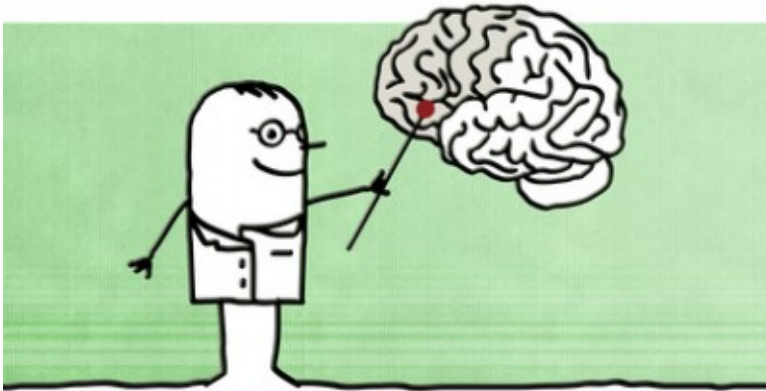


Le Développement Du Cerveau

Ghislaine Dehaene | 13 novembre 2013.

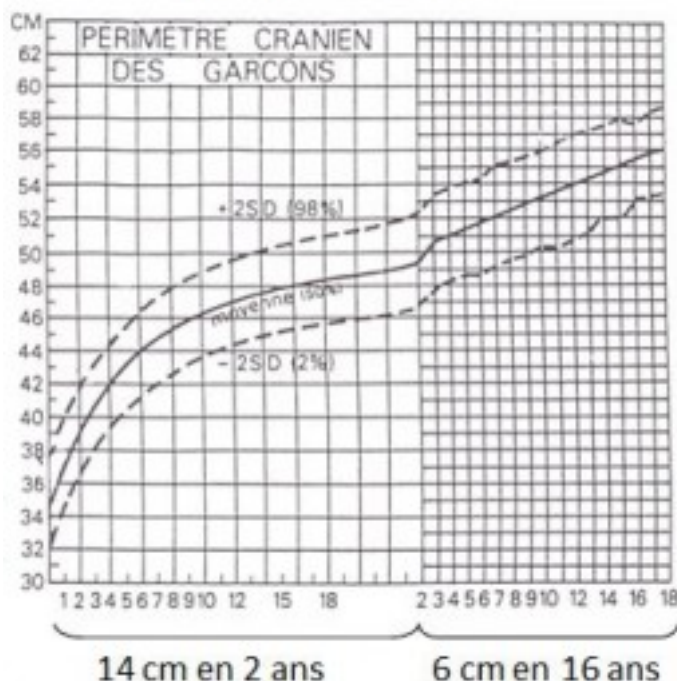


Comment fabriquer une machine à apprendre ? Comment disposer des cellules et les connecter pour créer de la pensée ? Quel genre de calcul doivent-elles faire pour comprendre un poème de Rimbaud, une équation différentielle ou prévoir de construire un vaisseau spatial pour aller sur Mars ? Tout cela est réalisé par un ensemble de 100 milliards de neurones disposés en six couches dans la substance grise à la périphérie

du cerveau et connectés par un assemblage de fibres entre neurones voisins mais aussi éloignés de plusieurs centimètres. La mise en place de cette structure est complexe et gouvernée par un jeu subtil de signaux chimiques et électriques entre neurones mais aussi avec les cellules gliales, cellules longtemps considérées comme purement de soutien et dont on commence aujourd'hui à découvrir leur importance dans le fonctionnement cérébral.

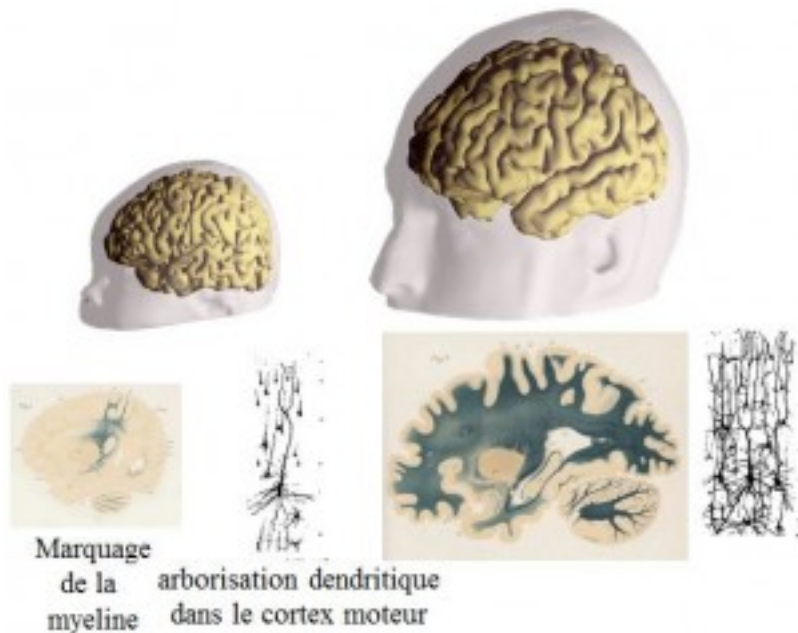
Quels sont les éléments essentiels que nous connaissons sur le développement du cerveau?

Périmètre crânien



Le développement du cerveau est très rapide pendant les premiers mois de vie. Il suffit pour s'en convaincre de regarder une courbe de périmètre crânien dans le carnet de santé. Le périmètre croît de 14 cm pendant les 2 premières années de vie pour seulement 7 cm dans les 16 années suivantes.

Cette croissance est liée pendant les derniers mois de la grossesse à la mise en place progressive des neurones à la périphérie du cerveau pour former le cortex (ou substance grise), et à la multiplication des contacts des neurones entre eux d'une part grâce à leurs dendrites dans le cortex lui-même, et d'autre part à distance grâce à leur long axone. Ces axones qui relient les neurones de différentes régions cérébrales se regroupent en faisceaux



qui constituent la substance blanche. A la naissance à terme, toute cette structure est en place et la croissance cérébrale est liée ensuite essentiellement à l'épaississement des fibres dans la substance blanche par la gaine de myéline. Cette gaine de myéline se constitue progressivement autour de la plupart des axones et permet une accélération de la transmission nerveuse. L'arborescence dendritique devient également de plus en plus exubérante et éloigne progressivement les neurones des uns des autres dans la substance grise. Dans la figure à droite, nous voyons la myélinisation très réduite et la pauvreté des prolongements dendritiques chez un nouveau-né par rapport à un adulte.

La multiplication des contacts, ou synaptogénèse, est un des moyens d'apprentissage du cerveau. Elle consiste en une multiplication aléatoire des synapses suivie d'une disparition des moins utilisées. Cette prolifération/élimination conduit progressivement à un raffinement des connections et à une stabilisation du parcours de l'information. Ce processus se poursuit bien sûr tout au long de la vie mais est particulièrement intense pendant les premiers 20 ans, période dont nous profitons pour envoyer les enfants à l'école !

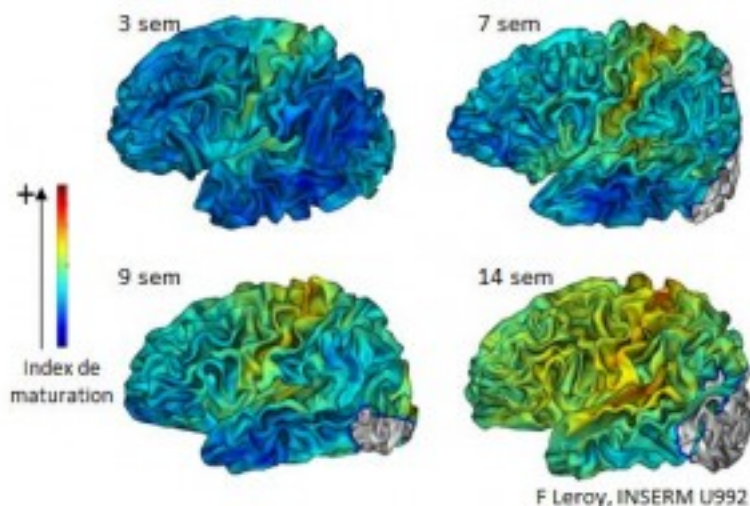
Le cerveau n'est pas un ordinateur

Deux concepts sont essentiels pour comprendre le développement cérébral: Premièrement, **le cerveau n'est pas une structure informe qui attend d'être modelé par l'environnement**

comme cela est souvent pensé. Il possède une organisation fonctionnelle complexe dès les premiers moments où on peut le regarder fonctionner, c'est à dire vers le 6ième mois de grossesse alors que les neurones sont encore en train de migrer vers leur emplacement définitif. Les réponses à des syllabes sont par exemple étonnement similaires chez l'adulte, l'enfant et le prématuré trois mois avant le terme². Le cerveau a souvent été comparé à un ordinateur. Il est vrai que **cerveau et ordinateurs sont des « calculateurs »** mais contrairement à l'ordinateur, toutes les régions cérébrales ne font pas la même chose. La structure des connexions et la direction du flux d'information contraignent le type de calculs qui sont faits à une localisation cérébrale donnée. L'imagerie cérébrale a permis de saisir cette organisation complexe présente très tôt chez le fœtus et le prématuré. Par exemple, les neurones ne sont jamais au repos et leur activité varie de façon synchrone à travers de larges régions cérébrales. Cette activité synchrone se traduit en imagerie par des variations lentes du signal sensible au taux de deoxyhemoglobine dans les vaisseaux qui irriguent le cortex. Chez l'adulte, plusieurs grands réseaux ont ainsi été isolés (visuel, auditif, sensori-moteur, exécutif, ...). Ces réseaux sont retrouvés avant terme, très similaires à ceux de l'adulte. Ce n'est donc pas le monde extérieur qui va organiser le cerveau mais c'est son organisation particulière qui va lui permettre de tirer efficacement profit de son environnement.

Sa maturation n'est pas uniforme

La deuxième caractéristique du cerveau humain est non seulement son développement très étalé dans le temps, s'étendant sur les quinze premières années de vie, mais l'importante hétérogénéité de cette maturation cérébrale.



Maturation de la substance grise entre 3 et 14 semaines de vie. Les régions bleues sont les plus immatures. On voit bien ici comment la maturation est hétérogène. Les régions les plus matures (les plus rouges) sont les régions primaires (auditives, visuelles et sensori-motrices)

Les régions primaires ont une maturation rapide. Les régions visuelles primaires atteignent ainsi l'état adulte à la fin du premier trimestre de vie alors que les régions frontales et

pariétales poursuivent leur développement jusqu'à la fin de la puberté. Ces régions interviennent dans la planification des actions, dans le contrôle exécutif, dans la réflexion et l'apprentissage explicite. Du fait de ce décalage important dans la maturation, on a longtemps pensé que ces régions qui interviennent dans des opérations cognitives abstraites n'étaient pas ou peu utilisées chez le nourrisson. L'imagerie cérébrale a révélé que ce n'était pas le cas. Ces régions participent très tôt à la pensée du bébé mais sont extrêmement lentes. Par exemple, nous avons montré que les réponses de prise de conscience d'un stimulus du monde extérieur que l'on voit vers 300 ms chez l'adulte, sont trois fois plus lentes à 12 mois (900 ms) et encore plus lentes à 5 mois³. La maturation cérébrale va contribuer à une accélération de ces réseaux, permettant à l'enfant d'être de plus en plus en contrôle de ce qui se passe autour de lui.

Le cerveau ne décalque pas le monde, il essaye de le prédire

L'observation de l'activation des régions frontales chez le nourrisson et même avant terme remet donc en cause la conception d'un apprentissage du bas vers le haut où les régions de plus haut niveau ne commenceraient à apprendre que quand les régions plus primaires seraient efficaces. Au contraire, elle s'accorde mieux avec les nouvelles hypothèses sur le fonctionnement cérébral. Au lieu de concevoir le cerveau comme réagissant aux stimuli extérieurs, les hypothèses actuelles font plutôt de cet organe, un instrument de prédiction. Notre cerveau calculerait en permanence ce qui doit se passer en fonction de ce qui s'est passé jusque-là, et c'est l'erreur de prédiction qui permettrait l'apprentissage. Ces systèmes prédictifs seraient présents à tous les niveaux de la hiérarchie cérébrale, depuis les régions les plus primaires jusqu'aux régions les plus abstraites. Ces concepts révolutionnent notre vision du développement cérébral en postulant que les régions de haut niveau pourraient apprendre avant les régions de bas niveau et même guideraient et faciliteraient l'apprentissage de ces régions. Nos recherches chez le nourrisson sont donc tout à fait concordantes avec ces théories.

En conclusion

Nous sommes encore loin de comprendre comment le cerveau humain se développe mais le développement de nouvelles techniques d'imagerie cérébrale, que l'on peut utiliser sans danger chez l'enfant même le plus jeune, nous ouvre enfin la possibilité d'étudier la complexité de la mise en place de cette formidable machine à apprendre qu'est le cerveau humain. Nous sommes à l'aube d'une période fascinante où ces recherches devraient pouvoir éclairer comment la pensée humaine se construit.