, ce qui signifie qu'ils partagent les mêmes gènes. Imaginons que, pour une raison ou une autre, John et Ron soient séparés juste après leur



## LES FONCTIONS EXÉCUTIVES

Ce sont des compétences cérébrales essentielles pour la réflexion et la maîtrise de soi. Elles sont donc aussi appelées «contrôle cognitif» par certains chercheurs.

## LA MÉMOIRE DE TRAVAIL (WORKING MEMORY)

Elle désigne la capacité de garder les informations à l'esprit sur une courte période afin de pouvoir les utiliser.

## L'INHIBITION

C'est le fait de pouvoir résister aux distractions ou aux tentations.

## LA FLEXIBILITÉ COGNITIVE

Elle renvoie à la capacité de passer d'une tâche à une autre.

### Figure 2

Les fonctions exécutives et les jeux d'entraînement cérébral qui s'y rapportent. (A–C) Activités quotidiennes faisant intervenir les fonctions exécutives: la mémoire de travail – par exemple additionner de tête des nombres élevés; l'inhibition – par exemple se retenir de manger tout un paquet de biscuits; la flexibilité cognitive, qui nous permet d'alterner rapidement plusieurs tâches, par exemple faire ses devoirs tout en regardant une vidéo sur YouTube. On utilise

naissance et qu'ils soient élevés dans des familles distinctes. John grandit dans un foyer où l'on aime le sport et Ron dans une famille où on adore lire et écrire. Dans ce cas, bien que John et Ron possèdent les mêmes gènes «du sport» et «de l'écriture», leurs environnements familiaux respectifs vont jouer sur la manière dont leurs compétences vont se développer. John va devenir un fan de course à pied, et Ron choisira à l'âge adulte le métier d'écrivain.

Et qu'en est-il de l'intelligence ou des capacités à l'école? Des recherches ont démontré que le succès scolaire était étroitement lié à ce qu'on appelle **les fonctions exécutives** [2]. Les fonctions exécutives regroupent des compétences qui permettent de réaliser des tâches complexes comme planifier ses devoirs, les faire, mais aussi maîtriser ses émotions et sa frustration. L'une des fonctions exécutives les plus importantes est **la mémoire de travail**. C'est grâce à la mémoire de travail que nous sommes capables de garder des informations à l'esprit et d'effectuer des opérations mentales comme additionner de tête des nombres élevés (Figure 2A). **L'inhibition** est une autre fonction exécutive importante: c'est grâce à elle que l'on peut résister aux distractions, ainsi qu'aux tentations comme celle de manger tout un paquet de biscuits (Figure 2B). Une troisième fonction exécutive, **la flexibilité cognitive**, nous permet d'alterner rapidement entre plusieurs tâches – comme faire des allers-retours entre ses devoirs et une vidéo YouTube (Figure 2C). Pour évaluer ces fonctions, des chercheurs ont conçu différents jeux informatiques (Figures 2D–2F) et ont constaté que les enfants qui réussissaient

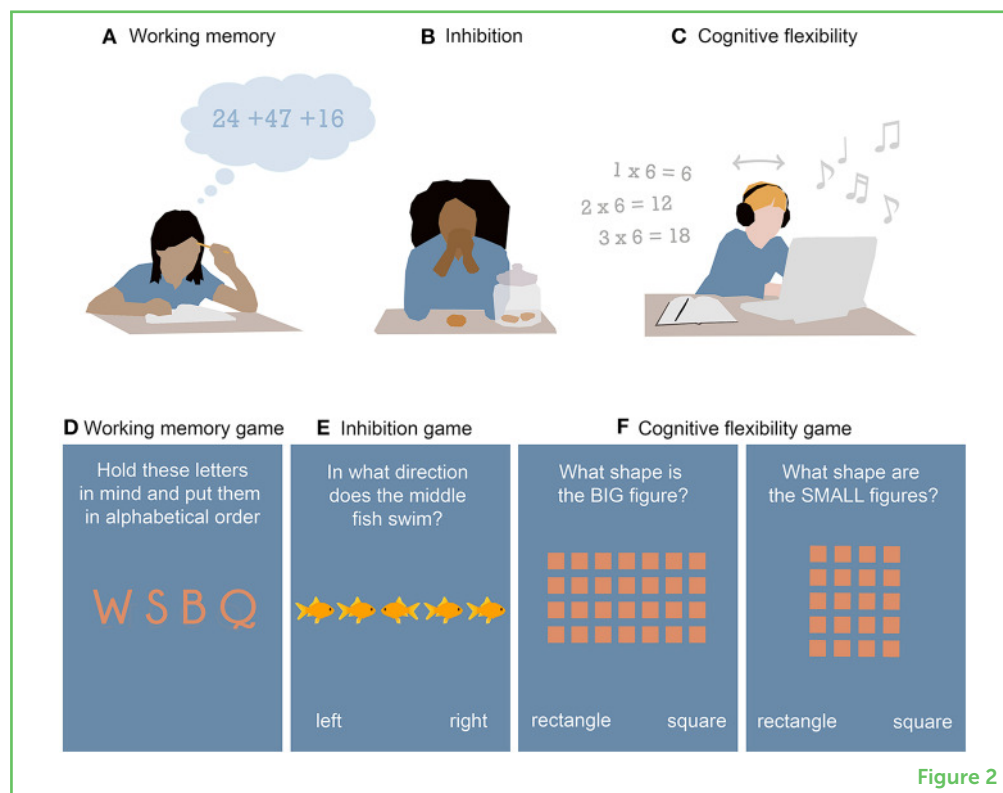


Figure 2

souvent des jeux pour tester et entraîner ces fonctions exécutives. **(D)** Dans ce jeu qui entraîne la mémoire de travail, on doit retenir plusieurs lettres et les mettre dans l'ordre alphabétique. **(E)** Dans ce jeu entraînant la faculté d'inhibition, il faut indiquer la direction dans laquelle nage le poisson du milieu en ignorant les poissons qui nagent dans le sens opposé. **(F)** Ce jeu de flexibilité cognitive demande de passer d'une tâche à une autre: tout d'abord indiquer le nom de la grande forme (un rectangle), puis identifier la nature des petites formes (des carrés).

### Figure 3

Des chercheurs avancent qu'étant donné que le cerveau des enfants se développe encore, ces derniers sont plus aptes à apprendre et à s'adapter aux circonstances environnementales que les adultes. En d'autres termes, de même qu'il est plus facile de tailler un arbre en plein développement qu'un arbre adulte, il est plus aisé d'entraîner un jeune cerveau qu'un cerveau adulte.

le mieux à ces jeux réussissaient également mieux que d'autres à l'école. À l'inverse, des fonctions exécutives moins performantes ont été associées à certaines pathologies, parmi lesquelles des problèmes de santé mentale, d'obésité et des difficultés sociales [2]. On peut penser que ces fonctions seraient programmées de naissance dans le cerveau, mais de même que toute autre compétence, les fonctions exécutives sont en réalité influencées à la fois par les gènes et l'environnement. C'est une bonne nouvelle dans la mesure où cela implique que nous avons un certain contrôle sur le développement de ces fonctions. Il semble que l'enfance soit la meilleure période pour stimuler les performances cérébrales. De même qu'il est plus aisé de tailler un arbre jeune qu'un arbre adulte (Figure 3), il est plus facile d'entraîner un jeune cerveau qu'un cerveau adulte [1, 3]. Toutefois, il est important de noter que bien que le cerveau d'un enfant soit plus malléable que celui d'un adulte, il n'est pas forcément plus efficace ni en mesure d'utiliser des stratégies pour traiter de nouvelles informations, ce qui peut modérer en partie les effets de l'apprentissage.

## ENTRAÎNER SON CERVEAU

L'internet regorge de conseils pour optimiser le fonctionnement de notre cerveau, et de nombreux livres ont été écrits sur ce sujet. Les recommandations vont de dormir suffisamment à manger

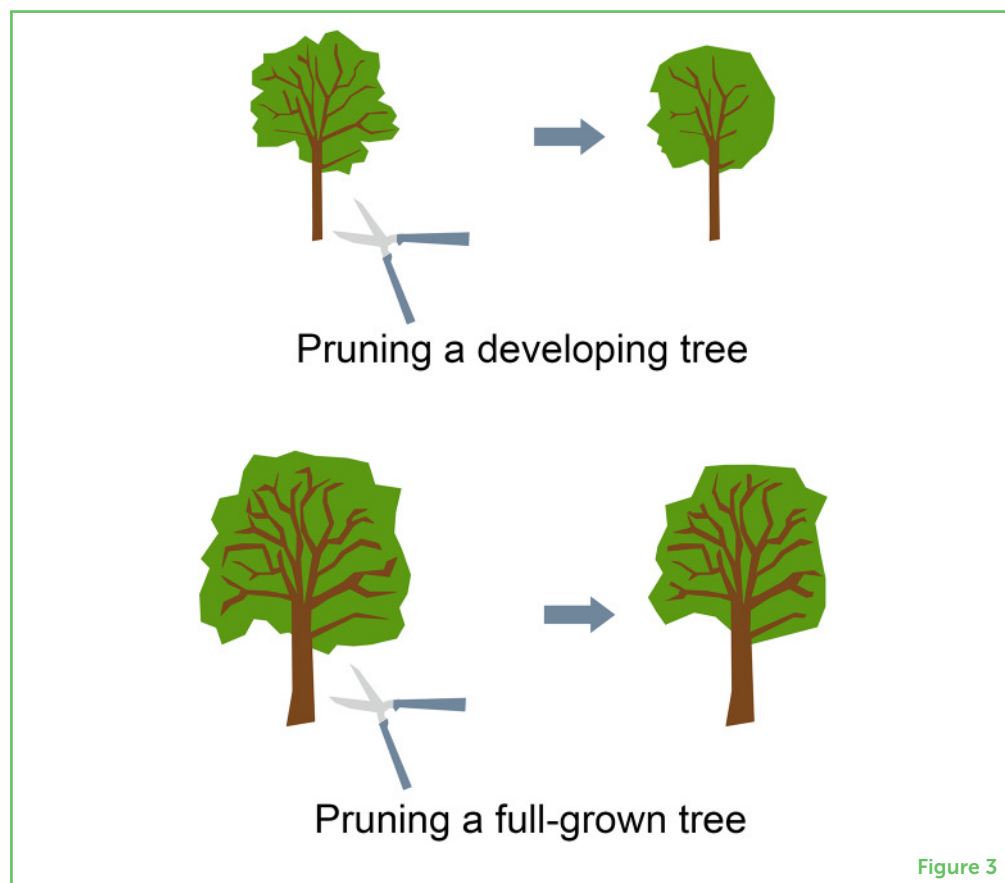


Figure 3

sainement, en passant par faire de l'exercice. Et puis, il y a aussi ce qu'on appelle l'«entraînement cérébral». Les entreprises qui proposent de tels exercices affirment que l'on peut «entraîner son cerveau quelques minutes chaque jour», et des personnes ayant pratiqué ces exercices affirment avoir observé chez elles des changements impressionnants en termes de concentration... ou de performances au bowling [4]! Généralement, l'entraînement cérébral exerce les fonctions exécutives. Réaliser des tâches mentales complexes demande d'importants efforts au cerveau, d'où le terme «entraînement cérébral». Mais si des recherches ont montré que l'entraînement générerait réellement des modifications du cerveau [3], celles-ci sont moins impressionnantes que ne l'affirment certains témoignages sur internet. Au fond, toutes les activités que l'on pratique, y compris promener son chien, rencontrer des amis ou lire cet article, agissent légèrement sur le cerveau. Le concept marchand d'«entraînement cérébral» est donc un terme impropre: il vaudrait mieux parler ici d'entraînement des fonctions exécutives.

Alors, l'entraînement cérébral – ça marche ou pas? Étant donné que les fonctions exécutives sont étroitement liées à l'intelligence, aux performances scolaires et à toutes sortes d'autres performances concrètes, des chercheurs suggèrent que les jeux qui les entraînent peuvent aussi favoriser des progrès dans tous ces domaines de la vie réelle. En d'autres termes, puisque les activités quotidiennes présentées aux [Figures 2A–2C](#) font appel aux mêmes compétences cérébrales que les jeux illustrés aux [Figures 2D–2F](#), il est possible qu'après avoir joué à ces jeux, on améliore ses performances dans ces activités de tous les jours. C'est un phénomène que les chercheurs appellent **transfert**. Au cours des 20 dernières années, de nombreux travaux scientifiques ont été menés pour déterminer si ce transfert avait réellement lieu [4]. Les résultats indiquent que les programmes d'entraînement cérébral améliorent souvent les performances dans les tâches ciblées. Ainsi, les participants qui s'exercent à remettre en ordre des lettres dans leur mémoire de travail améliorent leur capacité à réaliser cette tâche précise, et il semble indéniable qu'ils améliorent également leurs performances dans des tâches similaires, comme remettre en ordre des chiffres dans leur mémoire de travail. Cependant, les données actuelles ne permettent pas encore de conclure que l'entraînement cérébral améliorerait les performances dans des activités plus spécifiques comme les mathématiques ou la lecture [4]. Autrement dit, le fait qu'on puisse considérablement améliorer ses performances grâce à des jeux d'entraînement cérébral n'entraîne pas nécessairement des progrès dans la vie quotidienne. Il n'est pas rare que les compétences acquises s'appliquent uniquement au jeu auquel on a joué. Pour avoir des effets plus globaux, la prochaine génération des programmes d'entraînement cérébral devra intégrer des activités plus variées, intégrées dans des situations réelles de la vie. Ainsi, des exercices visant à entraîner les fonctions exécutives pourraient être intégrés dans des jeux vidéo complexes, mais aussi dans certaines matières scolaires.

## TRANSFERT

Le transfert consiste en l'utilisation de compétences acquises dans une situation donnée pour améliorer ses performances dans une autre situation.



## LE CERVEAU ET LA LECTURE

On sait aujourd'hui que ce que nous faisons chaque jour contribue à façonner notre cerveau, et on sait aussi qu'il devrait être possible d'entraîner son cerveau. Mais ce qu'on ne sait pas encore, c'est quels sont les meilleurs moyens pour y parvenir. Aurais-tu envie d'investir du temps précieux dans un programme d'entraînement cérébral sans réelle efficacité? Ne préférerais-tu pas consacrer ton temps à des activités agréables comme faire du sport ou lire des livres? Il est intéressant de souligner que des recherches ont montré que l'activité physique était bénéfique non seulement pour le corps, mais aussi pour le cerveau! Une activité physique régulière pourrait même être plus efficace pour améliorer les performances scolaires que les programmes d'entraînement cérébral. De même, la lecture a un impact positif sur les compétences cognitives générales. Des recherches suggèrent qu'en enrichissant le vocabulaire et en élargissant la culture générale, le fait de lire régulièrement développe l'intelligence [5]. Le plus cool dans tout ça, c'est que chaque fois qu'un nouveau souvenir est créé, le cerveau établit de nouvelles connexions et renforce certaines des anciennes. Autrement dit, plus on sait de choses, plus il est facile d'en apprendre d'autres [5]!

Par ailleurs, il se pourrait que la lecture stimule les compétences cognitives. As-tu déjà remarqué comment le reste du monde semble disparaître lorsque tu es absorbé par l'histoire que tu es en train de lire? Cela vient de ce que ton cerveau travaille activement quand tu lis: tu dois mémoriser les différents personnages, le contexte dans lequel ils évoluent, leurs objectifs et de nombreux détails concernant leur personnalité et leur comportement. De plus, il te faut souvent lire entre les lignes pour comprendre de quoi parle le livre. Pour réussir toutes ces tâches, tu fais appel à tes connaissances générales et à tes fonctions exécutives. Sans connaissances générales, tu ne comprendrais pas les mots utilisés et sans tes fonctions exécutives, tu n'arriverais pas à recréer une histoire complète dans ton esprit. Des recherches ont montré que plus un enfant lisait, plus il améliorait toutes ces compétences. Enfin, en plus d'améliorer ta mémoire et tes capacités de compréhension, la lecture peut t'amener à adopter la perspective de différents personnages et à sympathiser avec eux, ce qui est également une compétence importante dans la vie réelle [6].

## CONCLUSION

S'il est avéré que le cerveau en développement est particulièrement adaptable et que l'on peut améliorer ses performances, l'hypothèse selon laquelle l'entraînement cérébral y contribuerait reste, au mieux, controversée. Les futurs programmes d'entraînement cérébral engloberont certainement de nombreuses activités intégrées dans



des situations de la vie réelle. Mais il ne faut pas les attendre passivement! Si tu veux faire quelque chose dès aujourd'hui pour optimiser ton fonctionnement cérébral, la recette est: rester actif, avoir une alimentation saine, dormir suffisamment et continuer à apprendre de nouvelles choses en lisant beaucoup. Félicitations – c'est exactement ce que tu es en train de faire!

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été soutenue par la Fondation Jacobs (DJ). Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Stiles, J. 2008. *The Fundamentals of Brain Development: Integrating Nature and Nurture*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
2. Diamond, A. 2013. Executive functions. *Annu. Rev. Psychol.* 64:135–68. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
3. Jolles, D., and Crone, E. A. 2012. Training the developing brain: a neurocognitive perspective. *Front. Hum. Neurosci.* (2012) 6:76. doi: 10.3389/fnhum.2012.00076
4. Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., et al. 2016. Do "brain-training" programs work? *Psychol. Sci. Public Interest* 17:103–86. doi: 10.1177/1529100616661983
5. Cain, K., and Oakhill, J. 2011. Matthew effects in young readers: reading comprehension and reading experience aid vocabulary development. *J. Learn. Disabil.* 44:431–43. doi: 10.1177/0022219411410042
6. Kidd, D. C., and Castano, E. 2013. Reading literacy fiction improves theory of mind. *Science* 342:377–80. doi: 10.1126/science.1239918

**ÉDITEUR:** [Jessica Massonnie](#)

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** [Yana Fandakova](#)

**CITATION:** Jolles D et Van Leijenhorst L (2023) Si tu veux entraîner ton cerveau, lis cet article! *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00071-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Jolles D and Van Leijenhorst L (2020) Want to Train Your Brain? Read This Article! *Front. Young Minds* 8:71. doi: 10.3389/frym.2020.00071

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Jolles et Van Leijenhorst. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNE EXAMINATRICE



### VELIANA, ÂGE: 11

Je m'appelle Veliana et j'ai 11 ans. J'aime aller à l'école. Les mathématiques, l'anglais et le sport sont mes matières préférées. Pendant mon temps libre, j'aime lire, faire du sport et de la peinture.

## AUTEURS



### DIETSJE JOLLES

Au primaire, je rêvais de devenir détective – et finalement, je suis devenue scientifique. Pour moi, c'est un peu la même chose. Mon principal sujet d'étude est le fonctionnement fascinant du cerveau en développement. Je m'intéresse particulièrement à la manière dont les enfants, les adolescents et les adultes apprennent, et dont le développement de leur cerveau influe sur leur apprentissage. J'espère que mes recherches permettront de mieux comprendre le cerveau et son développement, et qu'elles apporteront de nouvelles perspectives susceptibles de contribuer à améliorer l'enseignement. \*[d.d.jolles@fsw.leidenuniv.nl](mailto:d.d.jolles@fsw.leidenuniv.nl)

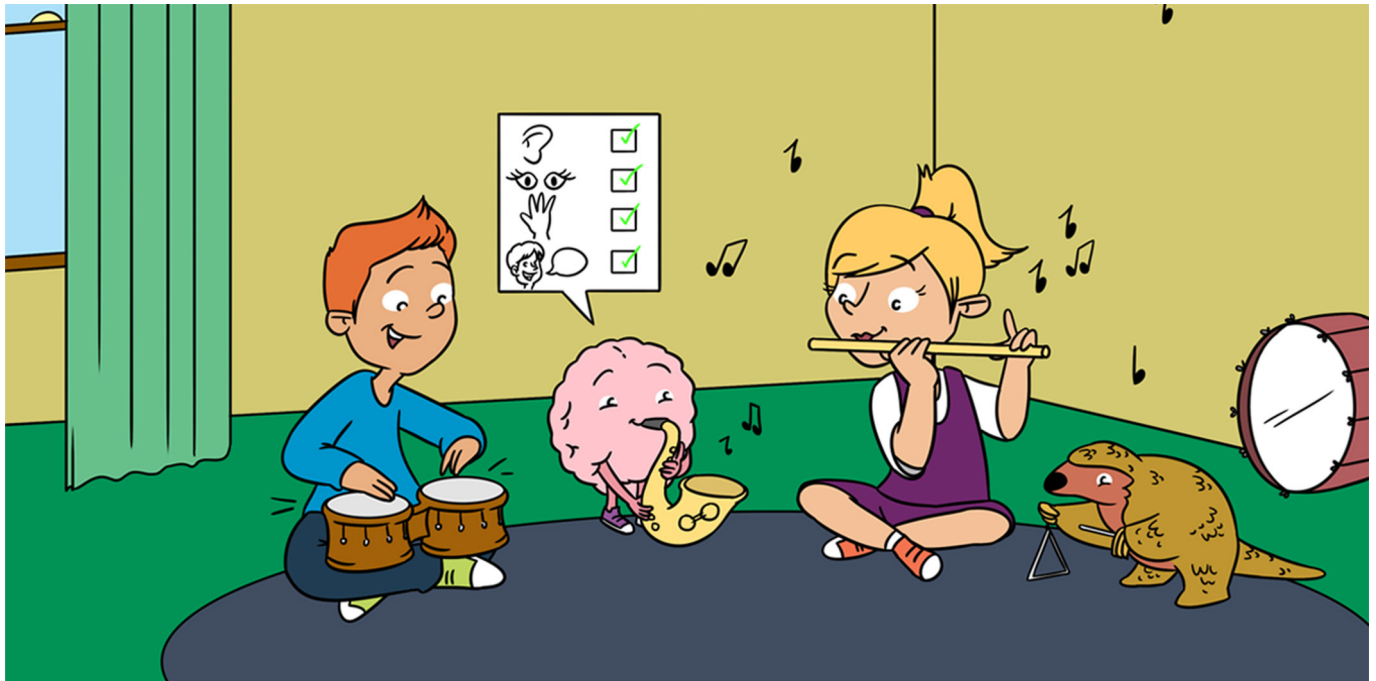


### LINDA VAN LEIJENHORST

Je suis professeure assistante et étudiante en neurosciences cognitives et développementales à l'Université de Leiden aux Pays-Bas. Je suis fascinée par les changements que traverse le cerveau entre l'enfance et l'âge adulte, en passant par l'adolescence. J'espère un jour comprendre comment ces changements agissent sur la manière dont nous appréhendons le monde autour de nous. N'est-ce pas incroyable que le cerveau nous permette à la fois de découvrir le monde, de rêver et d'imaginer des choses? Pour en découvrir encore plus sur ce sujet, je m'intéresse à la manière dont les enfants et les adolescents prennent des décisions et dont ils comprennent les histoires qu'ils lisent.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

 **JACOBS  
FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## MUSIQUE ET APPRENTISSAGE: LA MUSIQUE REND-ELLE PLUS INTELLIGENT?

Gabriella Musacchia<sup>1\*</sup> et Alexander Khalil<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département d'audiologie, Université du Pacifique, San Francisco, CA, États-Unis

<sup>2</sup>École de cinéma, de musique et de théâtre, Université College Cork, Cork, Irlande

JEUNE  
ÉXAMINATRICE:



SHIVANI

ÂGE: 15

Qu'est-ce que la musique et pourquoi pense-t-on qu'elle est importante pour l'apprentissage? Les sons et la musique sont partie intégrante de notre vie: de la musique partagée sur Internet à celle que nous entendons dans les magasins et les restaurants, la musique n'est jamais loin. La musique offre au cerveau un «exercice» multisensoriel qui peut renforcer la mémoire, favoriser l'attention et même améliorer l'aptitude à la lecture. Tu n'as pas besoin d'être Mozart pour que ton cerveau tire profit de la musique puisque que celle-ci est très accessible et ne se résume pas aux seules chansons. Chaque fois que tu communique sans mots (concentration sur la manière dont tu dis les choses et non sur ce que tu dis), tu manifestes un comportement musical. Dans cet article, nous allons découvrir des études sur le lien entre l'apprentissage et la musique afin de comprendre pourquoi la musique contribue au développement cérébral et comment elle peut être un élément central de nos vies en classe tout comme en dehors.

### LA SÉMANTIQUE

Ce qui se rapporte au sens en langue ou en logique.

### LA MÉLODIE

C'est une séquence de notes simples musicalement satisfaisantes.

### LE RYTHME

Il désigne un ensemble de mouvements et de sons forts, réguliers et répétés.

### LA MUSICALITÉ

C'est le talent ou la sensibilité musical(e).

### TEST DE QUOTIENT INTELLECTUEL (QI)

Le quotient intellectuel renvoie à l'évaluation normale du niveau d'intelligence d'un individu sur la base de tests psychologiques.

### LA PLASTICITÉ NEURONALE

Elle désigne la capacité du système nerveux à se modifier face aux expériences ou aux privations.

## ATTENTION À LA MÉLODIE

Qu'est-ce que la musique et pourquoi pense-t-on qu'elle est importante pour l'apprentissage? Tout autour du monde, les peuples de chaque culture conçoivent quelque chose qu'on pourrait appeler musique, mais beaucoup d'entre eux ne la nomment pas ainsi ou pensent qu'elle ne se distingue pas des autres activités comme la danse ou la narration [1]. C'est pourquoi nous ne pouvons définir la musique que d'une manière générale, comme une forme de communication à travers les sons. Cependant, et contrairement au discours, elle n'est généralement pas considérée comme relevant de **la sémantique**. Cela signifie qu'elle n'utilise pas de mots pour présenter des faits. Imagine comme il serait difficile de dire quelque chose de simple comme «ta chaussure gauche est délacée» en utilisant seulement **la mélodie** et **le rythme**. Par ailleurs, la musique peut transmettre des émotions profondes que les mots seuls ne peuvent pas décrire. Outre sa nature artistique, elle se traduit dans toutes les formes de communication. Pense à toutes les manières de dire «euh» qui expriment des réalités différentes. C'est ce qui constitue **la musicalité**. La musicalité ne veut pas dire performance musicale, il s'agit plutôt d'un aspect musical de la communication. Si tout le monde n'est pas maître du violon, tout le monde est bien maître de son propre style de communication.

Les scientifiques ont d'abord pensé que le cerveau pouvait tirer profit de la musique en l'écoutant tout simplement. Ils ont démontré que les résultats au **test de quotient intellectuel (QI)** s'amélioraient pour les personnes qui écoutaient Mozart [2]. C'est ce qui a fait naître l'idée selon laquelle la musique rend plus intelligent. Cependant, cette idée était une simplification excessive et une surestimation des résultats. Les études ultérieures ont révélé que la musique ne rend pas intelligent, mais plutôt qu'elle augmente le plaisir lors de l'apprentissage et diminue le stress, ce qui favorise parfois une meilleure attention et de meilleurs résultats aux évaluations. Cela signifie que, même si la musique écoutée à la maison ou en classe n'améliore pas automatiquement tes performances scolaires, elle peut être utile pour ta concentration dans certaines situations qui nécessitent plus d'attention et moins de stress. Par ailleurs, le simple fait d'écouter de la musique n'aura pas le même effet que le fait de jouer de la musique. De la même manière, faire du sport améliore ta condition physique bien plus que de regarder du sport à la télévision. Par conséquent, le pouvoir de la musique est amplifié lorsque l'on en joue.

## MUSIQUE ET INTELLIGENCE

Tout comme les muscles de ton corps, ton cerveau devient plus fort en s'exerçant. Les changements cérébraux qui s'opèrent au cours de nos expériences constituent **la plasticité neuronale**, appelée ainsi car le cerveau se façonne facilement, comme du plastique. Les scientifiques mesurent la neuroplasticité à l'aide des différentes

techniques d'imagerie cérébrale, comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou l'électro-encéphalogramme (EEG), afin de comprendre comment la musique intervient dans le fonctionnement du cerveau. Les recherches menées avec ces machines ainsi que les études sur les cerveaux de personnes décédées montrent que les régions cérébrales responsables de l'audition (l'ouïe), de la vision (la vue) et de la motricité (ensemble des fonctions qui assurent les mouvements) sont spécifiques chez les musiciens professionnels [3]. Cette spécificité se traduit non seulement par une taille accrue de chaque région cérébrale mais aussi par un fonctionnement différent. La science nous montre que la musique est plus qu'un divertissement, c'est un élément essentiel de notre apprentissage tout au long de notre vie. Voici quelques faits importants qui se passent dans le cerveau lorsque nous jouons de la musique (pour plus de détails, voir Zatorre [4]):

**L'audition:** le système auditif traite les sons plus efficacement après une pratique musicale. Les gens peuvent déceler de petites différences de fréquence (le nombre d'ondes sonores par seconde) qui rendent plus facile l'écoute de la parole et de la musique [5].

**La motricité:** les régions cérébrales qui contrôlent les muscles et les parties de l'organisme manipulant les instruments (comme les doigts, la bouche, etc.) augmentent en taille. Davantage de neurones cérébraux sont destinés à perfectionner le mouvement des muscles dans ces régions.

**La lecture:** des études ont démontré qu'une meilleure capacité musicale est associée à de bonnes notes en lecture, ce qui suggère un lien entre notre capacité d'écoute du langage et notre capacité à transcrire les paroles en lettres.

**La conscience socio-émotionnelle:** la pratique de la musique en groupe peut stimuler la conscience socio-émotionnelle, qui renvoie à la capacité d'identifier, de gérer et d'exprimer les émotions de manière constructive. Par exemple, les très jeunes enfants ont tendance à interagir plus facilement en compagnie de personnes avec qui ils jouent de la musique.

## ÉTABLIR DES RELATIONS AVEC LA MUSIQUE

Dans quelle mesure la musique peut-elle influencer les informations qui ne sont pas perçues par l'ouïe? La raison pour laquelle la musique peut atteindre de nombreuses parties cérébrales est que le système auditif est fortement lié aux autres régions sensorielles [6] (Figure 1).

Rappelle-toi de tes premiers jours à l'école, tu te souviendras certainement d'avoir chanté des chansons. D'ailleurs, beaucoup

### Figure 1

D'autres régions sensorielles cérébrales transmettent des informations à l'aire auditive (l'ouïe, en bleu). Les régions multisensorielles comme le cortex préfrontal (cognition), le cortex moteur (mouvement) et le cortex auditif complexe sont présentées en gris et comportent des petites boîtes colorées pour montrer les sens avec lesquels elles interagissent. Les fortes liaisons vers les régions auditives et visuelles sont considérées comme des autoroutes à deux voies (Two-way connections) étant donné que les informations sensorielles sont partagées dans les deux directions entre les régions cérébrales (lignes orange en pointillé). Parallèlement, les régions somatosensorielles (toucher), indiquées en vert, se composent aussi de liaisons à deux voies qui partagent des informations. D'après Musacchia et Schoreder [6].

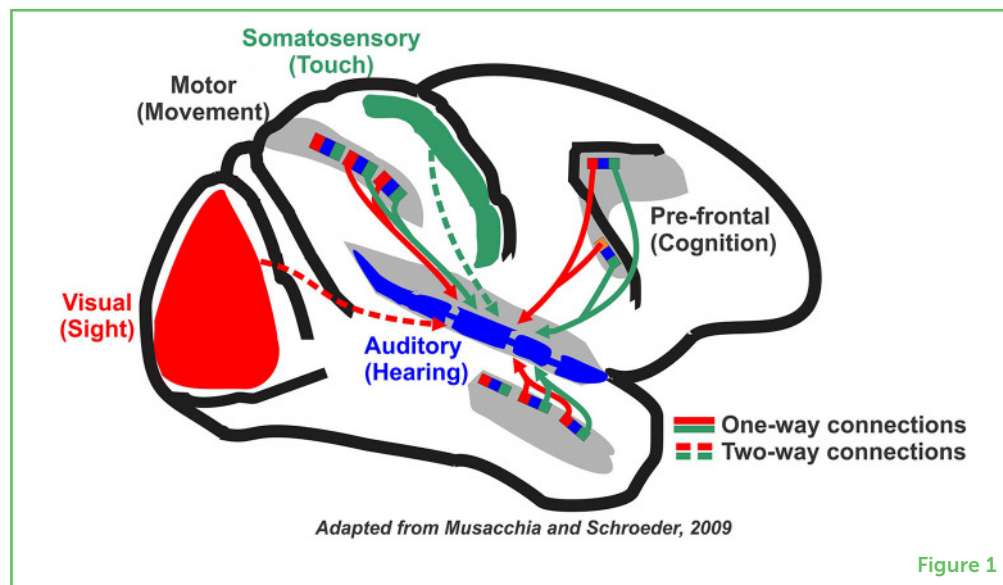


Figure 1

d'entre nous chantent toujours l'alphabet pour se rappeler de la position d'une lettre. Si tu ne nous crois pas, quelle lettre apparaît quatre lettres après «M»? Dis-nous que tu n'as pas chanté l'alphabet dans ta tête afin de trouver la réponse! Les chansons avec des mélodies et des rythmes répétitifs permettent de mémoriser des listes, des histoires et des procédures.

La Figure 1 montre le modèle de liaisons entre la principale région cérébrale auditive et les autres régions sensorielles et perceptives. Lorsqu'on apprend à jouer de la musique, les sens, dont la vue, le toucher, l'ouïe, l'équilibre, le mouvement et la proprioception (la perception du corps) interagissent activement. La particularité de la musique repose sur deux faits. Tout d'abord, lorsque tu joues de la musique, tous tes sens sont sollicités. Par exemple, tu ressens l'instrument musical sur tes mains, tu entends les sons que tu joues et tu vois les notes sur la feuille de musique. Puisque chaque type d'information sensorielle arrive au cerveau à des moments différents, le cerveau doit synchroniser ces informations. Deuxièmement, lorsque l'on joue de la musique, tout se passe à des vitesses et des échelles de temps différentes qui doivent s'aligner avec justesse. Par exemple, un guitariste doit savoir être en rythme avec une mélodie et une chanson afin d'être en harmonie lors d'un concert. Bien qu'il soit difficile pour nous de comprendre comment le cerveau assure le suivi de tous ces éléments, il est probable que divers mécanismes de chronométrage soient en place («horloges») pour des échelles de vitesse différentes («vitesses»). Certaines de nos recherches reposent sur l'idée selon laquelle la synchronisation entre ces «horloges» cérébrales peut aider à analyser d'autres flux sonores comme la parole.



## TOUTE UNE VIE DE MUSIQUE

La musique est aussi un moyen d'exprimer notre identité, car celle qu'on joue ou qu'on écoute peut être une manière pour nous de signifier au monde, à nos semblables, à nos parents et amis quelque chose sur notre personnalité. Pour les peuples qui n'utilisent pas l'écriture, les chanteurs occupent souvent une place importante dans la société parce qu'ils mémorisent des faits essentiels comme l'histoire et les relations familiales. Alors que l'expression musicale de l'identité est généralement positive, il est arrivé que des groupes de personnes trouvent la musique d'un autre groupe menaçante, voire dangereuse [7]. Par exemple, à la fin des années 1980, des rappeurs ont été arrêtés parce qu'ils donnaient des concerts que les autorités ont trouvés hostiles et irrespectueux.

La musique, qu'elle soit chantée ou jouée, n'est pas seulement une activité spéciale que l'on pratique de temps à autres, la musique emplit notre vie. Elle est jouée sur des haut-parleurs, parfois en direct, dans la plupart des lieux publics, des bus, des ascenseurs et des restaurants. Beaucoup d'entre nous l'écoutons aussi sur notre téléphone et dans notre voiture.

Notre vie est véritablement emplie de musique et notre relation avec elle peut fortement influencer sur notre apprentissage.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non-anglophones et la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Merriam, A. P., and Merriam, V. 1964. *The Anthropology of Music*. Evanston, IL: Northwestern University Press.
2. Rauscher, F. H., Shaw, G. L., and Ky, K. N. 1995. Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: towards a neurophysiological basis. *Neurosci. Lett.* 185:44–7.
3. Schlaug, G. 2009. "Music, musicians, and brain plasticity," in *Oxford Handbook of Music Psychology*, eds S. Hallam, I. Cross and M. Thaut (Oxford: Oxford University Press), 197–207.
4. Zatorre, R. J. 2003. Music and the brain. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 999:4–14. doi: 10.1196/annals.1284.001
5. Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., and Kraus, N. 2007. Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:15894–8. doi: 10.1073/pnas.0701498104

6. Musacchia, G., and Schroeder, C. E. 2009. Neuronal mechanisms, response dynamics and perceptual functions of multisensory interactions in auditory cortex. *Hear Res.* 258:72–9. doi: 10.1016/j.heares.2009.06.018
7. Binder, A. 1993. Constructing racial rhetoric: media depictions of harm in heavy metal and rap music. *Am. Sociol. Rev.* 58:753–67.

**ÉDITEUR:** [Jessica Massonnie](#)

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** [Prachi Patel](#)

**CITATION:** Musacchia G et Khalil A (2023) Musique et apprentissage: La musique rend-elle plus intelligent? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00081 -fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Musacchia G and Khalil A (2020) Music and Learning: Does Music Make You Smarter? *Front. Young Minds* 8:81. doi: 10.3389/frym.2020.00081

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Musacchia et Khalil. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNE EXAMINATRICE



### SHIVANI, ÂGE: 15

Salut! Je m'appelle Shivani et je suis une athlète lycéenne vivant à San José. À l'école, j'aime beaucoup les maths et la science. En dehors, j'aime aussi nager, jouer au volleyball et au golf. Sur mon temps libre, j'adore faire du volontariat, passer du temps avec mes amis et découvrir de nouvelles musiques.

## AUTEURS



### GABRIELLA MUSACCHIA

Gabriella Musacchia est professeure assistante au Département d'Audiologie de l'Université du Pacifique et chercheuse à l'Université de Stanford. Elle dispense des cours de physiologie et de perception auditive aux futurs docteurs en audiologie. Ses recherches ont pour objet l'utilisation de l'électroencéphalographie (EEG) en tant que technique d'imagerie pour comprendre comment le cerveau traite la parole et la musique. \*[gmusacchia@pacific.edu](mailto:gmusacchia@pacific.edu)

**ALEXANDER KHALIL**

Alexander Khalil est enseignant en ethnomusicologie à l'Université de Cork, en Irlande, et chercheur à l'Institut de calcul neuronal de l'Université de Californie à San Diego, en Californie. Il s'intéresse à la manière dont les gens font l'expérience du temps en suivant la musique et son rythme. Il s'est spécialisé dans l'étude du chant byzantin, de la musique traditionnelle chinoise et du gamelan balinaise. Il adore aussi jouer de la musique, composer ses propres chansons et fabriquer des instruments.

**French version provided by**  
Version Française fournie par





## QUAND CHOISIR DE NE PAS TOUT ÉCOUTER PERMET DE MIEUX ENTENDRE ET APPRENDRE

Angela M. AuBuchon<sup>1\*</sup> et Ryan W. McCreery<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de la mémoire de travail et de la langue, Hôpital national de recherche de Boys Town, Omaha, NE, États-Unis

<sup>2</sup>Laboratoire de l'audibilité, de la perception et de la cognition, Hôpital national de recherche de Boys Town, Omaha, NE, États-Unis

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



IAGO

ÂGE: 13



ROAD

RUNNERS  
& COBRAS

ÂGES: 10–11

Nous apprenons beaucoup en écoutant les sons qui ont du sens pour nous. Cependant, il est parfois difficile de distinguer les sons importants de ceux qui le sont moins – les «bruits». Différentes parties du cerveau sont affectées par différents types de sons, ce qui rend l'apprentissage difficile. À mesure que le cerveau se développe, il apprend à distinguer plus facilement les sons importants des simples bruits. Mais il existe quelques astuces que les enfants comme les adultes peuvent mettre à profit pour mieux entendre et mieux apprendre dans les environnements bruyants.

Les adultes attendent souvent des enfants qu'ils soient capables d'apprendre dans des conditions bruyantes: chaises traînées par terre, bruit de tondeuse à gazon à l'extérieur, voisins de table qui bavardent, etc. Nous avons récemment mesuré le niveau sonore de 157 salles de classe. Résultat: même quand aucun élève ne s'y trouvait, le niveau sonore de 137 d'entre elles était trop élevé pour permettre une bonne écoute [1]! Le parcours qu'effectuent les sons des oreilles jusqu'au

## SYSTÈME AUDITIF

Système sensoriel du sens de l'ouïe. Il comporte des éléments semblables à ceux d'un robot et des neurones qui transportent les informations sonores de l'oreille au cerveau.

### Figure 1

Cette figure montre les structures et les neurones qui appartiennent au système auditif. Les légendes indiquent les parties ayant pour rôle principal d'écouter tout en ignorant les bruits ambiants. À partir du pavillon de l'oreille (pinna), les sons passent dans le conduit auditif (ear canal). Il est recommandé de regarder la source des sons importants, le pavillon canalisant de manière optimale les sons produits devant nous. La cochlée transforme ensuite les sons en électricité, laquelle est transmise par le nerf auditif (auditory nerve) au tronc cérébral (brain stem), avant de traverser le thalamus en direction du cortex auditif situé dans le lobe temporal du cerveau. Ear drum = Tympan, Bones of middle ear = Os de l'oreille moyenne.

cerveau peut sembler court. Pourtant, les bruits ambiants peuvent perturber l'apprentissage de plusieurs manières sur ce parcours. Ce qui peut être parfois frustrant, c'est qu'il arrive que le bruit ne gêne pas les adultes autant que les enfants. Cela s'explique en partie par le fait que le **système auditif** de l'enfant est encore en pleine croissance et n'a pas fini de se développer (Figure 1). Par ailleurs, les adultes ont acquis des techniques pour gérer le bruit. Dans le présent article, nous aborderons tout d'abord la façon dont les bruits qui ne nous paraissent pas importants nous empêchent néanmoins de bien comprendre ce que nous écoutons et voyons, et te présenterons des astuces pour arriver à écouter et à apprendre dans un environnement bruyant.

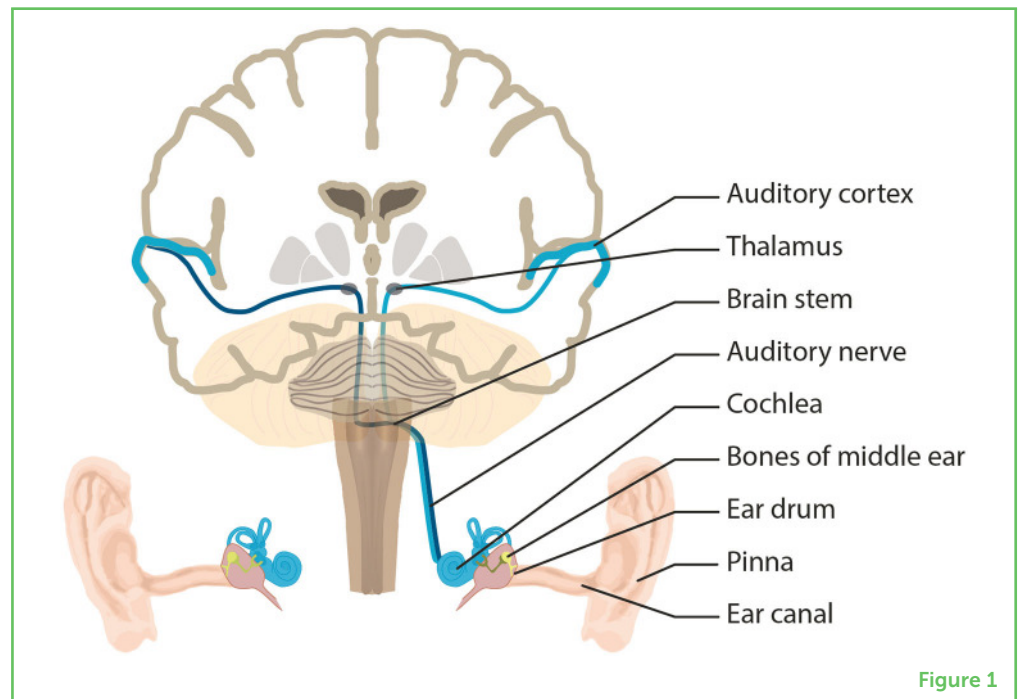


Figure 1

## LES TYPES DE BRUITS

Il existe différents types de bruits qui ont des impacts différents sur le système auditif. Dans cet article, nous aborderons trois types de bruits. Premièrement, les bruits fluctuants. Il peut s'agir par exemple d'une conversation entre deux de tes camarades ou d'un morceau de jazz que tu écoutes pendant que tu fais tes devoirs: certains sons, une trompette ou une voix aiguë vont être plus perçants tandis que d'autres, comme un tuba ou une voix grave, seront plus sourds. Les sons peuvent par ailleurs être plus ou moins forts. L'intensité sonore est mesurée en décibels (dB). Les bruits les plus légers, comme le bruissement des feuilles, font environ 20 dB, tandis que les plus assourdissants, comme les moteurs d'avions, dépassent les 100 dB. Deuxième catégorie: les bruits stables et continus, conservant à peu près la même intensité du début jusqu'à la fin. Dans cette catégorie, on trouve le ronronnement de l'ordinateur, le vrombissement de

la tondeuse à gazon ou le brouhaha qui règne dans une cafétéria pleine de monde. Le troisième type correspond aux bruits soudains et imprévisibles, comme un claquement de porte. Ils ne sont pas toujours très forts, mais quand même un peu plus que les bruits ambiants. La vibration d'un téléphone portable dans une pièce silencieuse entre donc également dans cette catégorie.

## PAVILLON AURICULAIRE

Partie du système auditif située à l'extérieur de notre tête et communément appelée «oreille». Pour les scientifiques, le terme «oreille» désigne tout ce qui se trouve entre le pavillon auriculaire et la cochlée.

## COCHLÉE

Structure en forme de spirale qui transforme les ondes sonores en signaux nerveux. Ceux-ci quittent la cochlée via le nerf auditif qui est l'un des 12 «nerfs crâniens» (spécifiques en cela qu'ils n'émergent pas de la moelle épinière).

## SAVOIR DISTINGUER LES SONS ET LES BRUITS

Dans un endroit très bruyant, les différents types de bruits que nous venons de présenter arrivent tous ensemble dans nos oreilles. Il faut savoir que les «oreilles» sont bien plus que ces capteurs d'ondes sonores placés de part et d'autre de la tête et dont le nom scientifique est **pavillons auriculaires**. Chaque oreille comporte en effet, en plus du pavillon, un conduit auditif menant au tympan, le tympan lui-même, plusieurs os de très petite taille situés de l'autre côté du tympan, et enfin une structure en spirale appelée **cochlée**. C'est au niveau de la cochlée que les ondes sonores se transforment en signaux électriques que les neurones du système auditif vont pouvoir véhiculer. C'est également ici que les sons se mélangent. On peut comparer la cochlée à un étang: les sons qui y parviennent sont comme des cailloux qui provoquent des ondulations à la surface de l'étang quand on les y jette. Si chaque élève qui se trouve dans la cafétéria lance un caillou dans cet étang, sa surface va se couvrir d'ondulations qui finiront par se croiser. À partir de ce moment, il va devenir difficile de savoir exactement quelle ondulation a été produite par quel élève. C'est la première raison pour laquelle il est difficile d'apprendre dans un environnement bruyant, car quand deux sons différents se produisent en même temps, ils se mélangent, générant un ensemble anarchique et difficile à interpréter. Les trois catégories de bruits présentées plus haut peuvent se mélanger avec les sons significatifs, mais ce sont les bruits stables et continus qui se mélangent le plus aux autres. Contrairement aux bruits soudains et imprévisibles, les bruits stables ne cessent jamais. Alors que lorsqu'un bruit s'arrête, ne serait-ce que pour un instant, le son important bénéficie de toute la faculté de réception de la cochlée. Une première astuce consiste donc à profiter de ces moments de calme pour se focaliser sur ce son important. Comme les cochlées se développent entièrement avant la naissance, les sons s'y mélangent de la même façon chez l'adulte et chez l'enfant. Mais les adultes ont plus de facilité à utiliser des astuces comme la focalisation pour entendre les sons qui les intéressent. Cette aptitude s'explique par le fait que la capacité du cerveau à traiter les sons se perfectionne avec l'âge.

Pour comprendre le sens de ce qui se passe autour de nous, il nous faut reséparer les sons mélangés en sons distincts. Une astuce toute simple pour y parvenir est d'augmenter l'intensité des sons qui nous intéressent. Reprenons l'image de l'étang couvert d'ondulations à cause des cailloux que les élèves y ont lancés, et imaginons qu'un



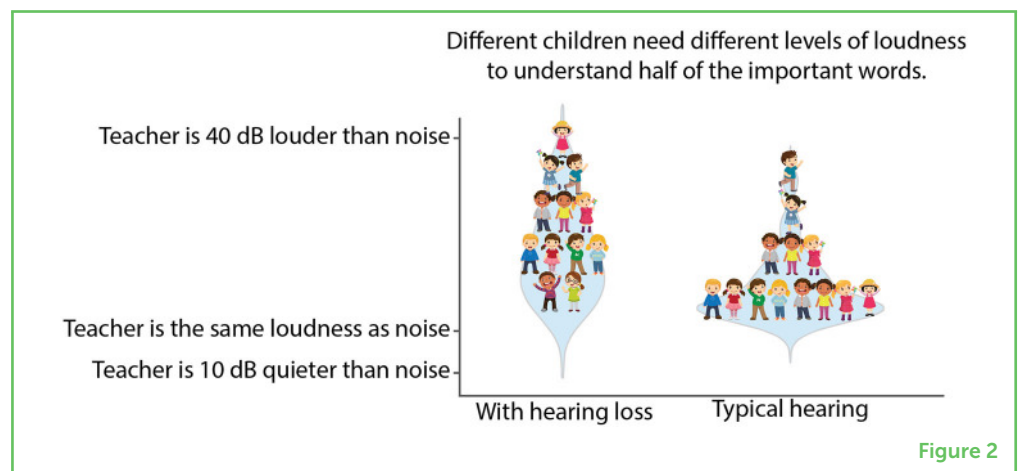
## Figure 2

Très peu d'enfants comprennent ce qu'ils entendent quand la personne parle moins fort que le bruit de fond (quieter than noise). Le bas du graphique correspond à une situation où l'enseignant parlerait (la majorité des gens parlent à environ 60 dB) par exemple à côté d'une tondeuse à gazon allumée (70 dB). Une classe qui chahute atteint 90 dB! La plupart des enfants sans problèmes d'audition ont besoin que la voix de la personne soit plus forte que les bruits de fond (louder than noise). Tu remarqueras que les élèves malentendants sont plutôt en haut du graphique (illustration de droite typical hearing). Les enfants représentés tout en haut du graphique ont quant à eux besoin que la voix de la personne soit plus forte que les bruits de fond (louder than noise). Tu remarqueras que les élèves malentendants sont plutôt en haut du graphique (illustration de gauche, with hearing loss). Cela montre combien il est difficile pour eux de suivre un cours dans une ambiance bruyante, même s'ils se servent d'un appareil auditif [6].

## ACCOUTUMANCE

Affaiblissement d'une perception face à un stimulus – bruit, odeur, sensation tactile, etc. – prolongé.

enseignant y jette maintenant une grosse pierre. Les ondulations qu'elle produit vont se mélanger à celles causées par les cailloux jetés par les élèves, mais comme elles seront beaucoup plus grosses que ces dernières, elles s'en distingueront facilement. Nous avons demandé à des enfants ne présentant pas de problèmes d'audition et à des enfants malentendants d'écouter des phrases importantes dans un contexte bruyant. Dans chaque groupe, seuls peu d'enfants sont parvenus à les entendre lorsque ces phrases étaient prononcées avec une intensité inférieure ou égale à celle des bruits ambiants. En revanche, quand les phrases étaient prononcées avec ne serait-ce que quelques décibels de plus que le volume sonore du brouhaha, la plupart des enfants sans problèmes d'audition ont pu les distinguer de celui-ci, et par conséquent les comprendre. Enfin, pour bien entendre, certains enfants ont eu besoin que les phrases soient énoncées beaucoup plus fort que le bruit de fond (Figure 2) pour les comprendre.



Augmenter l'intensité des sons importants est une astuce pratique, car il existe mille manières d'y parvenir. En classe, tu peux par exemple demander aux professeurs de hausser la voix, te rapprocher d'eux, ou encore, essayer de réduire le niveau des bruits de fond, par exemple en fermant la fenêtre quand il y a du bruit dehors. Notre cerveau a, par ailleurs, lui-même une astuce pour faire en sorte que les bruits sans intérêt lui paraissent plus discrets qu'ils ne sont. Cette solution est l'**accoutumance**: c'est notre capacité innée à ne plus réagir à ce qui se présente de façon répétée. L'accoutumance peut être auditive, visuelle, olfactive (sens de l'odorat) ou tactile (sens du toucher). Si tu as déjà préparé, disons des popcorns, tu sais qu'au début, ils produisent une odeur délicieuse, mais qu'au bout d'un moment, tu finis par ne plus la sentir. En revanche, si tu sors quelques minutes de la cuisine, tu sentiras de nouveau l'odeur du popcorn à ton retour. C'est un exemple d'accoutumance olfactive: l'odeur des popcorns n'a pas disparu, mais ton cerveau a cessé de la percevoir. Le même phénomène peut se produire avec les bruits, et notamment les bruits stables et continus: bien que ceux-ci ne faiblissent pas réellement, ils génèrent avec le temps une réaction cérébrale moindre, ce qui

fait que par comparaison, les sons importants donnent l'impression d'être plus forts. Malheureusement, même à l'âge de 9 à 11 ans, il faut beaucoup plus de temps aux enfants qu'aux adultes pour s'habituer aux bruits de fond [2]. La capacité d'accoutumance des adultes aux bruits stables et continus pourrait expliquer pourquoi ils comprennent mieux les mots importants que les enfants, y compris dans une ambiance bruyante [3].

Autre astuce pour mieux distinguer les sons: tenir compte de la diversité de leurs sources. Nous sommes capables de cette prouesse grâce à nos deux oreilles. Un son produit sur ta droite sera perçu un peu plus fort par ton oreille droite que par ton oreille gauche (voir maquette sonore). De même, ce son sera perçu un tout petit peu plus rapidement par ton oreille droite que par ton oreille gauche. La différence est si minime (pas plus d'une demi-milliseconde!) que nous n'en avons pas conscience, mais notre système auditif, lui, la perçoit. Après avoir quitté les deux cochlées, l'information sonore est véhiculée jusqu'au tronc cérébral par un nerf spécifique, le nerf auditif. Le tronc cérébral est en mesure de déterminer laquelle des deux cochlées a perçu le son la première et le plus fort. N.B.: Le tronc cérébral d'une personne adulte sait exactement ce qu'il faut à un son, à la fois en termes de vitesse et d'intensité, pour contourner sa tête et parvenir à l'oreille qui n'est pas du côté de l'émetteur. Mais la tête d'un enfant grandit beaucoup jusqu'à ses 6 ans, ce qui rend difficile aux plus jeunes de détecter les sons, car c'est la détection de leurs sources respectives qui permet au système auditif de pouvoir les dissocier les uns des autres.

Une autre solution pour mieux distinguer les sons consiste à prêter attention à un seul d'entre eux tout en ignorant les autres. On ne sait pas encore exactement comment le cerveau parvient à réaliser cela. Parfois, tu as l'impression que tu as toi-même décidé de porter ton attention sur un son donné, mais à d'autres moments, on dirait que c'est ton cerveau qui a décidé pour toi. Prenons un exemple: imagine que toute ta classe soit en train de travailler quand soudain, une porte claque: tous les élèves vont alors orienter leur regard vers cette porte, cessant pour quelque temps de travailler. Que s'est-il passé? Vos systèmes auditifs ont perçu ce claquement de porte, en ont déterminé la source, et ont décidé que l'événement était suffisamment important pour qu'on y prête attention. Mais pourquoi? Une réponse possible est que le **thalamus**, une structure située au fond de notre cerveau, contribuerait à prioriser les informations [4]. Le thalamus, qui recueille des informations auditives, visuelles, gustatives et tactiles, est capable de surveiller notre environnement et de détecter s'il s'y produit un changement en termes sonores, visuels ou tactiles. Ainsi un son est-il plus susceptible d'attirer notre attention s'il survient ou change subitement. Conclusion: un son qui change peut attirer notre attention y compris contre notre volonté.

## THALAMUS

Structure profondément enfouie dans le cerveau, qui envoie des informations auditives, visuelles, gustatives et tactiles au reste du cerveau. Il peut notamment prévenir de changements survenant dans le milieu où se trouve la personne.

## **DANS UN ENVIRONNEMENT BRUYANT, IL EST PLUS DIFFICILE D'APPRENDRE CE QU'ON VOIT (OUI, TU AS BIEN LU)**

Ce qui suit va t'étonner: non seulement le bruit nous empêche de prêter attention aux sons importants, mais aussi aux informations visuelles importantes! Avant l'âge de 9 ans, même un bruit stable et continu comme celui d'un climatiseur peut impacter négativement la mémoire d'un enfant [5]. Ce type de bruit ne semble en revanche pas beaucoup gêner les adultes, probablement parce qu'ils s'y sont accoutumés. Toutefois, il est prouvé que les enfants comme les adultes ont du mal à mémoriser du vocabulaire lorsqu'il y a des bruits fluctuants autour d'eux – et tout particulièrement si ces bruits comprennent des mots. Autrement dit, il est probable que tu te souviennes moins bien de ce que tu as appris si pendant ce temps, la télévision était allumée. Et même un enfant de 12 ans aura des difficultés à mémoriser s'il apprend avec un bruit de fond fluctuant ne contenant pas de mots – du jazz par exemple. Ce qu'il faut retenir ici, c'est que n'importe quel bruit perturbe la mémoire chez les jeunes. En revanche, toutes sortes de bruits deviennent plus faciles à ignorer à mesure qu'on avance en âge. On peut en conclure qu'avec les années, notre cerveau sait de mieux en mieux déterminer quels sont les sons qui méritent notre attention (ou pas). Et une fois que tu contrôleras ce à quoi ton cerveau doit prêter attention, il te deviendra plus facile d'écouter et d'apprendre malgré les bruits ambiants.

## **REGARDER POUR MIEUX ENTENDRE**

Dans le domaine qui nous intéresse ici, une des astuces les plus importantes est qu'il faut regarder les sons importants! Quand on regarde quelque chose, on a plus de facilité à lui accorder notre attention. Cela aide à distinguer les sons significatifs des bruits de fond. Dans le même ordre d'idées, on peut aussi regarder les lèvres de la personne qui parle pour mieux comprendre ce qu'elle dit. S'il te faut une preuve, demande à un ami de former silencieusement les mots «arc» et «marque». Tu remarqueras que ses lèvres se rejoignent pour former le «m» de «marque». Les personnes qui savent lire sur les lèvres ont aussi moins de difficultés à comprendre ce que dit quelqu'un dans une atmosphère bruyante.

## **CONCLUSION**

Dans une ambiance bruyante, il est plus difficile d'écouter et d'apprendre que dans le calme. Et cela concerne particulièrement les enfants, leur système auditif n'étant pas encore totalement développé. Mais des scientifiques ont découvert certaines astuces qui t'aideront à mieux entendre: (1) augmente l'intensité des sons utiles et réduis celle

des bruits, (2) détermine la source des sons importants et (3) regarde vers celle-ci.

## MAQUETTE SONORE

Écoute cette maquette sonore sans écouteurs. As-tu pu comprendre l'histoire que l'enseignant était en train de lire? Maintenant, mets tes écouteurs. As-tu remarqué comment le professeur se déplace dans la classe alors que les bruits persistent? Savoir où il se trouve te permet de suivre sa voix et de mieux comprendre l'histoire de «Jack et le haricot magique».



## REMERCIEMENTS

Cette recherche a été soutenue par les subventions NIH/NIDCD R01 DC013591 et NIH/NIGMS P20 GM109023. Les auteurs remercient Hans Packer pour l'élaboration des chiffres, et G. Chris Stecker pour avoir créé une maquette sonore à partir des fichiers audio offerts par Calandruccio et al. [7]. Ils remercient aussi tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Spratford, M., Walker, E. A., and McCreery, R. W. 2019. Use of an application to verify classroom acoustic recommendations for children who are hard of hearing in a general education setting. *Am. J. Audiol.* 28:927–34. doi: 10.1044/2019\_AJA-19-0041
2. Muenssinger, J., Stingl, K. T., Matuz, T., Binder, G., Ehehalt, S., and Preissl, H. 2013. Auditory habituation to simple tones: reduced evidence for habituation in children compared to adults. *Front. Hum. Neurosci.* 7:377. doi: 10.3389/fnhum.2013.00377
3. Hall, J. W. III, Grose, J. H., Buss, E., and Dev, M. B. 2002. Spondee recognition in a two-talking masker and a speech-shaped noise masker in adults and children. *Ear Hear.* 23:159–65. doi: 10.1097/00003446-200204000-00008
4. Nakajima, M., and Halassa, M. M. 2017. Thalamic control of functional cortical connectivity. *Curr. Opin. Neurobiol.* 44:127–31. doi: 10.1016/j.conb.2017.04.001
5. AuBuchon, A. M., McGill, C. I., and Elliott, E. M. 2019. Auditory distraction does more than disrupt rehearsal processes in children's serial recall. *Mem. Cogn.* 47:738–48. doi: 10.3758/s13421-018-0879-4
6. McCreery, R. W., Walker, E., Spratford, M., Lewis, D., and Brennan, M. 2019. Auditory, cognitive, and linguistic factors predict speech recognition in adverse

listening conditions for children with hearing loss. *Front. Neurosci.* 13:1093. doi: 10.3389/fnins.2019.01093

7. Calandruccio, L., Leibold, L. J., and Buss, E. 2016. Linguistic masking release in school-age children and adults. *Am. J. Audiol.* 25:34–40. doi: 10.1044/2015\_AJA-15-0053

**ÉDITEUR:** Jessica Massonnie

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Susana Martinez-Conde et Tobias Overath

**CITATION:** AuBuchon AM et McCreery RW (2023) Quand choisir de ne pas tout écouter permet de mieux entendre et apprendre. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00104-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** AuBuchon AM and McCreery RW (2020) When Choosing NOT to Listen Helps You Hear and Learn. *Front. Young Minds* 8:104. doi: 10.3389/frym.2020.00104

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 AuBuchon et McCreery. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### IAGO, ÂGE: 13

Je m'appelle Iago et je suis en cinquième (2<sup>e</sup> année de secondaire). Mes matières préférées sont la rédaction, les mathématiques, les études sociales et les sciences. Mes loisirs sont: faire du théâtre, jouer à Donjons et Dragons et les combats imaginaires à l'épée. Je pense qu'il est important que les scientifiques écrivent des articles pour les enfants afin que ces derniers apprennent à réfléchir de manière critique et à poser des questions sur le fonctionnement du monde. Ma mère et mon père sont des scientifiques «fous»: ils ont mis une carte à jouer dans un cerveau pour un tour de magie. Heureusement, le cerveau était en gélatine!



### ROADRUNNERS & COBRAS, ÂGES: 10–11

Nous sommes une classe de CM2 (5<sup>e</sup> année de primaire) très créative, et nous voulons découvrir plein de choses sur le monde. Nous avons adoré réfléchir de manière créative sur cet article et apprendre de nouvelles informations sur quelque chose que nous rencontrons chaque jour: les bruits. Nous nous sommes beaucoup amusés à participer à Frontiers for Young Minds!

## AUTEURS



### ANGELA M. AUBUCHON

L'objectif de recherche d'Angela AuBuchon est de comprendre comment les gens se souviennent des informations importantes (et ignorent celles qui ne leur servent à rien) pour résoudre des problèmes. Pour en savoir davantage sur ses recherches, suivez son labo @BoysTownWMLL sur Facebook. Lorsqu'elle n'est pas plongée dans ses recherches, Angela se rend dans des écoles de sa région pour enseigner les neurosciences aux élèves. Sa leçon favorite? Leur apprendre à disséquer un cerveau de mouton! Elle est par ailleurs coach en cheerleading à l'école Platteview High School de Springfield, Nebraska et soutient avec enthousiasme son équipe de sport préférée! \*[angela.aubuchon@boystown.org](mailto:angela.aubuchon@boystown.org)



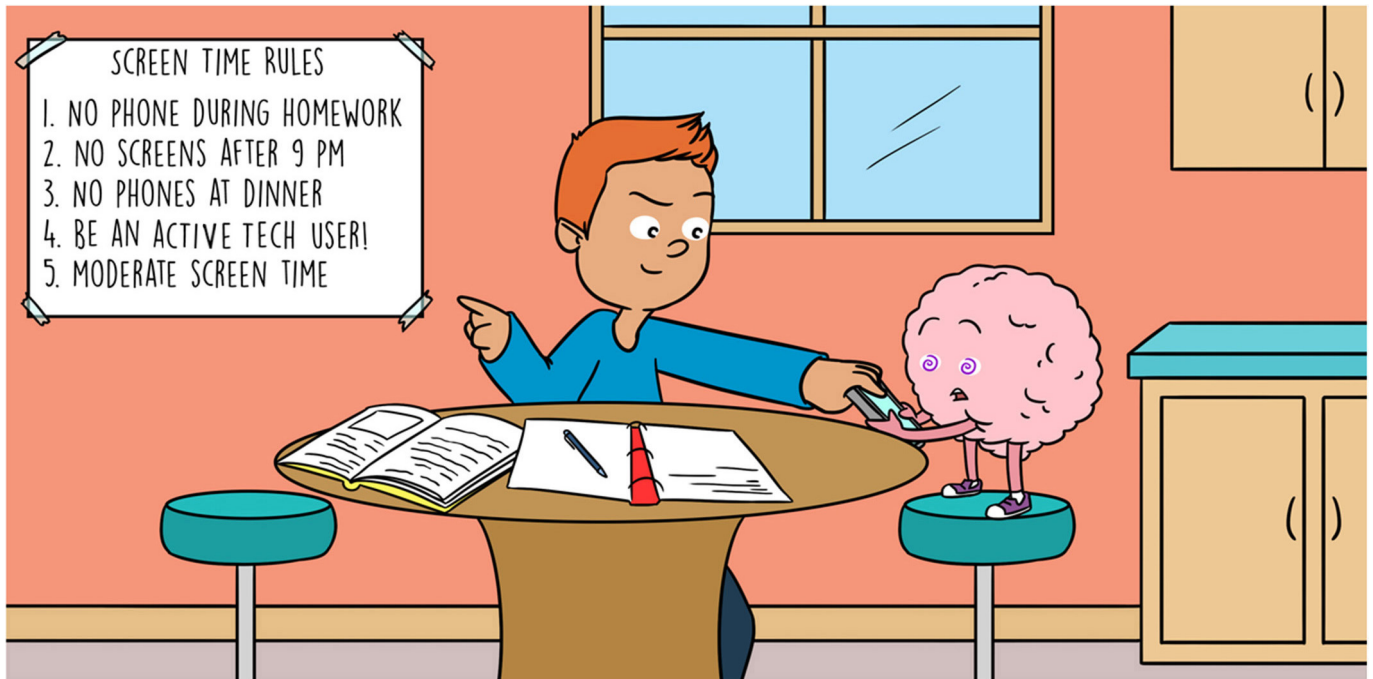
### RYAN W. MCCREERY

Ryan McCreery est un scientifique dont le métier est d'aider les enfants présentant des déficiences auditives à entendre et à apprendre. Il communique sur ses recherches sur son compte Facebook @APCLaboratory. Directeur de recherche à l'Hôpital national de recherche de Boys Town, Ryan est également père de trois enfants merveilleux: Liam, Anna et Charlotte. La famille compte aussi deux chiens: Lola et JoJo.

**French version provided by**  
Version Française fournie par







## JEUX D'ESPRIT: LA TECHNOLOGIE ET LE CERVEAU ADOLESCENT EN DÉVELOPPEMENT

Lucía Magis-Weinberg\* et Estelle L. Berger

Recherche collaborative sur l'adolescence, Institut du développement humain, Université de Californie, Berkeley, CA, États-Unis

### JEUNE EXAMINATEUR:



SCOTTY  
ÂGE: 10

Le cerveau comporte certaines zones qui réagissent aux choses stimulantes ou gratifiantes, et d'autres qui nous permettent de planifier nos activités et de contrôler nos pulsions. Les deux systèmes travaillent ensemble pour favoriser l'apprentissage. Au cours de l'enfance et de l'adolescence, à mesure que le cerveau se développe, l'équilibre change entre les zones de la récompense et celles du contrôle. Ces modifications cérébrales poussent les enfants et les adolescents à faire de nouvelles expériences, à prendre davantage de risques et à apprendre de leurs amis. Mais elles compliquent en même temps la régulation de leur comportement, surtout lorsqu'ils sont en groupe ou ressentent de l'enthousiasme. La technologie peut favoriser l'apprentissage en faisant appel à l'équilibre entre contrôle et récompense. Mais attention: internet peut aussi faciliter les interactions sociales malsaines et rendre très difficile le contrôle des impulsions. Le présent article t'explique comment les structures cérébrales du contrôle et de la récompense influent sur l'apprentissage, et comment le fait de comprendre le fonctionnement de ton cerveau peut favoriser un apprentissage

positif, et te donner des clés pour prendre tes propres décisions concernant la façon dont tu utilises internet.

## LES ADOLESCENTS SE DÉVELOPPENT EN LIGNE ET HORS LIGNE

Les enfants et les adolescents sont de véritables experts en matière de technologie. 95 % des adolescents états-uniens âgés de 13 à 17 ans possèdent un smartphone, et 94 % indiquent qu'ils utilisent internet au moins une fois par jour [1]. Lorsqu'un enfant entre dans l'adolescence et donc dans le secondaire, il gagne en indépendance et se met à utiliser – et à posséder – ce type d'appareils [2]. La technologie offre aujourd'hui de nombreuses possibilités de communiquer, d'apprendre et de se distraire, en classe ou à l'extérieur. Mais elle entraîne également des risques, notamment celui de se détourner de ses autres activités et des relations «dans la vraie vie», de passer trop de temps devant des écrans ou de poster trop rapidement des commentaires qu'on va regretter après coup. Tous ces aspects des technologies actuelles, les bons comme les mauvais, peuvent être exacerbés par certaines particularités du cerveau adolescent en développement.

## L'IMPACT DE LA TECHNOLOGIE DÉPEND DE LA QUALITÉ DES ACTIVITÉS EN LIGNE

Étudier l'usage de la technologie est difficile pour un certain nombre de raisons: premièrement, personne ne sait indiquer avec précision le temps qu'il ou elle passe sur des écrans; deuxièmement, il est difficile de savoir si c'est l'usage des technologies numériques qui joue sur les résultats scolaires des jeunes et les perturbe, ou si les élèves qui ont de mauvaises notes et sont perturbés pour une raison X ou Y ont plus tendance à les utiliser que les autres; troisièmement, il est nécessaire d'attendre que les utilisateurs soient devenus adultes pour pouvoir évaluer les effets de ces usages à long terme. Mais malgré ces difficultés, ces études sont importantes, et nous allons partager avec vous ce que l'on sait aujourd'hui sur le rapport entre le temps passé en ligne et le bien-être des jeunes internautes.

Des chercheurs ont découvert que seule l'utilisation modérée de la technologie était profitable (Figure 1). Ce sont les personnes qui utilisent soit trop peu, soit trop les appareils numériques qui sont le plus négativement impactées [3], tandis que les personnes qui en font un usage modéré et qualitatif en retirent des expériences positives, comme se sentir joyeuses ou connectées à des amis. Un usage qualitatif du numérique consiste en des activités exigeant un engagement actif de l'internaute: communiquer avec des amis ou des membres de la famille, travailler sur un projet, créer du contenu ou apprendre de nouvelles choses en regardant des vidéos. Un usage non

qualitatif du numérique est associé à des sensations de dépression, de convoitise et de solitude, et consiste en des activités telles que faire défiler passivement des contenus, se comparer à d'autres sur les réseaux sociaux ou rester devant un écran jusqu'à tard dans la nuit au lieu de finir une tâche urgente. Par ailleurs, pour avoir un usage qualitatif d'internet, il est important de l'utiliser dans un but précis, ainsi que d'éviter de faire plusieurs tâches en même temps et de se laisser distraire. Par exemple, si tu fais tes devoirs tout en chattant avec des amis, tu ne feras réellement bien ni l'un ni l'autre. Il est également intéressant d'étudier les effets du numérique sur les adultes, mais il est prouvé que le fait que les enfants et les adolescents soient encore en croissance les expose particulièrement à certains de ses effets potentiellement négatifs (voir [Encadré 1](#)).

### Figure 1

L'utilisation modérée des écrans (ordinateurs, tablettes, jeux vidéo et smartphones) favorise le bien-être tandis que les deux extrêmes, c'est-à-dire un usage soit intense soit faible des écrans, sont associés à une réduction du bien-être (figure adaptée de Przybylski et Weinstein [3]). Wellbeing = Bien-être, Hours spent on screens = Heures passées sur les écrans.

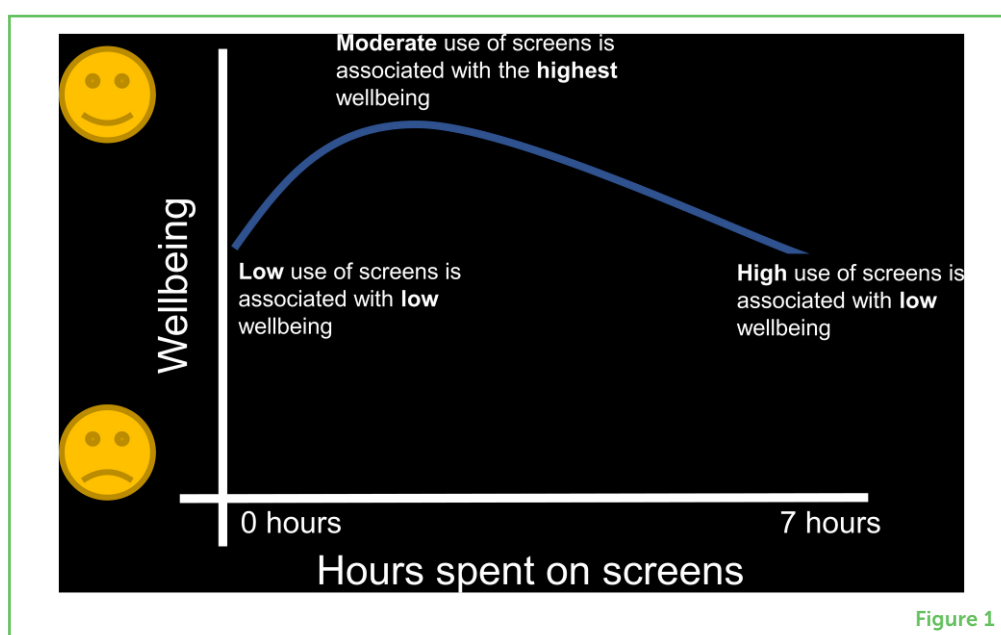


Figure 1

### Encadré 1 | Astuces technologiques pour les adolescents

1. Plutôt que de passer tout ton temps devant un écran, veille à la qualité et aux contenus de ce que tu regardes en ligne.
2. Utilise la technologie de façon active (crée des vidéos, écris des histoires, chatte avec des amis et des membres de ta famille, regarde des vidéos pour acquérir de nouvelles compétences) au lieu de regarder l'écran passivement (par exemple en faisant défiler la page d'une célébrité).
3. Évite de faire plusieurs choses en même temps: quand tu fais tes devoirs, éteins ton téléphone.
4. Veille à ce que le temps que tu passes en ligne ne t'empêche pas de faire du sport, de dormir suffisamment, de faire tes devoirs, ni d'interagir avec tes amis ou ta famille.
5. Lorsque tu vas dormir, laisse ton appareil loin de ton lit et utilise plutôt un «vrai» réveil.
6. Décoche toutes les fonctionnalités par défaut dont l'utilisation peut être difficile à contrôler comme la lecture automatique de vidéos et les notifications.
7. Agis de façon responsable en matière de médias numériques et établis des règles d'utilisation qui font sens pour toi et ta famille.

## ADOLESCENCE

Période de croissance comprise entre l'enfance et l'âge adulte. Elle dure approximativement de 10 à 24 ans.

## DÉVELOPPEMENT SOCIOÉMOTIONNEL

Capacité de comprendre, d'exprimer et de gérer ses émotions et ses sentiments pour construire et entretenir des relations avec d'autres personnes.

## CONTRÔLE COGNITIF

Ensemble de processus psychiques comme l'attention, la mémorisation ou la prise de décisions, qui orientent nos pensées et nos comportements pour nous permettre d'atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés.

## OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT

Ensemble d'aptitudes qui sont généralement acquises à un certain moment de la vie (comme apprendre à marcher pour les petits enfants ou devenir plus indépendants des parents pour les adolescents).

## RÉCOMPENSE EXTRINSÈQUE

C'est quelque chose d'extérieur qui nous motive: obtenir des points, des likes, de l'argent ou des encouragements.

## LES RÉSEAUX SOCIAUX ET LE CERVEAU SOCIAL

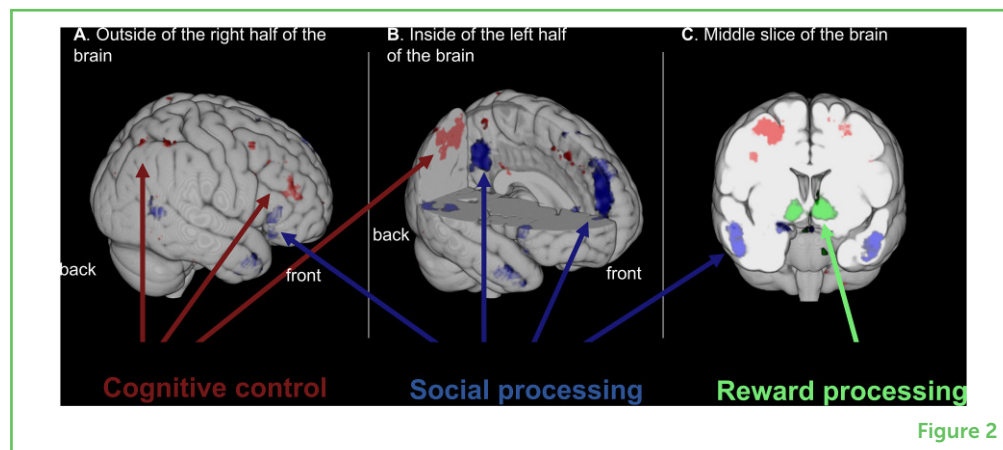
L'**adolescence** est une période pendant laquelle les êtres humains apprennent beaucoup de choses, en classe comme en dehors de l'école, en allant à la découverte de ce qui les intéresse, de qui ils sont, et de ce qu'ils pensent d'eux-mêmes [4]. Entre 10 et 24 ans, de nombreux changements s'opèrent dans le cerveau comme dans le reste du corps. Durant cette période, l'individu devient particulièrement sensible à ce qui se passe autour de lui, car les réseaux cérébraux qui contrôlent son **développement socioémotionnel** (en bleu et vert dans la Figure 2) croissent plus rapidement que son réseau de **contrôle cognitif** (en rouge dans la Figure 2). Ce réseau de contrôle cognitif gère des processus mentaux tels que l'attention, la mémorisation et la prise de décisions, qui guident ses pensées et ses comportements pour lui permettre d'atteindre ses objectifs. Autrement dit, à l'adolescence, la capacité à prendre des décisions et à apprendre est affectée par le fait que la situation vécue est plus ou moins stimulante ou liée à des enjeux sociaux [2, 5].

Les adolescents ont des **objectifs de développement socioémotionnel** extrêmement importants – comme découvrir qui ils sont ou établir des relations avec autrui – qui peuvent être influencés par les réseaux sociaux. Ils ont tendance à être très attentifs au nombre de likes ou de followers sur les réseaux sociaux, parce qu'à cet âge, il est particulièrement important d'être apprécié par ses amis et de se sentir populaire et admiré [4, 5]. Ce besoin de **récompenses extrinsèques**, et notamment de réactions positives venant de leurs amis, est potentiellement l'une des raisons pour lesquelles la majorité des adolescents sont constamment sur les réseaux sociaux [6]. Ces derniers sont un merveilleux outil pour rester en contact avec ses amis quand ils sont utilisés positivement (par exemple pour en savoir davantage sur ce qu'aime un ami ou pour lui envoyer des encouragements). Un autre grand atout des réseaux sociaux est qu'ils permettent de développer plusieurs identités: celle de l'élève, celle de l'ami, celle du frère ou de la sœur, celle de fan d'un groupe de musique, etc. [2]. Cette exploration t'aidera à savoir qui tu es, ce que tu aimes et qui tu aimes.

Toutefois, l'envie d'être populaire peut aussi entraîner la décision de poster des messages risqués, de faire des commentaires malveillants ou de publier des photos (partiellement) dévêtues pour attirer l'attention. Le cyberharcèlement et l'exposition à des contenus inappropriés peuvent nuire à la réputation des personnes visées, mais aussi stresser et perturber les adolescents qui y sont exposés. Lorsqu'un adolescent ou une adolescente ressent une émotion intense, il ou elle a beaucoup de mal à prendre de bonnes décisions puisque ses compétences en matière de contrôle cognitif sont encore en maturation (Figure 2) [4, 5]. En conséquence, lorsque tu veux répondre à quelqu'un qui t'a blessé ou poster une photo, n'agis pas

## Figure 2

Les régions cérébrales qui participent au contrôle cognitif (cognitive control), au traitement social (social processing) et au traitement des récompenses (reward processing) sont présentées ici sous différents angles. **(A)** Surface de l'hémisphère droit du cerveau présentant des régions impliquées dans le contrôle cognitif et d'autres engagées dans le traitement social. **(B)** Surface centrale de l'hémisphère gauche du cerveau (sur ce dessin, l'hémisphère droit a été supprimé) montrant les principales régions du cerveau social. **(C)** Coupe du milieu du cerveau (imagine qu'on a extrait la moitié avant du cerveau d'une personne qui est face à toi) indiquant les régions impliquées dans le traitement des récompenses.



de manière impulsive, mais prends quelques instants pour te calmer et demande-toi si tu risques plus tard de regretter d'avoir exprimé cette opinion ou d'avoir eu ce comportement. Par ailleurs, ce type d'expérience peut occuper tellement ton esprit qu'il va nuire à ton bien-être et à ta vie scolaire: il est donc essentiel de déterminer quelle utilisation des réseaux sociaux est bonne pour toi et de t'y tenir.

Certaines fonctionnalités des réseaux sociaux, comme le fait de pouvoir liker, partager et commenter publiquement des posts, peuvent donner envie d'attirer plus d'attention, d'impressionner un public virtuel et de se comparer à autrui. Dans notre étude, nous avons constaté que les collégiens qui se comparaient à d'autres et cherchaient à déclencher des réactions sur les réseaux sociaux présentaient un taux accru de symptômes de dépression et d'anxiété. Par ailleurs, le fait de passer beaucoup de temps à vérifier les réactions d'autres personnes peut nuire à l'estime de soi. À noter cependant que l'une des questions auxquelles les chercheurs tentent de répondre est de savoir si ce sont les activités en ligne qui causent des problèmes, ou si à l'inverse ce sont les personnes ayant ce type de problèmes qui ont tendance à utiliser les réseaux sociaux de manière risquée. Et toi, maintenant que tu sais que tu vis actuellement des changements socioémotionnels, comment peux-tu utiliser les technologies modernes pour renforcer tes relations tout en évitant les risques qu'elles peuvent entraîner?

## «ACCRO» AUX APPAREILS NUMÉRIQUES?

Lorsqu'on se consacre à des activités divertissantes en ligne, on a tendance à perdre le contrôle de son temps et à devenir «accro» aux écrans sur lesquels on passe plus de temps qu'il n'est raisonnable. On peut même finir par avoir le sentiment de ne plus réussir à maîtriser le temps et l'attention qu'on accorde aux activités numériques. Bien que la maturation progressive de ton réseau de contrôle cognitif (en rouge dans la Figure 2) te permette de rester attentif plus longtemps que quand tu étais enfant et d'éviter les distractions, ta capacité



à t'autoréguler a des limites, et tout particulièrement lorsque tu vis quelque chose de passionnant ou d'émotionnellement intense. Rappelle-toi que pendant l'adolescence, il y a un regain d'activité dans les régions cérébrales qui répondent aux récompenses de toutes sortes, et notamment aux récompenses sociales (en vert dans la [Figure 2](#)). Certaines activités entraînant des récompenses peuvent t'être profitables, par exemple nouer des amitiés ou obtenir de bonnes notes. Mais d'autres activités qui activent également le centre de la récompense peuvent avoir des conséquences néfastes: manger des sucreries, jouer toute la nuit à des jeux vidéo, s'engager dans des activités dangereuses, etc. Leur sensibilité accrue à la récompense pousse les adolescents à essayer de nouvelles activités et à agir de façon à éprouver un bien-être instantané [4]. Lorsque tu es en ligne, ce besoin de récompense immédiate peut être plus fort que ta capacité à te contrôler et à penser aux conséquences à long terme de tes actes. Jouer, chatter ou regarder des séries jusque tard dans la nuit est quelque chose qui va te procurer du plaisir sur le moment. Mais il vaut mieux que tu penses aux conséquences que tout ça aura le lendemain à l'école, quand tu te sentiras fatigué et grognon (voir [Encadré 1](#)).

## LES EFFETS DE LA TECHNOLOGIE SUR LE SOMMEIL

Quelle est la dernière chose que tu as faite hier avant d'aller dormir? Tu as probablement répondu à un dernier message, ou peut-être même que tu t'es endormi pendant que tu regardais une série en streaming. Or, il est aujourd'hui avéré que les écrans nuisent au sommeil, ce qui en retour impacte ton cerveau, ton organisme et ta santé. Cela a des conséquences négatives sur ton attention et sur ta capacité à apprendre et à mémoriser. Le manque de sommeil peut aussi entraîner un sentiment d'anxiété ou de tristesse diffuse. Si tu gardes ton téléphone avec toi quand tu vas te coucher, cela te fait t'endormir plus tard. Par ailleurs, des notifications peuvent te réveiller au milieu de la nuit! Durant cette période où ton cerveau et tout ton organisme sont en plein développement, il est essentiel que ton usage de la technologie ne nuise pas à ton sommeil. C'est pourquoi le mieux est de laisser tous les appareils en dehors de ta chambre lorsque tu vas dormir (voir [Encadré 1](#)).

## REPRENDS LE CONTRÔLE!

Heureusement, nous avons quelques astuces à te donner pour t'aider à reprendre plus de distance par rapport aux réseaux sociaux, aux jeux en ligne et au streaming, et à reprendre le contrôle de ton temps – car il est précieux! Si tu aimes regarder des vidéos en ligne, pense à désactiver la fonctionnalité «lecture automatique» qui est le paramètre par défaut de nombreuses plateformes. Ça te permettra de choisir par toi-même à quel moment tu arrêteras de regarder. Avant d'activer un nouveau compte, vérifie que ton profil est protégé



et désactive les «push notifications». Généralement, les paramètres par défaut sont justement conçus pour te rendre dépendant, puisque les fournisseurs se font une concurrence intense pour obtenir ton attention et ton temps. Pour garder le contrôle, choisis les paramètres qui te permettront d'utiliser ces technologies de la manière qui te convient à toi. Il vaut mieux par ailleurs laisser ton smartphone loin de ta chambre pendant la nuit, et le mettre en mode avion pendant que tu fais tes devoirs pour ne pas être tenté de l'utiliser et de te laisser distraire. Tu peux même activer des alarmes sur ton téléphone pour penser à prendre des pauses et à faire d'autres activités, du sport par exemple, ou à passer du temps avec tes amis et ta famille (voir [Encadré 1](#)).

Maintenant que tu sais comment ton cerveau répond aux réseaux sociaux, aux jeux sur écran et aux autres types de médias numériques, pourquoi ne pas te créer un programme te permettant de garder le contrôle sur la gestion de ton temps le soir et le week-end? Tu sais quels sont les jours où tu as des activités extrascolaires et combien d'heures il te faut pour faire tes devoirs le soir. Tu trouves sans doute aussi important de rester connecté à tes amis via les réseaux sociaux, de poster sur ta page et de jouer à tes jeux en ligne préférés. En créant tes propres règles pour l'usage que tu veux faire du numérique, en les présentant à tes parents ou à tes enseignants, et en ressentant les bénéfices de ces règles que tu as toi-même définies, ce qui va te motiver est une **récompense intrinsèque**. C'est le nom qu'on donne à ce sentiment de fierté ou de satisfaction qu'on éprouve lorsqu'on parvient à faire quelque chose d'important pour soi. Il est possible qu'un système pensé par toi-même en collaboration avec les adultes qui prennent soin de toi fonctionne plus efficacement qu'un système qu'on t'impose. Tu pourrais même créer un contrat d'utilisation de la technologie pour toute ta famille! Les parents aussi ont des difficultés à gérer leur usage des écrans – tu pourrais les aider en partageant avec eux tes connaissances à ce sujet.

### RÉCOMPENSE INTRINSÈQUE

Motivation interne à faire quelque chose pour se sentir satisfait, en accord avec ses actes.

## CONCLUSION: TIRER LE MEILLEUR PARTI DE LA TECHNOLOGIE

L'adolescence est une période passionnante qui te permet de découvrir qui tu es, de t'investir dans ce que tu aimes – et pour les personnes que tu aimes –, et de développer les outils dont tu as besoin pour vivre tes passions. Utiliser le numérique à bon escient peut t'aider à mieux réussir tout cela. Chatter avec tes amis, poster des photos de tes réalisations créatives ou échanger avec un groupe de personnes ayant les mêmes intérêts que toi peut même avoir un impact positif sur ta santé mentale. Contrôle la qualité et le contenu de tes activités plutôt que te focaliser sur le nombre d'heures passées en ligne. Sur internet, sois actif et non passif, et évite de faire plusieurs choses en même temps pour optimiser ton temps. Fais en sorte que le temps que tu passes

devant un écran ne t'empêche pas de faire du sport, de dormir suffisamment, de faire tes devoirs et de partager des activités avec tes amis ou ta famille. En attendant les résultats des prochaines recherches sur l'utilisation des technologies du numérique et le cerveau en développement, il est très important que tu utilises les réseaux sociaux de façon responsable. C'est à toi d'avoir le contrôle de ton smartphone et de tes autres outils informatiques, pas le contraire!

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi qu'à la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Pew Research Center. 2018. *Teens, Social Media & Technology 2018*. Available online at: <https://www.pewinternet.org/2018/05/31/teens-social-media-technology-2018/>
2. Moreno, M. A., and Uhls, Y. T. 2019. Applying an affordances approach and a developmental lens to approach adolescent social media use. *Digit. Health*. 5:2055207619826678. doi: 10.1177/2055207619826678
3. Przybylski, A., and Weinstein, N. 2017. A large-scale test of the Goldilocks hypothesis: quantifying the relations between digital-screen use and the mental well-being of adolescents. *Psychol. Sci*. 8:204–15. doi: 10.1177/0956797616678438
4. Dahl, R. E., Allen, N. B., Wilbrecht, L., and Suleiman, A. B. 2018. Importance of investing in adolescence from a developmental science perspective. *Nature*. 554:441–50. doi: 10.1038/nature25770
5. Mills, K. L., Goddings, A. L., and Blakemore, S. J. 2014. Drama in the teenage brain. *Front. Young Minds* 2:16. doi: 10.3389/frym.2014.00016
6. Rideout, V., and Robb, M. B. 2018. *Social Media, Social Life: Teens Reveal Their Experiences*. San Francisco, CA: Common Sense Media.

**ÉDITEUR:** Sabine Peters

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Hector Arciniega

**CITATION:** Magis-Weinberg L et Berger EL (2023) Jeux d'esprit: La technologie et le cerveau adolescent en développement. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00076-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Magis-Weinberg L and Berger EL (2020) Mind Games: Technology and the Developing Teenage Brain. *Front. Young Minds* 8:76. doi: 10.3389/frym.2020.00076

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Magis-Weinberg et Berger. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNE EXAMINATEUR



### SCOTTY, ÂGE: 10

Ma couleur favorite est le rouge. Mes films préférés sont Space Jam et Les Goonies. Pendant mon temps libre, j'aime faire du sport et jouer à des jeux vidéos. Le basket et le foot sont mes sports préférés.

## AUTEURS



### LUCÍA MAGIS-WEINBERG

Je suis docteure en sciences et je mène des recherches sur la manière dont la technologie agit sur le développement des enfants/adolescents et de leurs cerveaux, et plus particulièrement en Amérique latine. Moi-même, j'utilise la technologie tout le temps: au travail, pour faire avancer nos projets à distance, et aussi pour communiquer avec ma famille et mes amis qui sont loin de moi, ce qui me fait mesurer combien les relations en ligne sont importantes. À travers mes recherches, je veux aider les ados à s'épanouir dans notre monde en pleine mutation technologique. \*[l.magisweinberg@berkeley.edu](mailto:l.magisweinberg@berkeley.edu)

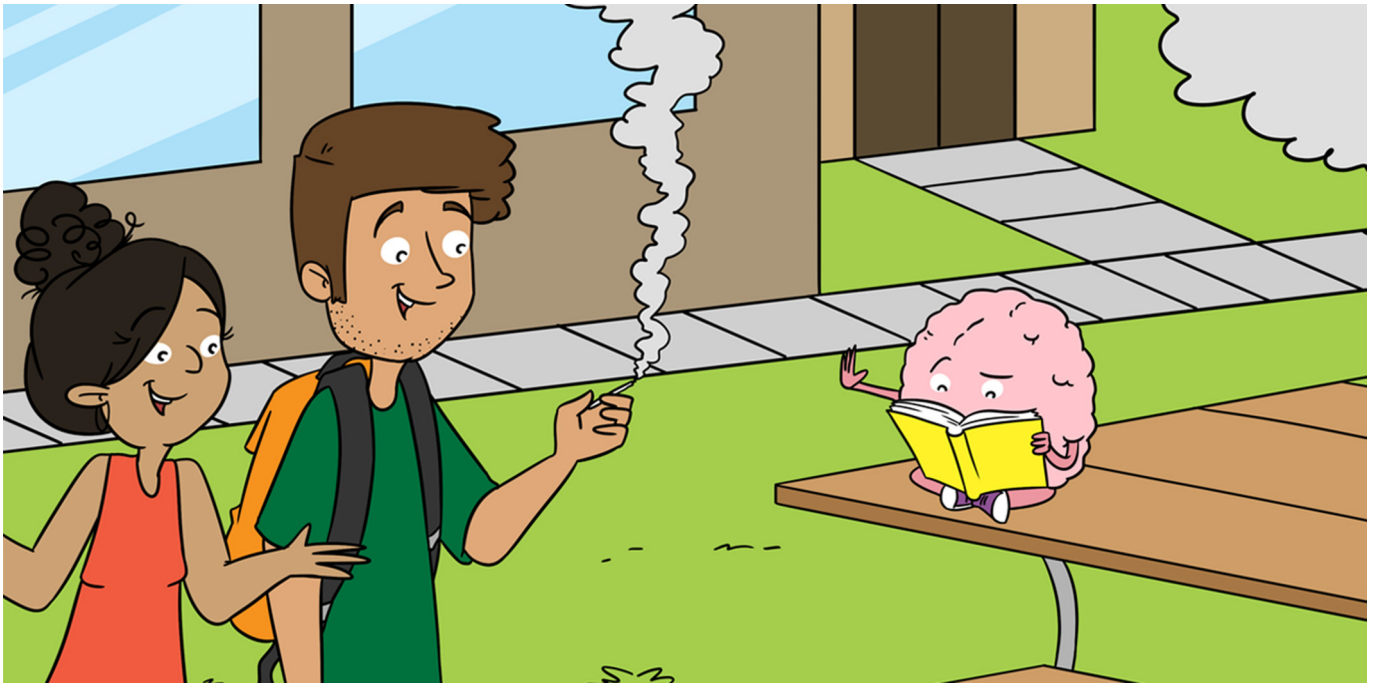


### ESTELLE L. BERGER

Je suis étudiante en psychologie et j'étudie les liens entre le développement des adolescents, leur contexte social et leur usage de la technologie. Au cours de mes recherches, je suis souvent enthousiasmée par l'énergie déployée par les jeunes pour inspirer et réaliser des changements dans le monde. Quand je ne suis pas au laboratoire, je fais de la randonnée, j'essaie de résoudre les mots croisés du dimanche ou je m'occupe de mes plantes.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**J JACOBS**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## CERVEAU EN APPRENTISSAGE ET CANNABIS

**Lana Vedelago<sup>1,2\*</sup>, Jillian Halladay<sup>1,3</sup>, Catharine Munn<sup>1,4</sup>, Katholiki Georgiades<sup>5,6</sup> et Michael Amlung<sup>1,6</sup>**

<sup>1</sup>Département de psychiatrie et de neurosciences comportementales, Centre de recherche sur les addictions Peter Boris, Université McMaster et St. Joseph's Healthcare Hamilton, Hamilton, ON, Canada

<sup>2</sup>Programme d'études supérieures en neurosciences, Université McMaster, Hamilton, ON, Canada

<sup>3</sup>Département de recherche sur la santé spécialisé dans les méthodes, les preuves et les impacts, Université McMaster, Hamilton, ON, Canada

<sup>4</sup>Centre de recherche Michael G. DeGroot sur le cannabis médical, Université McMaster, Hamilton, ON, Canada

<sup>5</sup>Centre Offord d'études de l'enfant, Université McMaster, Hamilton, ON, Canada

<sup>6</sup>Département de psychiatrie et de neurosciences comportementales, Université McMaster, Hamilton, ON, Canada

### JEUNE ÉXAMINATRICE:



GREESHMA

ÂGE: 13

Comment le cannabis (marijuana) affecte-t-il le développement cérébral, l'apprentissage et les performances scolaires? Les recherches démontrent que le cerveau, qui continue de se développer de l'adolescence jusqu'au milieu de la vingtaine, est particulièrement sensible aux effets des drogues comme le cannabis. Cet article donne un aperçu des recherches concernant les effets à court et long terme du cannabis sur la réflexion, l'apprentissage et la réussite scolaire. Il décrit aussi les recherches faites en imagerie cérébrale, un ensemble d'outils de mesure qui permettent aux chercheurs d'évaluer les conséquences à long terme du cannabis sur le cerveau des jeunes. L'objectif de cet article est de répondre à certaines de vos questions, jusque-là restées sans réponses, à-propos

## des éventuels effets négatifs de la consommation du cannabis chez les jeunes.

### INTRODUCTION

En tant qu'adolescent, tu fais faces à un nombre impressionnant de choix et à la pression sociale. Tu feras peut-être face au choix de consommer ou non du cannabis ou d'autres drogues. Il se peut d'ailleurs que tu entendes différentes choses à propos de l'essai ou de la consommation régulière de cannabis. De récents débats publics, le changement des lois relatives à sa consommation, ainsi que son utilisation comme traitement contre certains problèmes de santé ont amené certaines personnes à croire qu'il est utile et ne présente aucun danger pour la santé ou l'apprentissage. Cet article ne t'impose aucune conduite à suivre. Il présente plutôt les recherches les plus récentes au sujet des effets du cannabis sur le cerveau en développement et remet en question certains stéréotypes et mythes concernant cette drogue.

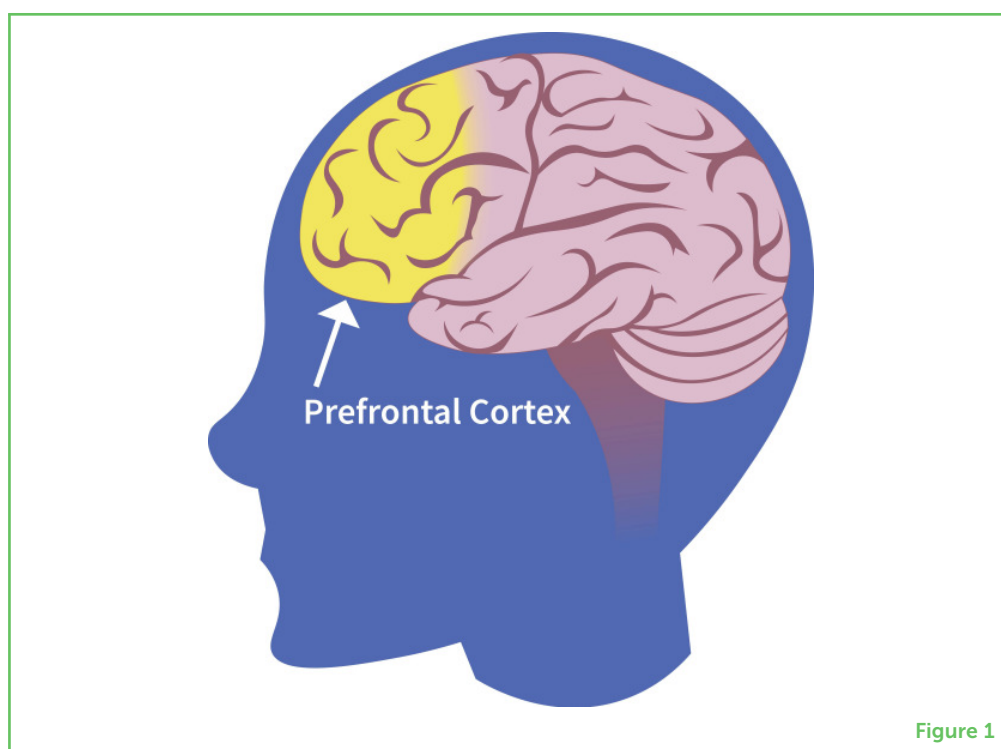
Aussi connu sous le nom de marijuana, le cannabis est une plante ou mauvaise herbe entraînant des effets psychotropes qui peuvent temporairement modifier les fonctions cérébrales, agir négativement sur l'humeur, la réflexion et le comportement. Après le tabac et l'alcool, le cannabis est la drogue la plus couramment utilisée dans le monde et est le plus souvent consommé en fumant, en le vapotant, ou encore sous forme comestible. En Amérique du Nord, suite à de récents changements de la loi, l'utilisation du cannabis a été légalisée pour les personnes âgées de plus de 18 ou 19 ans au Canada et de plus de 21 ans dans la plupart des États américains. Les gens disent qu'ils consomment du cannabis pour un certain nombre de raisons, notamment pour «tester» ses effets, pour aider à la socialisation, ou encore à des fins médicales. Avant tout, le cannabis semble utile dans la mesure où il agit sur l'humeur et favorise la sociabilité. Cependant, sa consommation régulière semble en fait empirer ces facteurs. Il présente aussi des conséquences négatives sur la santé physique et mentale, surtout lorsqu'il est consommé régulièrement et en grande quantité par un adolescent ou un jeune adulte. Il joue aussi un rôle négatif sur le jugement et la capacité à prendre des décisions réfléchies, poussant ainsi certaines personnes à prendre de gros risques, comme de conduire sous influence [1].

Les progrès technologiques permettent aux chercheurs d'examiner de manière précise la nature et le fonctionnement du cerveau. Par exemple, les techniques d'imagerie cérébrale, comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM), ont montré que la période allant de l'adolescence au début de l'âge adulte est marquée par des changements de grande ampleur au niveau de deux parties extrêmement importantes du cerveau. La première partie, appelée

système endocannabinoïde, permet de développer les connexions entre les différentes parties du cerveau tout en assurant leur bon fonctionnement [2]. Comme son nom l'indique, c'est un système qui est clairement affecté par le cannabis. La deuxième partie du cerveau qui subit des changements majeurs entre l'adolescence et le début de l'âge adulte est le cortex préfrontal. Cette région est considérée comme le «chef» du cerveau, et est notamment responsable des fonctions de prise de décisions, de résolution de problèmes et de maîtrise de soi (Figure 1) [2]. En résumé, les recherches nous indiquent que le système endocannabinoïde et le cortex préfrontal sont encore en développement jusqu'à ce que nous soyons dans la vingtaine. De plus, jusqu'à cet âge, ces parties sont particulièrement sensibles aux effets néfastes des produits chimiques tels que l'alcool, le cannabis et d'autres drogues [2].

### Figure 1

Le cortex préfrontal. Il représente la partie du cerveau colorée en jaune sur cette image. C'est le centre de contrôle du cerveau qui est responsable des fonctions telle que la prise de décisions, la résolution des problèmes et la maîtrise de soi (illustration de Madelyn Vedelago).



### QUESTION 1: QUELS SONT LES EFFETS À COURT TERME DU CANNABIS SUR LE CERVEAU ET L'APPRENTISSAGE? COMMENT LES CHERCHEURS LE SAVENT-ILS?

Déjà à court terme, les effets néfastes du cannabis sont mesurables au niveau des notes à l'école et des performances scolaires des adolescents (Figure 2). En comparant les adolescents qui consomment du cannabis à ceux qui n'en consomment pas, les chercheurs ont découvert que ce premier groupe ne réussit pas aussi bien que le second des tâches nécessitant de l'attention, de l'apprentissage, de la mémoire et de la vitesse de réaction [3]. Ce constat reste le même quand les jeunes arrêtent d'en consommer pendant un mois avant



l'expérience. De plus, les adolescents qui commencent à prendre du cannabis à un âge précoce (moins de 15 ans) ont des performances encore moindres pour ces tâches par rapport à ceux qui commencent à en consommer plus tard [2]. Que pourrait-il bien se passer dans le cerveau pour expliquer ces mauvaises performances?

### Figure 2

Les effets néfastes de la consommation du cannabis pendant l'adolescence. Étant donné que le cerveau est toujours en développement à l'adolescence, certaines compétences essentielles à la réussite scolaire comme la réflexion, la mémorisation, l'apprentissage et l'attention peuvent être négativement impactées par la consommation du cannabis (illustration de Madelyn Vedelago).



Figure 2

Comme mentionné ci-dessus, le système endocannabinoïde du cerveau n'a pas encore fini de se développer pendant l'adolescence. Bien que son rôle dans le cerveau ne soit pas encore entièrement compris, nous savons que dans les zones du cerveau qui sont essentielles à l'apprentissage et à la mémoire [2], le système endocannabinoïde renforce les connexions importantes et affaiblit celles qui le sont moins. La consommation du cannabis alors que ce système est encore en développement vient entraver la réflexion, l'attention et l'apprentissage, ce qui pourrait alors expliquer les performances moins bonnes que l'on observe chez les adolescents qui en sont des adeptes [2].

En utilisant des images IRM, les chercheurs ont découvert qu'une région spécifique du cortex préfrontal était plus petite chez les adolescents qui consomment beaucoup de cannabis par rapport à ceux qui n'en consomment pas du tout [4]. Le groupe des consommateurs de cannabis avait également tendance à être plus impulsif, c'est-à-dire à faire des choses sans bien y réfléchir avant [4]. Dans un test de mémoire, les consommateurs de cannabis ont présenté une activité réduite dans le cortex préfrontal par rapport à ceux qui n'en consomment pas [3]. En résumé, il semble que la consommation du cannabis influence à la fois la taille et l'activité du cortex préfrontal, une zone fondamentale pour l'apprentissage.

## **QUESTION 2: QUELS SONT LES EFFETS À LONG TERME DU CANNABIS SUR LE CERVEAU ET L'APPRENTISSAGE?**

La recherche semble soutenir que les grands consommateurs de cannabis à l'adolescence parviennent moins loin dans leurs études. En effet, la probabilité qu'ils finissent des études de haut niveau est négativement influencée par leur consommation. Par exemple, une étude a examiné les individus à partir de leur adolescence jusqu'à la vie adulte. Elle a révélé que les consommateurs de cannabis, de l'adolescence à l'âge adulte, ont tendance à aller moins longtemps à l'école que ceux qui n'en ont pas consommé pendant cette période [5]. Pourquoi ce constat? D'autres recherches sont nécessaires pour mieux comprendre comment cette drogue influence négativement la réussite scolaire. Cependant, il est possible que les changements qui s'opèrent dans le cerveau en consommant du cannabis à l'adolescence puisse expliquer ces observations. Par ailleurs, cela peut être dû aux effets négatifs à court terme de cette drogue sur la mémoire, l'attention et la motivation, limitant ainsi les chances des consommateurs d'avoir de bons résultats et de suivre des études supérieures.

## **QUESTION 3: EST-CE QUE LES EFFETS NÉGATIFS DU CANNABIS SUR L'APPRENTISSAGE SONT REVERSIBLES?**

La bonne nouvelle est que, compte tenu de la rapidité des changements et de la réorganisation qui se produisent dans le cerveau à l'adolescence, ce dernier pourrait bien être capable de se remettre des conséquences néfastes des toxines comme l'alcool, le cannabis, ou d'autres drogues.

Des chercheurs ont par exemple constaté qu'un arrêt de consommation de trois mois permet à la majorité des problèmes de mémoire, d'apprentissage et d'attention de se résorber [3].

## **CONCLUSION**

Dans l'ensemble, les résultats de recherches récentes soutiennent que le cannabis présente des effets néfastes sur le cerveau, surtout lorsqu'il est consommé de l'adolescence à l'âge adulte. Toutefois, les conclusions de certaines études ne sont pas claires et beaucoup reste à faire; autrement dit, d'autres recherches doivent être menées sur le sujet dans la mesure où jusqu'ici, l'accent a été mis sur les rapports (corrélations) entre la consommation du cannabis et les différences observées dans le cerveau. De ce fait, nous ne savons pas encore si le cannabis est la cause de ces différences, ou si ces dernières existaient déjà avant la consommation de cette drogue. Même si nous avons encore beaucoup à apprendre au sujet des effets du cannabis, la plupart des médecins, des chercheurs

et des gouvernements recommandent de ne pas en consommer pendant l'adolescence.

Si tu souhaites en consommer, pose-toi d'abord les questions suivantes:

- Pourquoi voudrais-je consommer du cannabis? Suis-je en train d'essayer de fuir quelque chose ou d'ignorer un problème?
- Comment pourrai-je savoir si le cannabis influence ma capacité d'apprendre ou d'aller à l'école? Comment pourrai-je reconnaître que la consommation du cannabis devient un problème pour moi?
- À qui pourrai-je m'adresser, ou encore, où pourrai-je trouver de l'aide si un de mes amis ou moi-même commençons à avoir des problèmes avec la consommation de cannabis?

Te pencher sur ces questions te permettra de prendre les meilleures décisions pour ta santé et celle de ton cerveau.

## CONTRIBUTION DES AUTEURS

LV, JH, CM, KG, et MA ont contribué à l'élaboration et la production du manuscrit. LV en a produit la première ébauche et tous les auteurs ont contribué à sa révision et à sa lecture puis approuvé la version finale soumise.

## REMERCIEMENTS

Les illustrations ont été gentiment offertes par Madelyn Vedelago. Les auteurs expriment leur reconnaissance envers Jane Jomy pour avoir contribué à la revue de la littérature du présent article. Les auteurs reconnaissent et admettent que cet article a été réalisé sur le territoire traditionnel des nations Mississauga et Haudenosaunee et au sein des territoires protégés par l'accord wampum «Dish With One Spoon.» Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglo-saxons, ainsi que la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction.

## RÉFÉRENCES

1. Carliner, H., Brown, Q. L., Sarvet, A. L., and Hasin, D. S. 2017. Cannabis use, attitudes, and legal status in the U.S.: a review. *Prev. Med.* 104:13–23. doi: 10.1016/j.ypmed.2017.07.008

2. Fontes, M. A., Bolla, K. I., Cunha, P. J., Almeida, P. P., Jungerman, F., Laranjeira, R. R., et al. 2011. Cannabis use before age 15 and subsequent executive functioning. *Br. J. Psychiatry* 198:442–7. doi: 10.1192/bjp.bp.110.077479
3. Jacobus, J., Bava, S., Cohen-Zion, M., Mahmood, O., and Tapert, S. F. 2009. Functional consequences of marijuana use in adolescents. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 92:559–65. doi: 10.1016/j.pbb.2009.04.001
4. Churchwell, J. C., Lopez-Larson, M., and Yurgelun-Todd, D. A. 2010. Altered frontal cortical volume and decision making in adolescent cannabis users. *Front. Psychol.* 1:225. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00225
5. Ryan, A. K. 2010. The lasting effects of marijuana use on education attainment in midlife. *Subst. Use Misuse* 45:554–97. doi: 10.3109/10826080802490238

**ÉDITEUR:** Sabine Peters

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Juan Castillo

**CITATION:** Vedelago L, Halladay J, Munn C, Georgiades K et Amlung M (2023) Cerveau en apprentissage et cannabis. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00052-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Vedelago L, Halladay J, Munn C, Georgiades K and Amlung M (2020) Cannabis and the Learning Brain. *Front. Young Minds* 8:52. doi: 10.3389/frym.2020.00052

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Vedelago, Halladay, Munn, Georgiades et Amlung. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNE EXAMINATRICE

### GREESHMA, ÂGE: 13

Je m'appelle Greeshma et j'ai 13 ans. Mes parents sont des Ingénieurs en logiciels et mes matières préférées à l'école sont les mathématiques et la science. Lorsque je ne suis pas à l'école, j'adore passer du temps à jouer au volleyball et à participer aux clubs scientifiques.



## AUTEURS



### LANA VEDELAGO

Je suis une étudiante diplômée. Je m'intéresse à la toxicomanie et aux problèmes de santé mentale qui lui sont liés. Mon objectif est d'améliorer la vie des personnes confrontées à ces problèmes. Lorsque je ne suis pas au laboratoire, je fais du bénévolat dans un refuge pour animaux, je danse et je fais de la couture. \*vedelagl@mcmaster.ca



### JILLIAN HALLADAY

Je suis infirmière en santé mentale et chercheuse. J'accorde un grand intérêt à trouver comment rendre les jeunes plus heureux et comment les faire réussir dans la vie. Mes recherches portent principalement sur l'étude des liens entre les substances (le cannabis et l'alcool en particulier) et les problèmes de santé mentale. À mes heures libres, j'aime soulever des poids, jouer à des jeux de société et faire de la randonnée!



### CATHARINE MUNN

Je suis médecin (psychiatre), éducatrice et chercheuse dans le domaine de la santé mentale et de la toxicomanie chez les étudiants. J'aime lire, faire du sport et sortir avec ma famille et mes amis.



### KATHOLIKI GEORGIADES

Je suis Professeure agrégée au Département de Psychiatrie et de neurosciences comportementales de l'Université de McMaster. Mes recherches portent sur les disparités sociales en matière de santé mentale chez les enfants et sur l'accès à des services et des aides efficaces dans ce domaine. Pendant mes heures libres, j'aime passer du temps avec ma famille/mes amis et j'adore aller en Grèce et à Chypre.



### MICHAEL AMLUNG

Je suis professeur adjoint de psychiatrie à l'Université de McMaster dans l'Ontario, au Canada. Je cherche à comprendre ce qui pousse le cerveau à s'intéresser à l'alcool/aux drogues, ainsi qu'aux rapports que ceux-ci ont avec d'autres problèmes de santé mentale. Nous espérons que nos recherches permettront d'améliorer les traitements des patients atteints de toxicomanie. J'aime travailler avec mes étudiants et mes collègues sur de nombreuses études passionnantes utilisant des scanners cérébraux et d'autres types de technologie. Pendant mes heures libres, j'aime cuisiner, voyager et passer du temps avec ma famille.

**French version provided by**  
Version Française fournie par

**JACOB'S**  
**FOUNDATION**  
Our Promise to Youth



## UNE BONNE NUIT DE SOMMEIL EST NÉCESSAIRE POUR LES JEUNES ESPRITS

M. Elisabeth Koopman-Verhoeff<sup>1,2,3</sup> et Jared M. Saletin<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de recherche sur le sommeil de l'hôpital EP Bradley, École de médecine Warren Alpert de l'Université Brown, Providence, RI, États-Unis

<sup>2</sup>Département de psychiatrie et de développement humain, École de médecine Warren Alpert de l'Université Brown, Providence, RI, États-Unis

<sup>3</sup>Groupe d'étude Generation R, Centre médical Erasmus, Rotterdam, Pays-Bas

### JEUNES EXAMINATEURS:



JACOB

ÂGE: 12



ST.  
BERNARD  
REGIONAL  
CATHOLIC  
SCHOOL

ÂGES: 11–14

Dans la vie, on dort pendant presque 250 000 heures. Pourquoi doit-on dormir autant? Le sommeil n'est pas le simple fait de se reposer. Il est essentiel pour la santé de l'organisme et du cerveau, surtout lorsqu'on grandit. Une bonne nuit de sommeil te permet notamment d'être plus attentif et de mieux apprendre le lendemain. L'heure à laquelle on va dormir et la durée du sommeil changent en fonction de l'âge. Alors, comment savoir le nombre d'heures de sommeil dont tu as besoin ou l'heure à laquelle il faut aller au lit? Le présent article apporte entre autres des réponses à ces questions. Nous avons étudié la science du sommeil et comprenons maintenant ce que le cerveau fait tout au long de la nuit: il te garde en bonne santé et te prépare à aller à l'école ou t'amuser. Si tu lis cet article avant d'aller au lit, tu peux être sûr de dormir suffisamment cette nuit.



Quelle est la chose que tu fais le plus dans la vie? Ce n'est pas manger ni boire, c'est dormir! On passe un tiers de notre vie à dormir. Depuis des décennies, les scientifiques travaillent pour comprendre pourquoi on dort. Pendant qu'on dort, le cerveau traite les informations recueillies pendant la journée et nous prépare pour le lendemain. Dans cet article, nous expliquerons ce qu'est le sommeil, quand, pourquoi et comment il se manifeste et comment il change avec l'âge.

## QUAND EST-CE QUE TU DORS?

À la question: «Quand dors-tu?», tu répondras «la nuit» ou «lorsque je suis fatigué!». Il se trouve que les deux réponses sont justes. Les êtres humains préfèrent dormir la nuit et être actifs la journée, contrairement aux animaux, qui sont actifs la nuit et dorment la journée. Cette préférence est naturelle. Le **noyau suprachiasmatique (NSC)**, qui représente l'horloge interne, est situé au fond du cerveau. Il indique le moment où chaque partie de l'organisme est active. C'est ce qui constitue le **rythme circadien** (circadien vient du grec et signifie «environ un jour», puisque le rythme du sommeil et d'éveil se répète une fois toutes les 24 heures). Comme toute horloge, le NSC peut être réinitialisé en fonction du moment où l'on voit la lumière du jour. Lorsqu'on voyage, l'organisme s'adapte à un nouveau rythme du jour et de la nuit. C'est pourquoi les personnes qui voyagent de l'Amérique du Nord en Australie peuvent s'adapter à un nouveau rythme de sommeil en quelques jours.

Dire qu'on dort quand on est fatigué est aussi correct. Est-ce que tu as déjà fait une sieste au milieu de la journée? **L'homéostat du sommeil** est un autre système dans le cerveau qui indique le temps pendant lequel on est éveillé et le nombre d'heures de sommeil qu'on a eues la veille. «Homéostat» ressemble au terme «thermostat», ce qui permet une bonne comparaison. Tout comme un thermostat allume la climatisation lorsqu'il fait trop chaud et l'éteint quand il fait trop froid, l'homéostat du sommeil évalue le temps pendant lequel tu es éveillé. L'envie de dormir augmente toute la journée, et quand elle atteint un certain point, on trouve le sommeil. Après le repos, l'homéostat du sommeil s'éteint et te permet de te réveiller. Ce processus se répète chaque jour. Il est intéressant de noter cependant que l'homéostat du sommeil ne sait pas distinguer le jour de la nuit; il vérifie plutôt quand on a été éveillé ou endormi. Si on se force à rester éveillé toute la nuit, le besoin de dormir va aller croissant jusqu'à ce qu'on aille finalement au lit. Si tu passes une nuit sans dormir, tu seras très fatigué et auras de la peine à récupérer les heures de sommeil dont tu as besoin (de même qu'il faudra plus de temps à un climatiseur pour rafraîchir une pièce où il fait très chaud). Au bout du compte, le rythme circadien et l'homéostat du sommeil travaillent de concert. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'on peut être actif en milieu de journée même sans avoir bien dormi la veille ou se sentir soudainement fatigué la nuit même après avoir fait une grasse matinée.

### NOYAU SUPRACHIASMATIQUE (NSC)

C'est une petite région du cerveau qui forme «l'horloge interne» et génère les rythmes circadiens.

### RYTHME CIRCADIEN (CIRCADIAN RHYTHM)

L'un des deux moyens de savoir quand dormir. Ce qui se passe naturellement lorsqu'on dort et se réveille et qui se répète toutes les 24 heures en réponse à la lumière.

### L'HOMÉOSTAT DU SOMMEIL

L'un des deux moyens de savoir quand dormir. L'envie de dormir augmente lorsqu'on reste éveillé et diminue avec le sommeil.

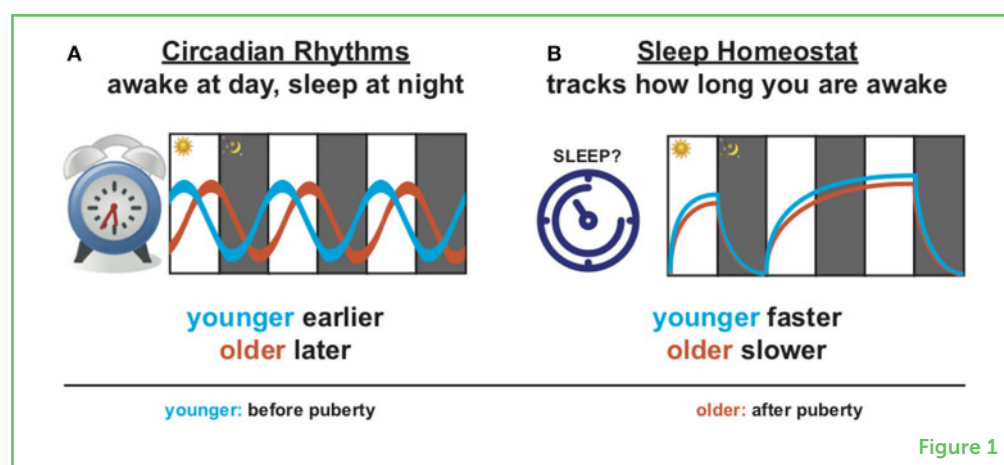
## COMMENT LE SOMMEIL CHANGE-T-IL AVEC L'ÂGE?

Pense à comment tu dors. Tes nuits sont probablement différentes aujourd'hui de celles que tu passais quand tu étais plus jeune. C'est parce que le noyau suprachiasmatique (NSC) et l'homéostat du sommeil changent avec l'âge (Figure 1). À la puberté, le NSC agit comme s'il changeait de fuseaux horaires. Ton corps veut se réveiller plus tard et se coucher plus tard. Lorsque tu auras près de vingt ans, le NSC devrait changer à nouveau (Figure 1A).

### Figure 1

Pourquoi dort-on à certains moments et pas à d'autres? Dans chaque graphique, le sommeil des jeunes enfants (âgés de 6 à 13 ans) est représenté en bleu et celui des autres enfants (âgés de 14 à 17 ans) est symbolisé par la couleur orange. Les barres noires indiquent la nuit tandis que les barres lumineuses symbolisent la journée.

**(A)** Rythmes circadiens: l'horloge interne organisée par le NSC nous maintient éveillés pendant la journée et endormis la nuit. Elle est affectée par la lumière, se répète toutes les 24h et se décale pendant l'adolescence. **(B)** Homéostat du sommeil: le thermostat du sommeil et du réveil. Il indique le temps pendant lequel on est éveillé. Le besoin de dormir augmente tout au long de la journée lorsqu'on est éveillé et diminue la nuit avec le sommeil. Si on ne dort pas, l'homéostat signale qu'on est éveillé jusqu'à ce qu'on dorme. Avec l'âge, ce processus se ralentit et nous permet de veiller plus longtemps avant de dormir.



En ce qui concerne l'homéostat de sommeil, pendant la puberté, l'envie de dormir se construit plus lentement par rapport à l'enfance. Autrement dit, si on reprend l'exemple du thermostat, la vitesse à laquelle la pièce se réchauffe est réduite, et le climatiseur attend plus longtemps avant de s'allumer pour la refroidir (Figure 1B). Étant donné que le NSC et l'homéostat changent à la puberté, il devient plus facile de veiller plus longtemps.

## DE COMBIEN D'HEURES DE SOMMEIL AS-TU BESOIN?

La Fondation nationale américaine pour le sommeil recommande 9 à 11 heures de sommeil chaque nuit pour les enfants âgés de 6 à 13 ans. Les adolescents doivent dormir de 8 à 10 heures par nuit et les adultes entre 7 et 9 heures [1]. Si tu vis aux États-Unis, tu trouves sans doute difficile de dormir autant pendant la semaine. Lorsqu'il atteint l'âge de la puberté, le corps veut aller au lit et dormir plus tard. Mais les cours à l'école (surtout aux États-Unis) commencent souvent trop tôt. C'est pourquoi les adolescents ont du mal à dormir suffisamment pendant la semaine [2]. Une fois le week-end enfin arrivé, il te manque sûrement tellement d'heures de sommeil que ton homéostat du sommeil te fait faire une longue grasse matinée pour que tu puisses récupérer. Et pourtant, dormir trop longtemps le week-end rend le réveil du lundi matin particulièrement désagréable.

## POURQUOI AS-TU BESOIN DE DORMIR?

Le sommeil est essentiel pour le corps et l'esprit. Ton métabolisme (la manière dont ton corps digère et utilise la nourriture), ton système immunitaire (qui régule à quelle vitesse tu te rétablis quand tu es malade) et ta condition physique générale (qui est déterminée par la manière dont l'exercice physique influence ton corps) ont tous besoin d'une bonne nuit de sommeil. Prenons l'exemple d'un organe bien précis de ton corps – ton cerveau. Toutes les fonctions de ton esprit dépendent de différentes régions cérébrales. Ton cerveau contrôle notamment ta capacité à te concentrer (en classe, par exemple), à apprendre et à te rappeler de choses (comme lors d'une évaluation), et à traiter des émotions (ne pas te fâcher quand les choses ne se passent pas comme tu le voudrais). Regardons de plus près la concentration et les émotions, et la manière dont le sommeil peut les influencer (Figure 2).

### Figure 2

Régions cérébrales affectées par le sommeil. Vue latérale du cerveau, comme si on regardait à partir de l'oreille. Deux régions impactées par une bonne nuit de sommeil et responsables de la santé cérébrale: le cortex préfrontal (en bleu) est important pour l'attention à l'école et l'amygdale (en rose) est le principal centre responsable de la régulation des émotions et des humeurs.

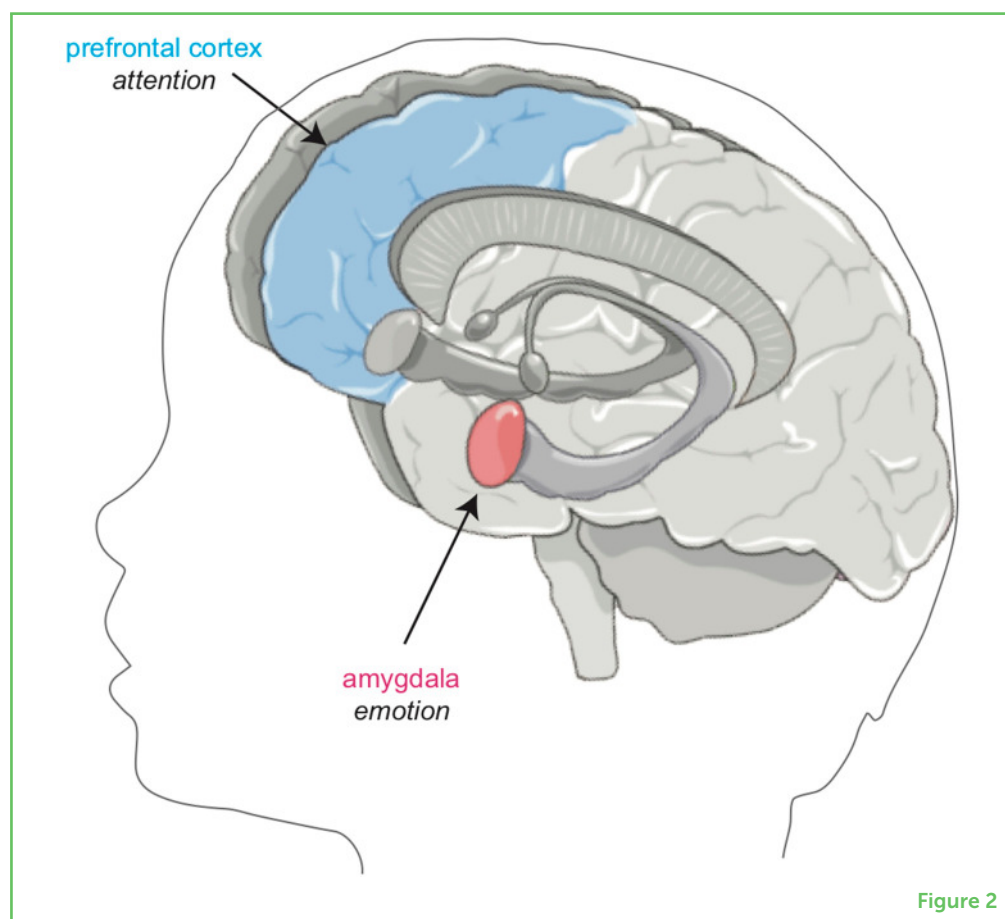


Figure 2

### LE CORTEX PRÉFRONTAL

C'est la partie avant du cerveau, très importante pour l'attention et la planification.

### La concentration

As-tu déjà essayé d'être attentif en classe après avoir mal dormi? C'est difficile, n'est-ce pas? La dernière partie du cerveau à se développer est **le cortex préfrontal** (CPF), qui se situe à l'avant du cerveau. Cette région particulière est fondamentale pour la concentration, la planification et la faculté à alterner d'une tâche à l'autre. Si tu n'as pas

ou que très peu dormi la veille, le CPF ne peut pas être efficace [3], et il devient très difficile de ne pas se laisser distraire. Si tu ne dors pas suffisamment, faire tes devoirs le soir devient une épreuve. Les étudiants se demandent souvent s'il est mieux d'aller se coucher ou d'étudier tard le soir. On espère que tu peux maintenant sans peine deviner la réponse juste à cette question. Les études le montrent, bien dormir permet d'avoir de meilleures notes. Une heure de sommeil supplémentaire équivaut souvent à entre 3 et 5 points en plus lors d'un test standardisé [4].

### Les émotions

Après avoir passé une nuit blanche, on est souvent plus irritable. Le sommeil contribue à notre bien-être et augmente notre capacité à garder la tête froide.

Le sommeil revitalise directement les centres du cerveau en charge des émotions comme **l'amygdale** [3]. Ainsi, ton humeur est plus stable après une bonne nuit de sommeil et ta gestion des émotions est meilleure. En temps normal, quand tu regardes tes amis, tu peux deviner s'ils sont énervés, tristes ou contents, mais le manque de sommeil t'empêche de distinguer ces expressions. Une bonne nuit de sommeil t'aide à interpréter ces signaux complexes et à mieux détecter les émotions, à les analyser et à y réagir.

#### L'AMYGDALÉ

C'est une région au fond du centre du cerveau responsable du traitement des émotions.

## LE SOMMEIL ET LA SANTÉ MENTALE CHEZ LES ENFANTS

Tout le monde peut passer une mauvaise nuit de temps en temps et être de mauvaise humeur le lendemain. Heureusement, lorsque l'on reprend un cycle de sommeil sain, notre humeur s'améliore rapidement. Cependant, certains enfants peuvent connaître des difficultés de sommeil prolongées, qui peuvent à force avoir une influence négative sur leur santé mentale. Comme la qualité du sommeil influence le fonctionnement du cerveau, les problèmes de sommeil peuvent être accompagnés de troubles mentaux (troubles de déficit de l'attention, troubles d'hyperactivité (TDAH), autisme, troubles anxieux ou dépression). Les enfants et les adolescents victimes de problèmes de santé mentale peuvent aussi avoir des difficultés à trouver le sommeil, à rester endormis ou à se réveiller. Les chercheurs ne comprennent pas encore le lien entre la qualité du sommeil et la santé mentale, et cherchent à déterminer si améliorer la qualité du sommeil chez les enfants peut contribuer à remédier aux problèmes de santé mentale [5].

## COMMENT AVOIR UNE BONNE QUALITÉ DE SOMMEIL?

On espère t'avoir convaincu que le sommeil, c'est important. Mais alors, qu'est-ce qu'il faut faire pour mieux dormir?

Un bon sommeil commence par des bonnes habitudes de sommeil (Figure 3). Tout d'abord, il faut aller au lit presque à la même heure chaque nuit afin de permettre au NSC et à l'homéostat du sommeil de fonctionner correctement. Ensuite, mets en place un rituel, comme lire ou baisser les lumières avant d'aller te coucher, peut t'aider à t'endormir plus facilement. Essaie aussi de limiter le temps passé devant des écrans juste avant d'aller au lit, car d'une part, la lumière des appareils numériques peut donner l'impression au NSC qu'il fait encore jour et, d'autre part, les émotions que provoquent les jeux, les émissions de télé ou la navigation sur internet peuvent t'empêcher de t'endormir. Tu dormiras mieux dans une chambre où il fait frais et sombre. Il vaut d'ailleurs mieux éviter d'avoir une télé ou ton smartphone à côté de ton lit. Si possible, évite aussi de faire tes devoirs dans ton lit, car ce dernier devrait rester l'endroit où tu dors. Enfin, ne consomme pas trop de caféine (boissons sucrées ou énergétiques, café ou thé) pendant la journée et n'en bois pas du tout à partir de la fin de l'après-midi. La caféine fait croire à ton homéostat que tu n'as pas sommeil sans diminuer ton besoin réel de dormir, et ça ne t'aide pas à être en forme à l'école le lendemain.

### Figure 3

Astuces pour de bonnes habitudes de sommeil. Un bon sommeil commence avec des bonnes habitudes de sommeil. Le respect de ces astuces te permettra de bien dormir chaque nuit et de te sentir en forme et prêt pour l'école le lendemain. Sleep at the same time each night = Va te coucher chaque nuit à la même heure, Build a bedtime routine = Mets en place un rituel avant d'aller te coucher, Limit screen time in the evening = Limite ton temps d'écrans le soir, Keep your bedroom cool and dark = Garde ta chambre fraîche et sombre, Do not do homework in bed = Ne fais pas tes devoirs dans ton lit, Limit caffeine after 4 PM = Limite la caféine après 16h, Balance homework and sleep = Préserve un équilibre entre le temps dédié à tes devoirs et ton temps de sommeil.



Figure 3

En parlant d'école, il est essentiel que les enseignants et les directeurs comprennent l'importance du sommeil pour la capacité à apprendre et la santé. Les scientifiques travaillent en collaboration avec les écoles et les gouvernements pour faire en sorte que les cours commencent plus tard pour les adolescents. Si les cours commencent trop tôt pour que tu puisses dormir assez, parles-en à tes enseignants ou rédige une lettre officielle aux autorités de ta ville. Explique-leur pourquoi il est important que les établissements scolaires contribuent à l'amélioration de la qualité de sommeil pour tous.



## LE SOMMEIL: DE QUOI S'AGIT-IL EXACTEMENT?

Le sommeil est l'un des plus importants indicateurs de santé. Cependant, la raison pour laquelle nous dormons reste un mystère pour nous. Nous espérons que nous avons quelque peu éclairci ce mystère et que tes enseignants, tes parents et toi comprenez mieux l'importance du sommeil pour la réussite scolaire ainsi que pour la santé émotionnelle et mentale, et te souhaitons de bien dormir ce soir.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les docteurs Mary Carskadon et Chloë Bergmark pour leur contribution inestimable à cette étude. Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette Collection afin de les rendre accessibles aux enfants des pays non anglophones, ainsi que la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour effectuer cette traduction. MK-V a été soutenue par l'Académie royale néerlandaise des arts et des sciences (KNAW Ter Meulen Grant) et la Bourse Fulbright. JS a été soutenu par NIMH (K01MH109854), la Fondation Rhode Island et la Fondation Jacobs.

## RÉFÉRENCES

1. Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., et al. 2015. National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *Sleep Health* 1:40–3. doi: 10.1016/j.sleh.2014.12.010
2. Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., and Carskadon, M. A. 2018. An update on adolescent sleep: new evidence informing the perfect storm model. *J. Adolesc.* 67:55–65. doi: 10.1016/j.adolescence.2018.06.001
3. Krause, A. J., Simon, E. B., Mander, B. A., Greer, S. M., Saletin, J. M., Goldstein-Piekarski, A. N., et al. 2017. The sleep-deprived human brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 18:404–18. doi: 10.1038/nrn.2017.55
4. Dewald, J. F., Meijer, A. M., Oort, F. J., Kerkhof, G. A., and Bogels, S. M. 2010. The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: a meta-analytic review. *Sleep Med. Rev.* 14:179–89. doi: 10.1016/j.smrv.2009.10.004
5. Gregory, A. M., and Sadeh, A. 2016. Annual research review: sleep problems in childhood psychiatric disorders—a review of the latest science. *J. Child Psychol. Psychiatry* 57:296–317. doi: 10.1111/jcpp.12469

**ÉDITEUR:** Nienke Van Atteveldt

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Elizabeth Johnson et Paul Nealen



**CITATION:** Koopman-Verhoeff ME et Saletin JM (2023) Une bonne nuit de sommeil est nécessaire pour les jeunes esprits. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00077-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** Koopman-Verhoeff ME and Saletin JM (2020) A Good Night's Sleep: Necessary for Young Minds. *Front. Young Minds* 8:77. doi: 10.3389/frym.2020.00077

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 Koopman-Verhoeff et Saletin. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### JACOB, ÂGE: 12

Salut, j'ai 12 ans. Le sommeil est la base de la vie; alors, les gars, soyez attentifs en classe! Je suis un sportif. Je joue au baseball, au basketball et à tous les types de football. J'aime beaucoup lire. Comme les autres 7,8 milliards de personnes dans le monde, j'aime manger. J'adore particulièrement les plats asiatiques et américains. J'ai un frère et une sœur, deux parents et j'espère être drôle, tout comme vous! Ne vous découragez pas!



### ST. BERNARD REGIONAL CATHOLIC SCHOOL, ÂGES: 11–14

Nous sommes un groupe dynamique de collégiens et de futurs ingénieurs, enseignants, politiciens, danseurs, musiciens, docteurs et militaires. Nous aimons poser des questions et enquêter sur le monde. Beaucoup d'entre nous visons des tâches et des emplois qui nécessitent la créativité et la résolution des problèmes. Sinon, nous adorons notre enseignant drôle et sur-caféiné qui interrompt souvent le cours avec des commentaires très pertinents et des bruits d'animaux. Un parfait équilibre entre l'apprentissage et le divertissement!

## AUTEURS



### M. ELISABETH KOOPMAN-VERHOEFF

Elize est psychologue et chercheuse au Département de Psychiatrie/Psychologie pour enfants et adolescents au centre médical Erasmus de Rotterdam aux Pays-Bas. Elle étudie le sommeil et la santé mentale dans le cadre de la Generation R Study, une étude qui s'intéresse au développement d'environ 7000 enfants de Rotterdam.

Pendant ses heures libres, Elize aime se promener, lire beaucoup de livres et cuisiner pour ses amis et sa famille. Anecdote: elle aime aller au lit tôt et se lever avant 7 heures (même pendant le week-end).



### **JARED M. SALETIN**

Jared est spécialiste du sommeil et Professeur assistant de psychiatrie et de comportement humain à l'Université Brown de Providence, RI, aux États-Unis. Il étudie comment le sommeil aide les enfants, les adolescents et leurs cerveaux à apprendre et à être attentifs. Il espère que ses recherches vont permettre aux jeunes gens de réussir à l'école après avoir passé des bonnes nuits de sommeil. Pendant ses heures libres, il aime passer du temps avec ses amis, sa famille (et son chat). Il adore aussi cuisiner, voyager et jouer aux jeux de société. Il aime préparer des gâteaux et du pain.

**French version provided by**  
Version Française fournie par





## DES ZZZS AUX AAAS: L'IMPORTANCE DU SOMMEIL DANS LE PROGRAMME D'ÉTUDES

Emma James<sup>1\*</sup>, Ann-Kathrin Joechner<sup>2\*</sup> et Beate E. Muehlroth<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Département de Psychologie, Université de York, York, Royaume-Uni

<sup>2</sup>Centre de Psychologie de la Durée de vie, Institut Max Planck Pour le Développement Humain, Berlin, Allemagne

### JEUNES ÉXAMINATEURS:



HATHAWAY  
BROWN  
SCHOOL

ÂGES: 14–15



THE  
SCHOOL  
FOR  
SCIENCE  
AND MATH  
AT  
VANDERBILT

ÂGES: 14–15

Nous dormons tous. Alors que les adultes passent environ un tiers de leur temps endormis, les plus jeunes dorment bien plus en raison de leur âge. Toutefois, cela ne signifie pas que les enfants et les adolescents sont paresseux parce qu'ils passent plus de temps au lit. En effet, dormir trop peu entraîne généralement de la fatigue, un manque de concentration et rend moins efficace. Il est donc important d'éviter ces conséquences du manque de sommeil et d'accorder une grande priorité à un sommeil de qualité. Un bon sommeil revigore l'organisme et le cerveau en permettant à ce dernier de bien se réorganiser après une journée chargée. Dans cet article, nous expliquons pourquoi le sommeil est si important et quel est son rôle pour la mémoire. La capacité d'apprentissage, d'acquisition de nouvelles connaissances et de formation du cerveau est extraordinaire pendant l'enfance et l'adolescence. C'est pour cela que le sommeil est particulièrement important durant ces étapes de la vie. Nous présentons ici les liens entre le cerveau et les changements

**que connaît ton sommeil quand tu grandis, ainsi que l'importance de ce sommeil pour ta scolarité.**

À l'approche d'un contrôle à l'école, on a souvent le sentiment d'avoir beaucoup de choses à apprendre, et trop peu de temps pour le faire. Mais alors, pourquoi passes-tu tant de temps au lit, alors que tu pourrais étudier? Il peut sembler tentant de se coucher tard pour passer plus de temps à apprendre, mais le sommeil est vital pour ton corps et ton cerveau. Il te garde en bonne santé et te redonne de l'énergie pour que tu te sentes alerte et actif le lendemain. Le sommeil permet également au cerveau de remodeler et d'affiner sa structure ainsi que son fonctionnement selon tes besoins et tes expériences. Le sommeil est fondamental pour le développement général du cerveau et plus particulièrement pour la mémoire. Les scientifiques ont démontré que les activités cérébrales au cours du sommeil permettent d'enregistrer de nouvelles connaissances dans la mémoire et favorisent l'apprentissage le lendemain. D'où la nécessité de bien dormir plutôt que de passer des nuits blanches à l'approche des examens. Un bon sommeil est essentiel tout au long de la vie, il l'est d'autant plus pour les enfants et les adolescents dans la mesure où il permet de mieux remodeler le cerveau et de développer de meilleures capacités d'apprentissage.

### LES NEURONES

Ils désignent les petites cellules nerveuses du cerveau qui stockent et transfèrent des signaux et des informations.

### SOMMEIL AVEC MOUVEMENTS OCULAIRES RAPIDES (MOR)

C'est une phase du sommeil au cours de laquelle les yeux effectuent des mouvements rapides et où les muscles sont extrêmement détendus. Cette phase est souvent associée aux rêves vifs.

### LES FUSEAUX DE SOMMEIL (SLEEP SPINDLES)

Ils représentent de courtes périodes d'augmentation de l'activité cérébrale qui, selon nous, favorisent une communication efficace entre les différentes parties du cerveau.

## LE CERVEAU EN SOMMEIL

En sommeil, le cerveau n'effectue pas toujours les mêmes tâches. Une bonne nuit de sommeil se divise en différentes phases déterminées par les mouvements musculaires et oculaires ainsi que par l'activité des petites cellules nerveuses du cerveau (appelées "**les neurones**"). Les scientifiques mesurent cette activité en mettant de petits capteurs à côté des yeux d'une personne, sur son menton et sur sa tête pendant qu'elle est endormie (voir [Figure 1](#)). Parfois, les neurones agissent très rapidement et de manière chaotique comme lorsque le cerveau est éveillé et occupé. C'est ce qui se passe pendant le **sommeil avec mouvements oculaires rapides (MOR)**. Il s'agit d'une phase du sommeil au cours de laquelle les yeux effectuent des mouvements très rapides et où les muscles sont extrêmement détendus et le cerveau s'engage dans des rêves très vifs. Les autres phases du sommeil correspondent au sommeil sans mouvements oculaires rapides (non-MOR). Au cours du sommeil léger non-MOR, de courtes périodes de l'activité cérébrale appelées **les fuseaux de sommeil** sont observées (voir [Figure 1](#)). Pendant le sommeil profond non-MOR, les neurones cérébraux présentent une activité rythmique lente, comme de grandes ondes dans l'océan ([Figure 1](#)), appelées ondes lentes. C'est pourquoi le sommeil profond non-MOR est souvent identifié à un sommeil à ondes lentes. Les fuseaux de sommeil et les ondes lentes sont responsables du remodelage du cerveau. Ce qui signifie que plus ils sont présents, plus le cerveau est modelé.

### Figure 1

Comment le sommeil se mesure-t-il? (À gauche) Nous mesurons l'activité des neurones, des yeux et des muscles à l'aide de petits capteurs. (À droite) L'activité s'affiche sur l'écran d'un ordinateur avec des lignes ondulées. Pendant le sommeil léger sans mouvements oculaires rapides (zone rose), nous détectons des fuseaux de sommeil dans l'activité cérébrale. Au cours du sommeil profond sans mouvements oculaires rapides— aussi connu sous le nom de sommeil à ondes lentes, les muscles du menton se détendent (la ligne devient plus plate) et les courbes représentant l'activité cérébrale deviennent plus lentes et grandes (ondes lentes). Pendant le sommeil paradoxal avec mouvements oculaires rapides (zone bleue), l'activité musculaire est fortement réduite, l'activité cérébrale est plus rapide et les yeux commencent à faire des mouvements rapides en zigzag.

### Figure 2

Comment le sommeil change tout au long de la vie. Plus les individus prennent de l'âge, moins ils dorment. En outre, l'équilibre entre le sommeil MOR (avec mouvements oculaires rapides ou REM pour Rapid Eye Movement en Anglais) et le sommeil non-MOR (sans mouvements oculaires rapides) varie pendant l'enfance et plus l'enfant grandit, plus son sommeil profond non-MOR,

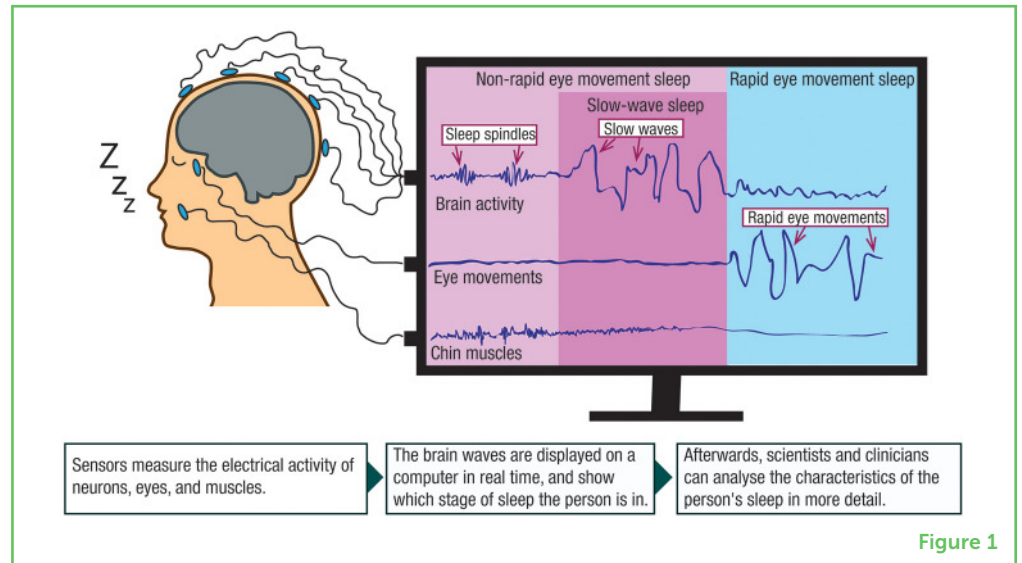


Figure 1

## LE CERVEAU EN RECONSTRUCTION

Lorsque tu étais encore un nourrisson, tu passais plus de temps endormi qu'éveillé. Cependant, plus tu grandis, moins tu passes de temps à dormir. En effet, ce n'est pas uniquement le nombre d'heures de sommeil qui change au cours de la croissance, l'équilibre entre ses différentes phases change également. En général, plus tu vieilliss, moins ton sommeil est à ondes lentes et plus la proportion de sommeil léger non-MOR (sans mouvements oculaires rapides) augmente (Figure 2). Selon les scientifiques, ces changements dans le sommeil nous informent sur la capacité du cerveau à se reconstruire.

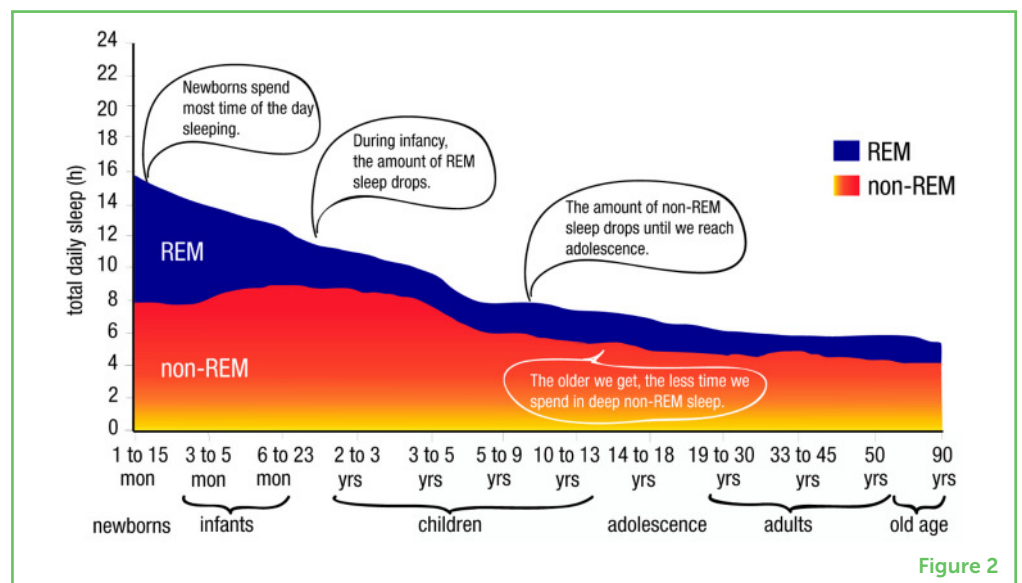


Figure 2

De l'enfance à l'adolescence, le cerveau traverse une profonde réorganisation ainsi qu'une optimisation majeure afin de répondre aux besoins et aux expériences de la vie quotidienne. De nouvelles



aussi appelé «sommeil à ondes lentes», perd en importance (d'après Roffwarg et al. [1]). Reproduit avec l'autorisation d'AAAS.

### LE SOMMEIL À ONDES LENTES (SLOW-WAVE SLEEP)

C'est la phase la plus profonde du sommeil non-MOR (sans mouvements oculaires rapides ou «non-Rapid Eye Movement» en anglais) au cours de laquelle le cerveau présente une activité rythmique lente (ondes lentes). Elle est importante dans le stockage des souvenirs durables.

### LE NÉOCORTEX

Il renvoie aux couches externes du cerveau qui sont censées stocker les connaissances à long terme.

connexions entre les cellules cérébrales se développent. Les connexions inutiles sont supprimées et la transmission des informations entre les principales voies neuronales s'accélère. En effet, lorsqu'une partie spécifique du cerveau est en reconstruction, les neurones de cette région cérébrale présentent plus d'activités rythmiques lentes durant **le sommeil à ondes lentes**. Par exemple, en Suisse, des scientifiques ont enregistré le sommeil de 40 enfants et jeunes adultes, et évalué leurs performances lors de certaines tâches [2]. Curieusement, ils ont découvert que les ondes lentes du sommeil étaient plus puissantes dans les régions cérébrales responsables des compétences que les participants apprenaient à chaque âge. De plus, ces scientifiques ont constaté que ces ondes devenaient plus faibles une fois que la compétence était davantage développée. Par exemple, à la fin de l'enfance, lorsque les enfants deviennent aptes à effectuer des mouvements complexes comme faire du vélo, même avec les mains libres, les ondes lentes sont plus puissantes dans la région cérébrale responsable de la réalisation des mouvements. Les scientifiques ont également constaté cette optimisation dans la structure du cerveau lorsque les participants sont passés au scanner cérébral: la couche externe du cerveau appelée **néocortex** est plus fine dans ces régions. Cette observation reflète une sorte d'ajustement du cerveau afin d'effectuer des tâches avec plus d'efficacité. Ces relations entre les ondes lentes, les compétences et la structure du cerveau ont conduit les chercheurs à penser qu'observer les rythmes lents durant le sommeil pourrait nous aider à comprendre comment le cerveau se développe.

Contrairement aux ondes lentes qui diminuent lorsque le cerveau se développe, les fuseaux du sommeil léger non-MOR (sans mouvements oculaires rapides) se multiplient et s'accélèrent durant l'enfance et l'adolescence. Certains scientifiques pensent d'ailleurs que l'augmentation des fuseaux de sommeil durant l'enfance et l'adolescence reflète une communication plus rapide et plus efficace entre les différentes parties du cerveau. Dans l'une de nos recherches, nous avons découvert que les enfants qui ont présenté un grand nombre de fuseaux sur une période de sept ans ont obtenu de meilleurs résultats aux tests sur les capacités mentales entre 14 et 18 ans [3]. Malheureusement, nous en savons encore peu sur le rôle des fuseaux dans le développement du cerveau. C'est un domaine intéressant que les scientifiques essaient encore de comprendre.

## LENTEUR ET RÉGULARITÉ PERMETTENT DE GAGNER LA COURSE

En observant le sommeil, nous comprenons comment le cerveau se développe pendant la croissance de l'enfant et l'apprentissage de nouvelles compétences comme le vélo. Toutefois, le sommeil assure une autre tâche très importante. Il te permet de former des souvenirs sur le long terme, comme ce que tu apprends à l'école.



Plusieurs expériences réalisées ont démontré que le sommeil peut t'aider à te souvenir des nouvelles choses que tu apprends. Certaines études ont même démontré que la mémoire peut s'améliorer grâce au sommeil, sans effort supplémentaire! Afin de confirmer cette découverte, des chercheurs de l'Université de York ont appris de nouveaux mots à des enfants âgés de 7 à 12 ans le matin ou en soirée [4]. Lorsque les chercheurs ont effectué des tests sur la mémoire de ces enfants 12 heures plus tard, ceux qui avaient appris les mots en soirée et étaient allés se coucher se souvenaient de plus de mots que ceux qui étaient restés éveillés toute la journée. En effet, ils se souvenaient de plus de mots qu'avant d'aller se coucher. Comment cela est-il possible?

Les scientifiques pensent que le cerveau dispose de deux systèmes d'apprentissage distincts: le système rapide et le système lent. Ces deux systèmes d'apprentissage peuvent être assimilés à la fable du lièvre et de la tortue de La Fontaine. Dans cette fable, le lièvre part à une vitesse folle dans sa course contre la tortue. Très satisfait de sa progression et convaincu de sa victoire, il se repose à mi-chemin de la course, ce qui permet à la tortue lente de le dépasser et de gagner la course. L'un des deux systèmes d'apprentissage du cerveau est comparable au lièvre: il te permet d'apprendre de nouvelles informations très rapidement en journée et donne une longueur d'avance aux informations dans la mémoire. Toutefois le second système d'apprentissage est plus lent et plus judicieux, comme la tortue, il associe avec soin les nouvelles informations aux choses que nous connaissons déjà. Ce système d'apprentissage lent est plus efficace à long terme car il nous aide à garder en mémoire de nouvelles informations à venir. Tout comme dans la fable, le système de mémoire de la «tortue» prend la relève lorsque le cerveau a la possibilité de se reposer.

Des études montrent qu'une région au fond du cerveau (**l'hippocampe**) a de l'avance dans l'apprentissage tout comme le lièvre, tandis que les couches externes du cerveau (le néocortex) agissent exactement comme la tortue (voir **Figure 3**). Au cours du sommeil à ondes lentes, l'hippocampe rapide répète les informations qu'il a apprises durant la journée et les communique au néocortex d'apprentissage lent. Beaucoup de scientifiques pensent que le cerveau produit une séquence très spécifique d'ondes lentes, de fuseaux de sommeil et d'ondes très rapides dans l'hippocampe. Ceci permet aux deux systèmes d'apprentissage de communiquer entre eux. Cette communication renforce les nouvelles connaissances encore fragiles et les rend durables en les associant aux connaissances plus anciennes déjà enregistrées dans le néocortex [5]. Des scientifiques en Belgique ont démontré que ce processus de renforcement de la mémoire peut même se produire pendant une sieste [6]. Ils ont enseigné à des enfants âgés de 8 à 12 ans des fonctions «magiques» pour des objets imaginaires (par exemple, un objet pouvait passer à travers les portes, un autre pouvait arrêter la

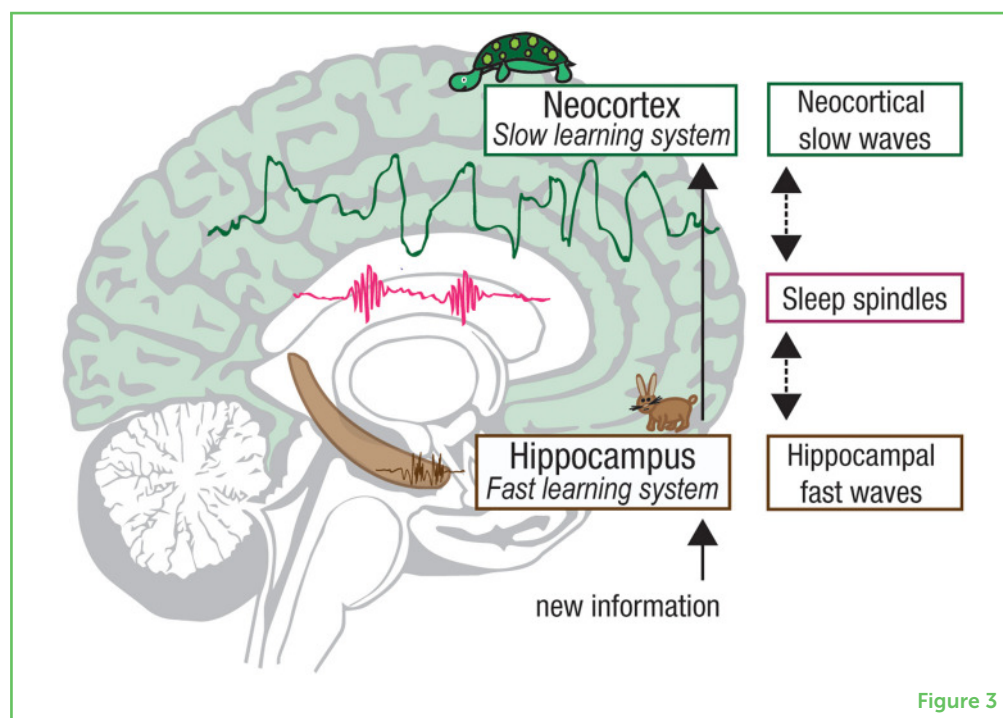
### L'HIPPOCAMPE

Il désigne une structure présente au fond du cerveau qui joue un rôle crucial dans l'apprentissage rapide de nouvelles informations.

pluie). Ils ont ensuite testé leur mémoire sur ces associations tout en mesurant l'activité cérébrale. Immédiatement après l'apprentissage, l'hippocampe a assimilé les fonctions apprises. Par la suite, la moitié des enfants ont fait une sieste de 90 minutes, tandis que l'autre moitié est restée éveillée. Lors d'un second test de mémoire, seuls les enfants qui avaient dormi ont présenté une activité cérébrale plus grande dans le néocortex lorsqu'ils devaient se souvenir de ce qu'ils avaient appris. Ainsi, même après une courte sieste, le système de la tortue lente peut remporter la course de la mémoire.

### Figure 3

Comment le sommeil lent aide-t-il la mémoire? L'hippocampe (partie marron), une petite structure au fond du cerveau, correspond au système d'apprentissage qui permet d'acquérir de nouvelles connaissances rapidement. Afin de s'assurer que ces nouvelles connaissances sont enregistrées dans le cerveau en toute sécurité, l'hippocampe les communique au néocortex d'apprentissage lent, qui correspond aux couches externes du cerveau (partie verte) pendant le sommeil. En produisant une séquence d'ondes lentes (ligne verte), les fuseaux de sommeil (ligne rose) et les ondes rapides (ligne marron) communiquent entre elles, ce qui permet aux nouvelles informations de se renforcer et de s'associer aux anciennes connaissances déjà présentes dans le cerveau.



## ALORS, DORS BIEN ET RÉVEILLE-TOI EN PLEINE FORME!

Il est désormais clair que dormir n'est pas une perte de temps, mais plutôt une nécessité. En effet, le sommeil permet de garantir la qualité de vos souvenirs ainsi que leur durabilité. Le sommeil est donc essentiel dans la réorganisation du cerveau au cours de ta croissance, alors que tu découvres le monde et que tu apprends de nouvelles choses. À long terme, les enfants qui dorment plus ont de meilleurs résultats à l'école, et de meilleures notes aux examens par rapport à ceux qui restent éveillés tard pour étudier [7]. Prends donc soin d'accorder une grande place au sommeil pendant ton emploi du temps afin de permettre à ton cerveau d'effectuer le gros du travail pendant que tu te reposes la nuit.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient infiniment tous ceux qui ont contribué à la traduction des articles de cette collection afin de les rendre accessibles et compréhensibles aux enfants des pays non anglophones ainsi que la Fondation Jacobs pour avoir octroyé les fonds nécessaires pour cette traduction. EJ a été soutenu par la bourse ESRC ES/T007524/1; BM et A-KJ ont été soutenus par le projet «Lifespan Rhythms of Memory and Cognition (RHYME)» au Centre de *psychologie de la durée de vie*, Institut Max Planck pour le développement humain de Berlin, en Allemagne. A-KJ est membre de L'école internationale de recherche Max Planck sur le Cycle de vie (LIFE; <https://www.imprs-life.mpg.de/en>).

## RÉFÉRENCES

1. Roffwarg, H. P., Muzio J. N., and Dement W. C. 1966. Ontogenetic development of the human sleep-dream cycle. *Science* 152:608.
2. Kurth, S., Ringli, M., LeBourgeois, M. K., Geiger, A., Buchmann, A., Jenni, O. G., et al. 2012. Mapping the electrophysiological marker of sleep depth reveals skill maturation in children and adolescents. *Neuroimage* 63:959–65. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.053
3. Hahn, M., Joechner, A.-K., Roell, J., Schabus, M., Heib, D. P., Gruber, G., et al. 2019. Developmental changes of sleep spindles and their impact on sleep-dependent memory consolidation and general cognitive abilities: a longitudinal approach. *Dev. Sci.* 22:e12706. doi: 10.1111/desc.12706
4. Henderson, L. M., Weighall, A. R., Brown, H., and Gaskell, M. G. 2012. Consolidation of vocabulary is associated with sleep in children. *Dev. Sci.* 15:674–87. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01172.x
5. Wilhelm, I., Prehn-Kristensen, A., and Born, J. 2012. Sleep-dependent memory consolidation—what can be learnt from children? *Neurosci. Biobehav. Rev.* 36:1718–28. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.03.002
6. Urbain, C., De Tiège, X., De Beeck, M. O., Bourguignon, M., Wens, V., Verheulpen, D., et al. 2016. Sleep in children triggers rapid reorganization of memory-related brain processes. *Neuroimage* 134:213–22. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.03.055
7. Gillen-O'Neel, C., Huynh, V. W., and Fuligni, A. J. 2013. To study or to sleep? The academic costs of extra studying at the expense of sleep. *Child Dev.* 84:133–42. doi: 10.1111/j.1467-8624.2012.01834.x

**ÉDITEUR:** Nienke Van Atteveldt

**MENTORS SCIENTIFIQUES:** Menton Deweese et Crystal Miller

**CITATION:** James E, Joechner A-K et Muehlroth BE (2023) Des ZZZs aux AAAs: L'importance du sommeil dans le programme d'études. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00051-fr

**TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS:** James E, Joechner A-K and Muehlroth BE (2020) From ZZZs to AAAs: Why Sleep Is an Important Part of Your Study Schedule. *Front. Young Minds* 8:51. doi: 10.3389/frym.2020.00051

**CONFLIT D'INTÉRÊTS:** Les auteurs déclarent que ces travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

**COPYRIGHT** © 2020 © 2023 James, Joechner A-K et Muehlroth. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur ou les auteurs d'origine et le ou les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

## JEUNES EXAMINATEURS



### HATHAWAY BROWN SCHOOL, ÂGES: 14–15

Nous sommes des élèves du Programme de recherche scientifique et d'ingénierie de la Hathaway Brown School. Nous aimons découvrir le processus d'évaluation par nos pairs, apprendre à communiquer sur la science à différents publics et faire des recommandations. Nous sommes assistés par notre Mentor en science, Crystal Miller.



### THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT, ÂGES: 14–15

Nous sommes une classe d'élèves de Nashville et nous nous rencontrons une fois par semaine à Vanderbilt pour en apprendre davantage sur la science, la technologie, l'ingénierie et les mathématiques. Sur le campus, nous menons des expériences dans notre salle de classe et nos laboratoires.

## AUTEURS



### EMMA JAMES

À l'approche des examens scolaires, je faisais savoir à mes parents que je n'avais pas appris suffisamment mes leçons pour me coucher tôt. C'est difficile pour moi de le reconnaître, mais mes recherches m'ont prouvé que mes parents avaient raison: je suis émerveillée par les bienfaits du sommeil sur la mémoire. Je suis particulièrement intéressée par la façon dont le sommeil nous aide à apprendre de nouveaux mots, et pourquoi certains enfants trouvent cet apprentissage plus difficile que d'autres. Je travaille à l'Université de York (UK), mais j'ai vécu à Bristol, Oxford, Lancaster, Londres et en Amérique. Pendant mon temps libre, j'aime courir, faire de la cuisine et jouer au piano. \*[emma.james@york.ac.uk](mailto:emma.james@york.ac.uk)

**ANN-KATHRIN JOECHNER**

J'adore le sommeil, non seulement parce que j'aime dormir, mais aussi parce que je trouve incroyable à quel point le cerveau est actif alors que nous semblons inactifs et n'avons aucune expérience consciente. Depuis que je suis étudiante à l'université, je suis fascinée par la façon dont le sommeil aide le cerveau à se restructurer et donc à conserver de nouvelles connaissances. Depuis lors, c'est ce phénomène que j'essaie de comprendre. L'enfance étant une période marquée par de grands changements cérébraux et cognitifs, je m'intéresse tout particulièrement à la façon dont le sommeil contribue au développement de la mémoire pendant l'enfance et à la façon dont le développement du cerveau est associé à ce phénomène. \*[joechner@mpib-berlin.mpg.de](mailto:joechner@mpib-berlin.mpg.de)

**BEATE E. MÜHLROTH**

Quand j'avais 6 ans, je pouvais battre mes parents au memory. Bien sûr, à cette époque, je ne savais pas à quel point le cerveau d'un enfant est spécial. Dans le cadre de mes recherches, je veux découvrir ce que fait le cerveau lorsque nous apprenons de nouvelles informations et les mémorisons, ainsi que la façon par laquelle le sommeil aide à la réalisation de ces tâches. La plupart du temps, j'essaie de comprendre si le mauvais sommeil, comme nous pouvons l'observer chez nos grands-parents, pourrait expliquer pourquoi les personnes âgées oublient davantage les choses qu'elles ont apprises au cours de la journée. \*[beatemuehlroth@gmail.com](mailto:beatemuehlroth@gmail.com)

**French version provided by**

Version Française fournie par



---

## Contact

kids@frontiersin.org  
kids.hebrew@frontiersin.org  
kids.arabic@frontiersin.org  
kids.chinese@frontiersin.org

---

## Médias sociaux

📍 @FrontYoungMinds  
📘 @FrontiersForYoungMinds  
📺 @frontiersyoungminds  
#frontiersforyoungminds

