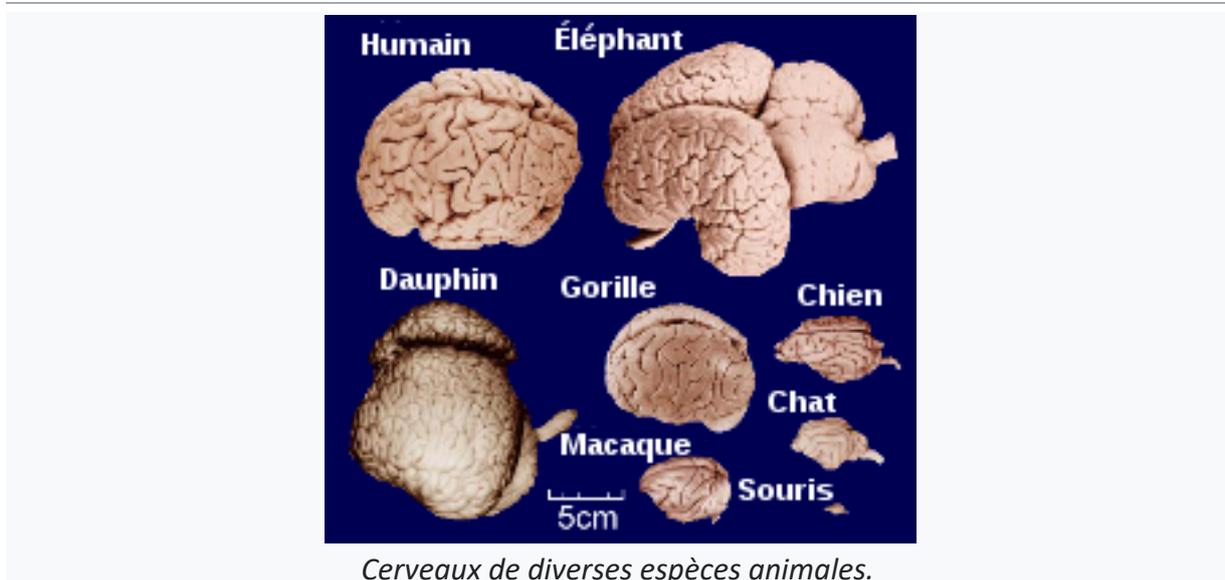


# NEUROSCIENCES

## LE CERVEAU DANS LE REGNE ANIMAL



Les cerveaux des différentes espèces animales ne se ressemblent pas : différences de taille, de structure, de forme, etc. Ces différences ne sont pas apparues du jour au lendemain, mais sont apparues suite au bricolage aléatoire des mutations génétiques, avant la sélection naturelle. On peut voir le cerveau comme ayant évolué d'un système nerveux très simple, à une organisation plus évoluée que l'on peut retrouver chez certains vertébrés, comme les oiseaux ou les primates. Dans ce chapitre, nous allons voir quelles sont les différences entre les cerveaux de différentes espèces, nous allons tenter d'expliquer ces différences, avant de voir quelles sont les conséquences cognitives de ces différences anatomiques. Nous allons aussi voir comment le cerveau a évolué tout au long de l'évolution des espèces.

La plupart des résultats que nous allons voir viennent de l'étude d'espèces vivantes, mais aussi d'études sur des espèces mortes. L'étude des cerveaux d'espèces vivantes est assez facile : il suffit de faire un grand nombre d'autopsies et d'en déduire une taille moyenne pour le cerveau. L'étude des espèces éteintes est plus compliquée, mais on peut utiliser diverses méthodes. La première méthode, appelée "anatomie comparée", compare l'anatomie d'espèces vivantes pour en déduire comment les espèces ont évoluées. On peut alors retracer le chemin qu'à suivi l'évolution et prédire comment le cerveau a évolué. Cette méthode d'anatomie comparée donne des résultats "spéculatifs", mais que l'on peut comparer avec les fossiles existants.

Une autre méthode, beaucoup utilisée chez les primates, étudie les fossiles d'espèces éteintes et notamment la taille du crâne, celle-ci dépendant fortement de la taille du cerveau. Cette méthode est aussi utilisée sur les espèces vivantes, mais est de loin la plus facilement utilisable pour les espèces éteintes. Le grand nombre de fossiles disponibles pour certaines espèces permet généralement d'obtenir des résultats fiables. Les scientifiques peuvent même avoir une idée assez globale de l'anatomie cérébrale d'espèces éteintes, grâce à la forme des crânes fossilisés. En effet, les scissures qui séparent les lobes du cortex laissent une trace dans les crânes fossilisés, ce qui permet de connaître la taille de chaque région du cerveau. Cela permet

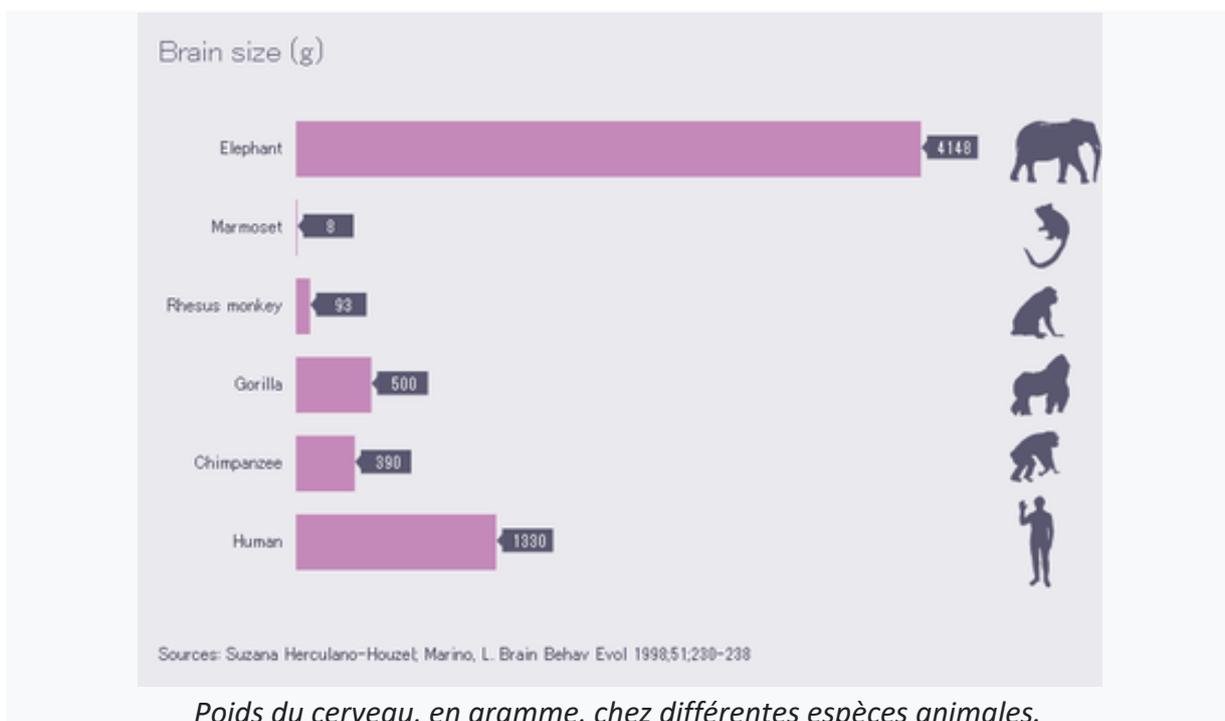
de savoir comment était architecturé le cortex d'espèces aujourd'hui disparues, et de remonter le fil de l'évolution du cerveau. De ces analyses, il ressort que la taille de chaque aire cérébrale dépend fortement de l'espèce et de ses besoins écologiques.

## Sections

- 1La taille du cerveau et les rapports associés
  - 1.1Le lien entre poids du corps et poids du cerveau
  - 1.2Le lien entre la surface corticale et le volume du cerveau
  - 1.3La relation entre taille du cerveau et intelligence
  - 1.4L'évolution de la taille du cerveau
- 2Le nombre de neurones cérébral et l'organisation architecturale du cerveau
  - 2.1La répartition des neurones : l'importance du cortex cérébral
  - 2.2L'évolution de l'organisation du cortex

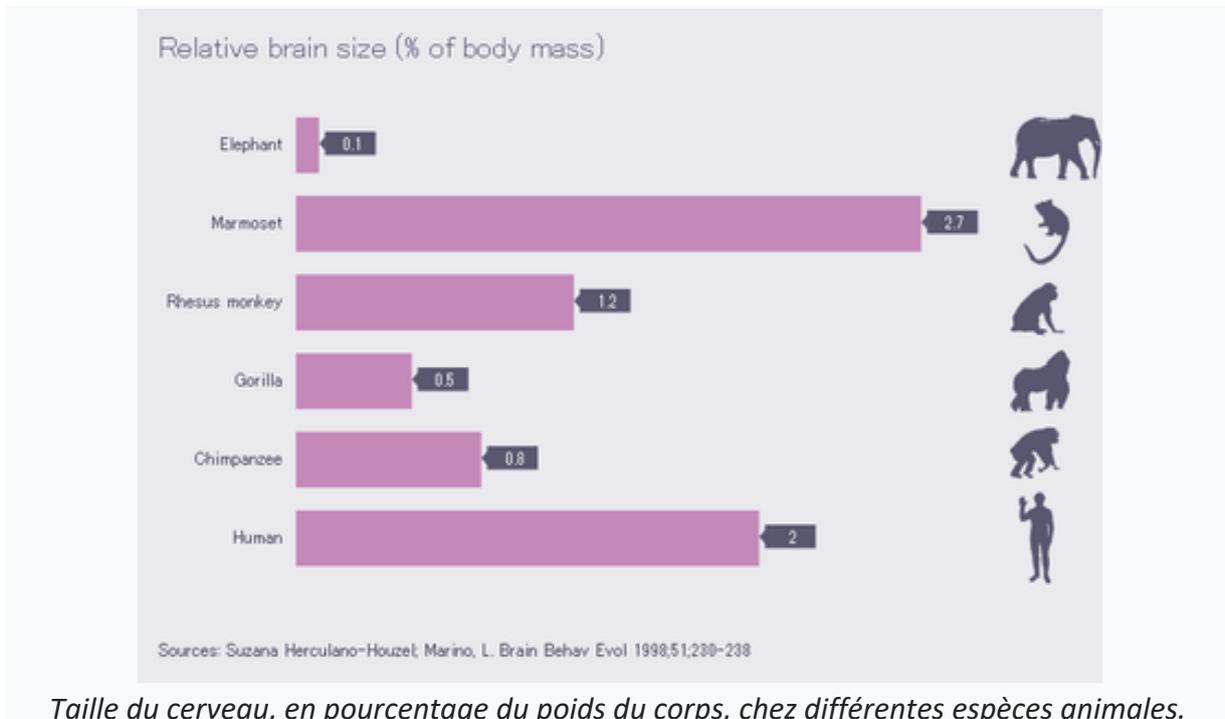
### La taille du cerveau et les rapports associés

Il va de soi que la taille du cerveau varie suivant l'espèce animale considérée : certaines espèces ont des cerveaux très petits, alors que d'autres ont des cerveaux énormes. Par exemple, un moineau a un cerveau plus petit que celui d'un chat, qui a lui-même un plus petit cerveau qu'un humain ou un éléphant. Pour mettre quelques chiffres sur cette constatation, sachez que l'éléphant a un cerveau qui pèse, 5 kg, celui d'un humain pèse 1,4kg, et celui d'un chat à peine 30 grammes. La différence se ressent aussi en termes de nombre de neurones, les plus gros cerveaux ayant en moyenne plus de neurones que les petits. Des différences de ce type se trouvent aussi à l'intérieur d'une même espèce. Par exemple, tous les hommes n'ont pas des cerveaux de même taille. Ces différences de volume cérébrales nous enseignent beaucoup de choses aussi bien sur l'évolution de notre espèce que sur la manière dont le système nerveux des animaux a évolué avec l'âge.



### Le lien entre poids du corps et poids du cerveau

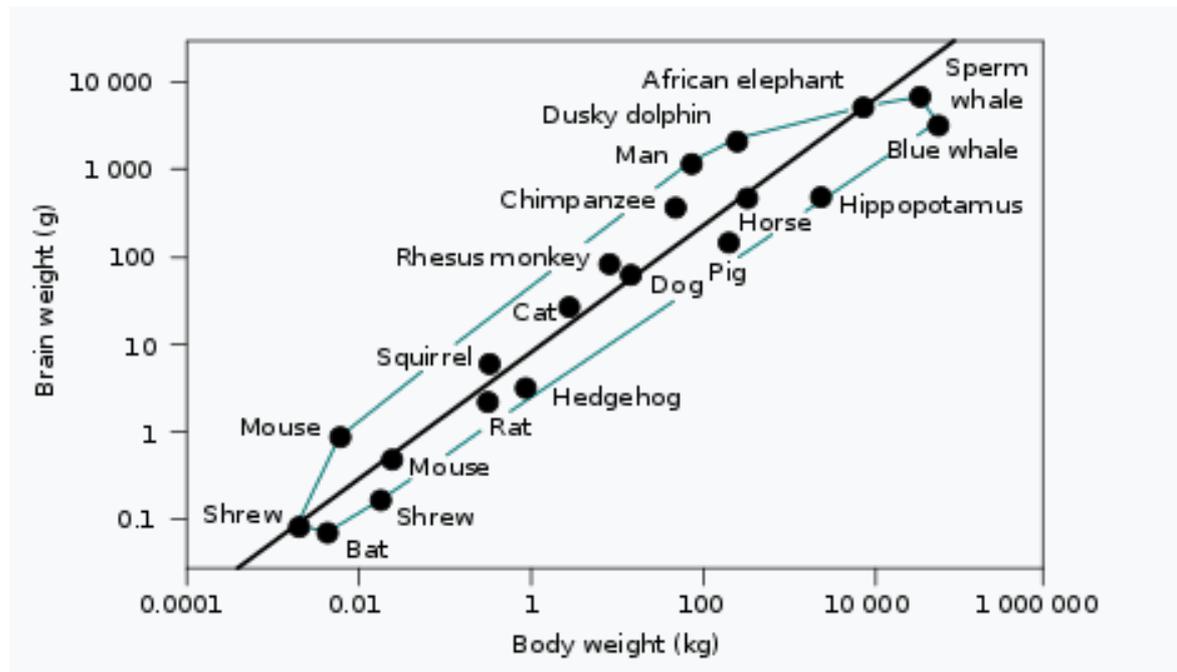
Expliquer pourquoi la taille du cerveau varie selon l'espèce n'est pas simple, mais les scientifiques ont des pistes particulièrement intéressantes. La première d'entre elle part d'une constatation : plus un animal est gros, plus son cerveau l'est aussi. Cela a poussé les scientifiques à étudier la relation entre poids du cerveau et masse corporelle. Celle-ci n'est pas une simple proportionnalité : plus un animal est grand/gros, plus le ratio diminue. Par exemple, le ratio est plus petit pour un éléphant que pour une souris : un éléphant a un cerveau assez petit par rapport à sa taille, l'inverse étant observé pour une souris.



Taille du cerveau, en pourcentage du poids du corps, chez différentes espèces animales.

La relation entre poids du cerveau et du corps semble suivre ce qu'on appelle une loi de puissance. Cette constatation peut se mettre en équation assez simplement, avec la formule suivante où :

- est le poids du cerveau ;
- est le poids du corps ;
- est un coefficient appelé le **quotient d'encéphalisation** ;
- est un coefficient pour la loi de puissance, qui varie selon l'espèce et vaut environ 2/3 pour les mammifères.



*Rapport entre poids du cerveau et masse corporelle pour diverses espèces animales.*

Diverses forces se cachent derrière cette relation mathématique. La première est le cerveau a dû s'adapter à la taille de l'animal. Il faut dire que plus un animal est gros, plus il aura de muscle à bouger : cela demande plus de masse neuronale associée à la commande des muscles. Même chose pour la perception : ils ont une surface corporelle plus grande, ce qui signifie plus de cerveau dédié au toucher. La quantité de neurones utilisée uniquement pour la motricité et la perception est alors plus importante, ce qui implique un cerveau plus gros. En somme, la taille du cerveau doit d'adapter à la taille de l'animal, du moins les portions du cerveau liées à la motricité et à la perception.

### **Le lien entre la surface corticale et le volume du cerveau**

De nombreuses espèces disposent d'un cortex à la surface du cerveau - rappelons que ce dernier est une superposition de couches de neurones, d'épaisseur plus ou moins constante. La plupart des aires associatives sont localisées dans le cortex, bien que ce dernier contienne aussi des aires sensorielles et motrices. Un autre paramètre assez important pour décrire le cerveau, est la surface corticale. Notons que celle-ci dépend du volume du cerveau : un cerveau plus gros implique naturellement une surface cérébrale plus grande. Chez les espèces non-primatoïdes, la relation entre volume cérébrale et surface corticale est une loi de puissance, dont l'exposant est de 2/3.

Mais chez les primates, le cortex est fortement replié, avec un grand nombre de gyrus et de sulcus, ce qui change la relation. Chez les singes et humains, la relation est une simple relation de proportionnalité.

**La relation entre taille du cerveau et intelligence** [\[modifier\]](#) | [\[modifier le wikicode\]](#)

Avoir un gros cerveau a des avantages. Un gros cerveau signifie aussi plus de neurones dévolus aux tâches cognitives et donc une plus grande intelligence, dans une certaine mesure. La quantité de neurones dédiés à la cognition n'est pas mesurée par la taille du cerveau, qui ne prend pas en compte le poids du corps, et donc la quantité de cerveau utilisée pour la motricité et la perception. A titre d'exemple, on peut signaler qu'un éléphant a un cerveau bien plus gros qu'un humain, sans pour autant être plus intelligent. Pour éliminer ce biais, on doit utiliser le coefficient d'encéphalisation  $k$  : plus il est élevé, plus le cerveau aura de neurones utilisables pour des tâches non-motrices et non-sensorielles. Ce quotient est supposé marcher un peu mieux que la taille du cerveau pour comparer des espèces éloignées, mais marche nettement moins quand on compare des espèces assez proches. Prenons par exemple le cas des primates : ces espèces ont beau avoir des coefficients d'encéphalisation assez variés, la taille du cerveau a une meilleure corrélation avec l'intelligence que ne peut l'avoir le coefficient d'encéphalisation. Il faut noter que ces paramètres ont une relation indirecte avec l'intelligence. Rappelons que les aires associatives, liées à la cognition, sont localisées dans le cortex. L'intelligence dépend donc plus de l'aire de la surface corticale (son épaisseur est fixe) que du volume du cerveau ou du coefficient d'encéphalisation. Certes, il existe une relation entre volume du cerveau et surface corticale, mais celle-ci varie selon les espèces, avec une belle différence entre primates et autres espèces.

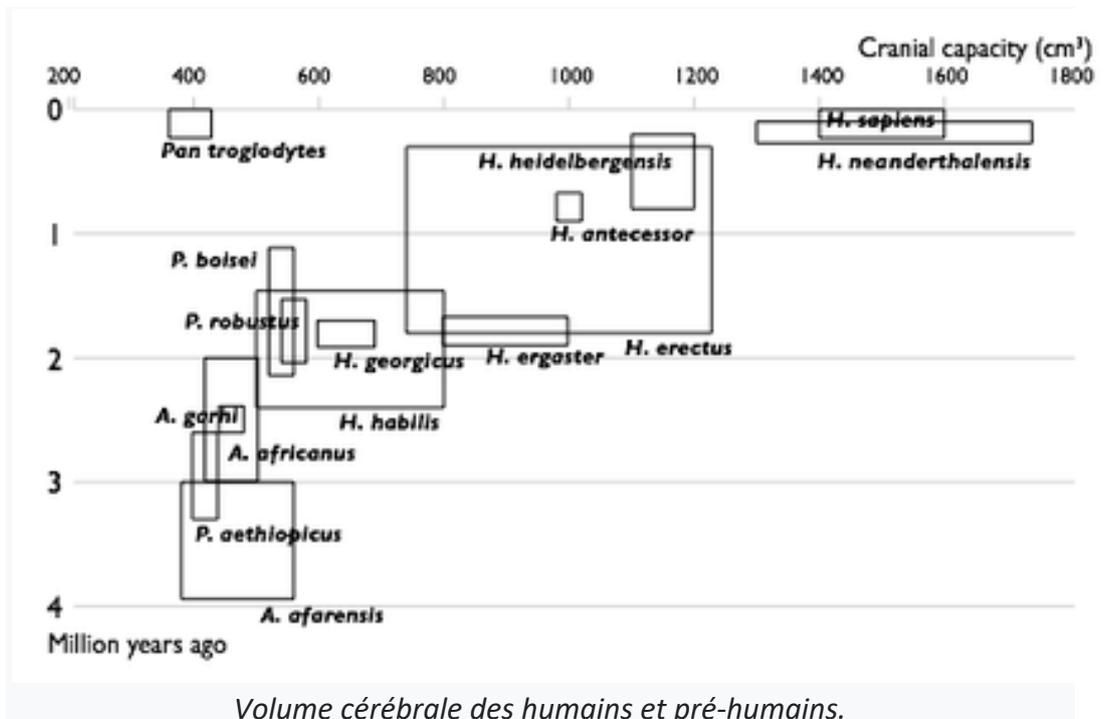
Par contre, la taille du cerveau est un indicateur d'intelligence pas trop mauvais à l'intérieur d'une espèce. Du moins, c'est le cas chez les humains, chez lesquels l'intelligence est assez bien corrélée à la masse du cerveau. Par exemple, les scores de QI sont en moyenne plus élevés chez ceux qui ont un gros cerveau. Rien d'extraordinaire, cependant : le coefficient de corrélation est compris entre 0.2 et 0.4 et semble assez proche de 2.5, ce qui reste une corrélation assez faible. D'autres mesures statistiques indiquent qu'environ 6% de la variance du QI d'un individu est lié à la taille de son cerveau. Après, quelques biais viennent diminuer ou augmenter artificiellement cette corrélation. Par exemple, on sait que la taille du cerveau dépend de la taille : un homme de 1m75 aura un cerveau plus gros qu'un homme de 1m50, par exemple. Et d'ailleurs, il existe une certaine corrélation entre intelligence et taille chez l'humain. Petit bémol, cependant : cette corrélation ne vaut pas pour la différence de taille entre hommes et femmes. Si la taille des cerveaux masculins et féminins n'est pas la même, vu que les hommes étant plus grands, cela ne leur confère pas un avantage en termes de QI. Pour résumer, il est admis que la taille du cerveau et l'intelligence ont un lien, même s'il est très ténu et que ces corrélations sont modérées par divers facteurs comme le sexe.

Il semblerait que la corrélation entre intelligence et taille du cerveau soit similaire pour les autres espèces, mais les constatations sont nettement moins fiables. Il faut dire qu'étudier l'intelligence des animaux est difficile. Si faire passer des tests de QI à des groupes d'humain est simple et demande juste une bonne logistique, mesurer l'intelligence des animaux demande des protocoles expérimentaux nettement plus précis et complexes. Mais précisons que la relation entre taille du cerveau et intelligence est assez frustrante pour une raison simple : seules certaines

aires du cerveau sont impliquées dans les processus intellectuels. Ce qui compte, c'est que les aires du cerveau grossissent, pas le cerveau dans son ensemble. D'ailleurs, on verra dans la section suivante que le développement des aires frontales et temporales du cerveau humain est bien corrélé à l'amélioration des performances cognitives au cours de l'évolution humaine. On pourrait imaginer des situations où les aires motrices ou sensorielles régressent, au profit des aires cognitives. On observerait alors une augmentation de l'intelligence de l'espèce, sans pour autant avoir une augmentation de la taille du cerveau. Ainsi, les différences comportementales et cognitives inter ou intra-espèce dépendent bien plus de l'organisation du cerveau et de son anatomie interne, plus que de sa taille ou du coefficient d'encéphalisation. Ce que nous allons voir en détail dans le prochain chapitre.

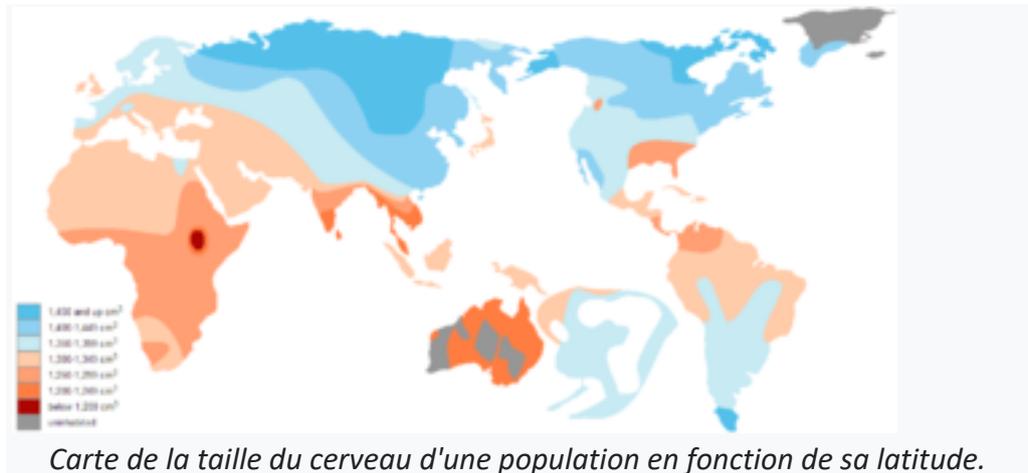
### L'évolution de la taille du cerveau [\[modifier\]](#) | [modifier le wikicode](#)

Au cours de l'évolution des espèces, le cerveau des primates semble s'être complexifié et être devenu de plus en plus gros. Cette augmentation de la taille du cerveau est notamment visible chez les singes, ainsi que dans l'évolution humaine. Les anthropologues ont mis en évidence ce phénomène en étudiant les crânes des fossiles des singes pré-humains, ainsi que les fossiles des espèces Homo. De ces analyses, il ressort que l'évolution des primates s'est faite par un développement de plus en plus important du cerveau. Les premiers australopithèques avaient des cerveaux relativement petits, avec un volume proche de celui d'un chimpanzé. Les premiers homo habilis avaient un cerveau de 550–687 cm<sup>3</sup>. Le volume cérébral a alors augmenté progressivement, jusqu'à atteindre un maximum avec les néandertaliens et les Homo Sapiens : un homo sapiens normal a un cerveau de 1400 cm<sup>3</sup>.



Tut indique que la taille du cerveau est un caractère qui a été sélectionné au cours de l'évolution par ce qu'il donnait différents avantages et inconvénients. Par

exemple, un gros cerveau donne un avantage en termes d'intelligence, sans compter d'autres avantages que nous allons aborder dans ce qui suit. Si avoir un gros cerveau donne un avantage en termes d'intelligence, cela a aussi des désavantages assez marqués. Déjà, il faut l'alimenter en énergie, ce gros cerveau, le métabolisme cérébral étant extrêmement gourmand et consommateur d'énergie. La rareté des ressources alimentaires dans la nature est donc un facteur limitant de l'agrandissement du cerveau. Ensuite, il faut que la boîte crânienne s'adapte au cerveau, ce qui peut poser quelques problèmes lors de l'accouchement. Un gros cerveau signifie un gros crane, ce qui se traduit par un risque important de complications lors de l'accouchement.



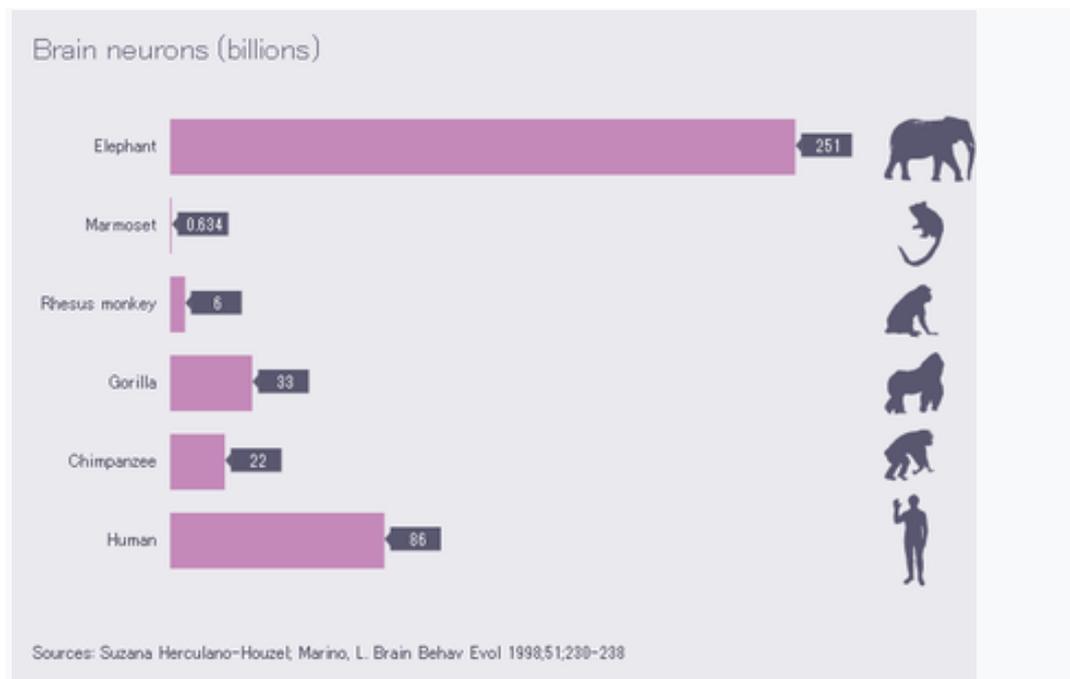
Une influence évolutive majeure qui a façonné la taille du cerveau n'est autre que la géographie. Il est aujourd'hui bien établi que la taille du cerveau dépend du lieu d'habitation et notamment de sa latitude. Les populations vivant près de l'équateur ont un cerveau plus petit que les personnes vivant près des pôles. De manière générale, la taille du cerveau des humains augmente quand on se dirige vers les pôles. Il s'agit d'une adaptation aux différents climats, les habitants des pays froids ayant des cerveaux plus gros alors que les habitants des pays chauds ont un cerveau plus petit. Dans le détail, la raison est liée à la déperdition de chaleur au niveau du crane. Si la production de chaleur a lieu dans tout le volume d'un animal, la chaleur quitte l'animal au niveau de sa surface. En conséquence, la déperdition de chaleur dépend fortement du rapport surface/volume. Il se trouve que plus une forme quelconque est grosse, plus ce rapport diminue. Et cela vaut aussi pour le crane : un crane plus gros aura un meilleur rapport surface/volume et conservera mieux sa chaleur. Dans un environnement froid, il vaut mieux limiter les fuites de chaleur, ce qui favorise les gros cerveaux. A l'inverse, les habitants des pays chauds doivent évacuer rapidement leur chaleur, ce qui favorise les cranes petits. La sélection naturelle a largement eu le temps de faire son effet, d'où la répartition de la taille du cerveau en fonction de la latitude.

Le nombre de neurones cérébral et l'organisation architecturale du cerveau[[modifier](#) | [modifier le wikicode](#)]

Il faut préciser qu'il y a une différence entre la taille du cerveau et le nombre de neurones. Il est tentant de faire l'amalgame entre "gros cerveau" et "beaucoup de neurones", mais la relation entre les deux est plus subtile qu'il n'y paraît. La

tendance est que les gros cerveaux tendent à avoir de plus gros neurones que les petits. Par exemple, les éléphants ont beau avoir de gros cerveaux, leur nombre de neurone total est assez faible, en regard à la taille de leur cerveau. Pour donner quelques chiffres, les éléphants ont environ 7 000 neurones par milligramme de cerveau, les humains 25 000 et les oiseaux 200 000. On voit bien la relation entre taille des neurones et taille du cerveau.

Une exception notable à cette règle générale est celle des primates. Dans le règne simiesque, les gros cerveaux ont plus de neurones que les petits. D'ailleurs chez les primates et assimilés, la totalité des différences de taille cérébrale s'expliquent par le nombre de neurones, la taille des neurones n'ayant pas le moindre effet digne d'être mentionné.

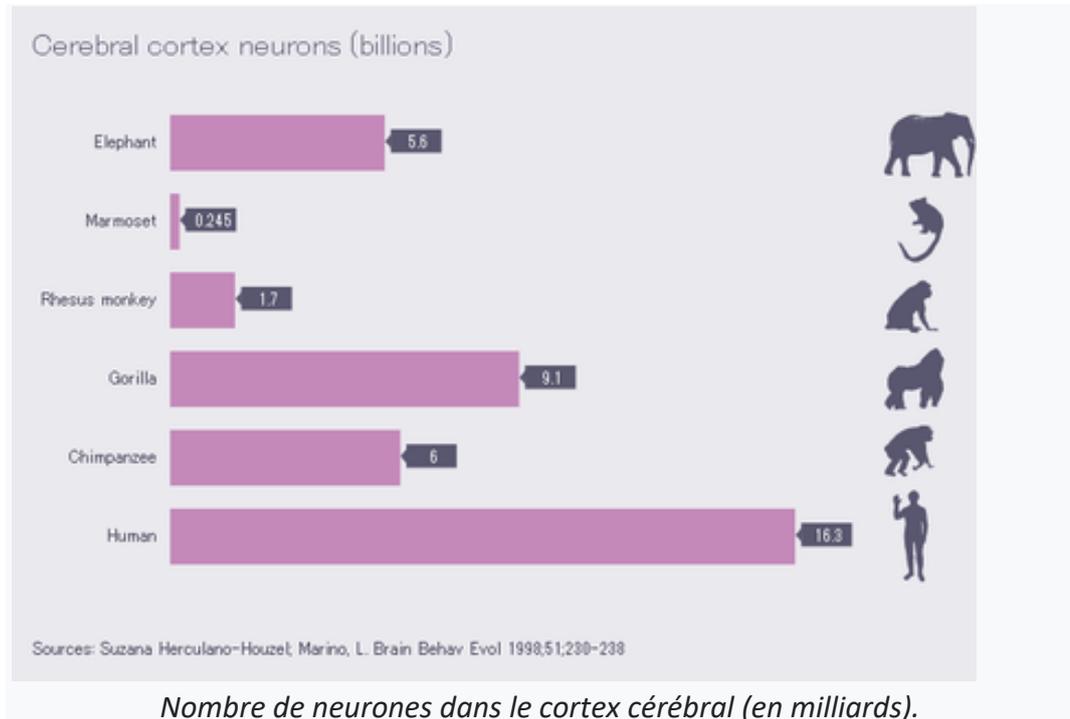


*Nombre de neurones du cerveau chez différentes espèces animales.*

### **La répartition des neurones : l'importance du cortex cérébral**[\[modifier](#) | [modifier le wikicode](#)]

Le répartition des neurones dans le cerveau est aussi à prendre en compte. Par exemple, les éléphants ont beaucoup plus de neurones que les humains, mais la répartition n'est pas la même. Les éléphants ont beaucoup de neurones dans leur cervelet, mais peu dans le cortex cérébral. Par contre, c'est l'inverse chez les humains et les oiseaux, qui ont un cortex bien plus développé. Fait intéressant, le nombre de neurones dans le cortex semble corrélé à l'intelligence, dans les comparaisons inter-espèces. Cela semble assez clair dans les comparaisons entre singes, par exemple : plus une espèce de singe a de neurones dans le cortex, plus ses capacités cognitives semblent évoluées. Même chose si on compare l'ensemble des mammifères. Par exemple, les baleines, puis les humains, suivis par les singes et les oiseaux, ont beaucoup plus de neurones corticaux que les autres espèces. Pour comparer, les éléphants n'ont que 3 fois de neurones corticaux par rapport aux humains. Ajoutons enfin que des paramètres comme la densité de neurones peut aussi jouer (des neurones proches mettent moins de

temps à se transmettre des influx nerveux, d'où un traitement plus rapide). Voilà de quoi comprendre un peu mieux les faibles corrélations entre taille du cerveau et intelligence...



### L'évolution de l'organisation du cortex

Le cortex cérébral a grandi plus vite que les aires dites sous-corticales chez les vertébrés. Cela ne veut pas dire que les structures sous-corticales n'ont pas évoluées, mais que cette évolution est restée relativement lente comparé au développement de la taille du cortex. Chez les petits animaux, la croissance du cortex n'est pas incompatible avec les limites de la boîte crânienne. Le cortex n'a pas besoin de se replier sur lui-même, ce qui fait que ces espèces ont toutes un cortex lisse. Mais chez les espèces plus évoluées, la croissance du cortex a été suffisante pour que la boîte crânienne soit trop petite. Le cortex n'a pas eu d'autre choix que de se replier sur lui-même, donnant les gyrus et sulcus que l'on voit à la surface du cerveau. Il faut noter que le repli cortical n'est sensible que chez les primates, à quelques exceptions près.

Outre l'augmentation de la taille du cortex, le nombre de couches de ce dernier a aussi évolué. Les premiers animaux n'avaient que des cortex à 3/5 couches spécialisés dans la mémoire et l'odorat (l'archicortex et le paléocortex). Plus tard dans l'évolution, est apparu le néocortex à 6 couches. Seuls les mammifères en disposent à la surface de leur cerveau, les autres cortex étant enfouis au centre du cerveau. L'apparition du néocortex est encore un mystère et on ne sait pas très bien comment celui-ci est apparu. On pense qu'il dérive du cortex dorsal observé chez les reptiles et les oiseaux, qui semble être assez similaire au néocortex. Cependant, le cortex dorsal est assez différent : il n'a qu'une seule couche de neurones assez lisse, contre 6 couches organisées pour le néocortex. On ne connaît pas de formes intermédiaires entre ces deux formes de cortex, d'où le mystère de la formation du néocortex...

Prenons l'exemple des primates et voyons comment l'environnement a favorisé certaines modifications de la structure corticale. Chez ces espèces, l'odorat est assez peu développé, ce qui fait que certaines structures chargées de l'olfaction sont donc assez peu développées : l'organe voméro-nasal est non-fonctionnel, les aires olfactives de petite taille, etc. La taille du cortex olfactif a notamment diminué avec l'évolution, ce qui explique que la taille du cortex olfactif humain est 30% moindre que chez les autres singes. Par contre, la vision est un sens fortement important chez le singe : les aires dédiées à la vision (localisées à l'arrière de la tête) se sont donc développées, augmentant progressivement en taille. Les aires associatives (non-motrices et non-sensorielles) se sont développées plus rapidement que les autres, ce qui se traduit par une augmentation des capacités cognitives. Le cortex situé sous le front (cortex frontal) est aussi beaucoup développé chez les primates que chez les autres espèces. Ce cortex frontal prenant en charge la motricité et certaines capacités intellectuelles, on comprend pourquoi les primates semblent avoir des capacités cognitives plus développées que les autres espèces animales.