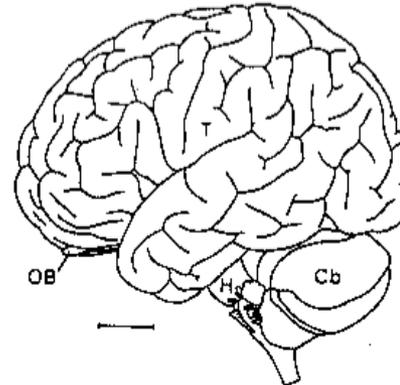




SCIENCEPHOTOLIBRARY

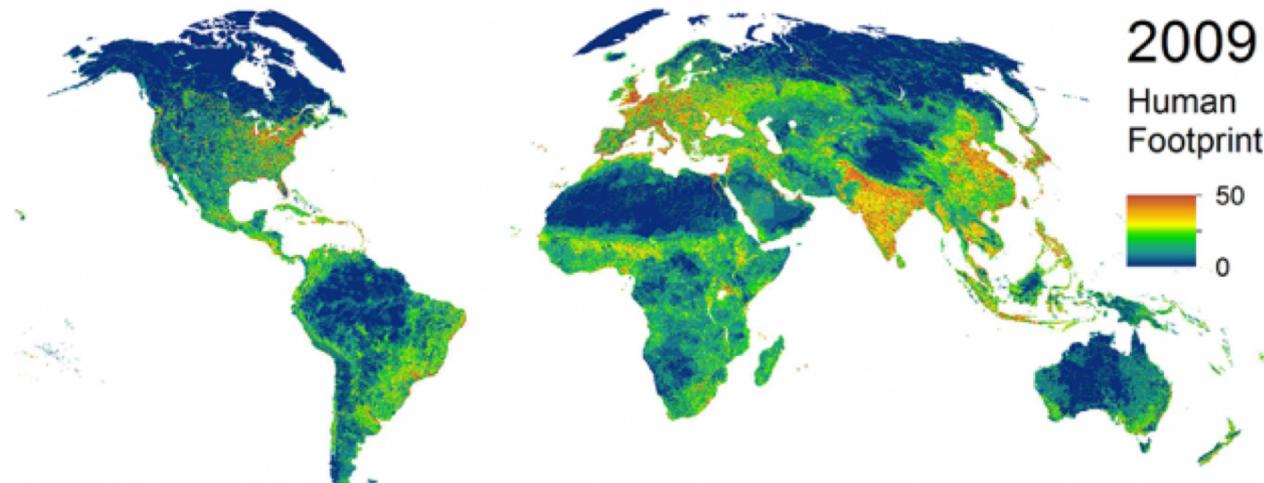
Évolution du cerveau humain et capacités d'adaptation: quelle histoire?



Philippe Vernier

L'histoire évolutive du cerveau humain est celle de son adaptation à l'évolution du milieu

- L'espèce humaine occupe une très grande partie des terres émergées, plus que toute autre espèce de vertébrés.
- L'espèce humaine est exceptionnelle sur beaucoup de points: *intentionnalité, conscience réflexive et subjective (conscience de soi et des autres comme semblables à soi), capacité à utiliser les symboles, à abstraire et déterminer les chaînes de causalité, à coopérer, à créer et innover (technologies), à négocier et transmettre de l'information par la parole* → **ADAPTABILITE?**



L'histoire évolutive du cerveau humain est celle de son adaptation à l'évolution du milieu

- Sociétés et cultures fondées sur la technique, la transformation de la nature, les arts et les ornements, les rituels et les mythes
- ➔ **Discontinuité apparente dans l'évolution de l'homme par rapport à celle des autres animaux.**

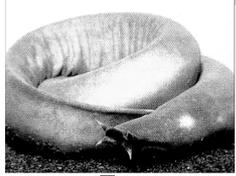
L'homme a un cerveau disproportionnellement plus gros que celui des autres vertébrés/primates

- Et pourtant le plan du corps, l'organisation générale du cerveau humain sont communs avec celui des autres animaux vertébrés
- Et le génome humain est >95% semblable à celui des chimpanzés

Phylogénie des crâniates/vertébrés

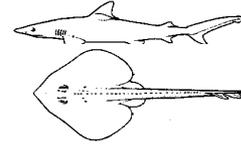
450MA

Gnathostomes
(vertebrés à mâchoires)



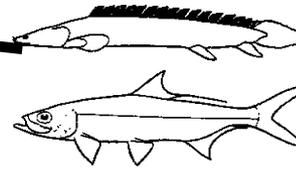
Myxines

Osteichtyens
(poissons osseux)

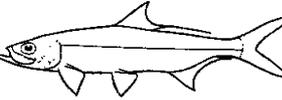


Chondrichtiens 430MA
(poissons cartilagineux)

Actinopterygiens 420MA
27 500 esp.

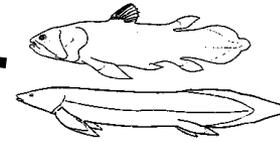


Sarcopterygiens
25 000 esp.



Lamproies

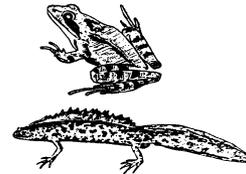
Tetrapodes



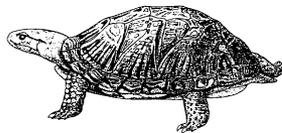
Actinistiens, dipnoi 410MA

Agnathes
(crâniates sans mâchoires)

Amniotes



Amphibiens 370MA



Tortues



Squamates



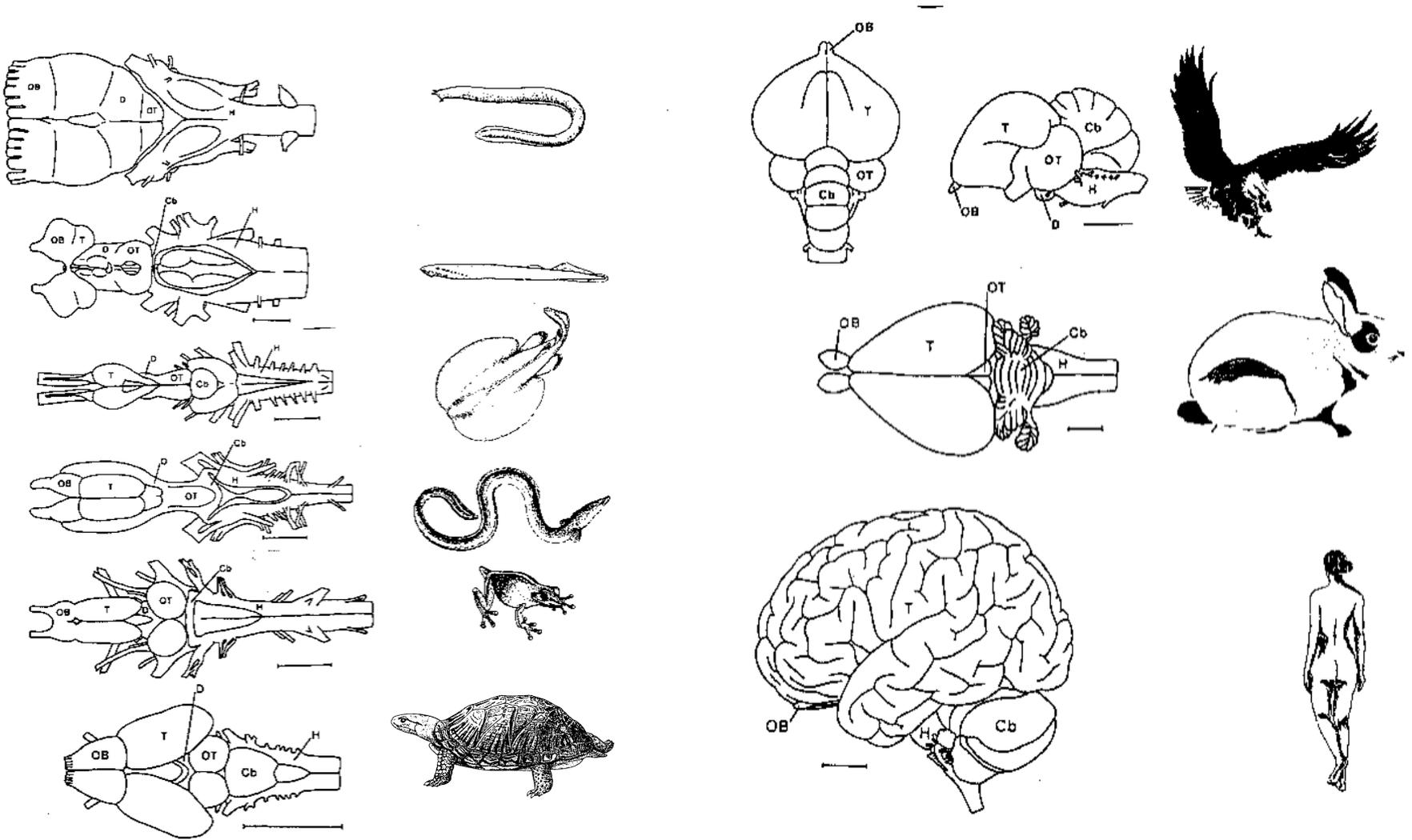
Archosauriens



Mammifères

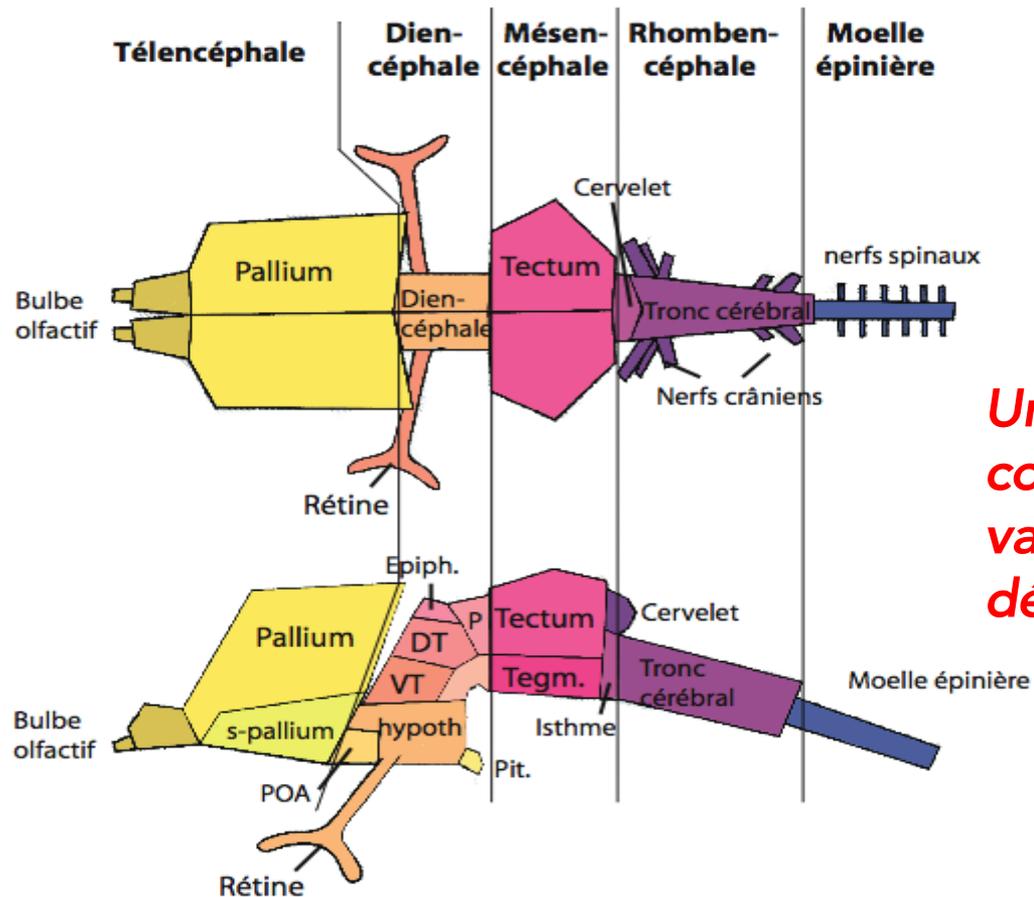
340MA

Le cerveau des vertébrés



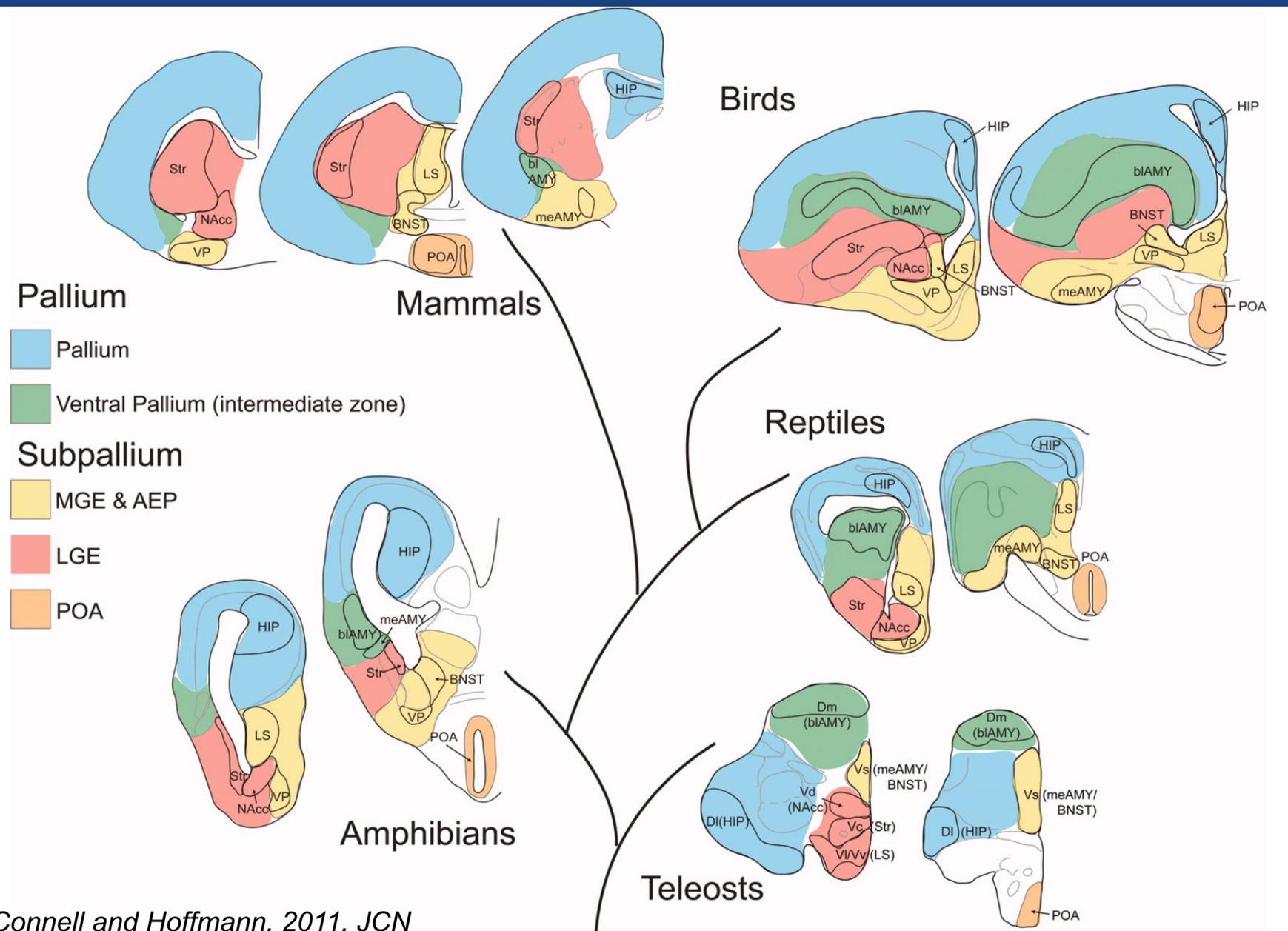
Une grande diversité de formes et de fonctions

Régionalisation fonctionnelle du cerveau adulte : une organisation conservée de l'embryon à l'adulte, avec beaucoup de variations dans les différentes espèces de vertébrés

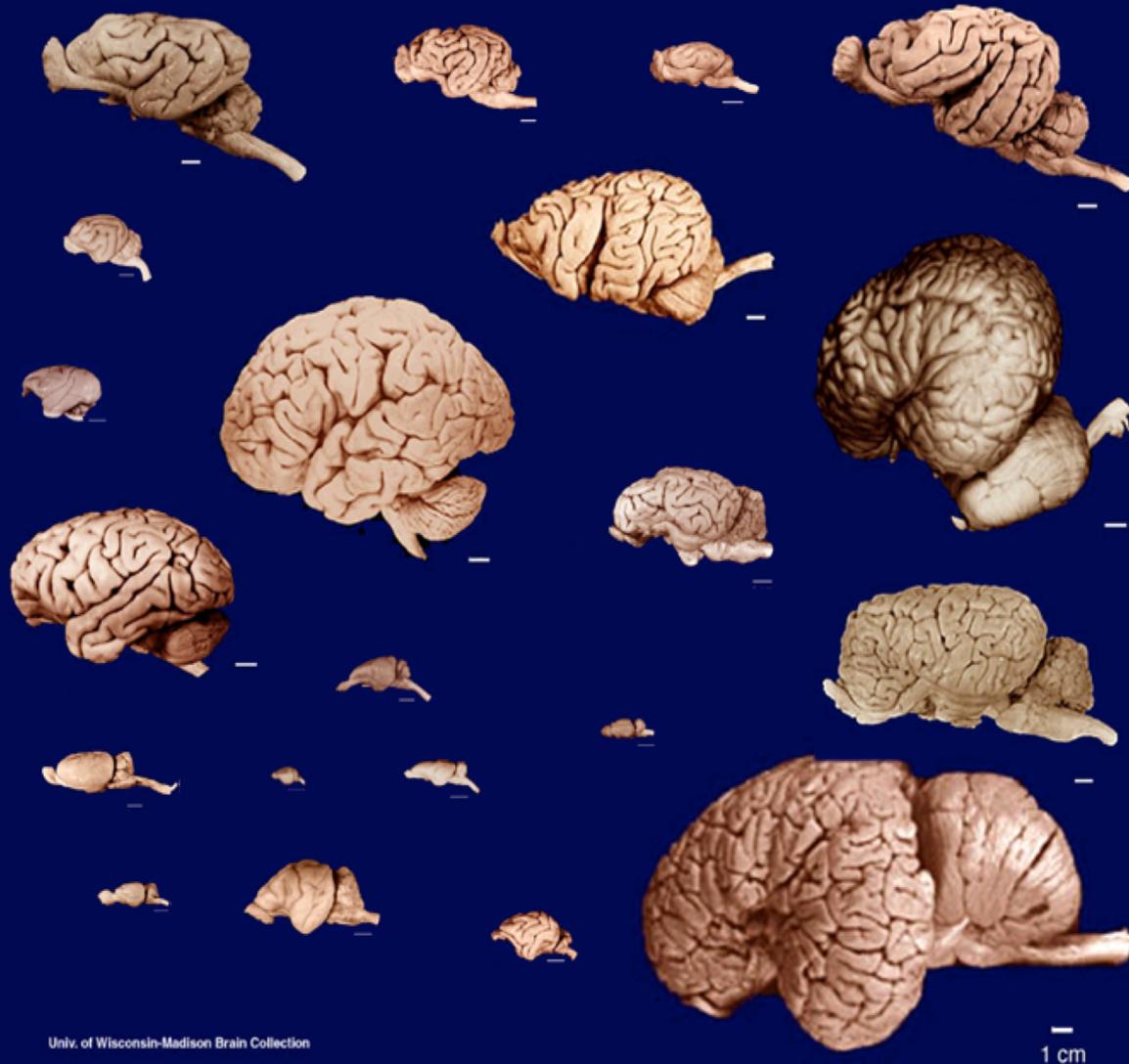


Un plan d'organisation commun, de grandes variations de taille et de détails d'organisation

L'organisation conservée (homologue) des régions palliales et sous-palliales chez les vertébrés



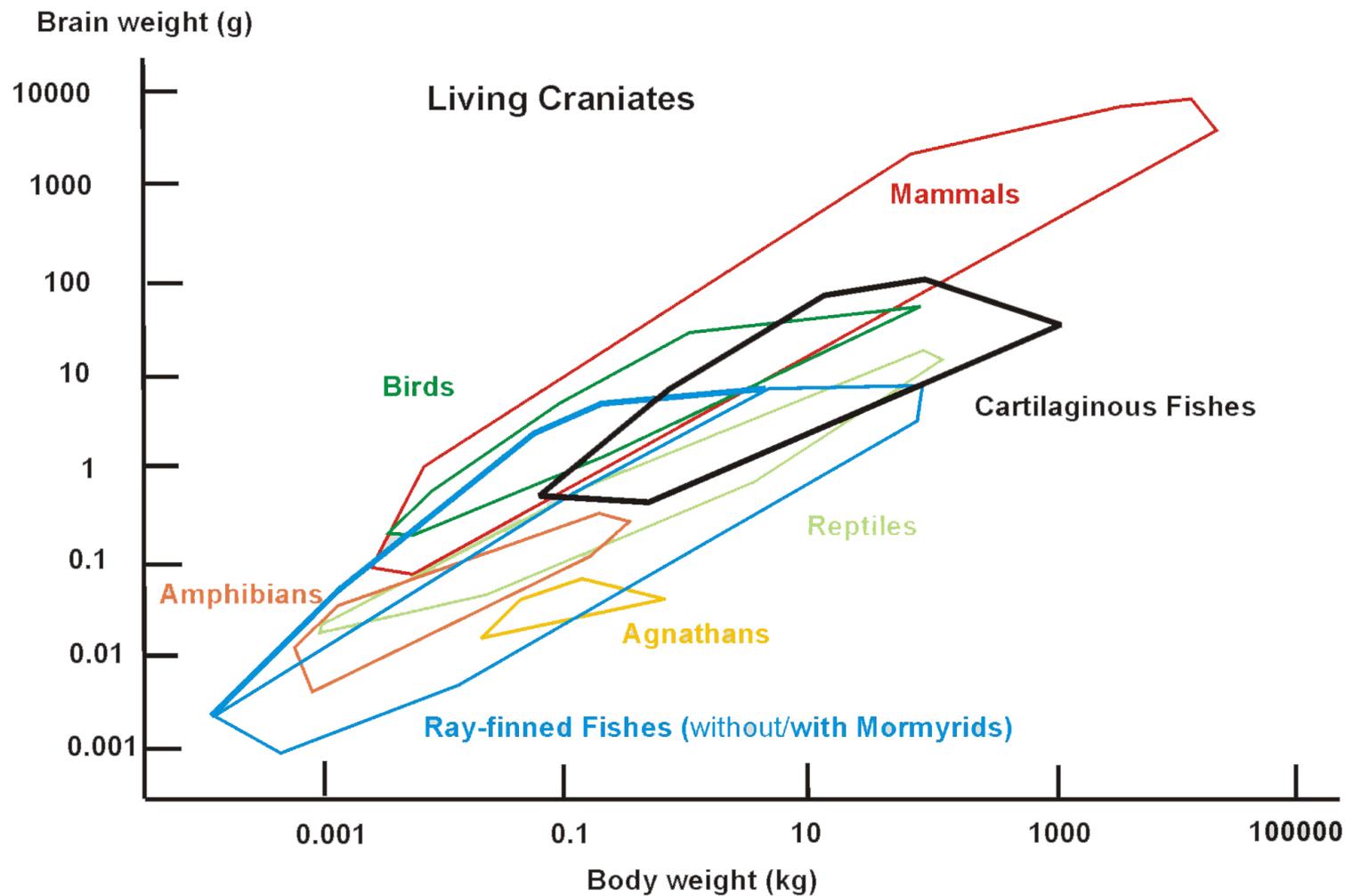
La question de la taille du cerveau



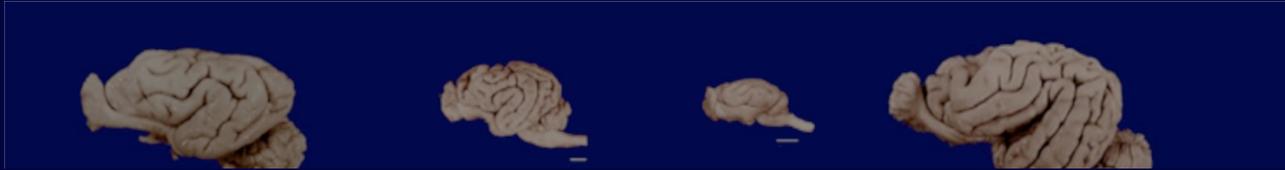
La notion d'allométrie

- Qualifie la relation de non-proportionalité (taille, poids, volume...) qu'entretient un organe avec les autres organes ou le corps entier, dans un groupe donné (ici, les vertébrés)
- *Julian Huxley et Georges Tessier, 1936*
- La taille du cerveau est relativement plus petite que celle du corps.
- *Jerison, Stephan, Findlay & Darlington*

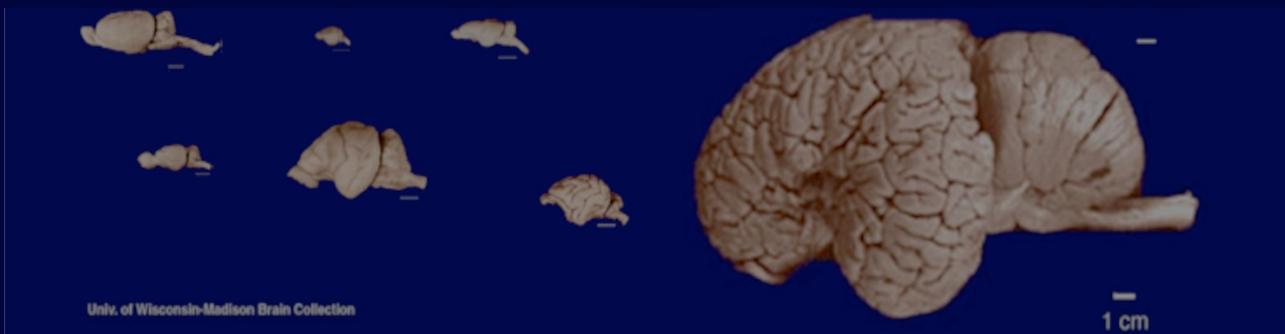
Le cerveau à l'échelle du corps



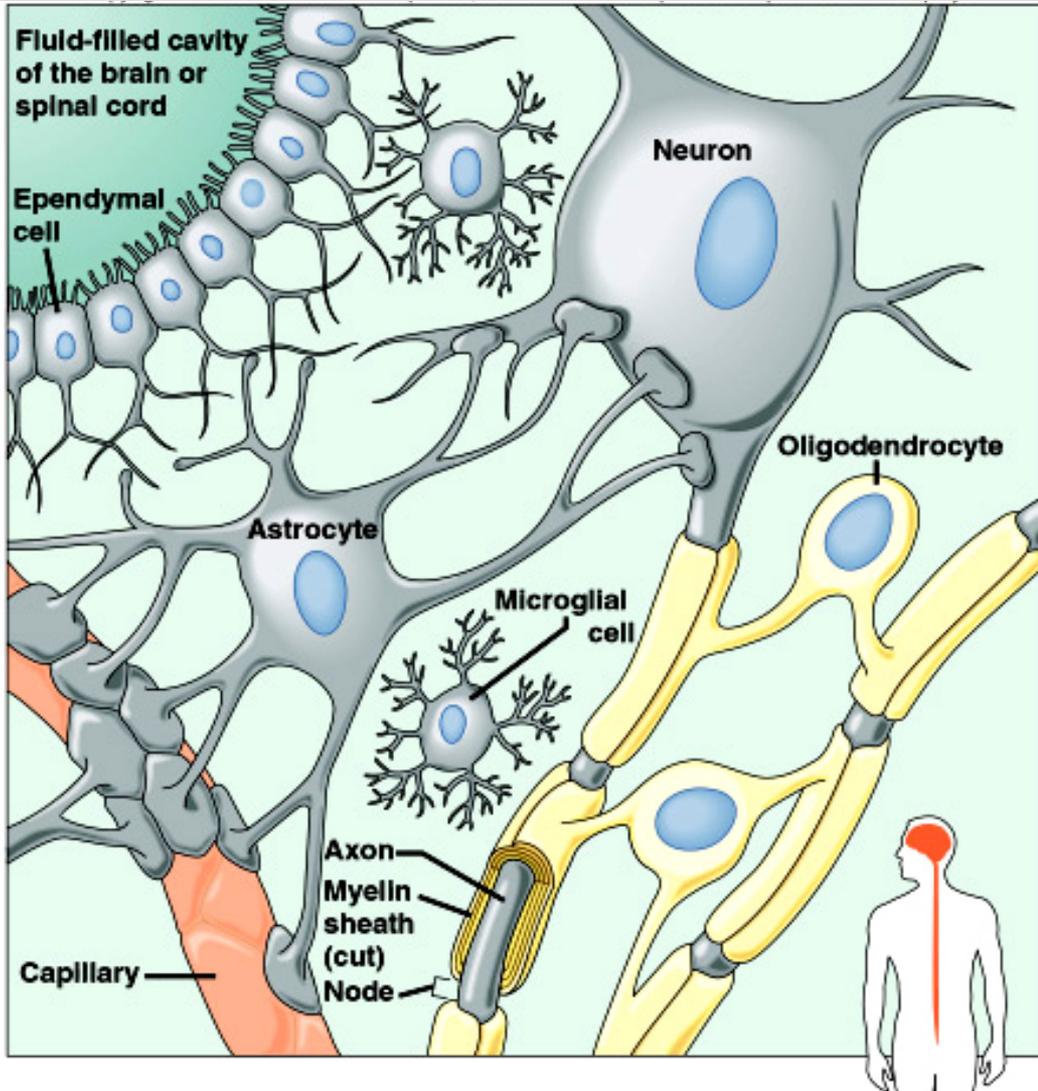
Taille du cerveau: quelle importance?



- Plus de cellules neurales
- Plus de neurones
- Plus grande capacité à traiter un grand nombre d'informations différentes
- Plus de capacités cognitives
- Plus de capacités à s'adapter à des conditions de vie différentes (apprentissage et communication sociale)

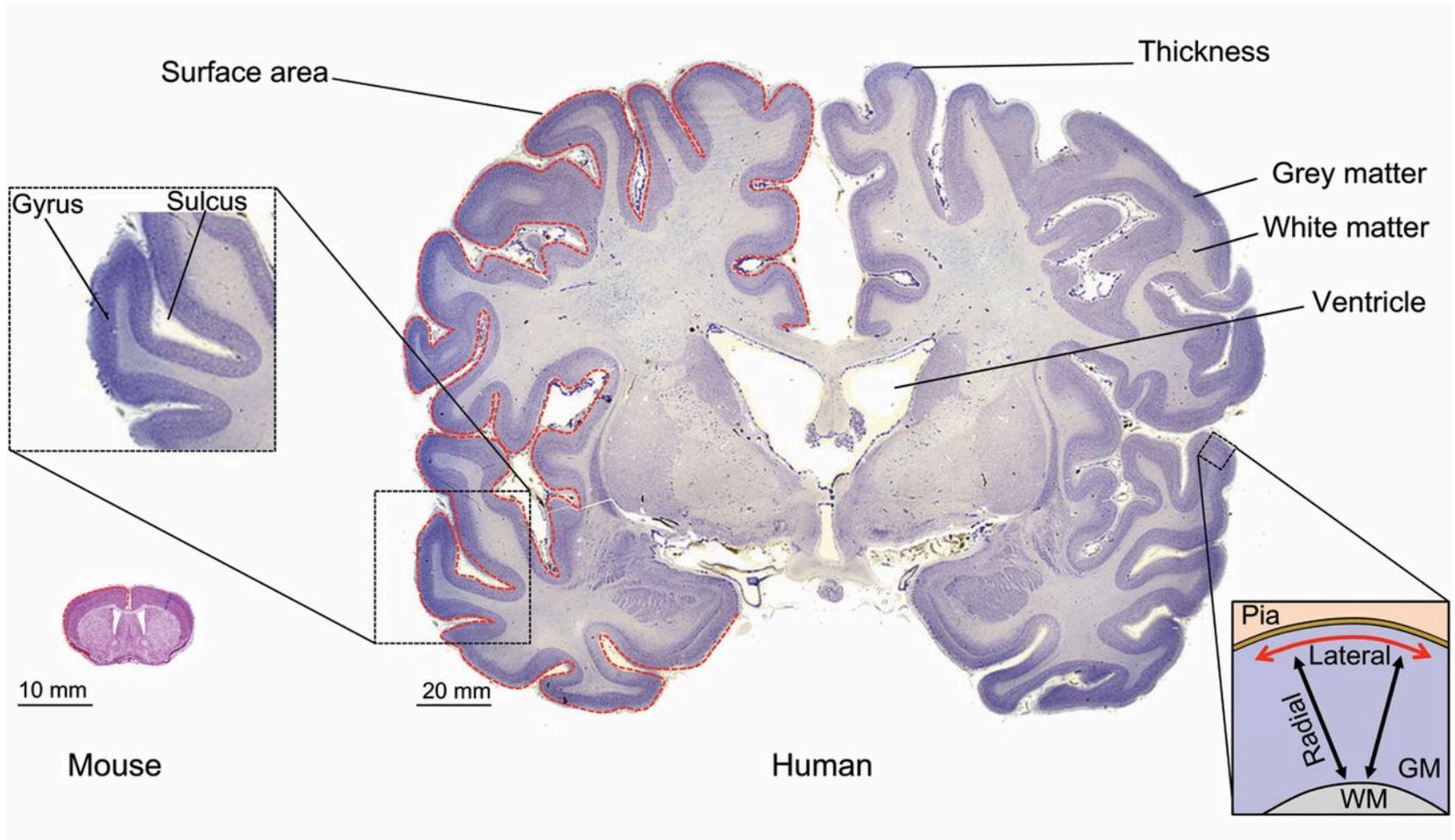


Les différentes catégories de cellules neurales

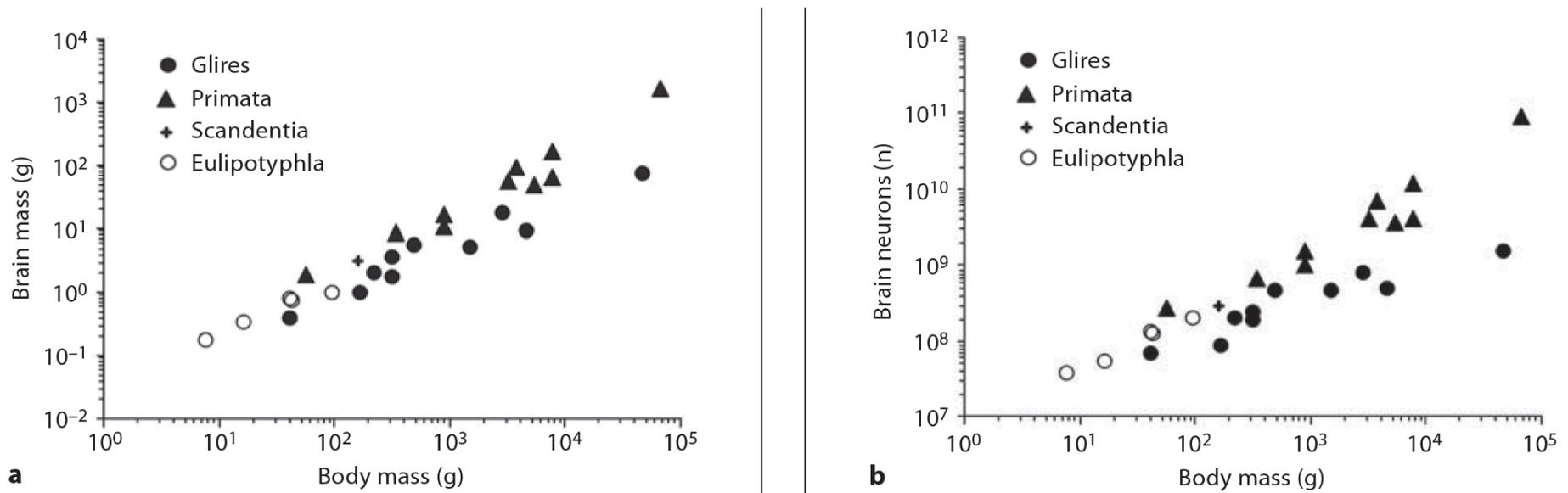


- 90-120 milliards de neurones
- À peu près le même nombre de cellules gliales (astrocytes et oligodendrocytes).

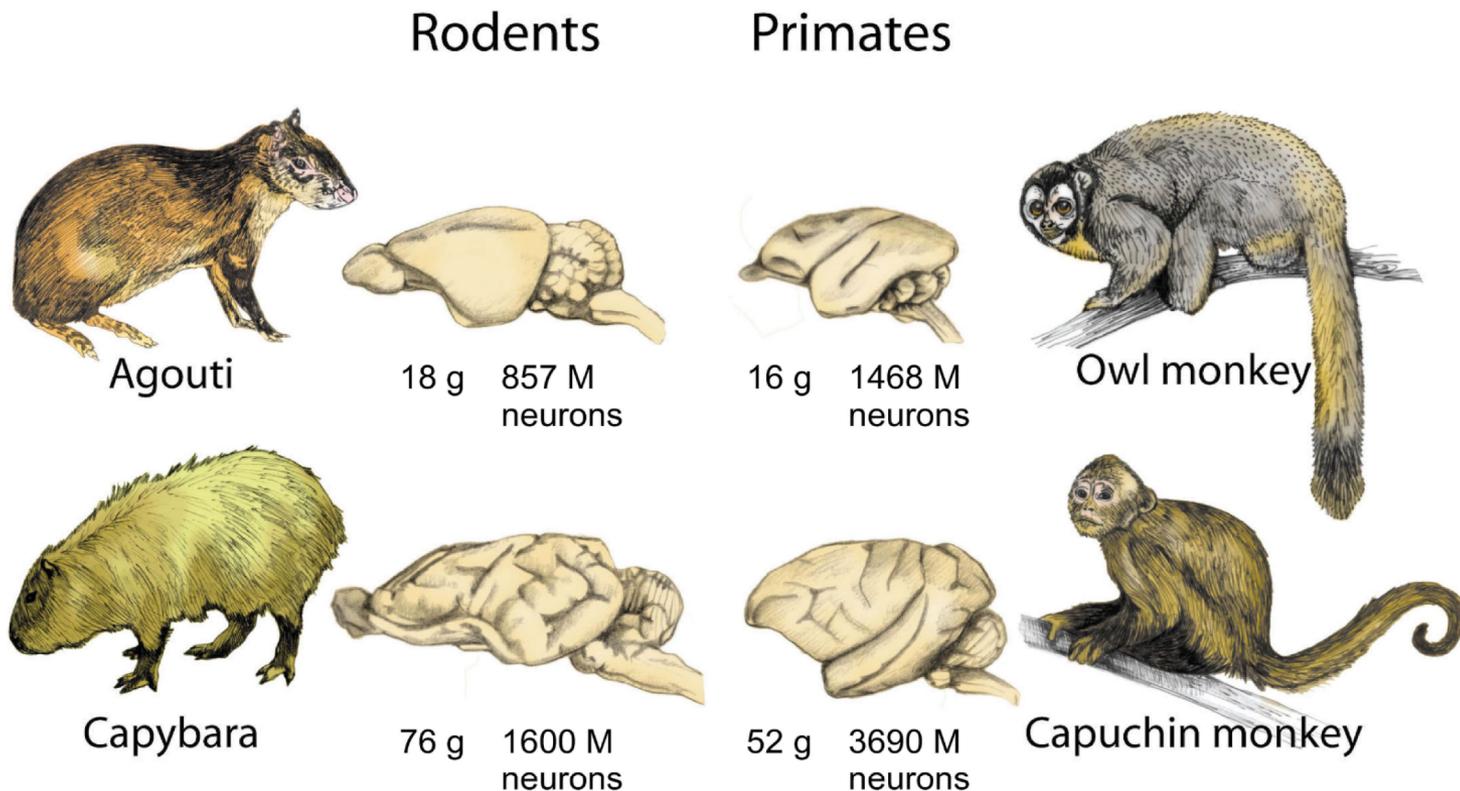
Neocortex morphology.

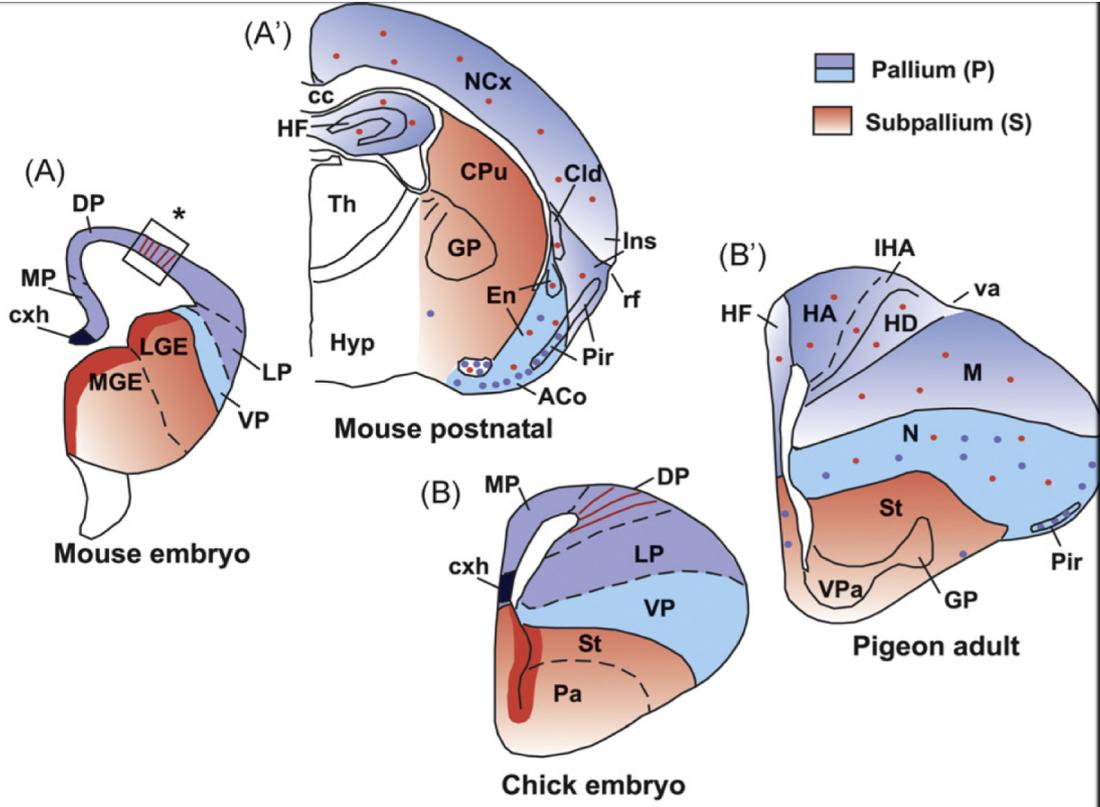


Proportions des neurones en fonction de la masse cérébrale



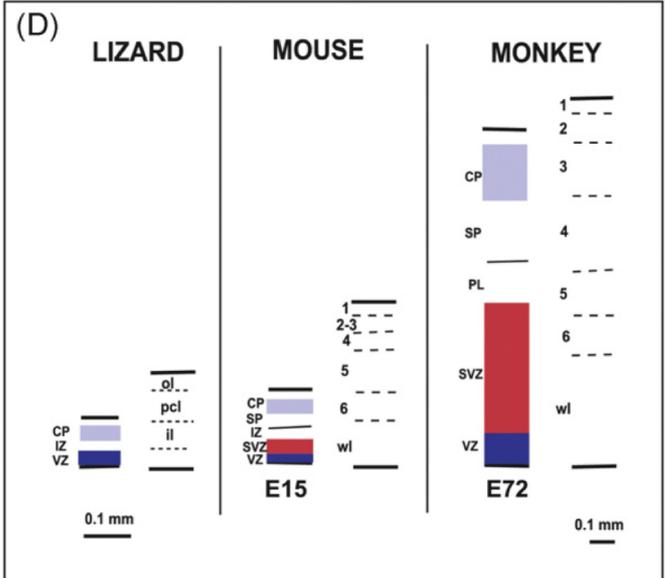
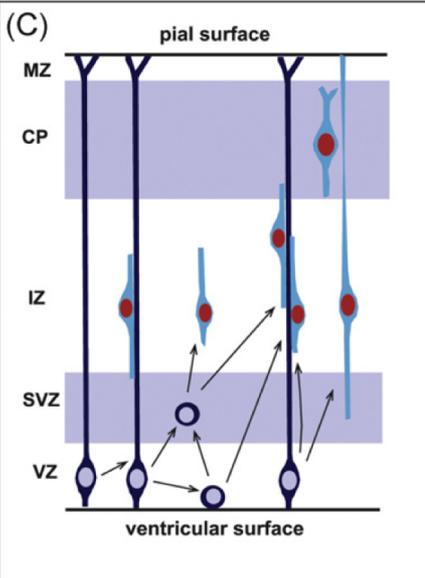
Nombre des neurones par rapport à la taille du cerveau chez les rongeurs et les primates





Evolution du pallium/cortex: Changements dans le mode de neurogénèse.

La zone sous-ventriculaire, une zone neurogénique spécifique chez les mammifères et particulièrement amplifiée chez les primates?

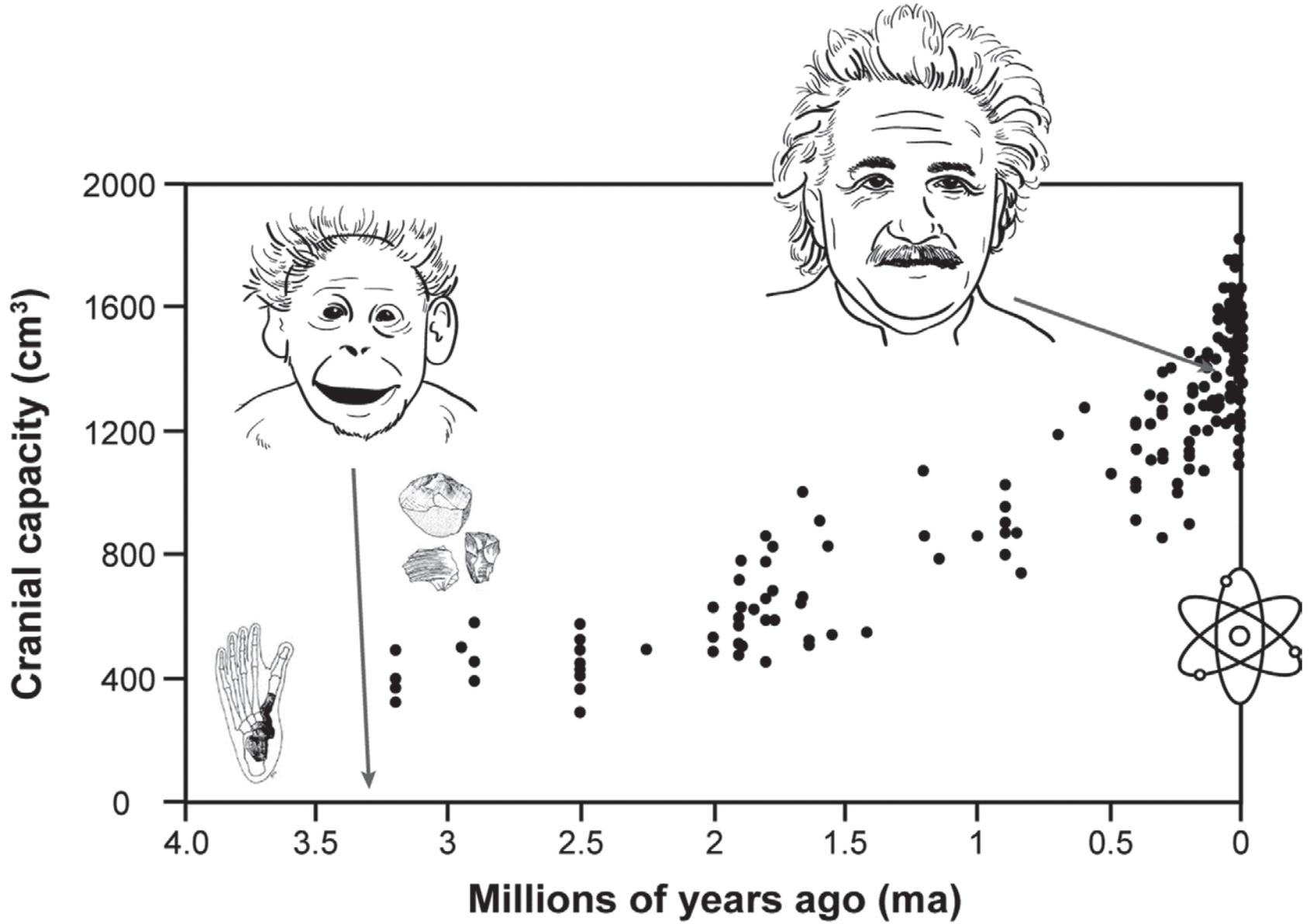


Evolution de l'encéphale chez les Primates dont l'Homme

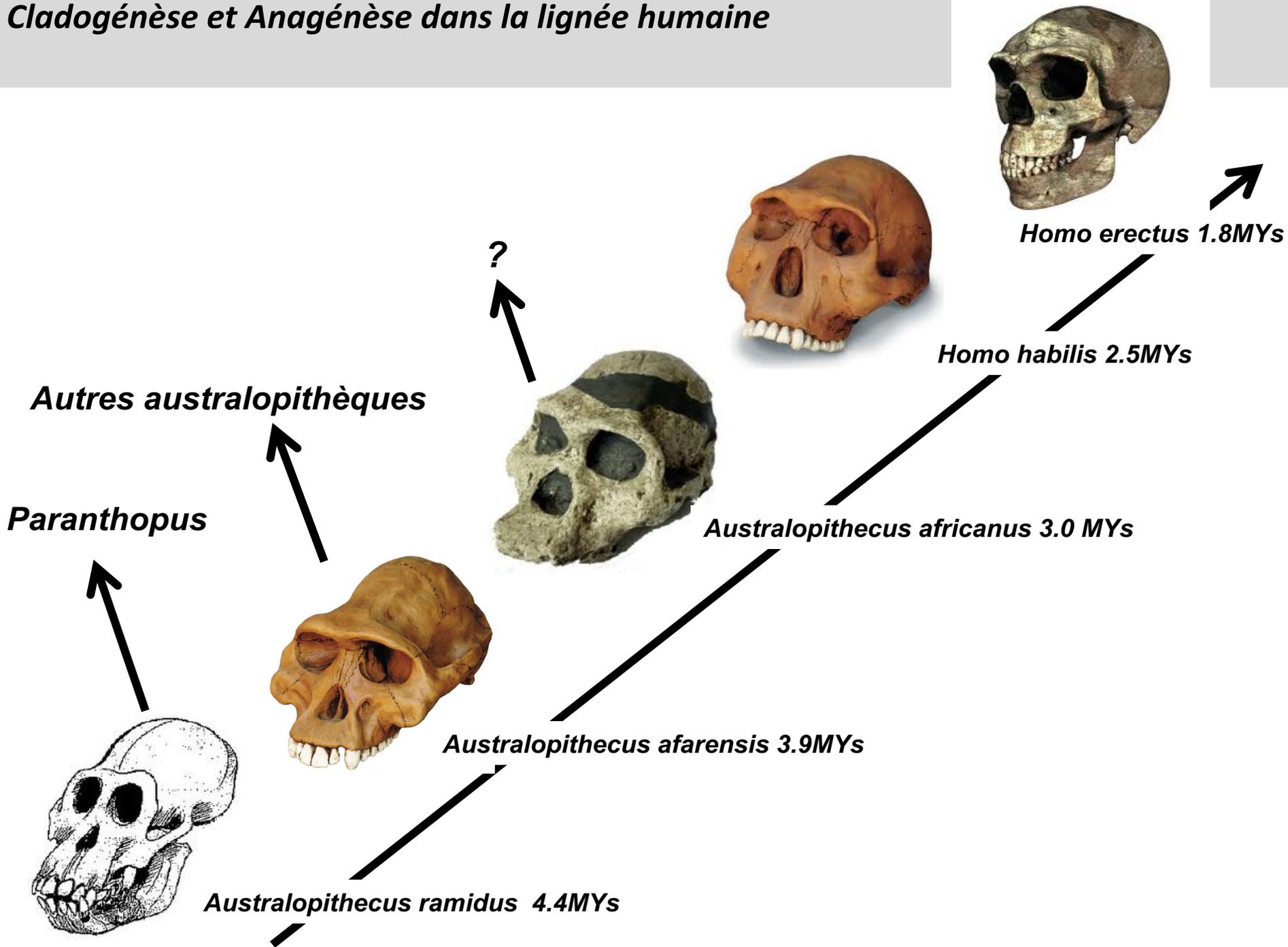


Endocasts of gorilla, Solo Skull XI, and modern man

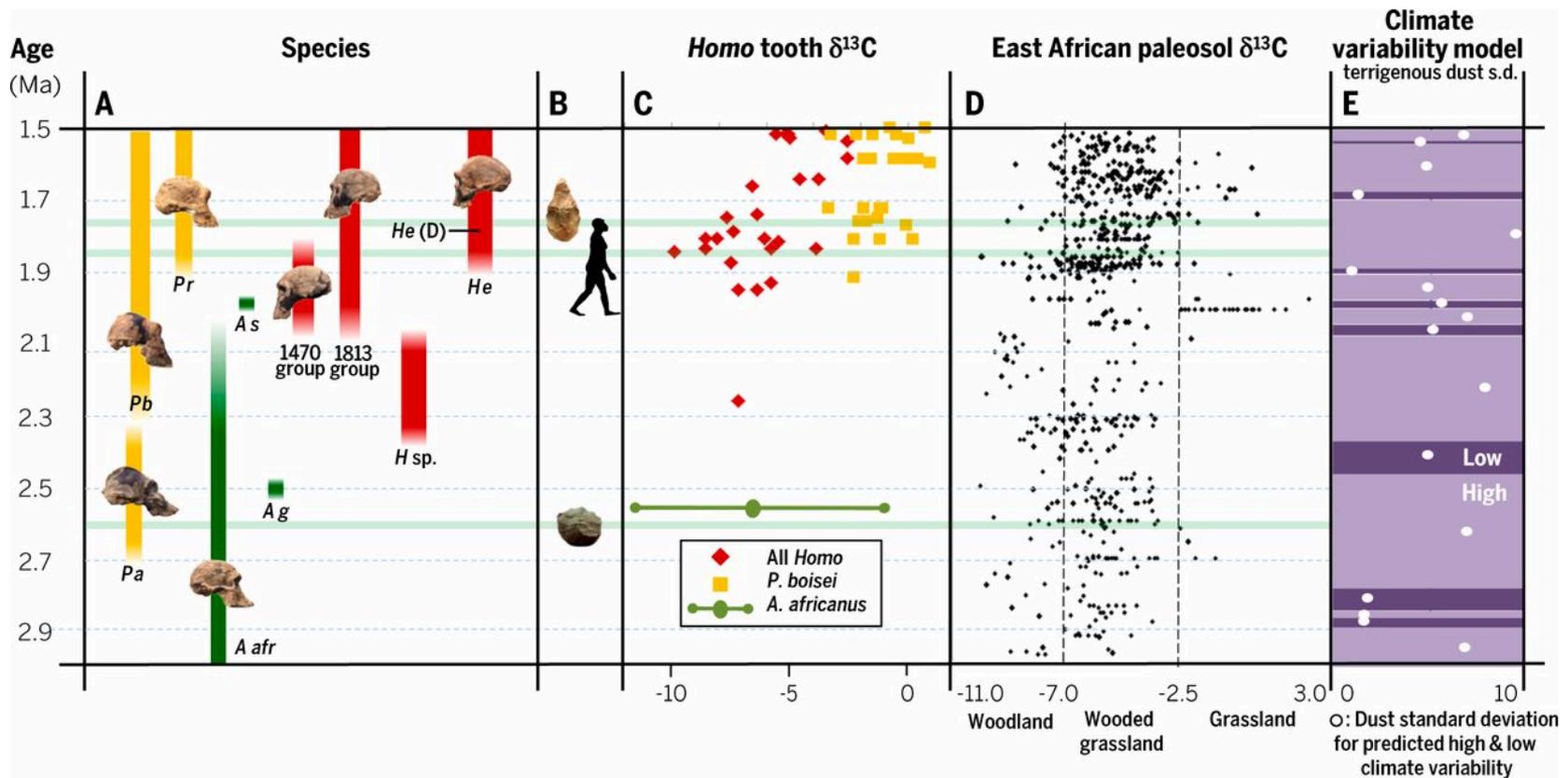
De l'Australopithèque à A. Einstein... une question de taille de cerveau ?



Cladogénèse et Anagénèse dans la lignée humaine

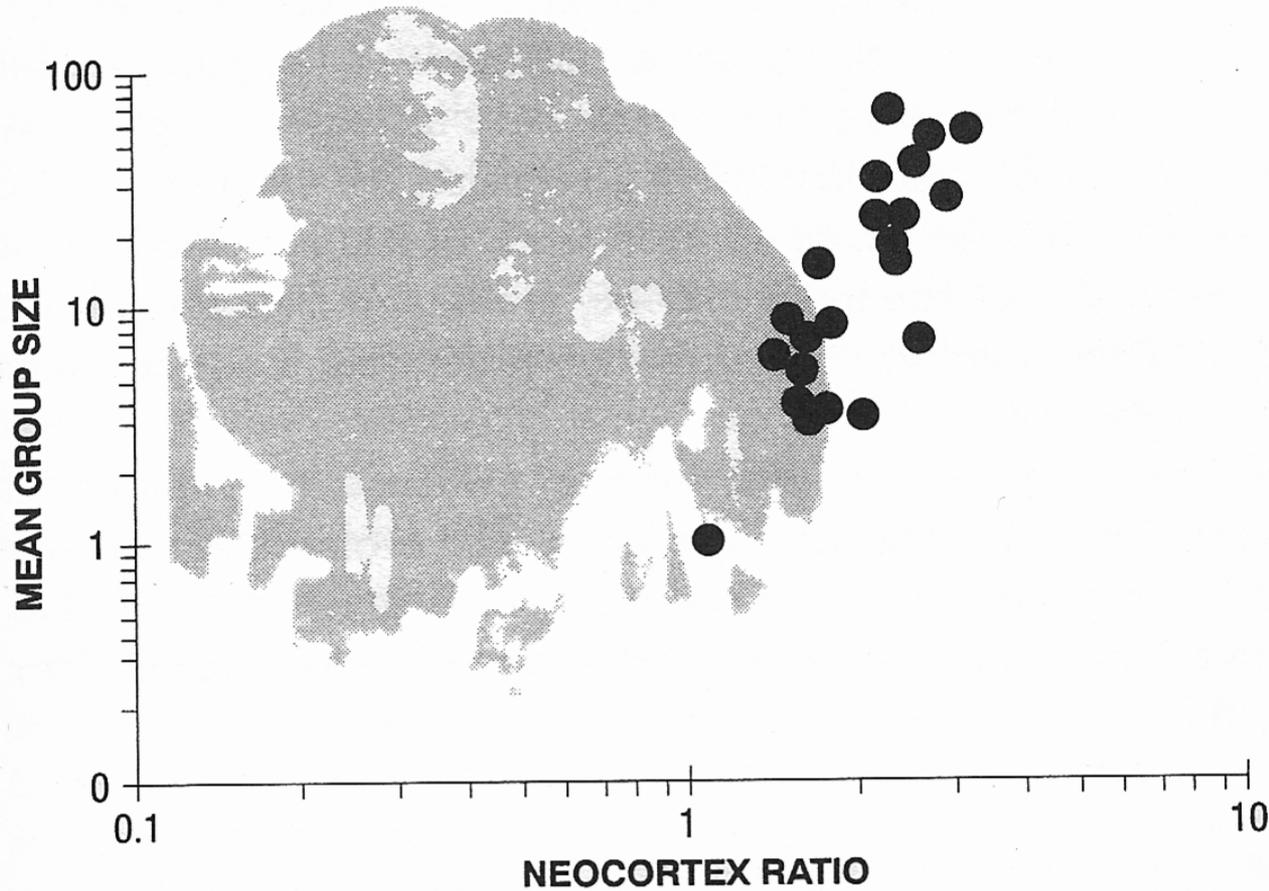


Evolution des Homininés de 3.0 à 1.5 Ma.



- Divergence entre les homininés et les autres grands singes: 4 à 8 Millions d'années, en Afrique de l'est (vallée du Rift)

La taille du cerveau chez les primates est corrélée à la taille du groupe social dans lequel ils vivent



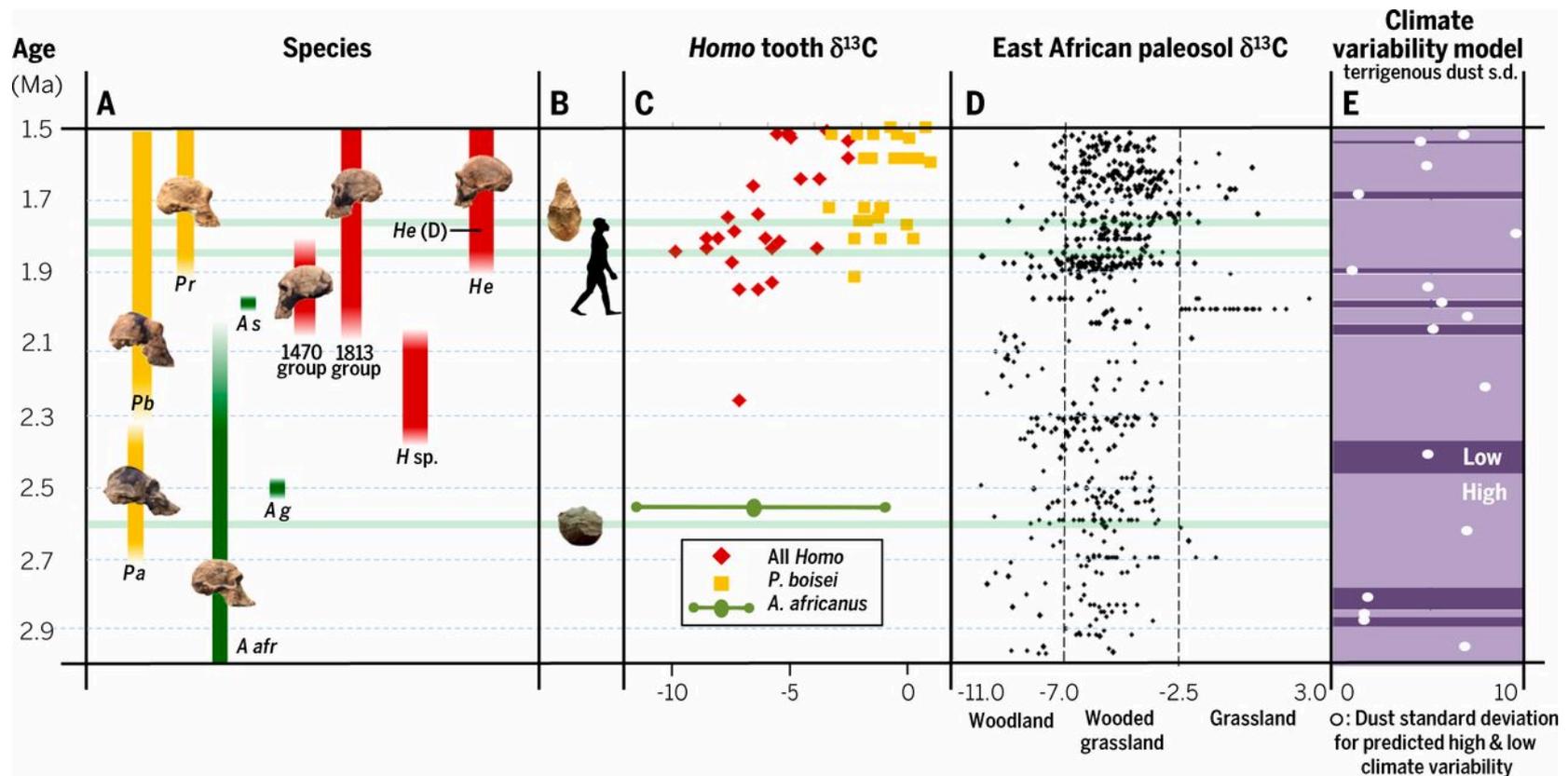
From Dunbar, 1996

Paramètres de la vie des hominins

Espèces	Durée de vie	Age de la 1 ^{ère} naissance	Durée gestation	Age du sevrage	Durée entre naissances	Age dernière naissance	Masse corporelle
Orang outan	58,7	15,6	260	7	8,05	<41	37,8
Gorille	54	10	255	4,1	4,4	<42	95,2
Bonobo	50	14,2	244		6,25		33,35
Chimpanzée	53,4	13,3	225	4,5	5,46	42	35,41
Homme moderne	85	19,5	270	2,8	3,69	45	45,5

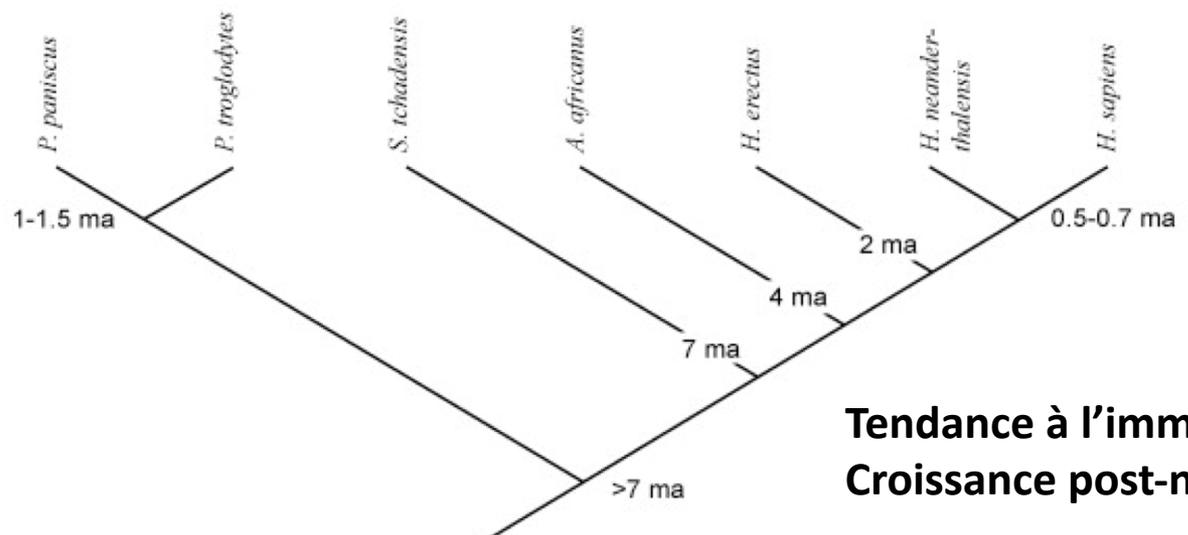
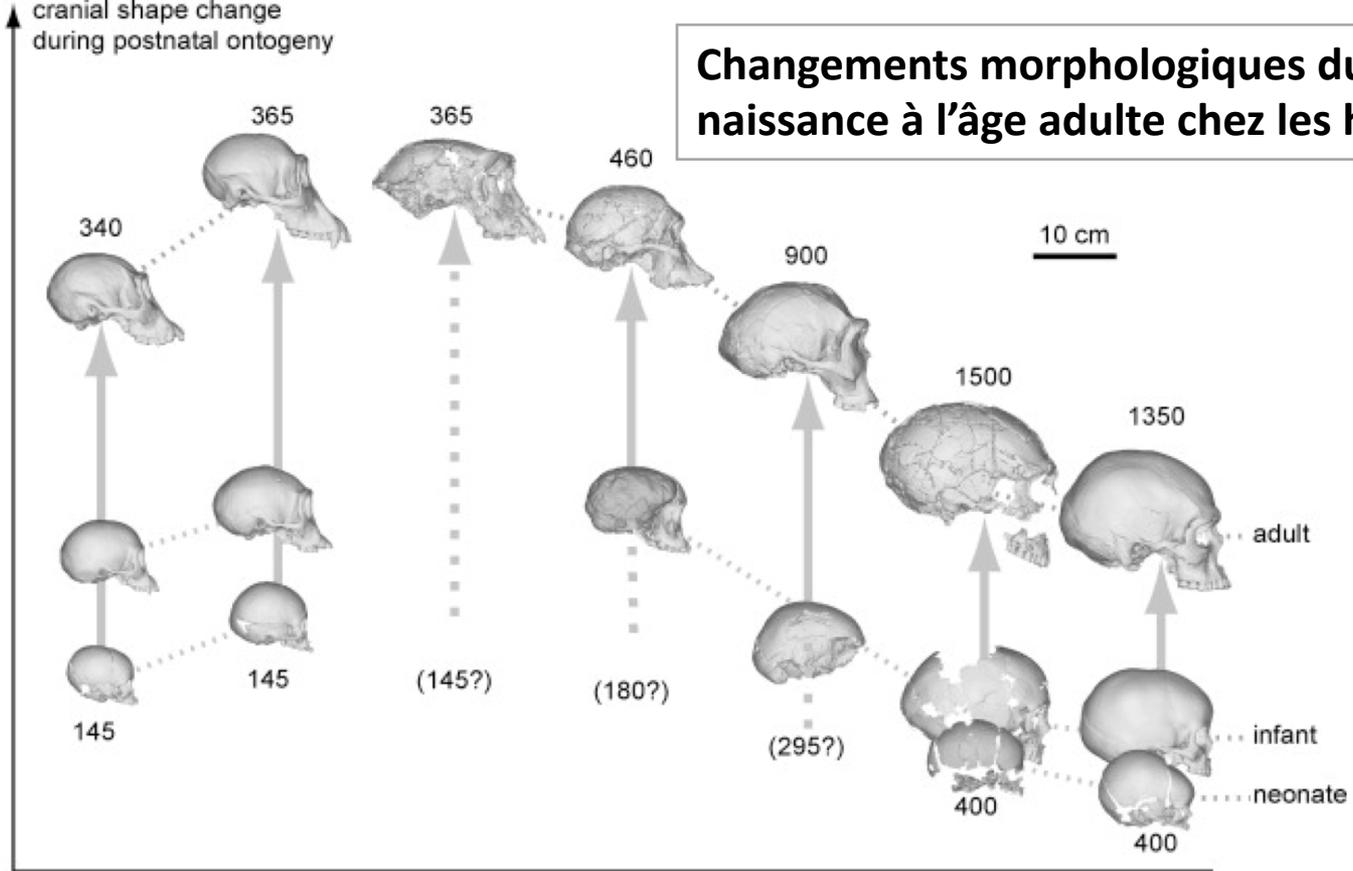
- Ces espèces ont une vie « ralentie » et « retardée » par rapport à beaucoup de mammifères, ce qui est fortement accentué dans l'espèce humaine.
- L'espèce humaine a une fréquence de reproduction plus élevée que les autres hominines, et un sevrage précoce, rendu possible par un accès plus régulier à la nourriture.

Evolution des Homininés, de leur alimentation, de l'environnement végétal, et du climat de 3.0 to 1.5 Ma.



- Tendence à la l'augmentation de taille du corps et du crâne avec une grande variabilité (flexibilité adaptative)
- Diminution de la mortalité tardive
- Signes d'une alimentation abondante et diversifiée avec une coopération sociale pour aider à la maternité et à une fréquence de reproduction plus élevée

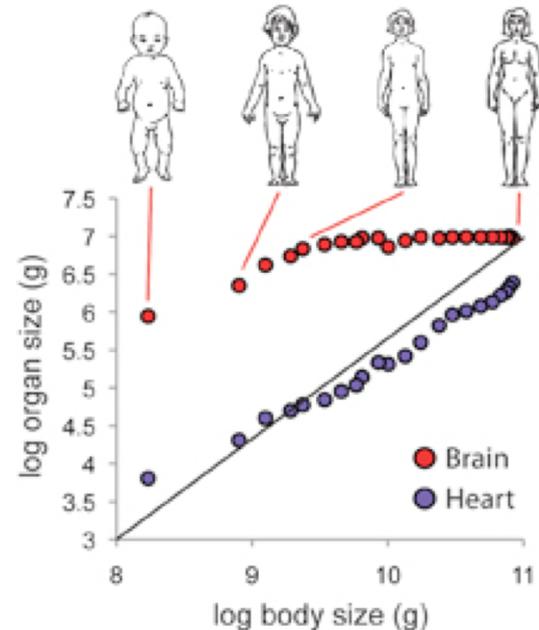
Changements morphologiques du crâne de la naissance à l'âge adulte chez les hominidés



Tendance à l'immatunité prolongée
Croissance post-natale longue

Le cœur et le cerveau croissent à des vitesses différentes par rapport à la masse corporelle

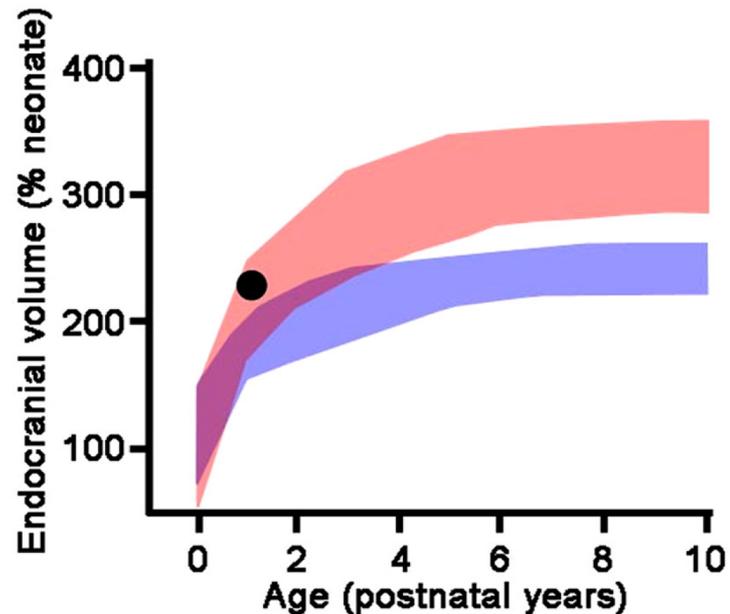
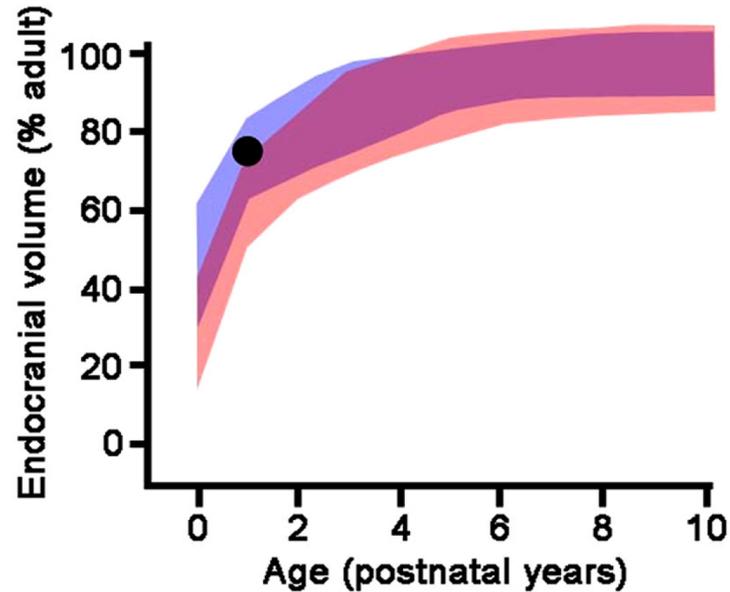
- La croissance du cœur est isométrique à celle de la masse corporelle (coefficient allométrique 0,98)
- Pour le cerveau, la croissance qui est initialement hypoallométrique à celle de la masse corporelle (coefficient allométrique 0,73), s'arrête quand le corps atteint une certaine taille, à peu près vers 6-7 ans. De fait la proportion de la tête devient de plus en plus petite au fur et à mesure que le corps grandit.



Quelle contrainte réduit la croissance du cerveau?

Croissance relative du volume cérébral chez les chimpanzés et dans l'espèce humaine

- Le cerveau croît à une vitesse et un décours temporel semblable chez le chimpanzé et l'homme
- Mais la croissance post-natale est plus longue chez l'homme que chez le chimpanzé.



« Altriciaux »: nombreux petits à la naissance après une gestation relativement de courte durée). Les masses corporelle et encéphalique sont relativement réduites et associées à un faible développement moteur. L'encéphale adulte est relativement réduit (insectivores ...)

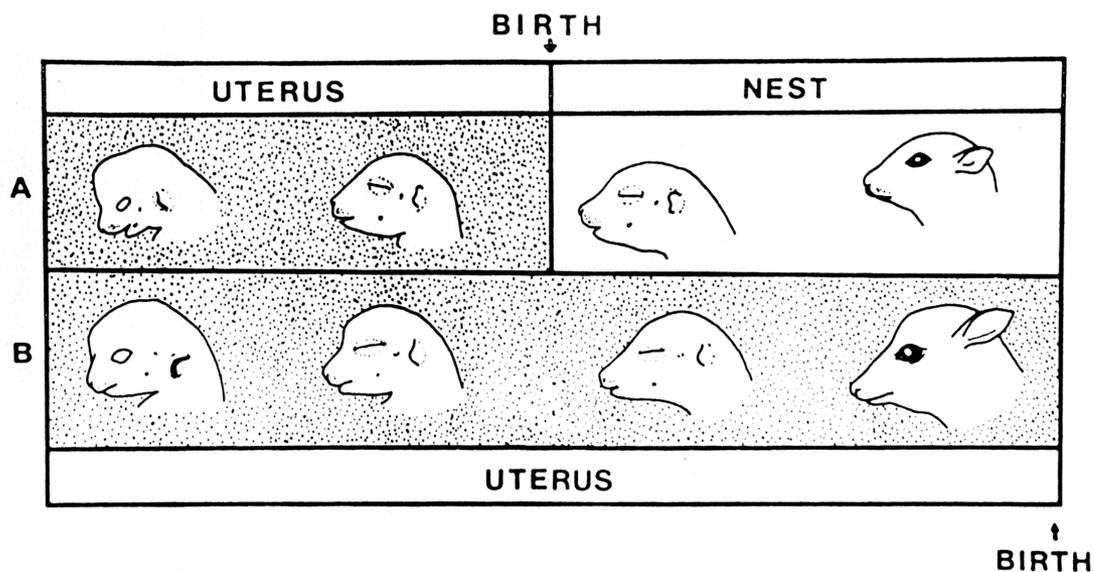
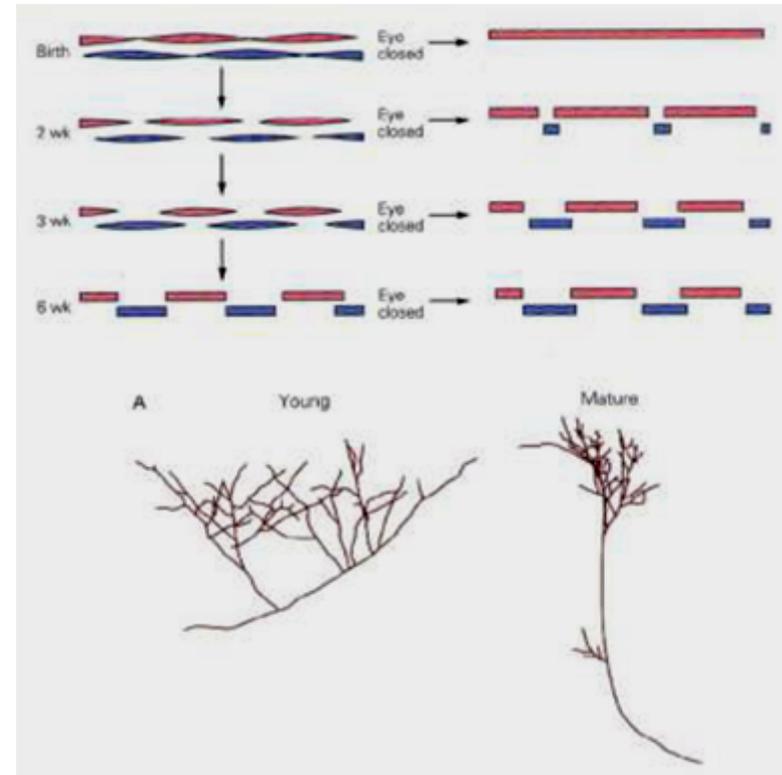
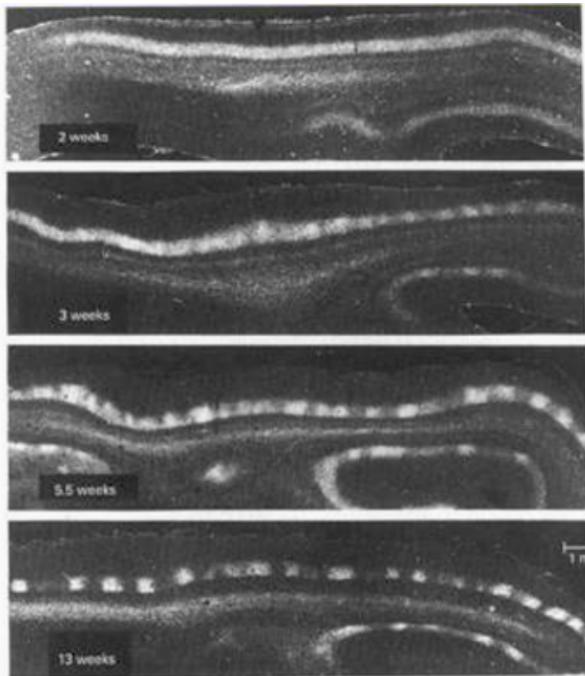


FIG. 5. Contrast between altricial mammals (A) and precocial mammals (B), adapted from Portmann (1962). The gestation period (indicated by stippling) is markedly longer, relative to body size, in precocial mammals compared to altricial species.

« Precociaux »: Petits peu nombreux, longue gestation, organes des sens fonctionnels à la naissance. Cerveau relativement plus gros à la naissance et chez l'adulte (Cétacés, primates,...)

Les fibres nerveuses d'origine visuelle subissent un ré-arrangement plastique après l'ouverture des yeux à la naissance. Ce raffinement des connexions par élimination de celles qui ne servent pas, qui aboutit à augmenter la capacité de discrimination des images



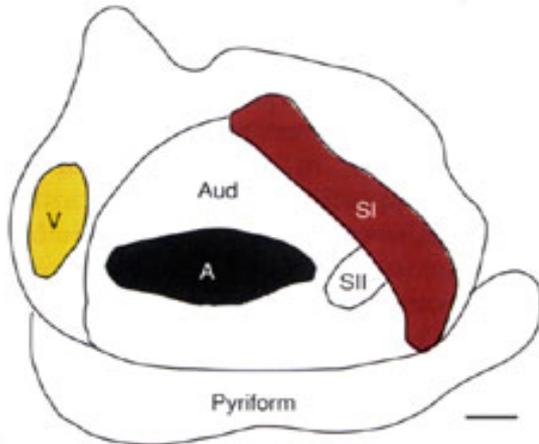
Développement des colonnes de dominance oculaire. Les colonnes sont détectées par marquage transneuronal.

Perception et représentations corticales

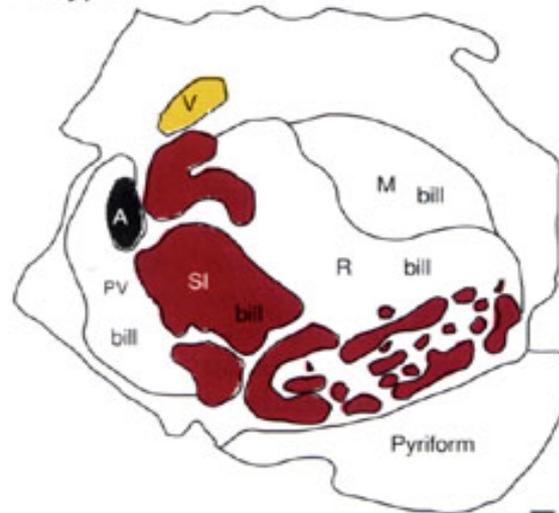
Chez les mammifères :

Parcellisation et duplications des aires sensorielles corticales

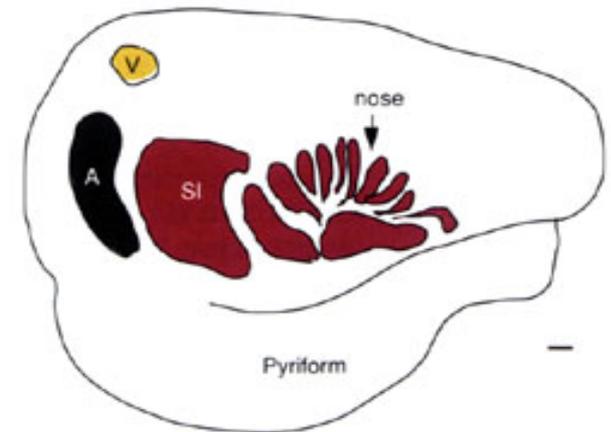
Ghost bat



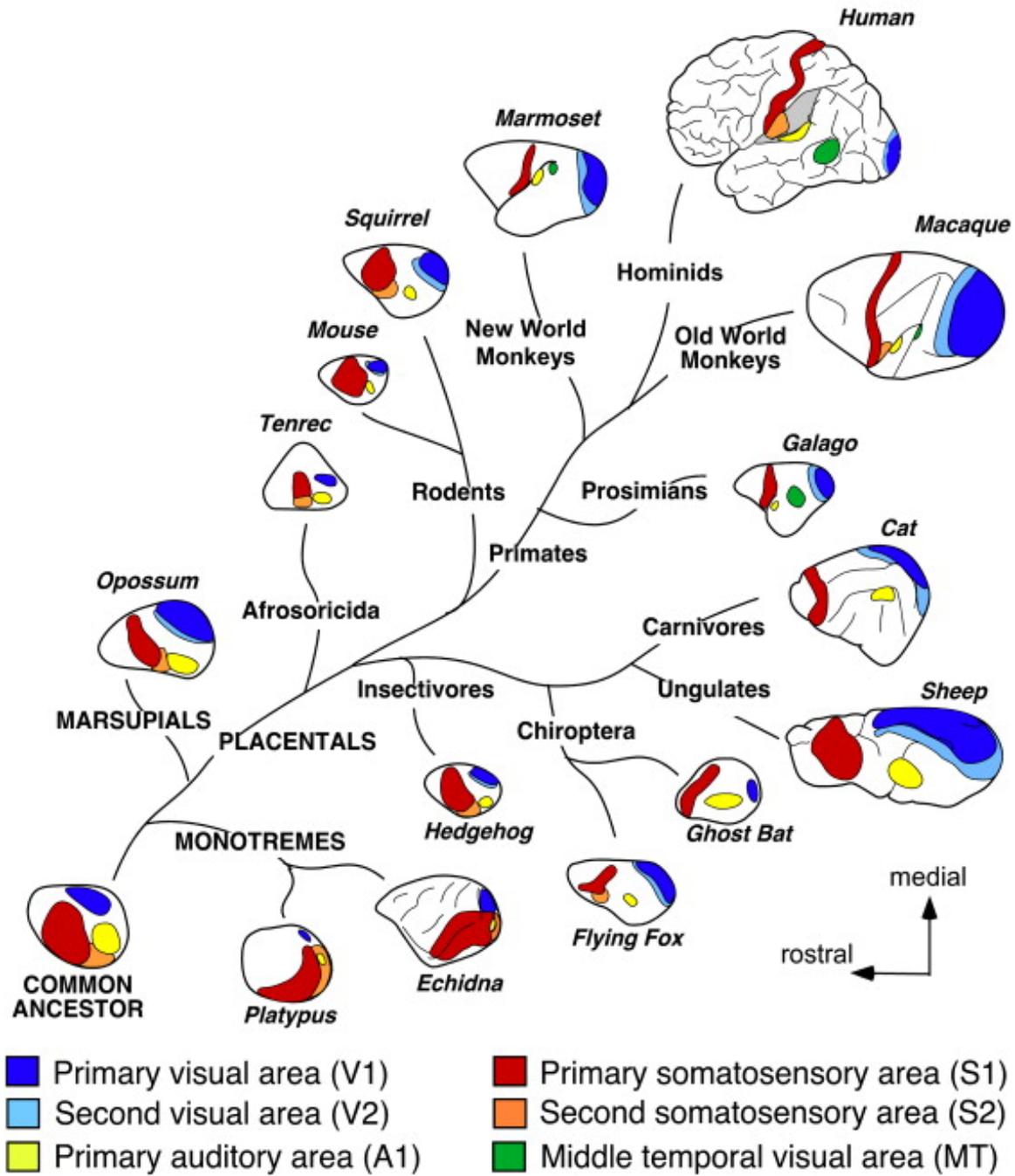
Platypus



Star-nosed mole



Variabilité de la taille relatives des aires sensorielles dans le cortex des mammifères



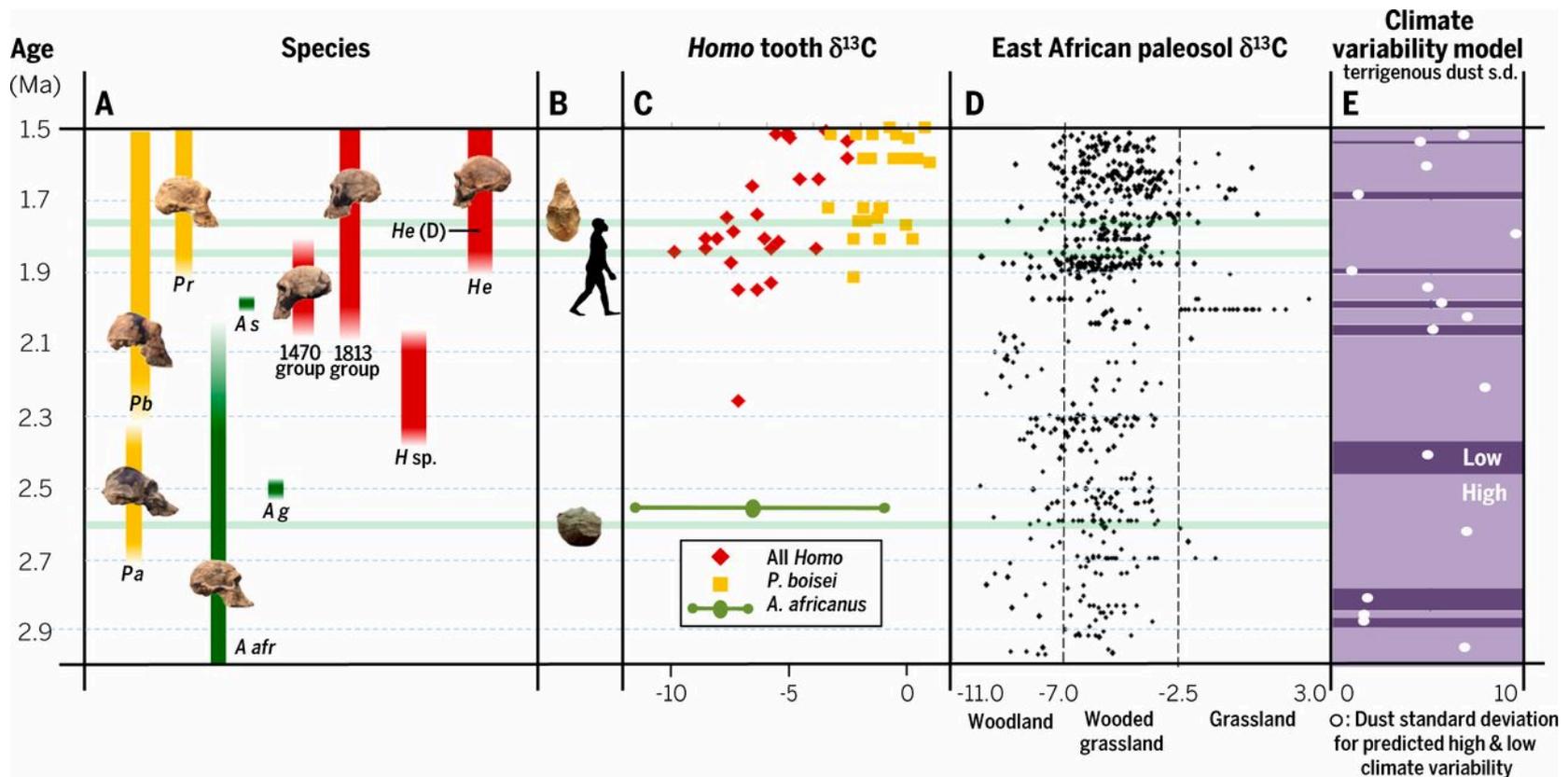
Divergences du cortex cérébral humain par rapport à celui des autres primates

- Augmentation du volume des aires cérébrales en générale et antérieures en particulier
- Parcellisation et réorganisation des aires corticales et des régions sous-corticales
- Accroissement des asymétries cérébrales
- Modifications des connexions entre aires (Dehay Kennedy, 2011)

Conclusions des études sur la taille des cerveaux et des régions cérébrales

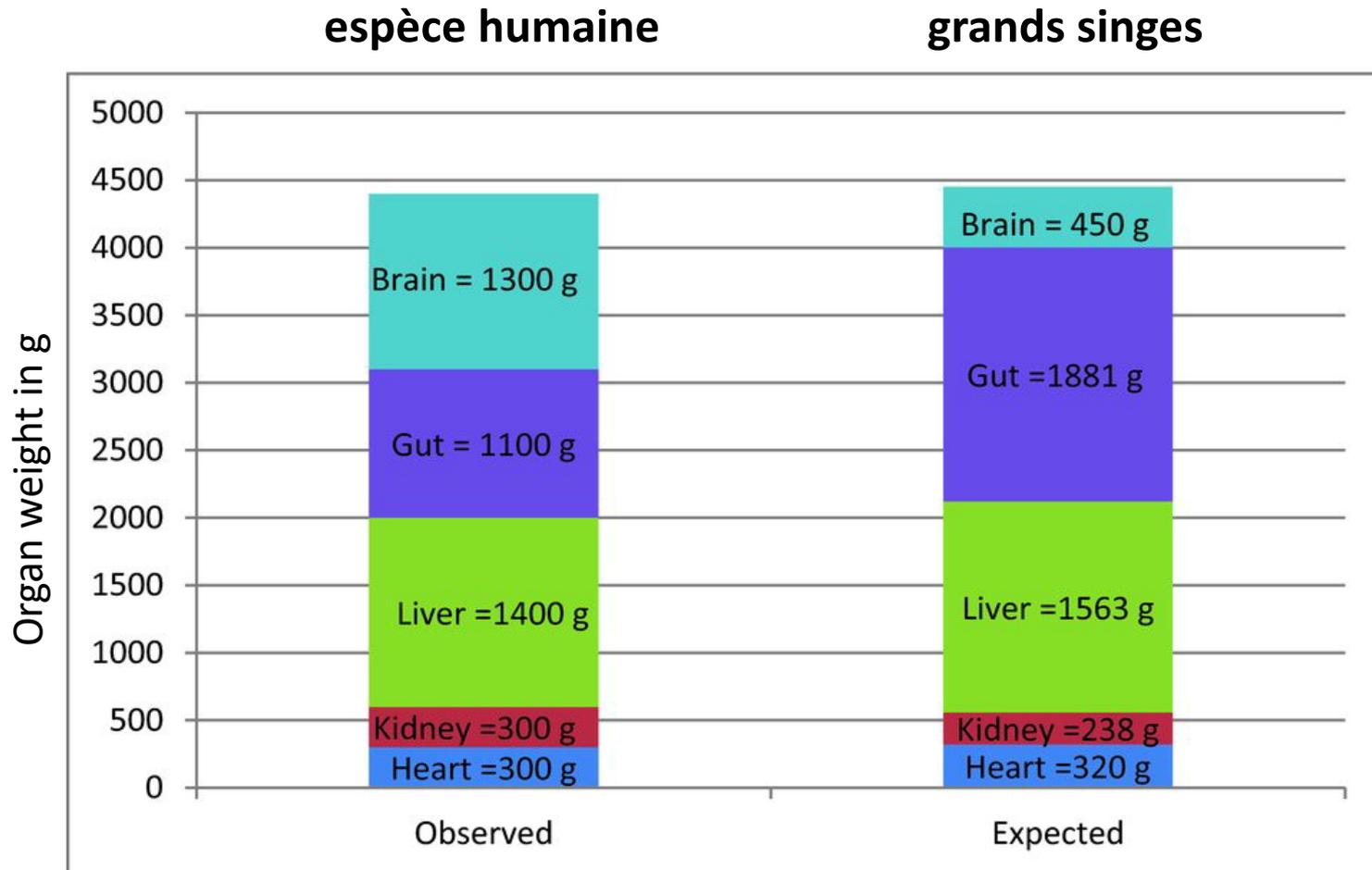
- Les résultats obtenus par différentes approches et à partir d'échantillons différents peuvent, à première vue sembler contradictoires. Pourtant quelques lignes de forces semblent apparaître:
- Le cerveau des vertébrés est construit selon un même plan d'organisation (phylotype...)
- Il semble raisonnable de proposer que les mammifères ont un plan général et un mode de contrôle de la morphogénèse qui leur est propre et commun. Ceci est sans doute vrai aussi pour les principaux groupes de vertébrés.
- Ce mode de contrôle est modifié principalement dans les régions antérieures du cerveau, ce qui permet une croissance différentielle significative d'une espèce à l'autre.
- Les variations de taille d'une structure sont fonctions du degré d'utilisation et de son rôle dans le comportement (social) des espèces considérées.

Evolution des Homininés, de leur alimentation, de l'environnement végétal, et du climat de 3.0 à 1.5 Ma.



- Diversification de l'alimentation végétale et carnée
- Utilisation d'outils de chasse et de récolte végétale (racines et tubercules par ex.)
- Dans un contexte d'instabilité environnementale qui a nécessité une adaptabilité à l'alimentation et favorisé la socialisation

La croissance du cerveau: une compétition avec l'intestin?



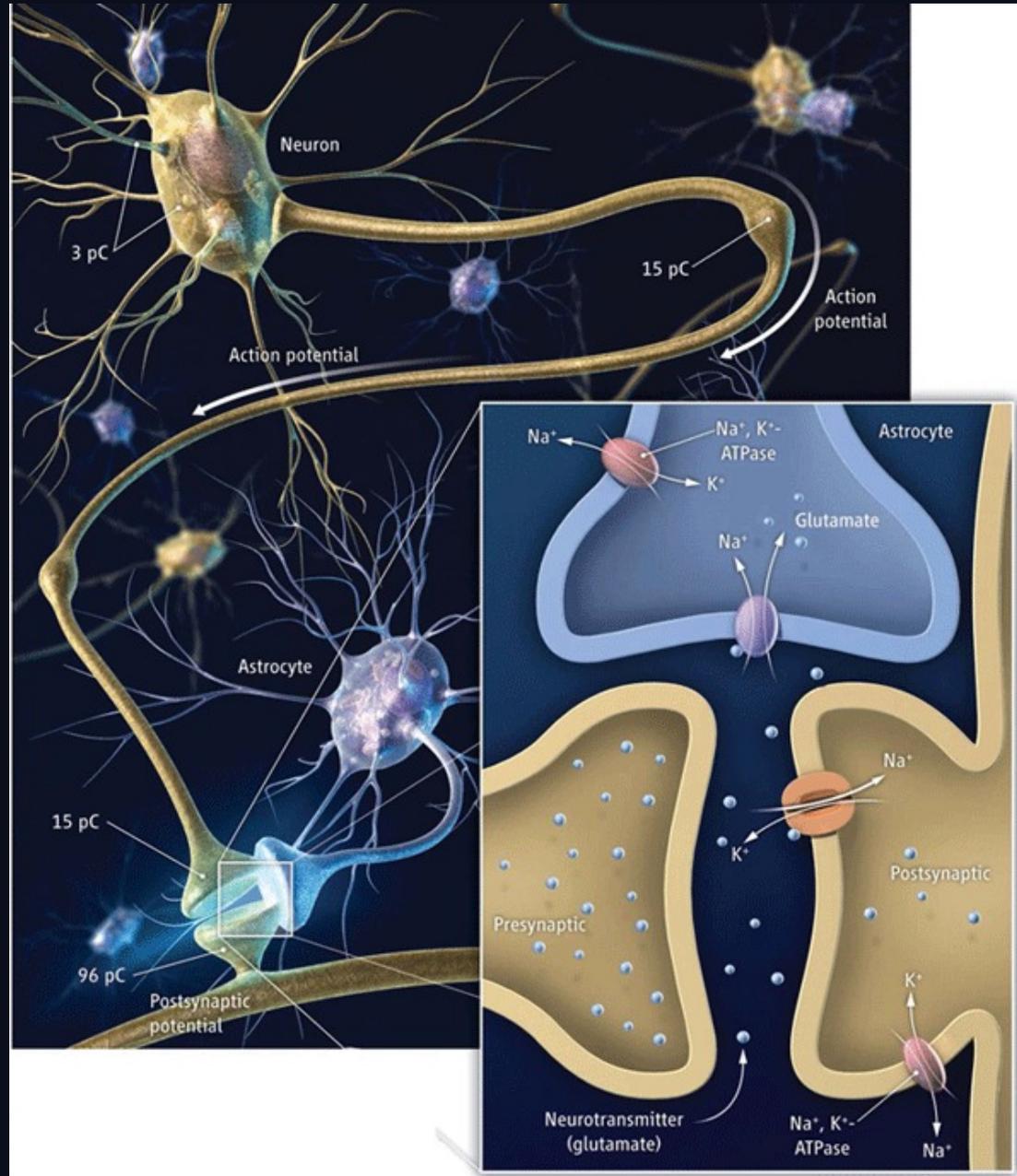
« *Expensive tissue hypothesis* » (Aiello et Wheeler, 1995)

Energétique cérébrale.

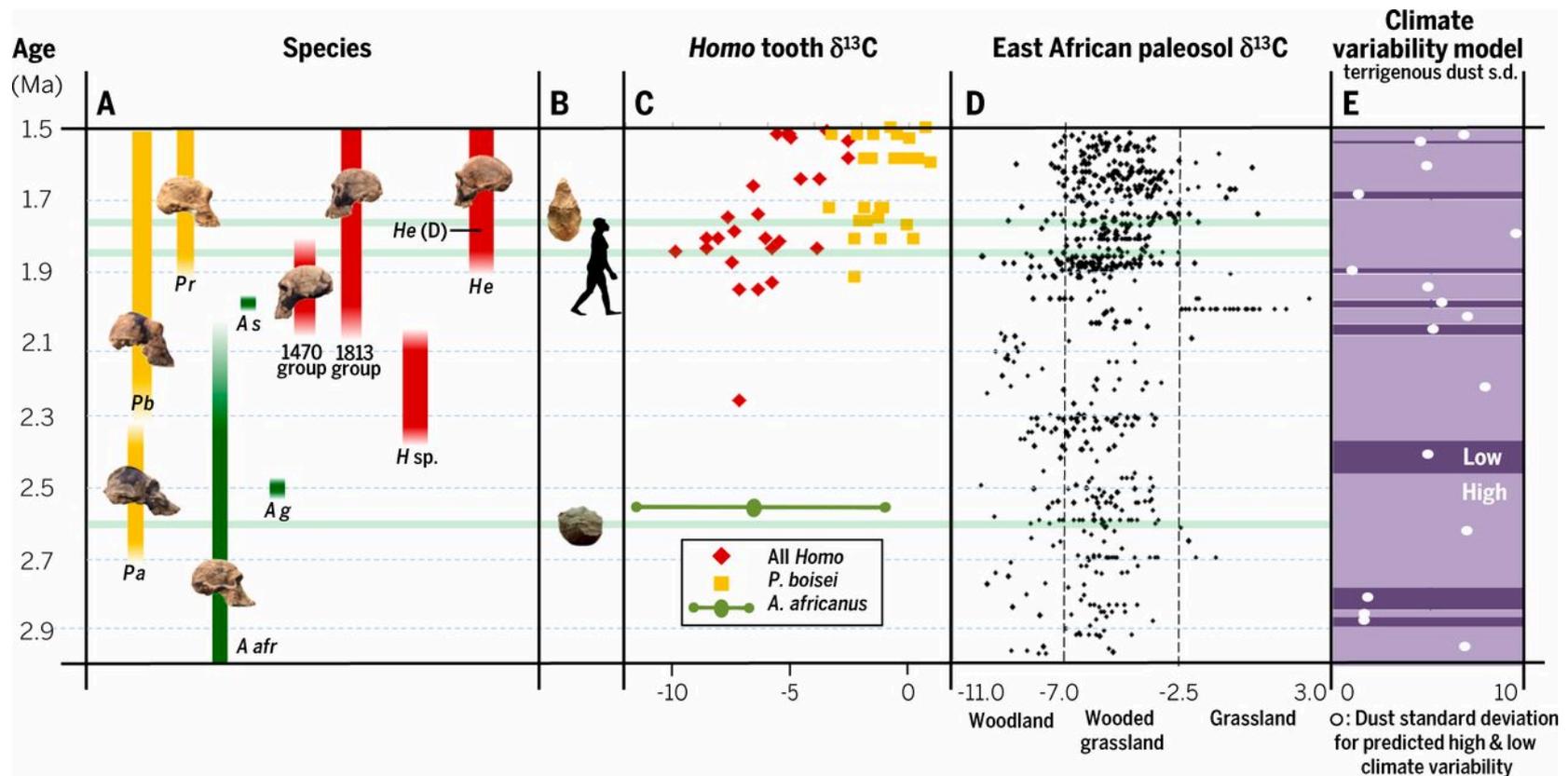
Cerveau =

- 2% poids du corps

- 20% de la consommation d'énergie

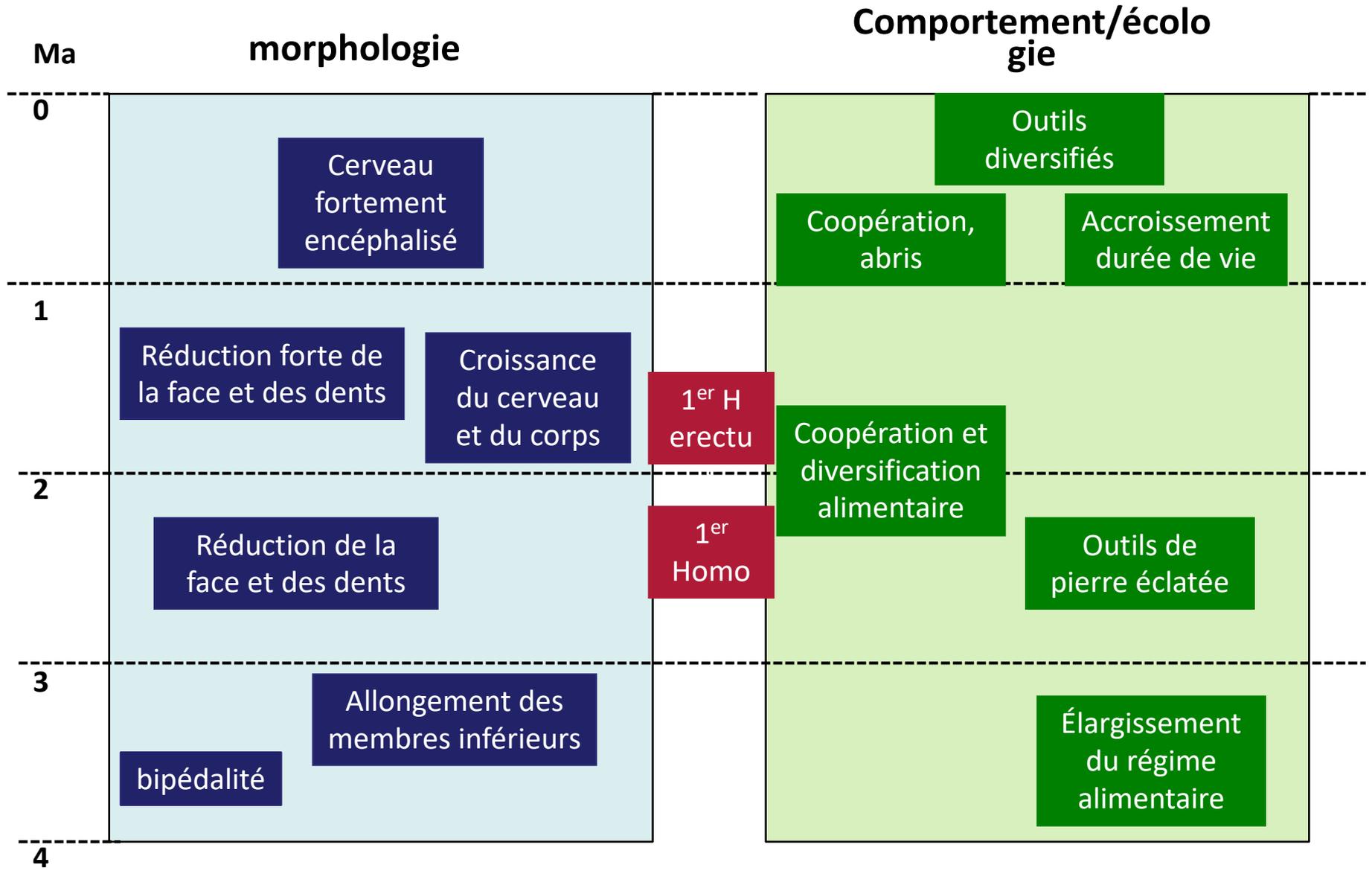


Evolution des Homininés, de leur alimentation, de l'environnement végétal, et du climat de 3.0 to 1.5 Ma.

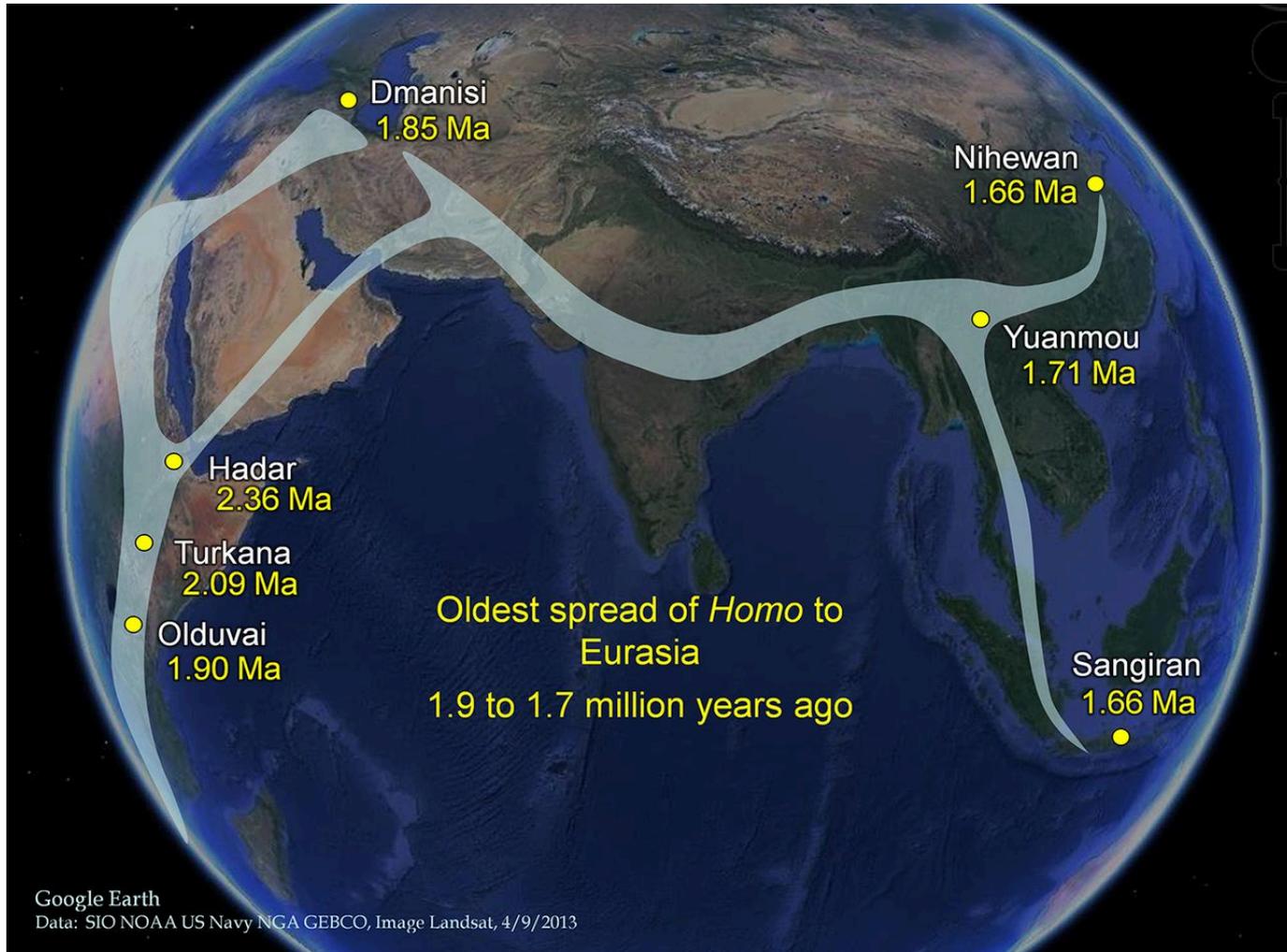


- Augmentation de la taille du cerveau (amélioration de l'alimentation en énergie du cerveau)
- Accompagnant la locomotion bipède, l'alimentation carnée (petit intestin) et une croissance lente de la taille du corps
- Etablissement d'une plasticité phénotypique (plutôt que changement génétique) pour mieux répondre à la variabilité environnementale, construction de niche spécifique

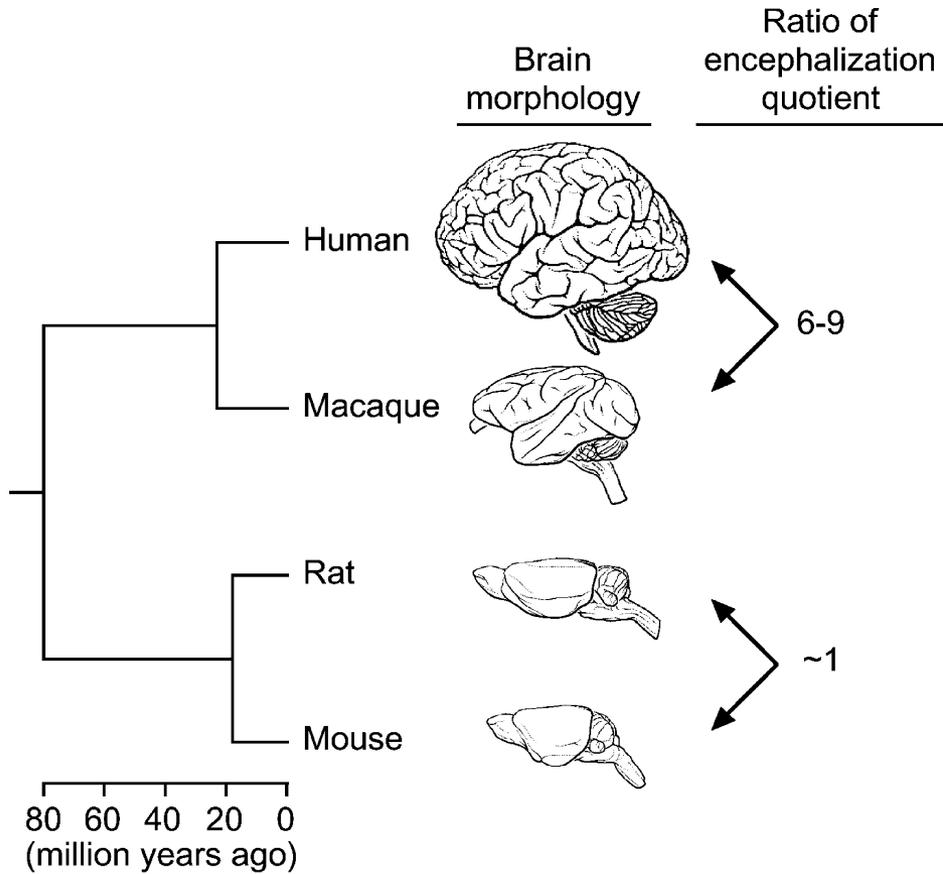
Evolution des principales caractéristiques qui conduisent à Homo sapiens



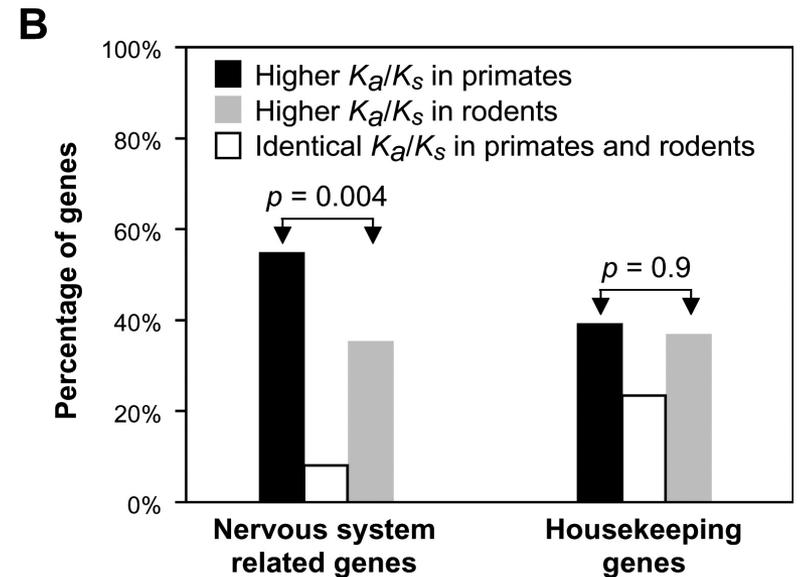
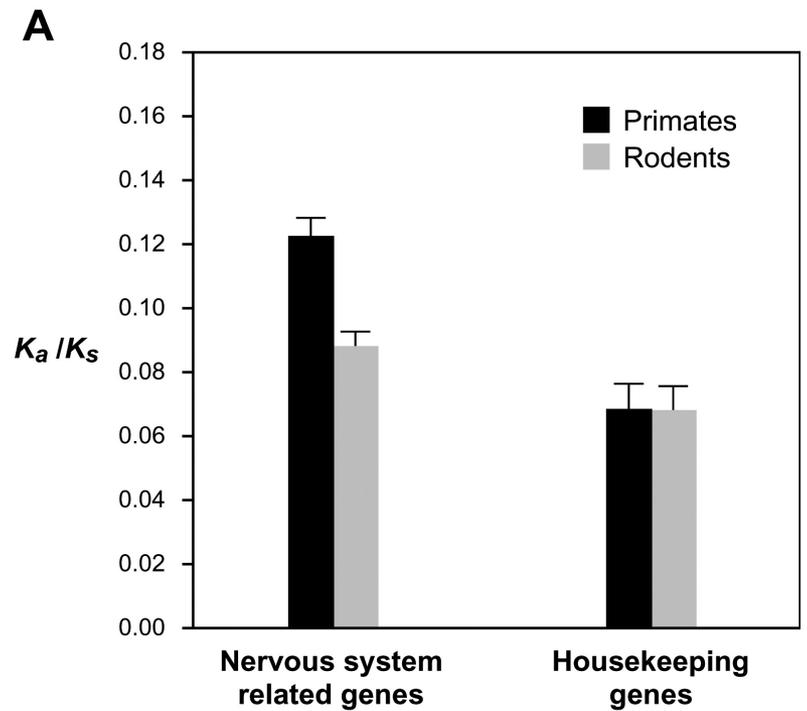
Principaux sites de première apparition du genre Homo lors de sa dispersion hors de l'Afrique.

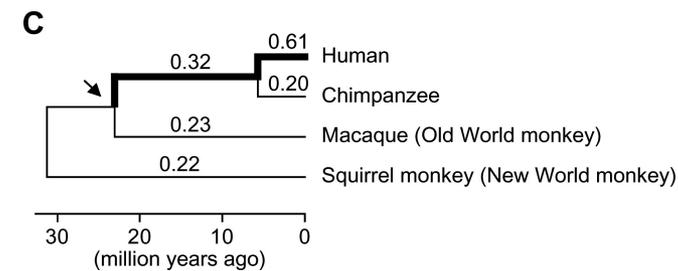
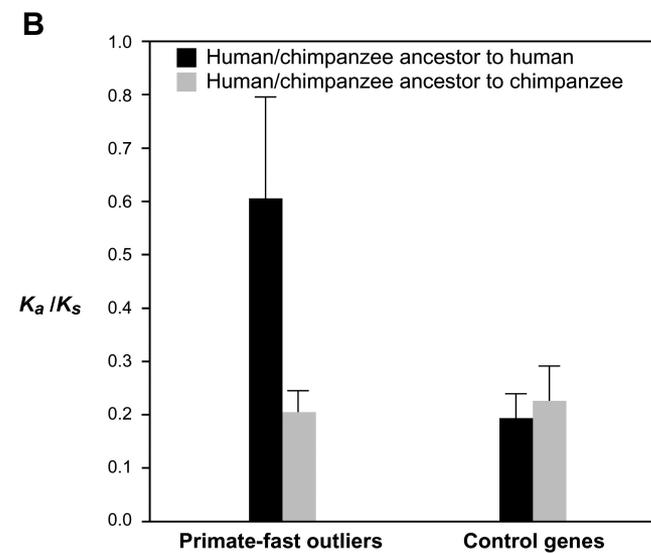
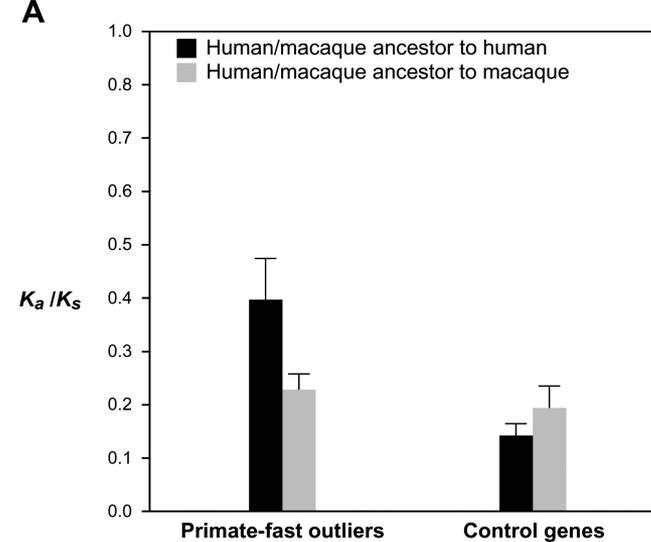
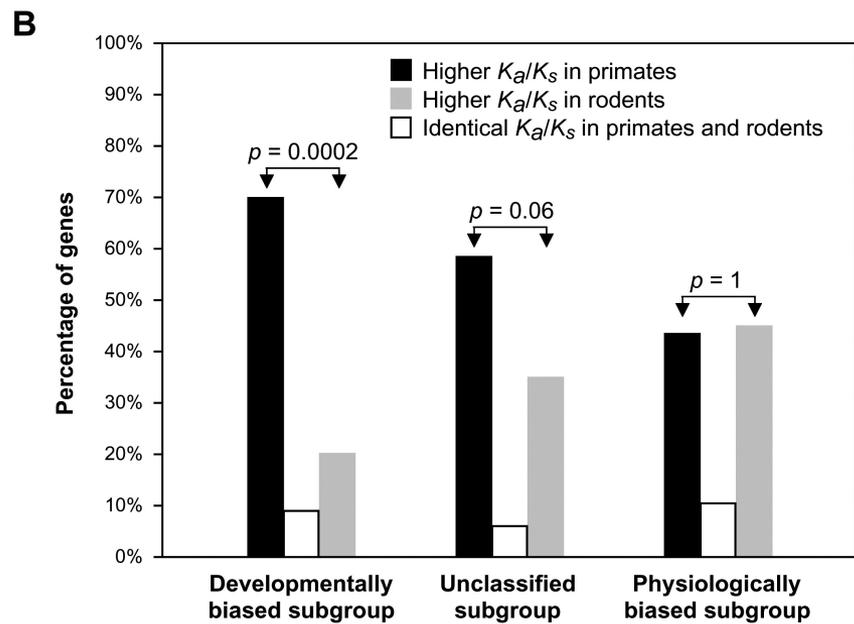
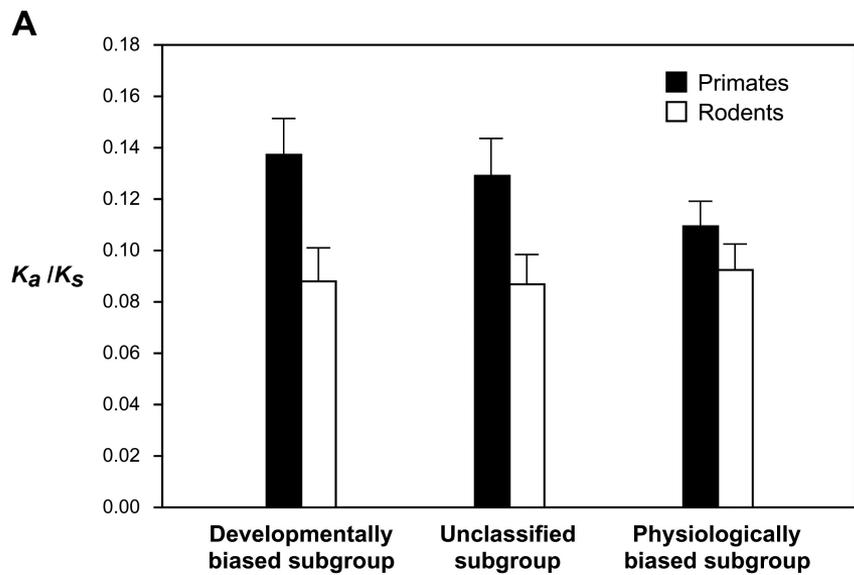


Divergence accélérée des gènes exprimés dans le système nerveux chez l'Homme



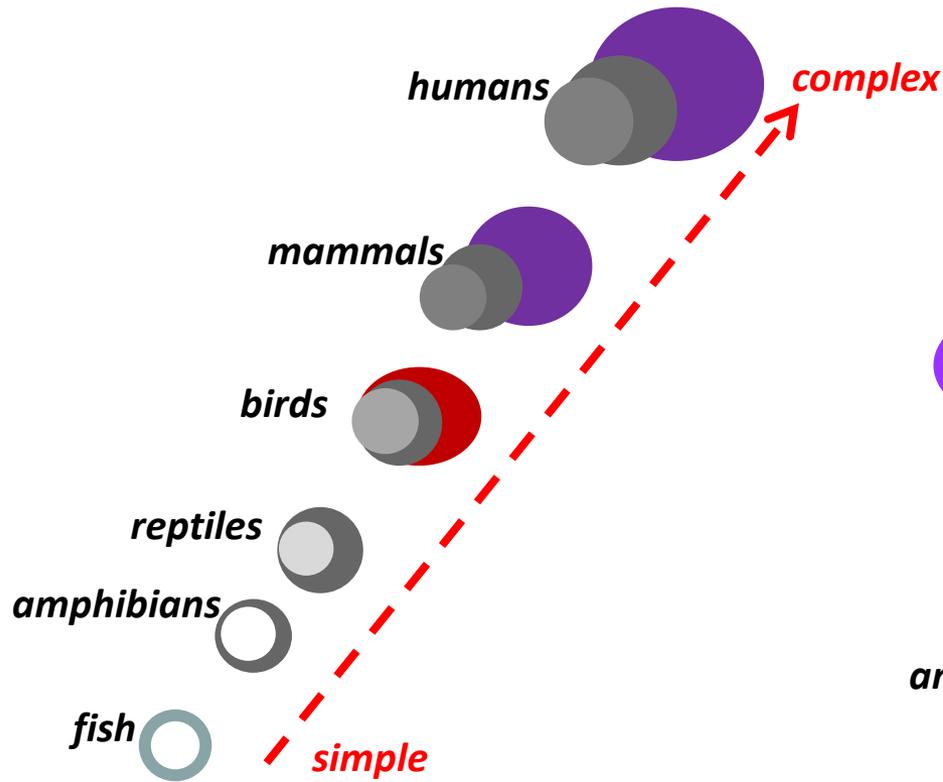
Dorus et al. 2004, Cell, Vol. 119, 1027-1040,





Evolution des idées sur l'évolution du cerveau

Scala Naturæ



Evolution par transmission et divergence

