

Le cerveau se modifie: maturation, développement, plasticité et apprentissage

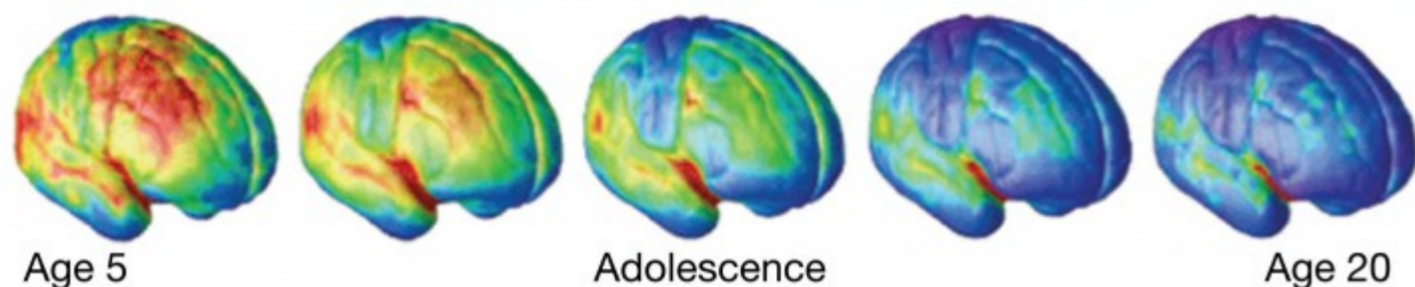
«*Mise en place des neurones et de leurs connexions, émergence d'une architecture fonctionnelle en réseaux spécialisés, apprentissage, émergence de capacités cognitives complexes : le long développement du cerveau humain n'a pas encore dévoilé tous ses secrets. De nouvelles techniques d'imagerie utilisables sur des enfants de tous âges, y compris des bébés prématurés, révèlent la complexité du développement cérébral, balayant au passage quelques certitudes.* » (Dehaene-Lambertz, dans : Le cerveau exploré)

Dans l'espèce humaine, la durée du développement du cerveau après la naissance est particulièrement longue. Cette période d'immatrité et de dépendance vis à vis des adultes permet, et même favorise, l'apprentissage.

Cependant, l'enfant ne naît pas avec un cerveau vierge, il vient au monde équipé d'un patrimoine inné très important de savoirs, de capacités et de compétences.

Le processus de maturation et développement du cerveau est en effet particulièrement important au cours des mois de vie prénatale et des premières années de vie. Sa taille augmente de façon significative au cours des deux premières années de vie, puis plus lentement au cours de l'enfance jusqu'au milieu de l'adolescence (le crâne gagne 14 cm de circonférence entre la naissance et 2 ans, 7 cm entre 2 et 16 ans). Cependant, la taille n'est pas tout, et l'apprentissage continue à modifier l'architecture fonctionnelle du cerveau pendant toute la vie.

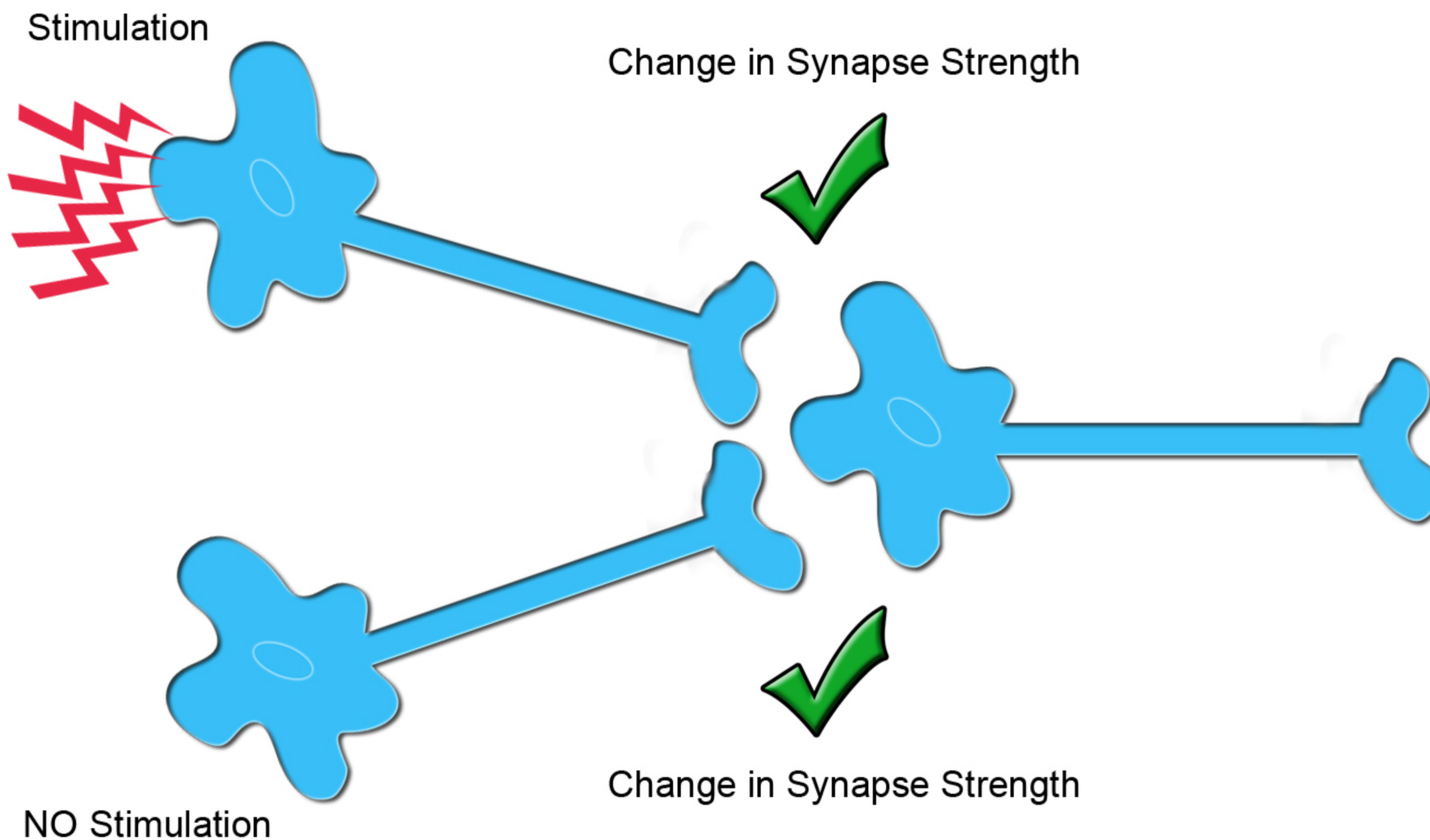
Dynamic mapping of human cortical development



Source: "Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood," Nitin Gogtay et al., Proceedings of the National Academy of Sciences, May 25, 2004; California Institute of Technology.

[Formation et modification des connexions au sein du cerveau](#)

[Différentes formes de plasticité](#)



Formation et modification des connexions au sein du cerveau

Avant la naissance

Avant la naissance, à la fin de la grossesse, les neurones migrent vers leur emplacement définitif selon un processus de maturation, contrôlé par les gènes et l'environnement du fœtus.

Des neurones migrent vers ce qui va devenir le cortex cérébral, et ils créent des contacts synaptiques : les plus proches entre eux se raccrochent par leurs dendrites, alors que les connexions lointaines sont assurées par l'axone d'un neurone qui se pousse jusqu'à prendre contact avec des neurones pouvant se trouver du côté opposé du cortex ou dans les noyaux profonds de la substance grise. L'ensemble des axones projetés vers toutes les régions du système nerveux forme dans le cerveau ce qui se présente comme une substance blanche (à cause de la myéline qui les entoure).

C'est justement l'épaississement de ces axones, grâce à la myélinisation, qui explique la croissance du cerveau en taille après la naissance, en conjonction avec la croissance des dendrites qui poussent les neurones à s'éloigner les uns des autres.

À la naissance, tous les neurones avec leurs axones et leurs dendrites sont pratiquement en place dans le cerveau. Mais le processus de formation des connexions (synapses) entre neurones (la synaptogenèse), est lent; il a lieu pendant l'enfance et l'adolescence. La connectivité cérébrale n'arrive à maturité qu'autour de l'âge de 20 ans.

Après la naissance, pendant l'enfance

La formation des synapses après la naissance est très influencée par les expériences que vit le bébé, l'enfant, l'adolescent et par son environnement. Elle constitue un mécanisme fondamental de

l'apprentissage par modification structurelle du cerveau, En effet, au début de la vie, les connexions se forment spontanément en grande abondance, mais seules les plus utilisées persisteront. Les synapses peu ou pas utilisées vont être coupées comme les branches d'un arbuste (« pruning » en anglais, pour évoquer le travail du jardinier qui taille les branches qui dépassent).

Après l'enfance

Après l'enfance, d'autres mécanismes d'apprentissage existent. Les connexions entre neurones peuvent en effet avoir un poids plus ou moins important au sein du réseau. Il y a plus ou moins de chances qu'une voie donnée de connexion soit parcourue. La « force » des synapses entre neurones continue à être modifiée pendant toute la vie par un ensemble de processus de différentes natures (qui s'opèrent pour la plupart au niveau des dendrites). Leur effet visible est la possibilité d'apprendre de nouvelles connaissances et d'acquérir de nouvelles capacités toute la vie.

On distingue ainsi entre deux formes de plasticité cérébrale : l'une structurelle, anatomique, sous l'influence du patrimoine génétique et de l'environnement (chimique, physique, social), plus importante au cours des premières années de la vie et pendant l'adolescence ; l'autre fonctionnelle, concerne le raffinement des connexions, leur stabilisation, la mise en avant de certaines par rapport à d'autres, continue toute la vie sous la pression de l'expérience, bien qu'en prenant toujours en compte la structure du cerveau sur laquelle l'expérience agit.

Différentes formes de plasticité

A partir des années 1960, David Hubel et Tornsten Wiesel mènent des recherches qui leur vaudront, en 1981, le prix Nobel de médecine et physiologie. Ils étudient le cortex visuel de cerveaux de mammifères (notamment de chats et de singes) et établissent que la plasticité de ces régions du cerveau diminue avec l'âge. Si on obture par une suture l'œil de l'animal au cours des premières semaines de vie, et qu'on défait la suture quelques semaines après, l'animal ne développe pas une vision normale. La structure de son cortex visuel n'est pas organisée comme celle d'un animal ayant pu observer le monde avec ses deux yeux (dans le cortex visuel, on observe alors une sorte d'organisation striée, « en colonnes », correspondant aux neurones qui reçoivent l'information par l'un des deux yeux. Cette dominance est absente dans le cas des animaux rendus aveugles d'un œil. Bloquer les deux yeux n'a pas un effet aussi disruptif). Hubel et Wiesel remarquent également que ce processus n'est pas réversible : lorsqu'on rouvre l'œil suturé, l'anomalie visuelle persiste. Le problème ne se pose pas si on suture l'œil d'un animal adulte. Il en découle la notion de période critique ou sensible pour le développement correct de certaines fonctions d'ordre perceptif. Des fonctions autres que la fonction visuelle présentent-elles des périodes critiques ou sensibles de développement ? Des études ont pu mettre en évidence que, par exemple, certains aspects du développement du langage, ceux qui mettent plus particulièrement en jeu des perceptions, sont soumis à de semblables contraintes. A la naissance, les enfants sont sensibles à tous les sons de toutes les langues, qu'ils traitent de la même manière. Autour de 9 mois, le bébé se spécialise dans les sons qui sont statistiquement plus présents dans son environnement : il les distingue plus facilement, les traite plus rapidement et efficacement que ceux qui sont statistiquement moins significatifs. Dans un sens, il perd la capacité de traiter ces derniers. C'est pour cela que les adultes venant du Japon ou de la Chine ont du mal à distinguer les sons qui correspondent aux R et L des langues occidentales. Mais ceci n'est pas vrai pour d'autres aspects du développement du langage, comme l'apprentissage de la grammaire ou du vocabulaire. L'apprentissage de la grammaire semble présenter une fenêtre beaucoup plus longue pour l'acquisition optimale et facilitée. Le vocabulaire ne cesse jamais de s'enrichir. Ces observations devraient suffire à démolir la version extrême du mythe selon lequel il y a un temps pour apprendre, qui se situe en dessous d'un certain âge et qui vaut pour tout type d'apprentissage. Les apprentissages, c'est un constat facile à faire, se poursuivent toute la vie. Ceci signifie que le cerveau est un organe capable de s'ajuster et de se modifier de façon durable suite à des expériences d'un certain type. Cependant, la plasticité du cerveau n'est ni infinie, ni absolue : elle est au contraire restreinte et contrainte. Le cerveau hérite ces contraintes de son évolution : chaque circuit neural à la naissance ayant déjà des caractéristiques propres qui le prédisposent pour accomplir certaines fonctions, des propriétés intrinsèques qui déterminent quel genre de fonctions il pourra endosser en plus de celles naturellement prédisposées, un rythme de maturation largement prédéterminé.

Plasticité synaptique, un processus qui dure toute la vie

La forme et la structure du cerveau - son aspect macroscopique : les circonvolutions (les gyri) et les plis (les sillons) ; son aspect microscopique : le positionnement des neurones et la mise en place des axes de connexion majeures entre les neurones - sont en place très tôt dans la vie, avant la naissance en fait, sous l'influence des gènes et de l'environnement dans lequel le fœtus se développe. La plasticité structurelle du cerveau continue toutefois après la naissance : en plus du câblage qui a déjà eu lieu, se développent des connexions entre neurones (par exemple entre neurones qui s'activent ensemble) ; lorsqu'elles ne sont pas utilisées ces connexions sont éliminées. Formation et élimination des synapses sont deux processus tout aussi importants l'un que l'autre pour l'apprentissage.

L'enfance et l'adolescence sont des périodes particulièrement mouvementées pour les synapses : il y a simultanément formation d'un très grand nombre de nouvelles synapses (notamment mais pas seulement au cours de la première année de vie), et élimination au cours des années suivantes d'un grand nombre de synapses inutilisées. Une autre forme de maturation structurelle est la myélinisation des axones. Comme déjà vu, la myéline limite la dispersion du signal électrique, accélère la vitesse de transmission et en améliore la fidélité.

Cependant, ces processus de maturation ne se produisent pas en même temps dans tout le cerveau : ils sont asynchrones, certaines régions étant décalées par rapport à d'autres dans la production massive et dans la sélection des synapses, ainsi que dans la myélinisation des axones. Au cours de l'adolescence, les régions les plus frontales du cerveau humain - en charge de la prise de décision, du raisonnement critique, de l'attention, du contrôle sur les stimuli et les émotions – vivent une " tempête synaptique". Leur phase de myélinisation se termine autour de la moitié de la deuxième décennie de vie. Ce sont les dernières régions à être myélinisées.

A l'âge adulte et toute la vie, les synapses du cerveau continuent à se modifier. La plasticité synaptique persiste en relation avec les apprentissages durables et la mémoire. Les synapses qui existent déjà peuvent changer de forme (les épines dendritiques se multiplient ou disparaissent, s'agrandissent ou rétrécissent), de nouvelles synapses peuvent se former, la quantité de molécules de neurotransmetteurs libérées ou captées dans les synapses augmenter ou diminuer). Beaucoup de recherches sont en cours en ce moment sur ces différents processus, qui sont considérés comme les modifications les plus à même d'expliquer la plasticité cérébrale qui accompagne l'apprentissage à l'âge adulte et la mémoire.

D'autres formes de plasticité dans le cerveau de l'adulte

D'autres formes de modification du cerveau adulte ont été découvertes à partir des années 1970. De nouveaux neurones peuvent être générés dans des régions spécifiques du cerveau. Ce phénomène a été observé chez l'homme au cours de l'expérience suivante. Des chercheurs de l'University College à Londres ont étudié, par des méthodes non invasives, le cerveau des conducteurs de taxis londoniens. Ces conducteurs passent deux ans à étudier en théorie et en pratique pour connaître par cœur les 25000 rues de Londres, les sens uniques les monuments principaux, Au bout de ces deux années d'études intensives ils passent un examen (*The Knowledge*) qui leur donne leur licence. L'étude de leur cerveau a montré qu'ils avaient acquis une augmentation de volume de la partie postérieure de leur hippocampe cérébral (structure située au centre du cerveau et particulièrement active dans les tâches spatiales et de mémoire). Deux hypothèses ont été émises : production de nouveaux neurones ou migration de neurones à partir de régions antérieures de l'hippocampe. En tout état de cause, cette modification est une conséquence de l'entraînement spécial des conducteurs de taxis : les conducteurs

de bus n'ont pas d'augmentation de l'hippocampe; l'hippocampe des conducteurs avant la licence ont un volume inférieur à celui qu'on observe chez les conducteurs licenciés par *The Knowledge*.

La possibilité d'une plasticité structurelle, avec production de nouveaux neurones, dans le cerveau adulte est aujourd'hui largement acceptée ; mais ce phénomène reste très limité, à des régions très spécifiques du cerveau – chez l'homme et chez plusieurs espèces animales.

D'autres formes de plasticité ont encore été observées chez les personnes amputées d'un membre et chez les musiciens professionnels. Chez ces personnes, l'entraînement semble pouvoir produire une reconfiguration de l'architecture des connexions du cerveau au niveau du cortex sensoriel et moteur. Par exemple, si à cause d'une amputation, il n'y a plus de signaux vers le cerveau, le cortex somato-sensoriel en charge des sensations provenant du doigt avant amputation se reconfigure et, au bout de quelques semaines, se met à répondre à la stimulation des doigts avoisinants. Dans certains cas, on peut donc assister à un « re-mappage » de régions du cortex.

En conclusion, il convient de garder à l'esprit que l'apprentissage a lieu tout au long de la vie, comme on peut le constater en observant nos parents et grands-parents (dans beaucoup de cas). Il ne peut y avoir qu'une modification correspondante au niveau du cerveau. Le cerveau est donc une structure essentiellement plastique. Divers mécanismes qui ne sont pas les mêmes au cours de la vie, sont en cause. L'enfance est une période particulièrement riche de transformations, caractérisée par une plasticité structurelle ; celle-ci cède le pas à l'âge adulte à une plasticité plus fonctionnelle, non moins importante pour pouvoir apprendre toute la vie. Cependant, le cerveau n'est pas plastique à l'infini, et tout n'est pas possible en termes d'apprentissage.

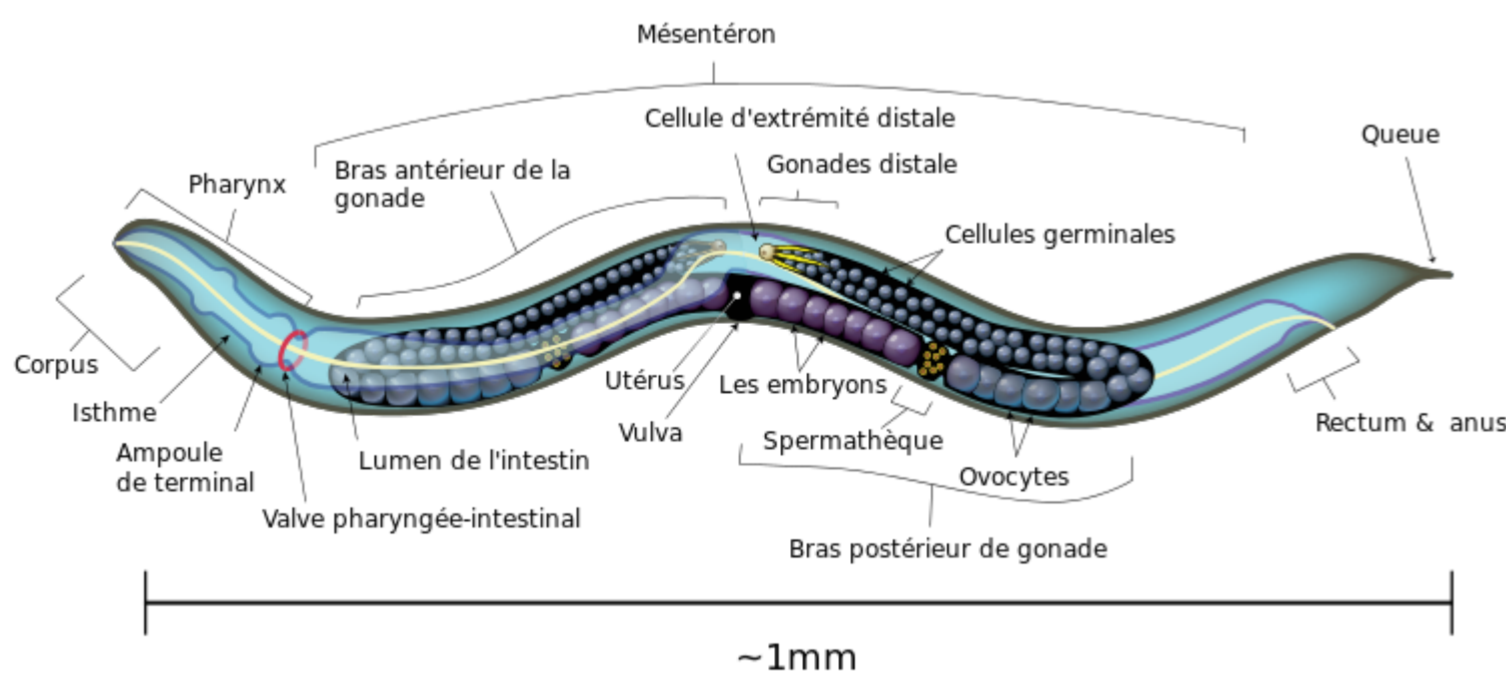
Une plasticité non infinie et du bric-à-brac

La presse a tendance à mettre l'accent sur les formes de plasticité « rares » - neuro-genèse et re-mappage à l'âge adulte - afin de véhiculer le message optimiste qu'il est toujours temps d'apprendre, voire de réapprendre. Sans être faux, ce message est toutefois souvent mal compris, ou exagéré. D'un côté, il favorise l'impression que la plasticité anatomique a un poids plus important que ce qu'elle a en réalité dans le cerveau adulte, alors que, du moins à la lumière des connaissances actuelles, la plasticité synaptique représente le phénomène majeur de la plasticité du cerveau à l'âge adulte. De l'autre côté, mettre l'accent sur l'exceptionnel peut faire penser que la plasticité du cerveau n'aurait pas de limites et de contraintes - ce qui n'est pas le cas. On constate couramment que des lésions localisées du cerveau peuvent provoquer la perte de fonctions, et que la récupération de ces fonctions, à l'âge adulte et même une fois passée la première enfance, est le plus souvent limitée (en dépit d'une rééducation intense). Ce constat invite à garder une attitude prudente face aux potentiels de plasticité anatomique et structurelle dans le cerveau adulte, et à rechercher d'autres manières et stratégies par lesquelles le cerveau, organe ancien, façonné par l'évolution, peut arriver à s'adapter à de nouvelles conditions, à répondre à de nouveaux défis certainement non prévus par l'évolution – l'invention de l'écriture et de la lecture, par exemple, ou les nouvelles technologies de l'information et de la communication.

Concernant l'apprentissage de la lecture, l'équipe de Stanislas Dehaene (Neurospin/CEA), a proposé une théorie selon laquelle l'apprentissage de la lecture se ferait par le recyclage de réseaux de neurones normalement dédiés au traitement d'informations visuelles et verbales. L'apprentissage de la lecture représente toujours au moins partiellement une énigme pour le neuroscientifique, comme tant d'autres apprentissages culturels - et un exemple frappant de plasticité du cerveau.

Il est extrêmement improbable que le cerveau humain ait subi une modification génétique au cours des 5000 dernières années lui permettant de développer naturellement des capacités de lecture et d'écriture. Les connaissances actuelles sur les temps de l'évolution biologique et les modifications massives que le développement de cette compétence implique, ne sont pas en faveur d'une telle possibilité. Pourtant, en l'espace de quelques années, le cerveau d'un enfant est capable de déchiffrer un nombre potentiellement infini de mots et de les mapper dans sa réserve de vocabulaire. L'adulte peut également apprendre à lire, il n'y a pas de période critique ou sensible pour l'apprentissage de la lecture.

Selon Stanislas Dehaene, la culture et l'apprentissage social peuvent s'appuyer sur des circuits de neurones qui existent déjà, qui ont évolué au cours d'un temps extrêmement long, celui de l'évolution biologique, mais qui répondent à d'autres fonctions. Ces circuits sont en quelque sorte « hackés » à éviter par de nouvelles tâches. En effet, les nouvelles tâches interfèrent en partie avec les fonctions anciennement en place, biologiquement établies, et vice versa. Les nouvelles acquisitions culturelles sont bien évidemment possibles, l'histoire le prouve. Le cerveau s'y fait. Mais en ce faisant, il impose des contraintes aux innovations possibles et à leur manifestations.



*Les techniques actuelles d'imagerie cérébrale permettent de visualiser le plan des neurones, de leurs axones et de leurs synapses. Il est possible de cartographier les connexions entre les neurones au sein du cerveau : ce qu'on appelle le *connectome*.
Caenorhabditis elegans, un petit ver nématode, a un connectome de petite taille. C'est le seul animal aujourd'hui pour lequel on pu cartographier tout son connectome. Produire un connectome complet du cerveau humain, à l'échelle de la cellule (chaque connexion pour chaque neurone) est rendu spécialement ardu par le nombre de neurones (de l'ordre de 10^{10}) et de connexions (de l'ordre de 10^{14}).

Janvier 2016

Elena Pasquinelli, membre associé de l'institut Jean Nicod, Département d'études cognitives, ENS Paris, membre de la *Fondation La main à la pâte* et Anne Bernard-Delorme, membre de la *Fondation La main à la pâte*

[? revenir à la page du Dossier Un regard sur le cerveau](#)

Source URL: <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/34321/le-cerveau-se-modifie-maturation-developpement-plasticite-et-apprentissage>