



L'étonnante plasticité du cerveau adolescent

Jay Giedd

À l'adolescence, le cerveau humain se reconfigure très vite. Ces transformations sont une source de risques, mais aussi d'avancées fulgurantes en matière de cognition et d'adaptabilité.

Les mots «cerveau» et «adolescent» vous semblent contradictoires? La plaisanterie est commune. Certains neuroscientifiques sont allés jusqu'à expliquer les comportements risqués, agressifs ou déconcertants des adolescents comme la conséquence d'un cerveau dysfonctionnel.

C'est pourtant à une tout autre conclusion que sont parvenues les recherches des dix dernières années. Le cerveau des adolescents n'est pas défectueux. Ce n'est pas non plus un cerveau adulte à moitié fini. Il a été façonné par l'évolution pour fonctionner différemment de celui d'un enfant ou d'un adulte.

Tout d'abord, le cerveau des adolescents est étonnamment modifiable. Il reconfigure ainsi ses réseaux de communication internes pour répondre aux défis auxquels il est confronté. Cette souplesse particulière, ou plasticité, est une arme à double tranchant. Elle permet aux adolescents d'effectuer des progrès fulgurants dans le domaine de la pensée et de la socialisation, mais elle les expose aussi à des comportements dangereux et à des troubles mentaux graves,

L'ESSENTIEL

- Des études par IRM montrent que le cerveau adolescent a une capacité étonnante à reconfigurer ses connexions internes pour s'adapter à son environnement.
- Les adolescents ont des comportements à risque car leur système limbique, impliqué dans les émotions, se développe plus tôt que leur cortex préfrontal, qui contrôle les impulsions.
- Mieux comprendre leur cerveau aiderait à interagir avec eux et à distinguer les comportements normaux et pathologiques.

Tina Empere, CloulierRemix ; Monica Cotto ; illustration : Harry Campbell ; photographie : Ethan Hill

du fait de la transformation continue de leur cerveau.

Les études récentes indiquent que la tendance des adolescents à prendre des risques résulte d'une différence de maturité entre deux régions majeures du cerveau : d'une part, le système limbique, qui donne naissance aux émotions et qui parvient vite à un stade très actif après la puberté, et, d'autre part, le cortex préfrontal, impliqué dans le jugement et le contrôle des impulsions mais qui n'arrive à maturité que plus tardivement. Cette dernière région subit en effet des modifications importantes au moins jusqu'à l'âge de 20 ans.

Mieux comprendre ce décalage peut aider les parents, les enseignants, les conseillers – et les adolescents eux-mêmes – à dédramatiser. Des comportements tels que la prise de risque, la recherche de sensations fortes et l'éloignement de ses parents pour se rapprocher de ses semblables ne traduisent pas des problèmes cognitifs ou émotionnels. Ils résultent du développement normal du cerveau et sont une composante ordinaire de l'apprentissage des adolescents.

■ L'AUTEUR



Jay GIEDD dirige le département de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent à l'université

de Californie à San Diego, aux États-Unis. Il est aussi professeur à l'université Johns Hopkins et rédacteur en chef de la revue *Mind, Brain, and Education*.

Quand une fille de 15 ans se démarque des goûts vestimentaires, musicaux ou politiques de ses parents, ce n'est pas le signe d'une maladie mentale. De même, lorsqu'un garçon de 16 ans saute sur sa planche à roulettes sans casque ou relève les défis absurdes lancés par ses amis, le risque ne doit pas être sous-estimé, mais il résulte plutôt d'un manque de réflexion et de la pression de ses semblables que d'un désir de se blesser.

En revanche, d'autres agissements sont plus inquiétants, notamment quand ils sont empreints d'agressivité. Une meilleure connaissance du cerveau des adolescents aidera à différencier un comportement pathologique d'un autre qui nous semble inhabituel, mais qui est normal pour cet âge. Ainsi, nous pourrions sans doute atténuer les multiples difficultés auxquelles ils sont confrontés : addictions, maladies sexuellement transmissibles, accidents de la route, grossesses non désirées, homicides, dépressions, suicides...

Certains parents sont surpris d'entendre que le cerveau d'un jeune de 16 ans n'est pas identique à celui d'un enfant de 8 ans. Les chercheurs ont d'ailleurs eu du mal à identifier les différences. Enveloppé d'une

membrane solide comme du cuir, baignant dans un liquide protecteur et entièrement entouré d'os, le cerveau est bien protégé contre les chutes, les attaques de prédateurs... et la curiosité des scientifiques !

L'IRM dévoile le cerveau adolescent

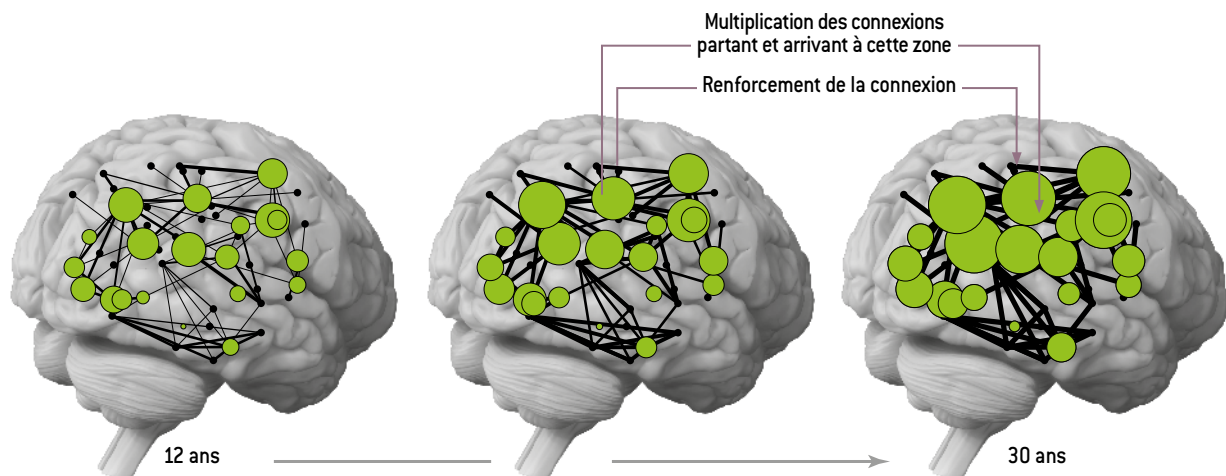
Les techniques d'imagerie ont ouvert une fenêtre sur notre encéphale, mais certaines, telles la tomographie aux rayons X ou la tomographie par émission de positrons, émettent des rayonnements ionisants, ce qui limite leur utilisation chez les jeunes pour des raisons éthiques. En revanche, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) est un outil sûr et précis pour analyser l'anatomie et la physiologie du cerveau, quel que soit l'âge. Cet outil a fait émerger une idée dominante : le cerveau des adolescents ne parvient pas à maturation en grossissant, mais en augmentant ses connexions internes et en se spécialisant dans la réponse aux défis extérieurs – par exemple la vie en société.

Sur les images d'IRM, l'augmentation de la connectivité entre les régions cérébrales se traduit par des quantités

LA MATURITÉ VIEN EN DÉVELOPPANT SES RÉSEAUX

La modification la plus importante qui se produit dans le cerveau d'un adolescent n'est pas la croissance des aires cérébrales, mais l'intensification des communications entre les groupes de neurones. Les chercheurs ont analysé cette évolution en appliquant la théorie des graphes aux données de l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Ils ont montré qu'entre 12 et 30 ans

les connexions se renforcent entre diverses régions du cerveau ou assemblées de neurones (*lignes noires s'épaississant*). En outre, certaines zones deviennent davantage connectées (*cercles verts s'agrandissant*). Ces modifications aident le cerveau à se spécialiser dans les tâches auxquelles il est confronté, depuis la réflexion abstraite jusqu'à la vie en société.



AUGMENTATION DES COMMUNICATIONS ENTRE LES RÉGIONS CÉRÉBRALES AU FIL DU TEMPS

Illustration : David Kilpack (cerveaux), Jan Christiansen (diagrammes) Source : E. L. Dennis et al., *NeuroImage*, vol. 64, janvier 2013

plus importantes de « matière blanche ». Celle-ci est formée de faisceaux d'axones, les longs prolongements des neurones qui conduisent les signaux sortants. L'adjectif « blanche » vient d'une substance grasse appelée myéline, qui entoure et isole les axones. La myélinisation (la formation de cette gaine de graisse) se produit de l'enfance jusqu'à l'âge adulte et accélère notablement la conduction des influx nerveux entre les neurones. Quand les axones sont enveloppés de myéline, ils transmettent des signaux jusqu'à 100 fois plus vite.

La myélinisation accélère le traitement des informations par le cerveau d'une seconde façon : elle aide les axones à récupérer rapidement après la transmission d'un message, de sorte qu'ils sont prêts plus tôt à relayer les suivants. Cette plus courte durée de récupération multiplie par 30 la fréquence à laquelle un neurone transmet des informations. L'accélération combinée de la transmission et de la récupération augmente d'un facteur 3 000 la puissance du cerveau entre l'enfance et l'âge adulte et autorise la création de vastes réseaux entre les différentes régions cérébrales.

Des études récentes ont révélé un autre rôle, plus subtil, de la myéline. Les neurones reçoivent de multiples influx des autres cellules nerveuses, mais ils ne s'allument pour transmettre eux-mêmes un message que si la somme de ces influx est supérieure à un certain seuil. Or les influx entrants ne s'additionnent que s'ils parviennent au neurone dans un intervalle de temps rapproché. Pour que des influx en provenance de neurones proches et éloignés arrivent presque simultanément, la vitesse de transmission doit donc être parfaitement réglée dans chaque axone et les chercheurs ont découvert que la myéline intervient activement dans cet ajustement fin.

L'activation d'un neurone déclenche une série de modifications moléculaires, qui renforcent ses connexions (ou synapses) avec les neurones recevant l'influx émis. Ce renforcement des connexions forme la base de l'apprentissage. Le rôle de la myéline est donc essentiel pour de multiples raisons. Grâce à son développement rapide, les

différentes parties du cerveau interagissent et se coordonnent de plus en plus lorsque des enfants deviennent adolescents, et ce dans une grande variété de tâches cognitives.

Les neuroscientifiques savent maintenant mesurer cette connectivité changeante grâce à la théorie des graphes, une branche des mathématiques où l'on quantifie les relations entre les « nœuds » et les « arêtes » d'un réseau. Un nœud peut être n'importe quelle entité détectable : un neurone, une structure cérébrale (telle que

modifications du comportement et de la cognition. Une telle évolution n'a pas lieu qu'à l'adolescence : nombre des circuits cérébraux se développent dans l'utérus et continuent à se transformer pendant toute la vie. Toutefois, chez l'adolescent, la connectivité augmente de façon spectaculaire entre les régions cérébrales intervenant dans le jugement, la sociabilité et la planification à long terme – des capacités qui auront une influence profonde sur le reste de sa vie.

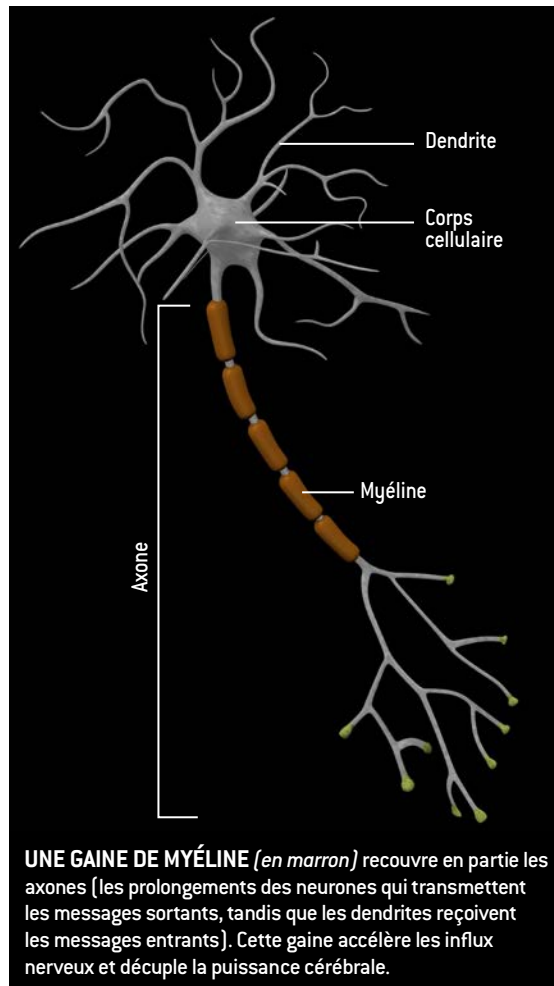
Pendant que les axones des adolescents se gagent de myéline, une autre modification a lieu. Comme le David de Michel-Ange émergeant d'un bloc de marbre, le cerveau adulte résulte d'un processus de sculpture, au cours duquel les connexions non utilisées ou mal adaptées sont supprimées. Celles qui servent souvent, en revanche, sont renforcées. Le cerveau acquiert ainsi de nouvelles capacités cognitives, grâce auxquelles il s'adapte aux exigences de son environnement.

Un vaste élagage cérébral

À l'adolescence, la balance penche du côté de l'élimination. Lorsque des connexions inutilisées disparaissent, la quantité de matière grise diminue. Cette dernière est principalement constituée de structures non myélinisées, telles que les corps cellulaires des neurones, les dendrites (des projections en forme d'antennes, qui partent des corps cellulaires et reçoivent des informations d'autres neurones) et certains axones. Globalement, la quantité de matière grise augmente pendant l'enfance, atteint un

maximum vers l'âge de 10 ans puis baisse durant l'adolescence. Elle se stabilise à l'âge adulte, puis diminue à nouveau lors de la sénescence. À la surface des neurones, une évolution similaire se produit pour la densité de récepteurs activés par des neurotransmetteurs (des composés tels que la dopamine, la sérotonine et le glutamate, qui modulent la communication entre les cellules cérébrales).

Bien que la quantité globale de matière grise culmine aux alentours de la puberté, les



UNE GAINE DE MYÉLINE (en marron) recouvre en partie les axones [les prolongements des neurones qui transmettent les messages sortants, tandis que les dendrites reçoivent les messages entrants]. Cette gaine accélère les influx nerveux et décuple la puissance cérébrale.

© Shutterstock.com/3drenderings

l'hippocampe), une région plus grande (par exemple le cortex préfrontal)... Une arête est une connexion entre des nœuds. Il peut s'agir d'un lien physique, telle qu'une synapse entre deux neurones, ou d'une corrélation statistique, par exemple lorsque deux parties du cerveau s'activent de façon similaire au cours d'une tâche cognitive.

La théorie des graphes nous a aidés à déterminer comment différentes régions cérébrales se développent et s'interconnectent, puis à établir le lien avec les



© Shutterstock.com/p103

LE GOÛT DU RISQUE ET DE LA NOUVEAUTÉ est manifeste à l'adolescence. Présent chez tous les mammifères sociaux, il aurait été sélectionné par l'évolution pour encourager les adolescents à quitter la sécurité de leur famille, favorisant ainsi le brassage génétique.

c'est-à-dire la capacité à gérer des relations complexes, à distinguer les amis des ennemis, à trouver une protection au sein de groupes et à s'engager dans la principale quête de l'adolescence : séduire un ou une partenaire.

L'adolescence est donc marquée par des modifications de la matière grise et de la matière blanche, qui transforment les réseaux cérébraux. Les fonctions du cortex préfrontal ne sont pas absentes pendant cette période ; elles n'ont juste pas encore atteint leur efficacité maximale. Comme elles ne seront pas pleinement matures avant l'âge de 20 ans, les adolescents peinent parfois à contrôler leurs impulsions ou à évaluer les risques et les récompenses.

Les émotions en avance sur la raison

Contrairement au cortex préfrontal, le système limbique atteint vite un stade de développement avancé après la puberté, qui commence en général entre 10 et 12 ans. Ce système engendre les émotions et les sentiments de récompense. Il collabore également avec le cortex préfrontal pour favoriser la recherche de nouveauté, la prise de risques et l'intérêt pour ses semblables pendant l'adolescence.

Ces comportements, profondément enracinés dans la biologie, existent chez tous les mammifères sociaux. Ils encouragent les adolescents à quitter le confort et la sécurité de leur famille pour explorer de nouveaux environnements et nouer des relations extérieures. Ainsi, ils diminuent la probabilité de consanguinité, ce qui crée une population génétiquement plus saine. Mais ils peuvent aussi se révéler dangereux, en particulier lorsqu'ils se concrétisent par certaines pratiques modernes, telles que la consommation de drogues ou la conduite de bolides. Le système limbique exerçant un fort pouvoir d'incitation alors que le contrôle préfrontal n'est pas encore aussi performant qu'à l'âge adulte, l'émotion risque de primer sur la rationalité pendant la décennie que dure l'adolescence.

Quand cette période se termine-t-elle ? Définie comme la transition entre l'enfance et l'âge adulte, elle a un début biologiquement marqué – la puberté –, mais une fin plus floue, déterminée par une construction sociale. Ainsi, on caractérise souvent l'âge adulte par des événements tels que le mariage, l'arrivée d'un enfant

différentes aires cérébrales se développent à des rythmes variés. La quantité de matière grise atteint son niveau maximal d'abord dans les aires dites sensorimotrices primaires, qui assurent la perception et les réponses aux cinq sens : la vue, l'ouïe, l'odorat, le goût et le toucher. Elle plafonne en dernier dans le cortex préfrontal, essentiel pour les « fonctions exécutives ». Cette expression englobe des capacités très diverses, telles que la prise de décision, la planification ou la régulation des émotions.

Une autre fonction importante du cortex préfrontal est la prévision des conséquences potentielles des actes que nous envisageons, grâce à une projection mentale dans le temps. Nous procédons ainsi à des simulations plutôt que de nous soumettre à une réalité potentiellement dangereuse. Comme l'a exprimé le philosophe Karl Popper, au lieu de nous mettre en danger, « nos théories meurent à notre place ».

Au fil de la maturation cognitive, nos fonctions exécutives nous poussent aussi à préférer des récompenses importantes et différées à des gains immédiats, mais plus faibles. Le cortex préfrontal est également essentiel pour la cognition sociale,

Deux à trois fois plus de
décès
et de maladies graves
surviennent à l'adolescence,
par rapport à l'enfance.

ou l'acquisition d'une maison. Depuis les années 1970, cet âge tend à augmenter dans les sociétés occidentales.

Le fait que la notion d'adulte soit en grande partie une construction sociale a conduit certains psychologues à considérer l'adolescence comme une réalité culturelle plutôt que biologique; elle serait le fruit d'une évolution dans la manière d'élever les enfants, qu'on ne traite plus comme des adultes dès qu'ils sortent de leurs jeunes années. Cependant, des études sur des jumeaux élevés dans des familles différentes réfutent l'idée que les facteurs sociaux prévalent. Elles montrent que l'environnement peut, dans une certaine mesure, influencer sur le rythme de la maturation du cerveau, mais que la planification fondamentale est sous contrôle biologique. Les sociologues le constatent également: la prise de risques, la recherche de sensations fortes et la tendance à se rapprocher de ses semblables s'observent dans toutes les cultures, quoique à des degrés variables.

Quoi qu'il en soit, l'ampleur des modifications révélées par l'IRM dans le cerveau adolescent est frappante. En général, la plasticité diminue à l'âge adulte, tout en restant à un niveau élevé bien plus longtemps que chez les autres animaux.

Vulnérables, mais très adaptables

Notre plasticité cérébrale prolongée nous donne une capacité d'adaptation inégalée, aussi bien en tant qu'individus qu'en tant qu'espèce. Nous prospérons partout, des glaces du pôle Nord aux îles chaudes équatoriales. Grâce à notre puissance technologique, nous arrivons même à vivre dans des vaisseaux en orbite. Il y a 10 000 ans (un battement de cil à l'échelle de l'évolution), notre principale occupation consistait à trouver de la nourriture et des abris. Aujourd'hui, nous sommes nombreux à passer la majeure partie de la journée à manipuler des mots et des symboles, ce qui est d'autant plus remarquable que la lecture remonte à seulement 5 000 ans.

Si cette plasticité prolongée a servi notre espèce, elle crée aussi des vulnérabilités. Plusieurs maladies mentales se développent préférentiellement à l'adolescence: les troubles anxieux, le trouble bipolaire, la dépression, les troubles de l'alimentation, les psychoses... Il est difficile de lier précisément les modifications du

cerveau adolescent aux psychopathologies, mais l'idée générale est que les parties du cerveau qui se transforment risquent de dysfonctionner. En d'autres termes, les changements importants survenant au niveau de la matière blanche, de la matière grise et des interconnexions rendent plus probable l'apparition de problèmes. Presque toutes les anomalies découvertes dans le cerveau des adultes schizophrènes ressemblent ainsi à des modifications cérébrales typiques de l'adolescence, mais qui seraient allées trop loin.

À de nombreux autres égards, l'adolescence est la période de la vie la plus saine. Le système immunitaire, la résistance au cancer, la tolérance à la chaleur et au froid sont à leur niveau maximal. Malgré cette robustesse physique, les maladies graves

et les décès sont deux à trois fois plus fréquents que pendant l'enfance. Les accidents de véhicules à moteur provoquent environ la moitié des décès des adolescents, dont ils sont la principale cause. Les suicides arrivent ensuite (précédés par les homicides aux États-Unis). Les grossesses non désirées, les maladies sexuellement transmissibles et les incarcérations sont également fréquentes à l'adolescence, risquant de poser des difficultés pour la vie entière.

Comment éviter ces pièges? Pour les psychiatres, le manque de nouveaux médicaments et la capacité d'adaptation du cerveau adolescent suggèrent que les interventions non médicamenteuses seraient les plus fructueuses. Et ce particulièrement au début de l'adolescence, lorsque le cerveau est en mutation rapide.

LES RACINES DE LA PRISE DE RISQUES

Le goût du risque des adolescents prend racine dans le décalage temporel entre le développement de deux régions cérébrales majeures. Au début de la puberté [généralement entre 10 et 12 ans], diverses hormones accélèrent la maturation du système limbique (*en violet*), source des émotions. En revanche, le cortex préfrontal (*en vert*), qui freine les actions impulsives, n'atteint son plein développement qu'une décennie plus tard. Dans l'intervalle, un déséquilibre subsiste.

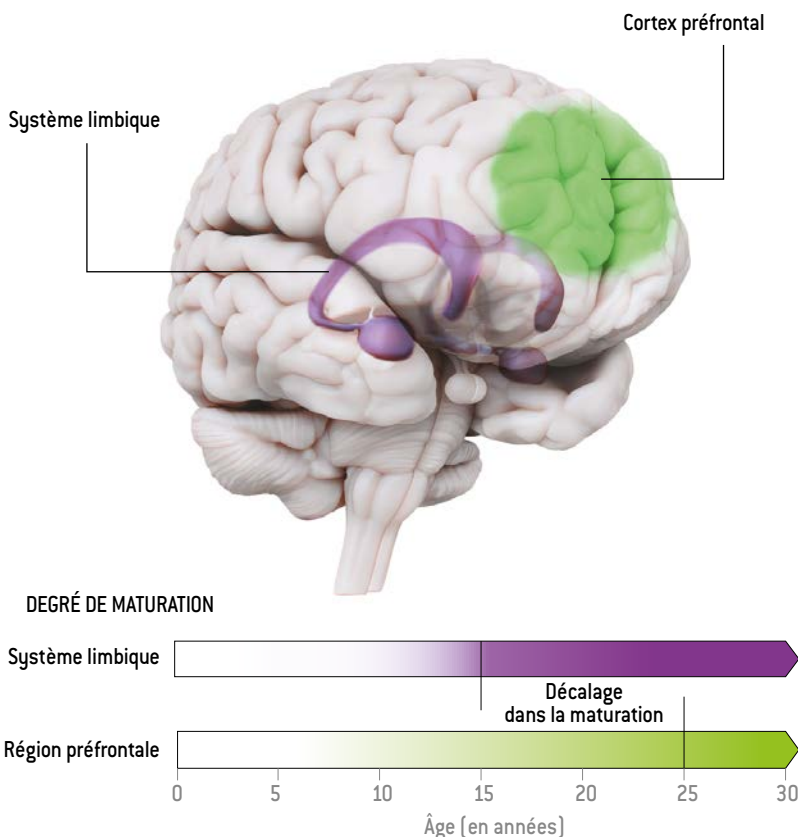


Illustration : David Kilpaack (cerveaux), Jen Christensen (graphique)



© Shutterstock.com/Piotr Wawrzyniak

L'AVÈNEMENT DE L'ÈRE NUMÉRIQUE est l'une des modifications environnementales les plus importantes de l'histoire humaine. La plasticité cérébrale des adolescents leur offre une opportunité unique de s'y adapter.

spécialistes, mais cela commence à changer avec les résultats acquis ces dernières années. La volonté est forte de minimiser les risques pour les adolescents et d'exploiter l'incroyable plasticité de leur cerveau.

Comment se traduira leur capacité d'adaptation face à l'une des modifications environnementales les plus importantes de l'histoire, à savoir la révolution numérique ? Lors des 20 dernières années, les ordinateurs, les jeux vidéo et les téléphones portables ont changé en profondeur la façon dont les adolescents apprennent, jouent et interagissent. Les informations sont aujourd'hui disponibles en masse, mais leur qualité est très variable. À l'avenir, la difficulté ne consistera pas à se souvenir des données, mais à savoir en évaluer une grande quantité de façon critique, y discerner celles que l'on cherche, en faire la synthèse et les utiliser pour résoudre des problèmes réels. Les éducateurs devraient confronter les adolescents à ces tâches, pour entraîner leur cerveau si plastique à répondre aux exigences de l'ère numérique.

La croisée des chemins

Plus généralement, la société pourrait exploiter davantage la passion et la créativité inhérentes à cette période de la vie. Elle devrait aussi se rendre compte que les années de l'adolescence sont un tournant, où l'on peut choisir le chemin de la citoyenneté pacifique, de la criminalité ou, dans de rares cas, de la radicalisation. Dans toutes les cultures, les adolescents sont les plus susceptibles d'être recrutés comme soldats ou comme terroristes, tout comme ils sont le plus facilement orientables vers les professions d'enseignant ou d'ingénieur. Une meilleure compréhension du cerveau adolescent pourrait également aider les juges et les jurés à prendre des décisions dans les procès criminels.

Concernant les adolescents eux-mêmes, les nouvelles connaissances en neurosciences devraient les encourager à solliciter leur plasticité cérébrale pour s'améliorer dans les domaines qui les intéressent. Ils ont une merveilleuse occasion de façonner leur propre identité et d'optimiser leur cerveau en fonction de leurs choix. Ils pourront ainsi naviguer au mieux dans un avenir numérique qui sera prodigieusement différent de ce qu'auront vécu leurs parents. ■

Certaines interventions dites comportementales sont ainsi très efficaces contre les troubles obsessionnels compulsifs (TOC), qui, sinon, risquent de handicaper à vie le sujet. Elles consistent à déclencher le comportement obsessionnel, par exemple en exposant à la saleté quelqu'un qui se lave les mains toutes les cinq minutes, mais en modifiant peu à peu la réaction – ici en forçant le sujet à se savonner un peu moins. Comprendre que le cerveau est modifiable durant toute l'adolescence apporte l'espoir de redresser le cap en cas de problème. Arrêtons de croire que les jeunes sont des causes perdues !

En dehors des pathologies, il est aussi utile de ne pas oublier la plasticité du cerveau adolescent dans la vie quotidienne. Savoir que les fonctions exécutives préfrontales sont encore en construction, par exemple, peut aider les parents à ne pas réagir avec excès lorsque leur fille se teint subitement les cheveux en orange. L'espoir que son jugement évolue est fondé scientifiquement ! En outre, grâce à cette plasticité, un dialogue constructif avec les adolescents sur des sujets tels que les libertés et les responsabilités est susceptible d'influer sur leur développement.

Les recherches sur l'adolescence restent à approfondir. Elles manquent encore d'infrastructures, de financements et de

■ BIBLIOGRAPHIE

L. Steinberg, *Age of Opportunity : Lessons from the New Science of Adolescence*, Houghton Mifflin Harcourt, 2014.

Qui sont les ados ?, *L'Essentiel Cerveau&Psycho*, n° 15, août-octobre 2013.

E. L. Dennis *et al.*, *Development of brain structural connectivity between ages 12 and 30 : A 4-tesla diffusion imaging study in 439 adolescents and adults*, *NeuroImage*, vol. 64, pp. 671-684, 2013.

B. Strauch, *The Primal Teen : What the New Discoveries about the Teenage Brain Tell Us about Our Kids*, Doubleday, 2003.