

■ 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

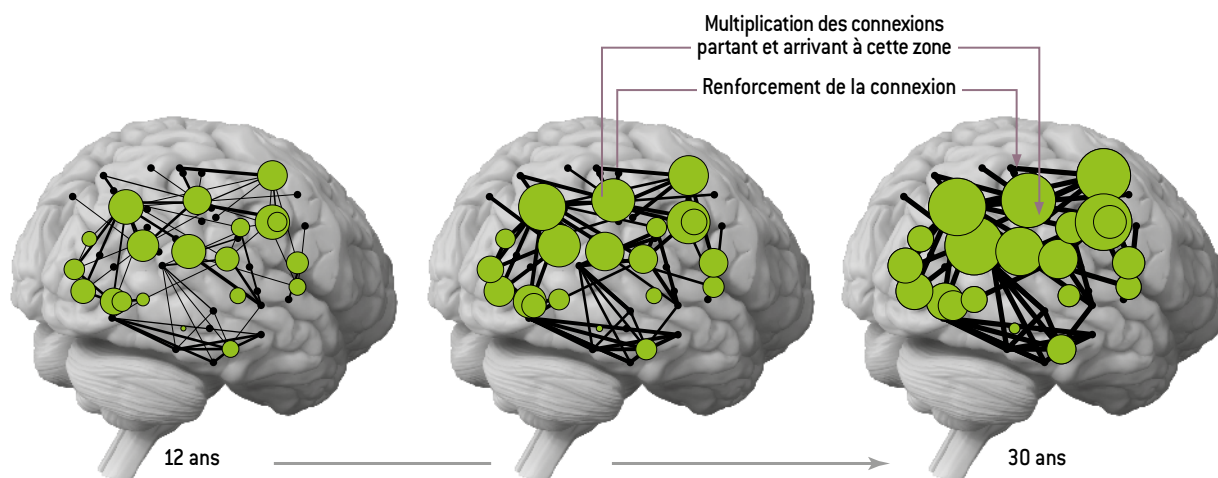
Les techniques d'imagerie ont ouvert une fenêtre sur notre encéphale, mais certaines, telles la tomographie aux rayons X ou la tomographie par émission de positrons, émettent des rayonnements ionisants, ce qui limite leur utilisation chez les jeunes pour des raisons éthiques. En revanche, l'imagerie 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 maturer 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.

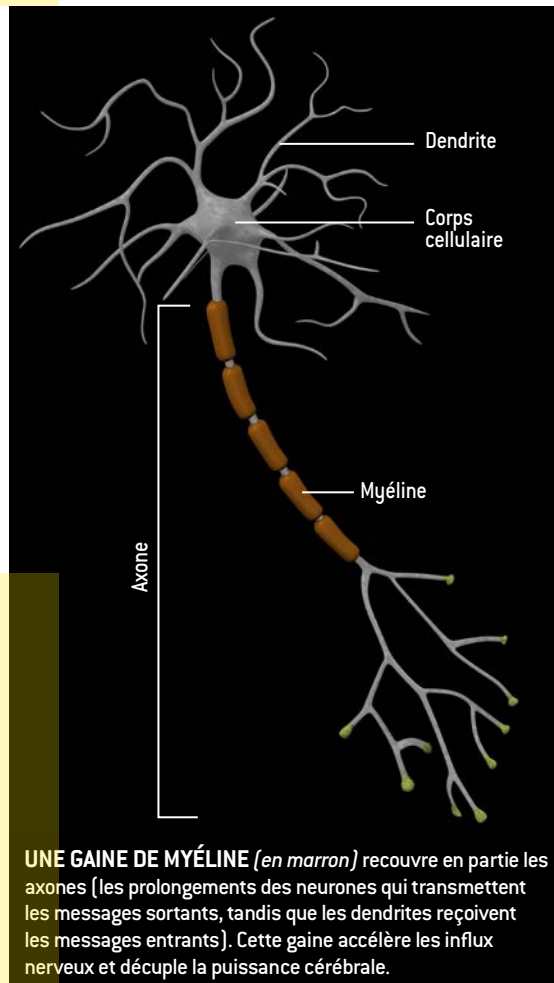
Pendant que les axones des adolescents se gaignent de myéline, une autre modification a lieu. Comme le David de Michel-Ange émergeant d'un bloc de marbre, le cerveau adulte résulte d'un processus de sculpture, au cours duquel les connexions non utilisées ou mal adaptées sont supprimées. Celles qui servent 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/3trendsings

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