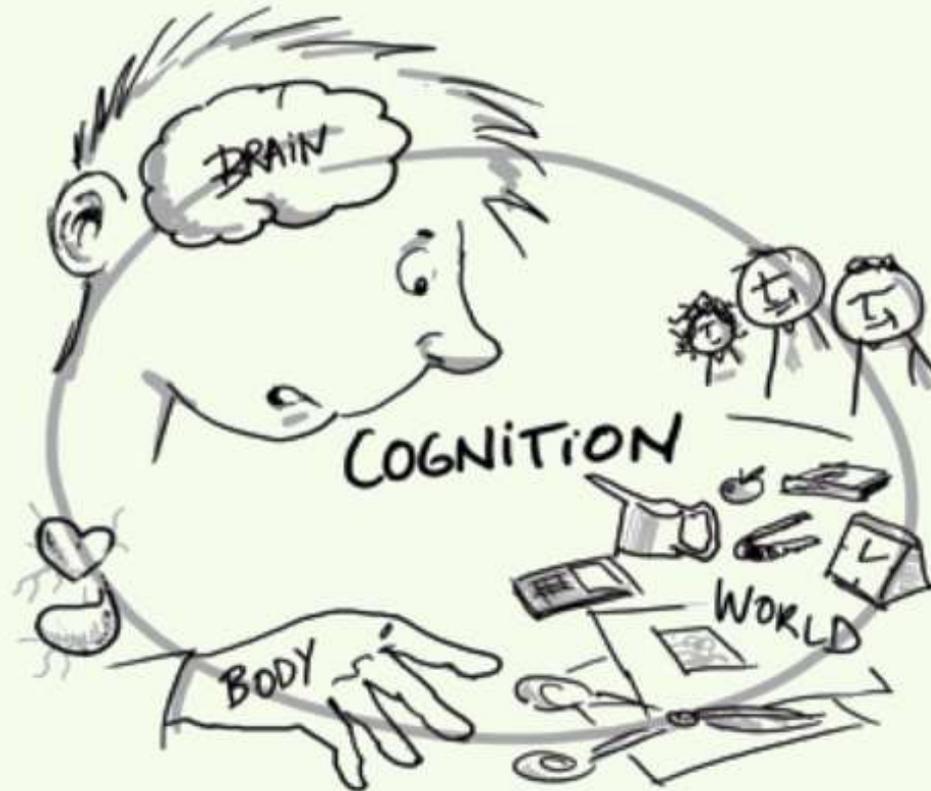


# L'apport des sciences cognitives... à tous les niveaux !

UTA Chambly

Hiver 2020

par Bruno Dubuc



# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Un site web interactif sur le cerveau et les comportements humains

- 📍 Visite guidée
- 📍 Plan du site
- 📍 Diffusion
- 📍 Présentations
- 📍 Nouveautés
- 📍 English

## Principes fondamentaux



### Du simple au complexe

- Anatomie des niveaux d'organisation
- Fonction des niveaux d'organisation



### Le bricolage de l'évolution

- Notre héritage évolutif

### Le développement de nos facultés

- De l'embryon à la morale



### Le plaisir et la douleur

- La quête du plaisir
- Les paradis artificiels
- L'évitement de la douleur



### Les détecteurs sensoriels

- La vision



### Le corps en mouvement

- Produire un mouvement volontaire

## Fonctions complexes



### Au coeur de la mémoire

- Les traces de l'apprentissage
- Oubli et amnésie



### Que d'émotions

- Peur, anxiété et angoisse



### De la pensée au langage

- Communiquer avec des mots



### Dormir, rêver...

- Le cycle éveil - sommeil - rêve
- Nos horloges biologiques



### L'émergence de la conscience

- Le sentiment d'être soi

## Dysfonctions



### Les troubles de l'esprit

- Dépression et maniaque-dépression
- Les troubles anxieux
- La démence de type Alzheimer

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Chercher dans le blogue

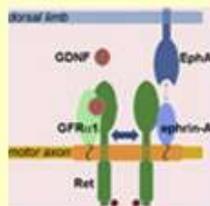
Envoyer

Catégories

- Au coeur de la mémoire
- De la pensée au langage

Lundi, 13 février 2012

### Des protéines qui guident le câblage cérébral



Le cerveau humain contient des millions de fois plus de connexions entre ses neurones que les quelque 20 000 ou 25 000 gènes contenus dans l'ADN de nos cellules. Et pourtant, durant le développement de notre cerveau, les extrémités des axones de nos neurones en développement ressemblent à de véritables « têtes chercheuses » qui réussissent à trouver leur cible spécifique à travers la soupe moléculaire complexe que constitue le milieu extracellulaire.

## Instituts de recherche en santé du Canada

Le cerveau à tous les niveaux est financé par l'Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies (INSMT), l'un des 13 instituts de recherche en santé du Canada (IRSC).

L'INSMT appuie la recherche dans différents domaines afin de réduire l'incidence des maladies du cerveau. L'INSMT fait ainsi progresser notre compréhension

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

[Retour à l'accueil](#)

## Niveau d'explication

Débutant  
Intermédiaire  
Avancé

◀ □ ▶



## Niveau d'organisation

- △ Social
- Psychologique
- Cérébral
- Cellulaire
- ▽ Moléculaire

### Thème

#### Le plaisir et la douleur



### Sous-thème

- La quête du plaisir
- Les paradis artificiels
- L'évitement de la douleur

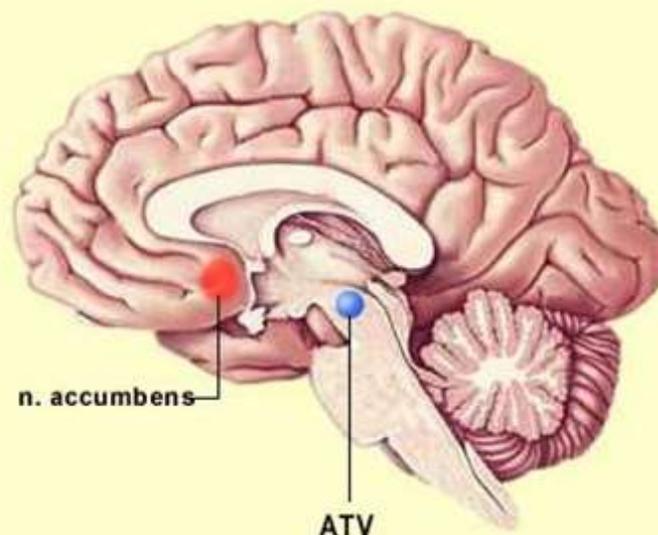


Un stimulus sensoriel qui n'apporte ni récompense ni punition est rapidement ignoré et oublié. C'est le phénomène de l'habituation qui nous fait oublier le contact de nos vêtements avec notre peau ou le tic tac de l'horloge du bureau.

## LES CENTRES DU PLAISIR

1

Pour qu'une espèce survive, ses individus doivent en premier lieu assurer leurs fonctions vitales comme se nourrir, réagir à l'agression et se reproduire. L'évolution a donc mis en place dans notre cerveau des régions dont le rôle est de "récompenser" l'exécution de ces fonctions vitales par une sensation agréable.



Ce sont ces régions, interconnectées entre elles, qui forment ce que l'on appelle le **circuit de la récompense**.

**L'aire tegmentale ventrale (ATV)**, un groupe de neurones situés en plein centre du cerveau, est particulièrement importante dans ce circuit. Elle reçoit de l'information de plusieurs autres régions qui l'informent du niveau de satisfaction des besoins fondamentaux ou plus spécifiquement humains.

# 3 niveaux d'explication

**Niveau d'explication**

**Débutant**

**Intermédiaire**

**Avancé**

◀ ◻ ▶



**LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!**

Thème: **LE CERVEAU** / Niveau: **100%**

**LES FONCTIONS DU CERVEAU**

Le cerveau est le centre de commande de tout l'organisme. Il reçoit et traite l'information provenant des sens et commande les muscles et les glandes.

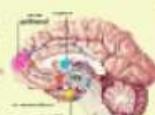


**LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!**

Thème: **LE CERVEAU** / Niveau: **100%**

**LES FONCTIONS DU CERVEAU**

Le cerveau est le centre de commande de tout l'organisme. Il reçoit et traite l'information provenant des sens et commande les muscles et les glandes.



**LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!**

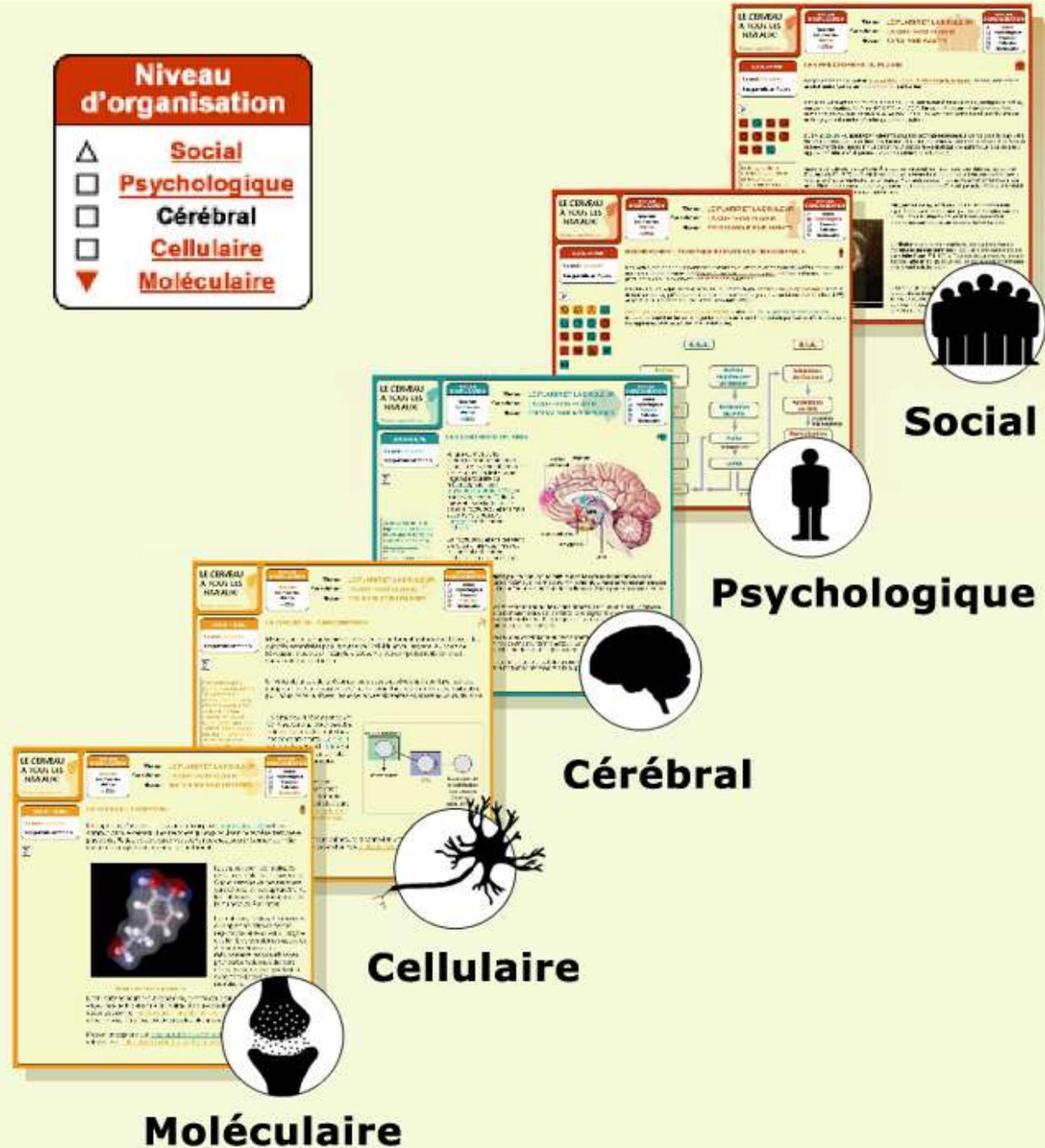
Thème: **LE CERVEAU** / Niveau: **100%**

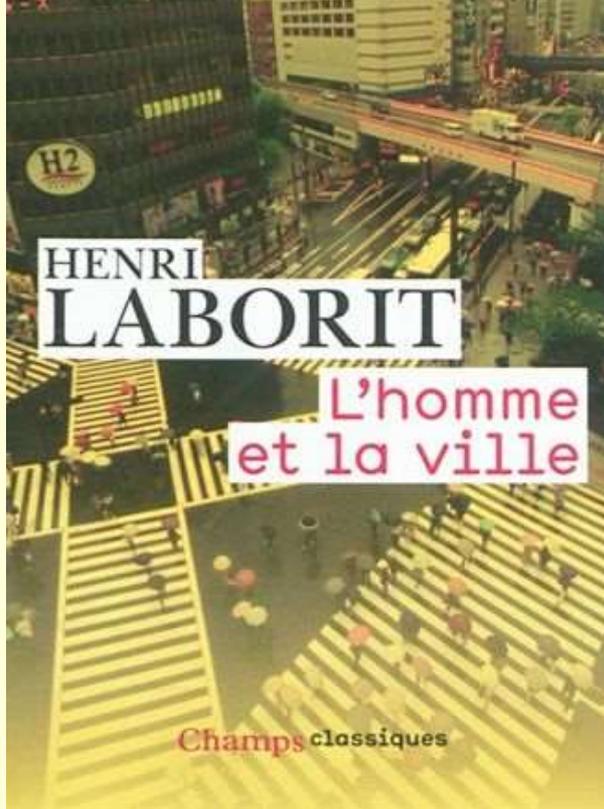
**LES FONCTIONS DU CERVEAU**

Le cerveau est le centre de commande de tout l'organisme. Il reçoit et traite l'information provenant des sens et commande les muscles et les glandes.



# 5 niveaux d'organisation





LES DÉBROUILLARDS  
DRÔLEMENT SCIENTIFIQUE !

QUÉBEC SCIENCE

Institut de recherche en santé du Canada

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Retour à l'accueil

Niveau d'explication

Débutant  
Intermédiaire  
Avancé

◀ □ ▶



ISC8000 -  
Séminaire d'introduction  
aux sciences cognitives :  
éléments et méthodologie



Cet hiver, le séminaire interdisciplinaire portera sur les Grands débats actuels en sciences cognitives. Il sera question des concepts, thèses et méthodes qui suscitent de vifs débats encore aujourd'hui comme la notion de modularité, la

# DES COURS DONNÉS DANS **GRATUITS** les BARS et les CAFÉS

**Révolution féministe**  
De la chambre à coucher, à l'économie de marché

**Plein gaz sur le schiste**

**Introduction à l'écologie sonore**

**L'éthique dans l'assiette**

**Parlons cerveau**

**La Mort se raconte**

neurons univers mécanique quantique  
Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur...  
**Les trois infinis : le petit, le grand et le complexe**

Les séances, présentées par Bruno Dubuc, ont lieu au bar Les Pas Sages, 951, rue Rachel Est, les lundis suivants à 19 h :

**11 mai** L'infinitement complexe : le labyrinthe de nos réseaux cérébraux  
Tous les détails au [www.upopmontreal.com](http://www.upopmontreal.com)





UNIVERSITÉ DE  
SHERBROOKE

| *Voir au futur*

Accueil / Université du troisième âge

# Université du troisième âge

Accueil

Programmes

Bénévolat

UTA en bref

L'UTA et vous...

Étudiants

Professeurs



# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- Présentations
- Nouveautés
- English

Recherche -> site + blogue

Google™ Recherche |

## Principes fondamentaux



### Du simple au complexe

- Anatomie des niveaux d'organisation
- Fonction des niveaux d'organisation



### Le bricolage de l'évolution

- Notre héritage évolutif



### Le développement de nos facultés

- De l'embryon à la morale



### Le plaisir et la douleur

- La quête du plaisir
- Les paradis artificiels
- L'évitement de la douleur



### Les détecteurs sensoriels

- La vision



### Le corps en mouvement

- Produire un mouvement volontaire

Nouveau! "L'école des profs"

## Fonctions complexes



### Au coeur de la mémoire

- Les traces de l'apprentissage
- Oubli et amnésie



### Que d'émotions

- Peur, anxiété et angoisse
- Désir, amour, attachement



### De la pensée au langage

- Communiquer avec des mots



### Dormir, rêver...

- Le cycle éveil - sommeil - rêve
- Nos horloges biologiques



### L'émergence de la conscience

- Le sentiment d'être soi

## Dysfonctions



### Les troubles de l'esprit

- Dépression et maniaque-dépression
- Les troubles anxieux
- La démence de type Alzheimer

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil du site

### Faire un don

nous permet de continuer

Après nous avoir appuyés pendant plus de dix ans, des resserrements budgétaires ont forcé l'INSMT à interrompre le financement du Cerveau à tous les niveaux le 31 mars 2013.

Malgré tous nos efforts (et malgré la reconnaissance de notre travail par les organismes approchés), nous ne sommes pas parvenus à trouver de nouvelles sources de

Lundi, 5 septembre 2016

### « La cognition incarnée », séance 1 : Survol historique des sciences cognitives et présentation du cours



Comme promis il y a deux semaines, voici donc un bref aperçu du premier cours sur la « cognition incarnée » que je donnerai mercredi à 18h au local A-1745 du pavillon Hubert-Aquin de l'UQAM. Et

Recherche -> blogue

Billets par catégorie

Abonnez-vous!

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- Présentations
- Nouveautés
- English

Recherche -> site + blogue

Google™ Recherche |

## Principes fondamentaux

- Du simple au complexe**
  - Anatomie des niveaux d'organisation
  - Fonction des niveaux d'organisation
- Le bricolage de l'évolution**
  - Notre héritage évolutif
- Le développement de nos facultés**
  - De l'embryon à la morale
- Le plaisir et la douleur**
  - La quête du plaisir
  - Les paradis artificiels
  - L'évitement de la douleur
- Les détecteurs sensoriels**
  - La vision
- Le corps en mouvement**
  - Produire un mouvement volontaire

## Fonctions complexes

- Au coeur de la mémoire**
  - Les traces de l'apprentissage
  - Oubli et amnésie
- Que d'émotions**
  - Peur, anxiété et angoisse
  - Désir, amour, attachement
- De la pensée au langage**
  - Communiquer avec des mots
- Dormir, rêver...**
  - Le cycle éveil - sommeil - rêve
  - Nos horloges biologiques

## Dysfonction

- Les troubles
- Dép
- Les
- La c

Nouveau! "L'école des profs"

# "L'école des profs"

## Cours intensifs de perfectionnement en neurosciences cognitives

(cliquez ici pour les détails)

Fonctions supérieures, libre arbitre et éducation

Vers une cognition incarnée

Des réseaux de neurones qui oscillent de manière dynamique

D'où venons-nous et que faisons-nous ?

Ancienne et nouvelle grammaire de la communication neuronale

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil du site

Recherche -> blogue

Billets par catégorie

Abonnez-vous !

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU

Lundi, 5 septembre 2016

« La cognition incarnée », séance 1 : Survol historique des sciences cognitives et présentation du cours



Comme promis il y a deux semaines, voici donc un bref aperçu du premier cours sur la « cognition incarnée » que je donnerai mercredi à 18h au local A-1745 du pavillon Hubert-Aquin de l'UQAM. Et

Les Power Points de chaque présentation seront mis sur **la page « L'école des profs »** accessible par **la page d'accueil** du Cerveau à tous les niveaux quelques jours après avoir été donnés.

## Deux remarques avant de commencer :

1)

Je ne suis pas médecin. Je ne suis pas professeur. Je ne suis pas spécialiste.

Je suis un « généraliste ».

**« Je suis  
parce que je suis ému  
et parce que tu le sais ! »**

- Jean-Didier Vincent,  
*Biologie des passions* (1986)



2) Les connaissances scientifiques dans un vaste domaine comme les sciences cognitives sont virtuellement infinies (et généralement on ne se plaint pas que mes cours en manquent...)

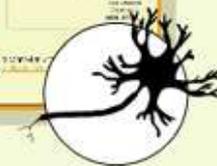
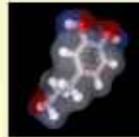
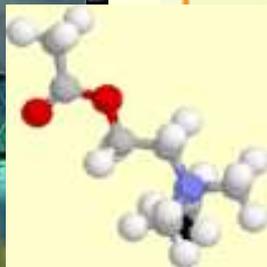
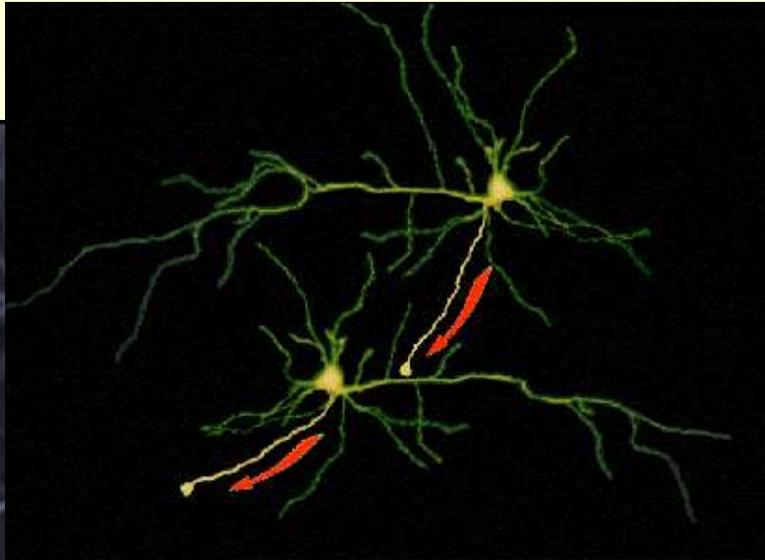
Mais en 8-9h de cours, on ne pourra donner qu'une image bien partielle...

# Plan du cours

- Cours 1:** Évolution et émergence des systèmes nerveux  
Un neurone, deux neurones : la communication neuronale
- Cours 2:** Des milliers et des millions de neurones :  
Nos mémoires et leurs structures cérébrales associées
- Cours 3 :** Nos réseaux de milliards de neurones et leur activité dynamique :  
l'exemple de l'éveil, du sommeil et du rêve
- Cours 4:** Les « fonctions supérieures » : prise de décision, concept,  
analogie, attention, conscience, etc.

# Cours 1: Évolution et émergence des systèmes nerveux

## Un neurone, deux neurones : la communication neuronale



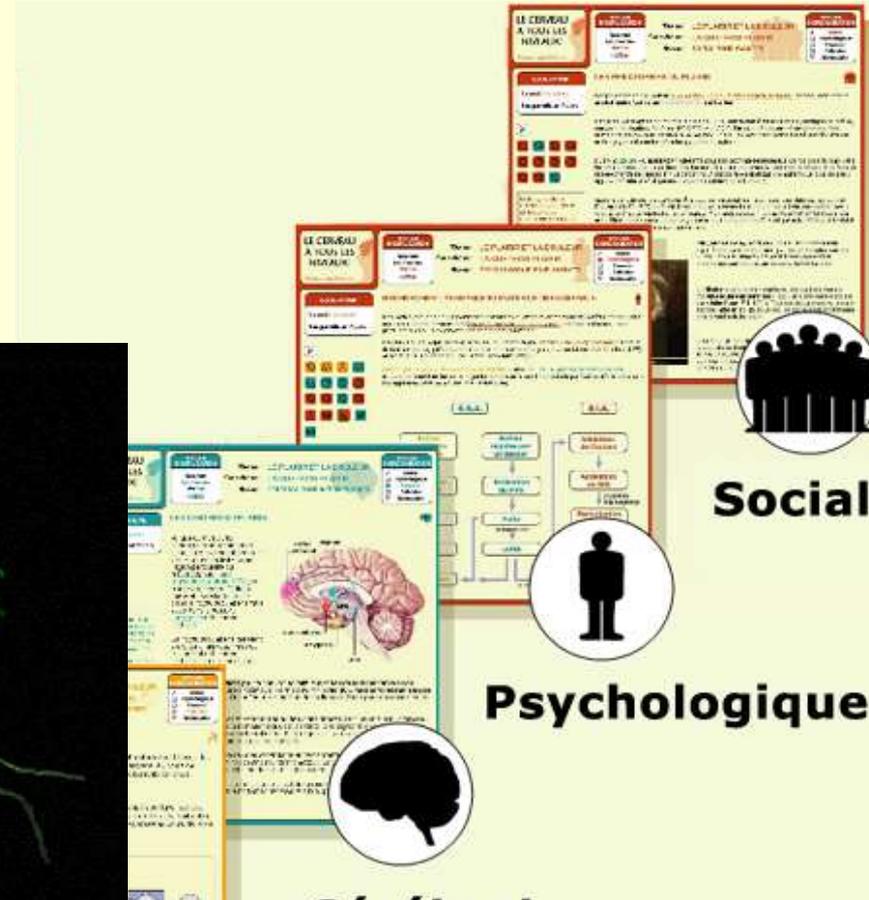
**Cellulaire**

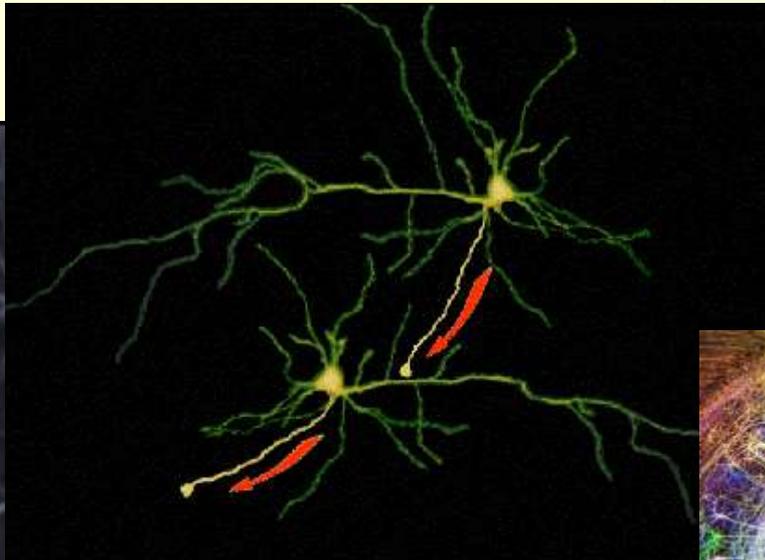
**Cérébral**

**Psychologique**

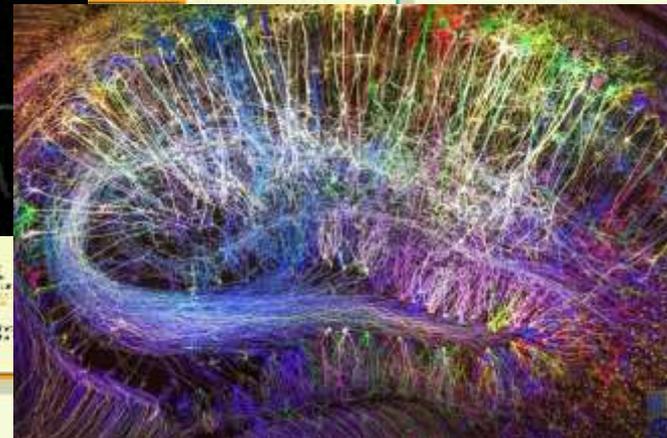
**Social**

**Moléculaire**

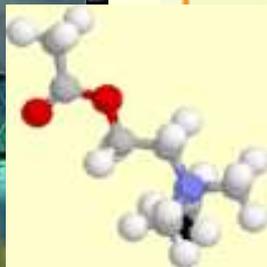




**Social**



**gique**



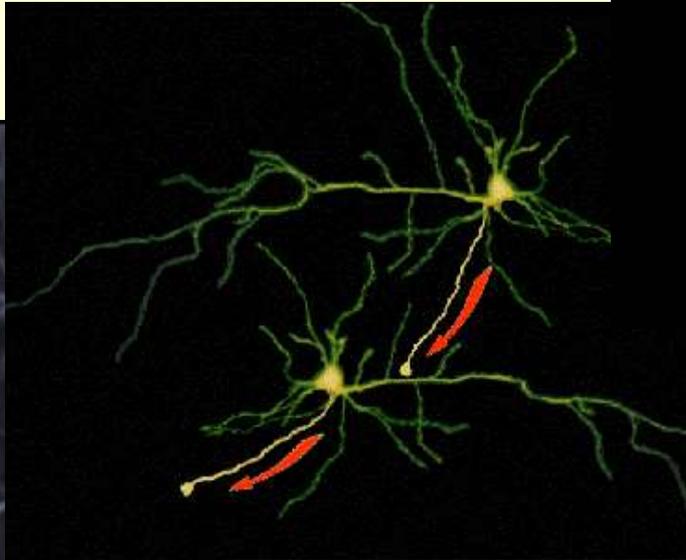
**Moléculaire**

**Cellulaire**

**Cours 2:**

**Des milliers et des millions de neurones :  
Nos mémoires et leurs structures  
cérébrales associées**

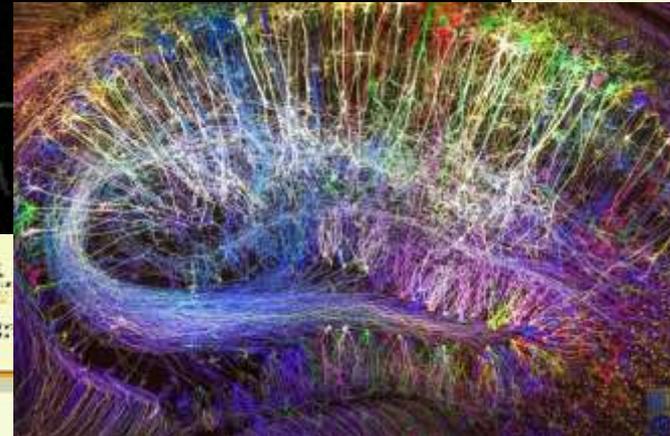
# Cours 3 : Nos réseaux de milliards de neurones et leur activité dynamique : l'exemple de l'éveil, du sommeil et du rêve



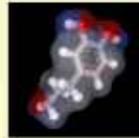
**Social**



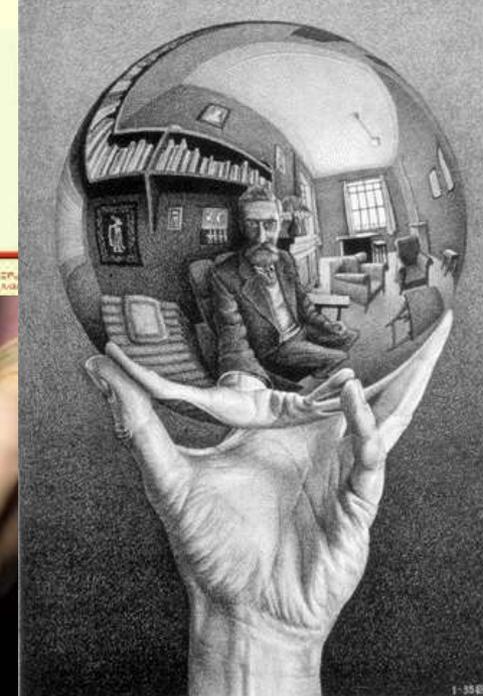
**gique**



**Cellulaire**



**Moléculaire**



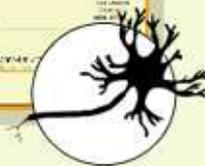
## Psychologique

**Cours 4:**  
Les « fonctions supérieures » :  
prise de décision,  
concept,

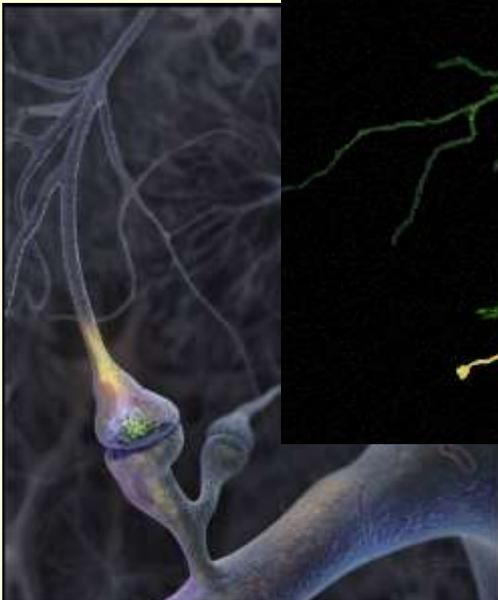
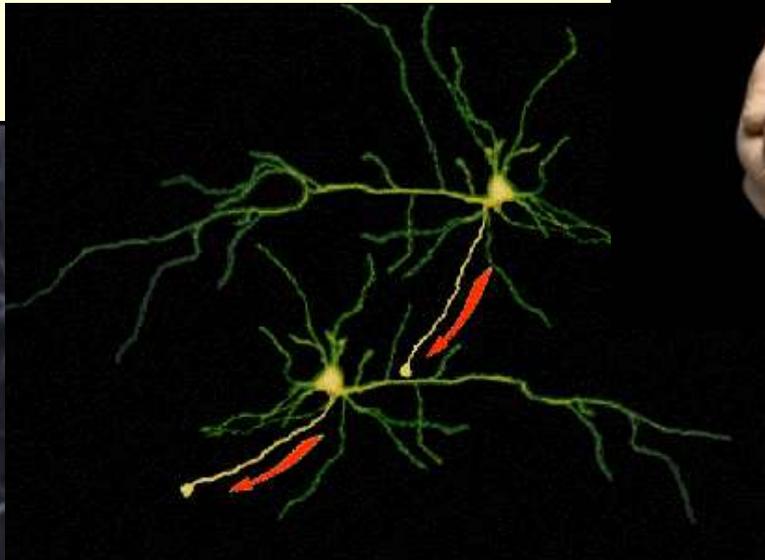
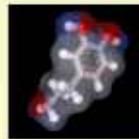
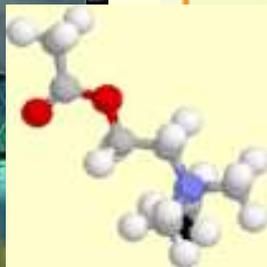
**Cérébral**



**Cellulaire**



**Moléculaire**



## Cours 1:

### A- Évolution et émergence des systèmes nerveux



*Le cerveau d'un singe de ces espèces inférieures n'est effrayant  
Pasant*

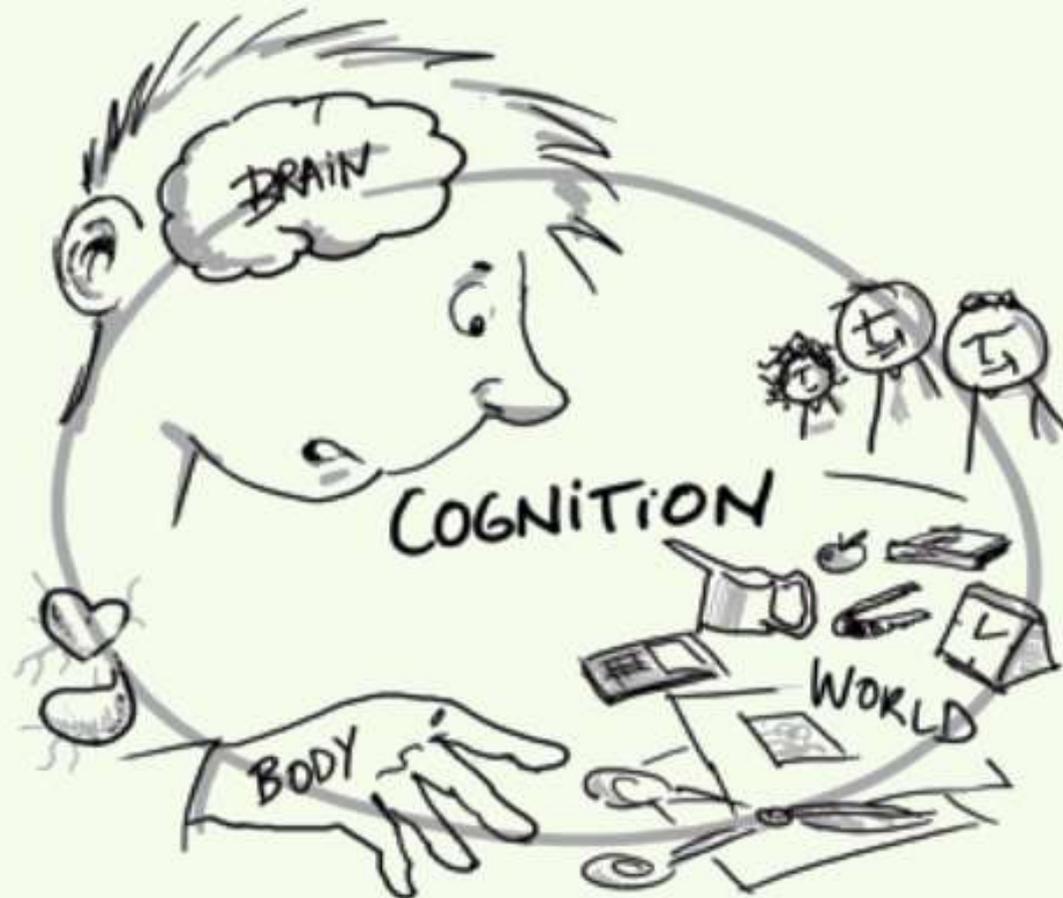
Petit Palais.

### B- Un neurone, deux neurones : la communication neuronale

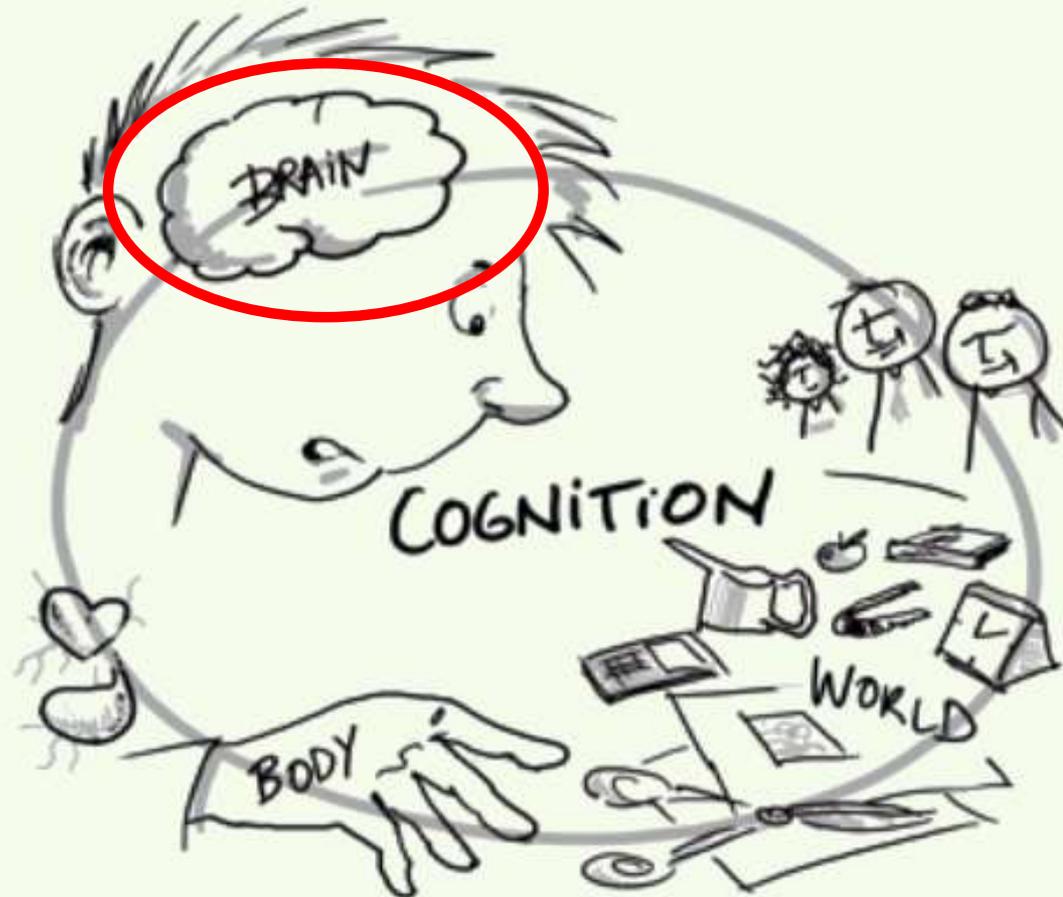


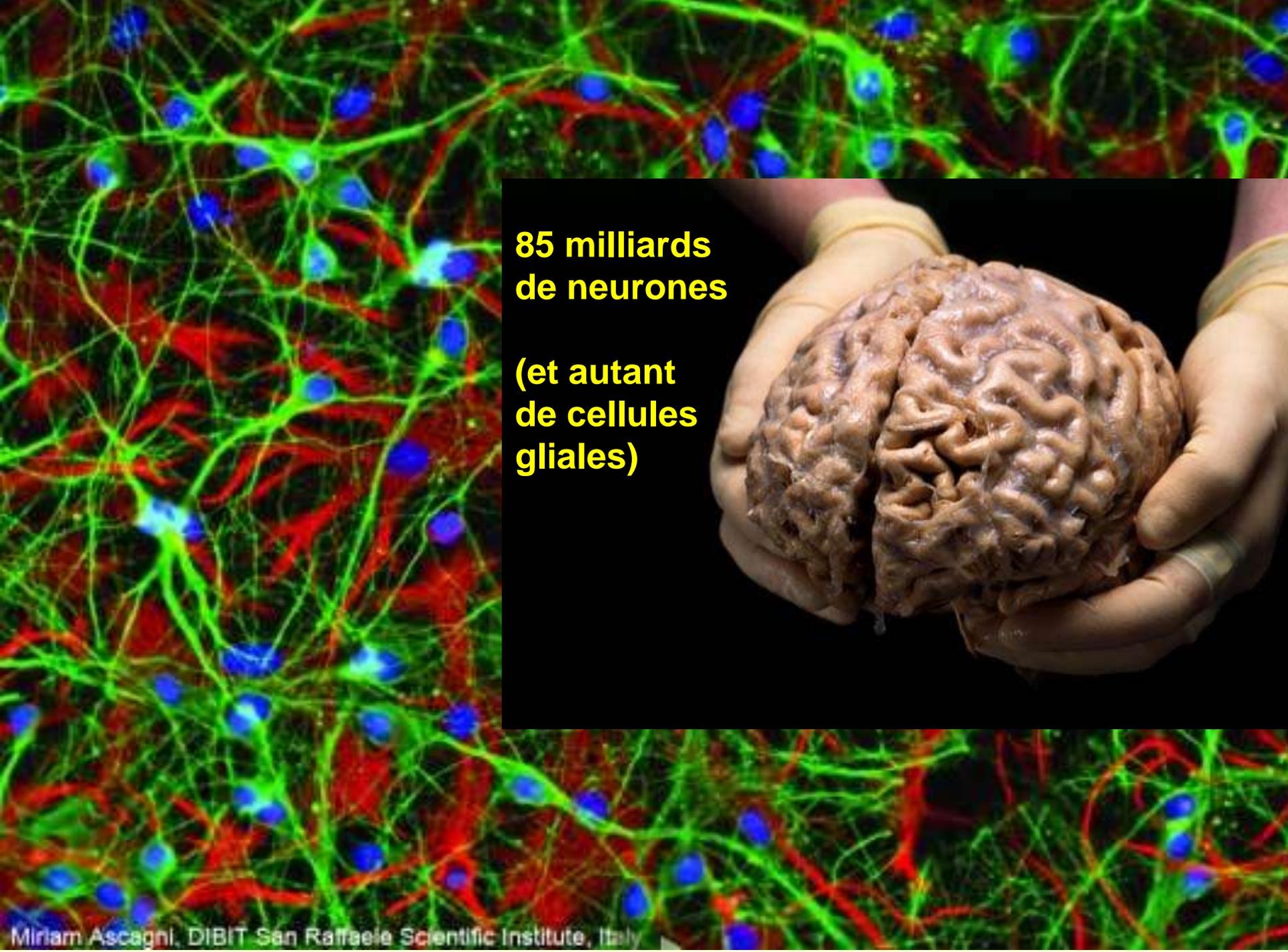
Mais d'abord, une petite introduction :

## Cerveau – Corps - Environnement



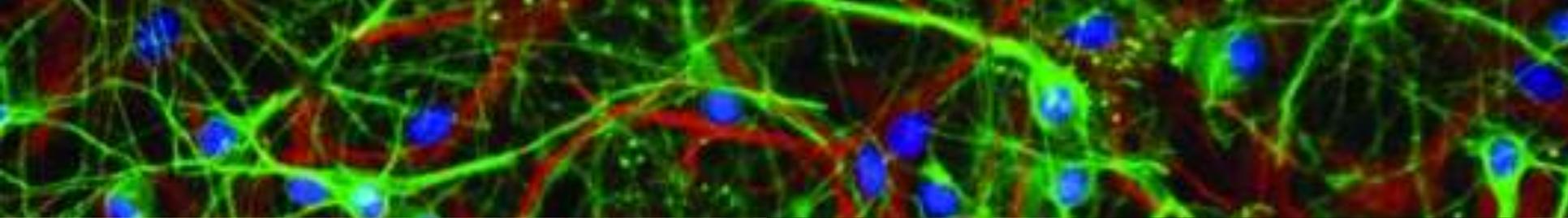
# Cerveau – Corps - Environnement



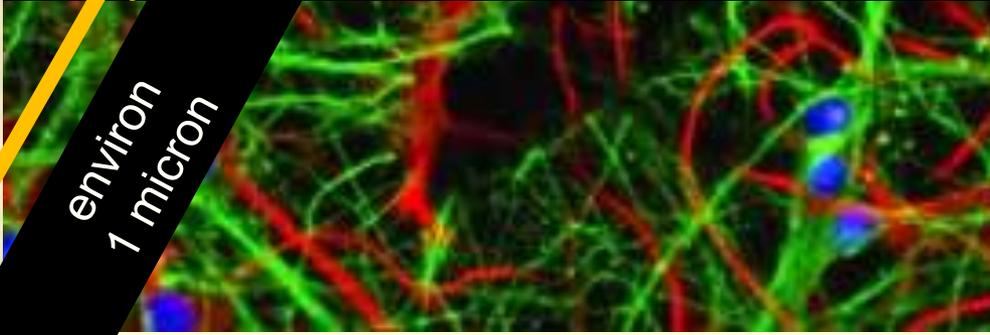
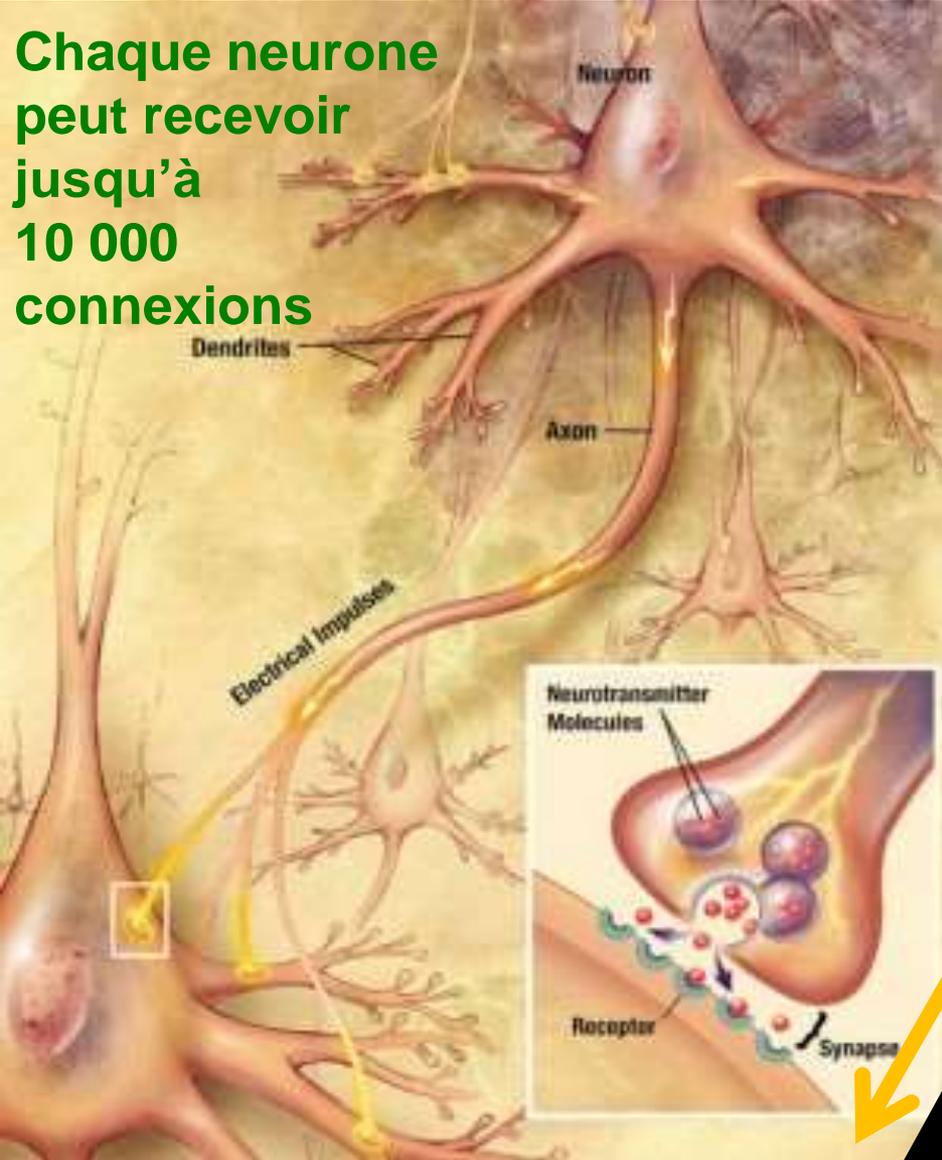


**85 milliards  
de neurones**

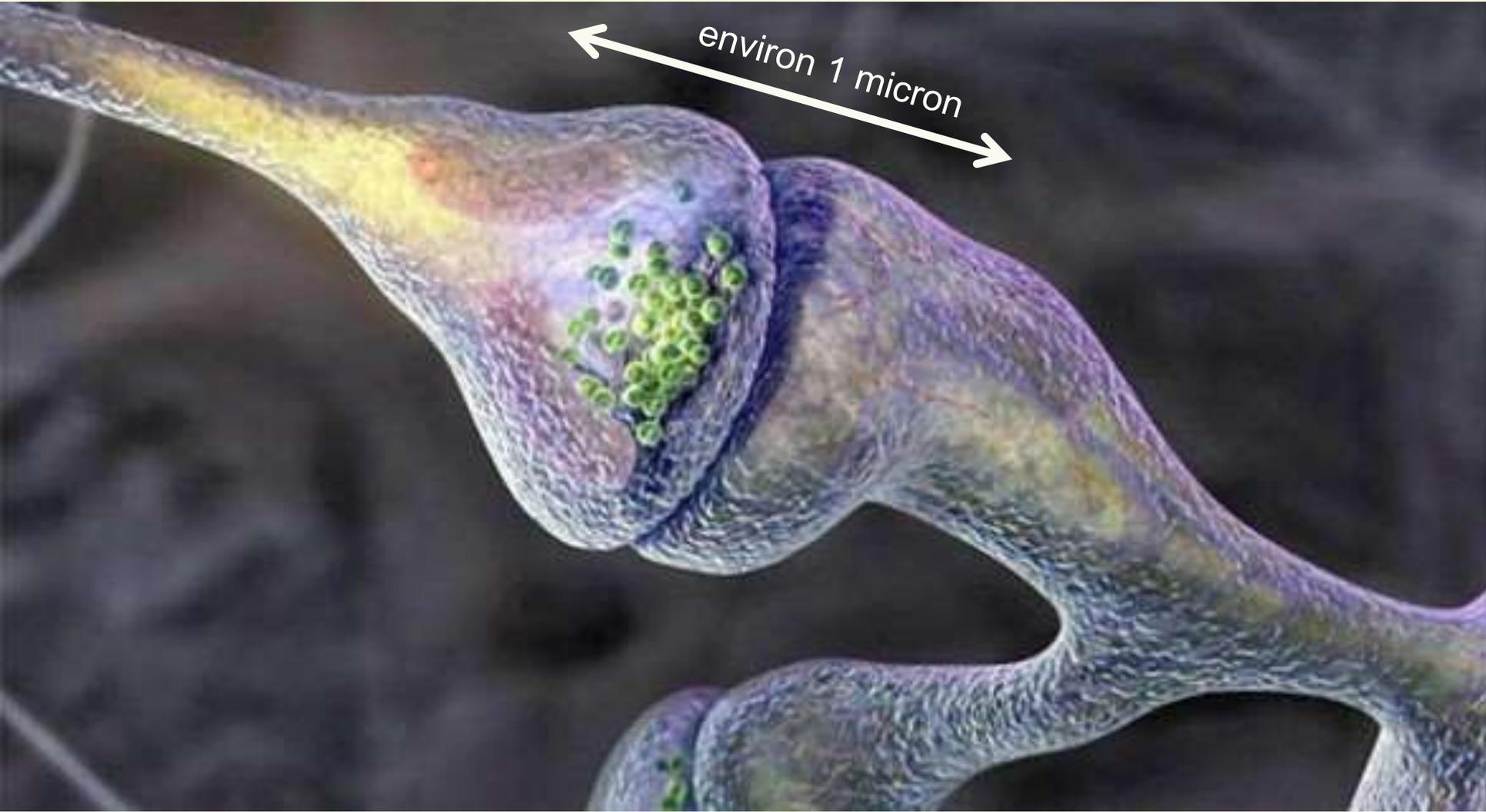
**(et autant  
de cellules  
gliales)**



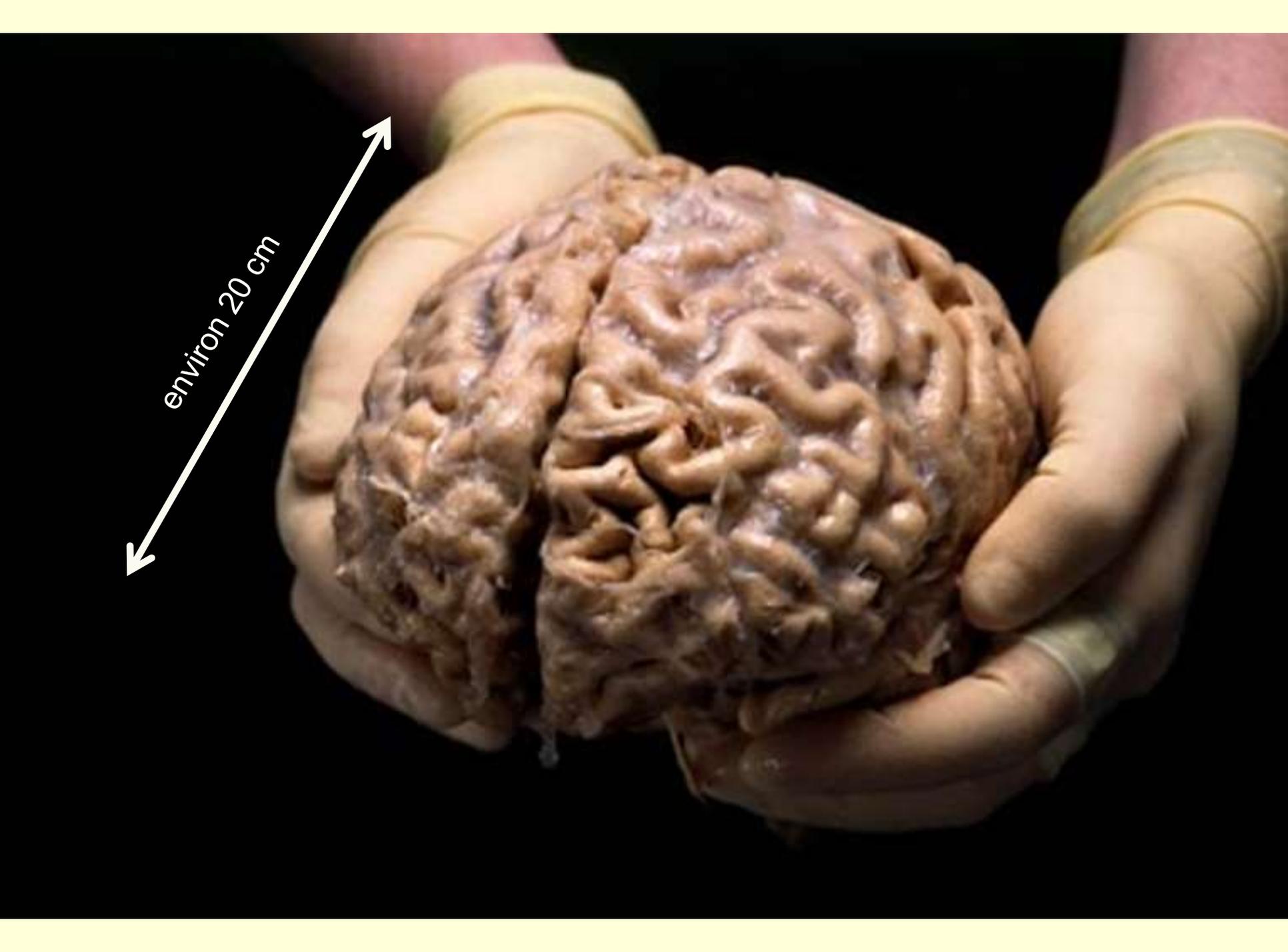
Chaque neurone  
peut recevoir  
jusqu'à  
10 000  
connexions



environ  
1 micron

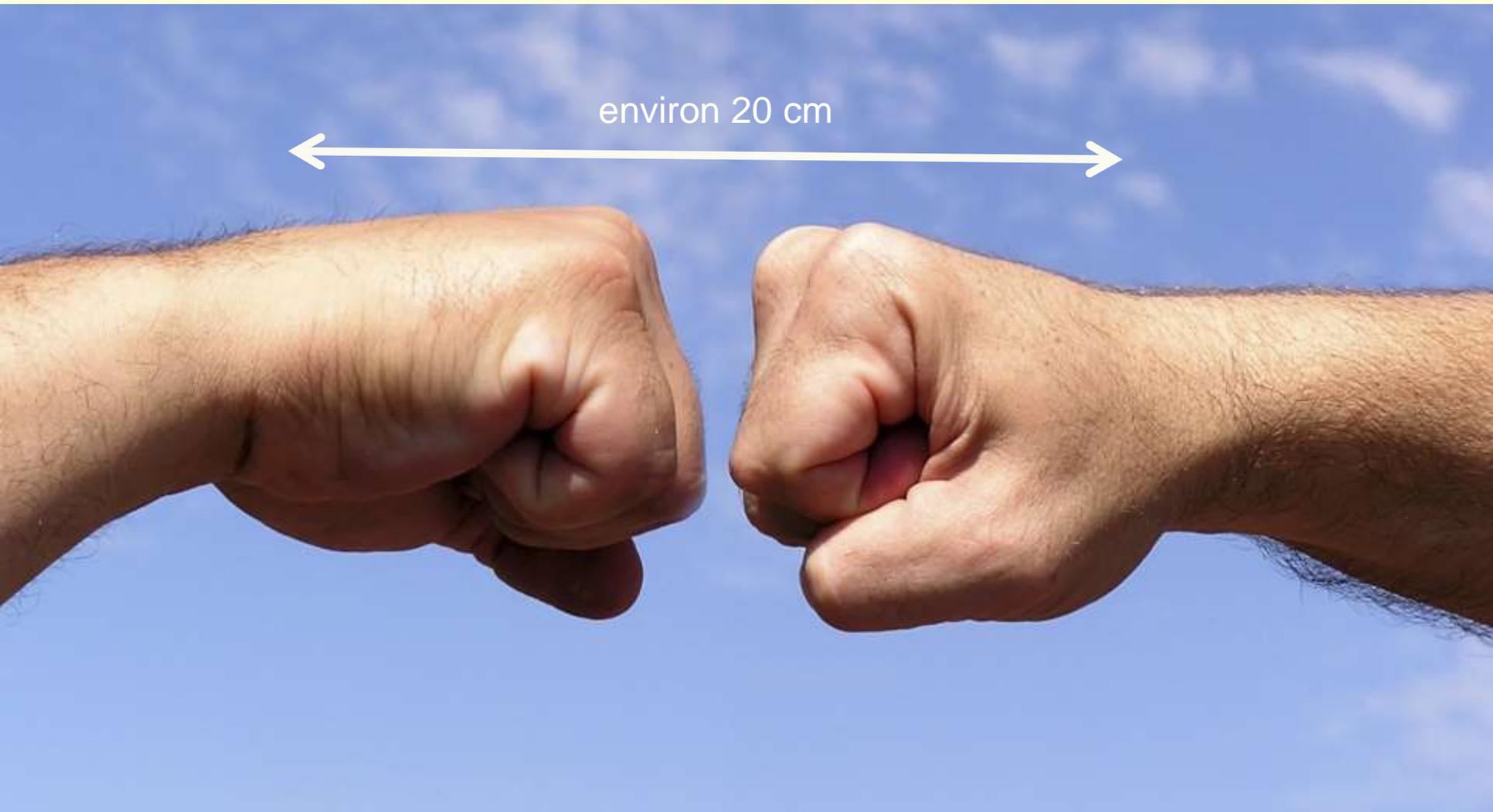


environ 1 micron

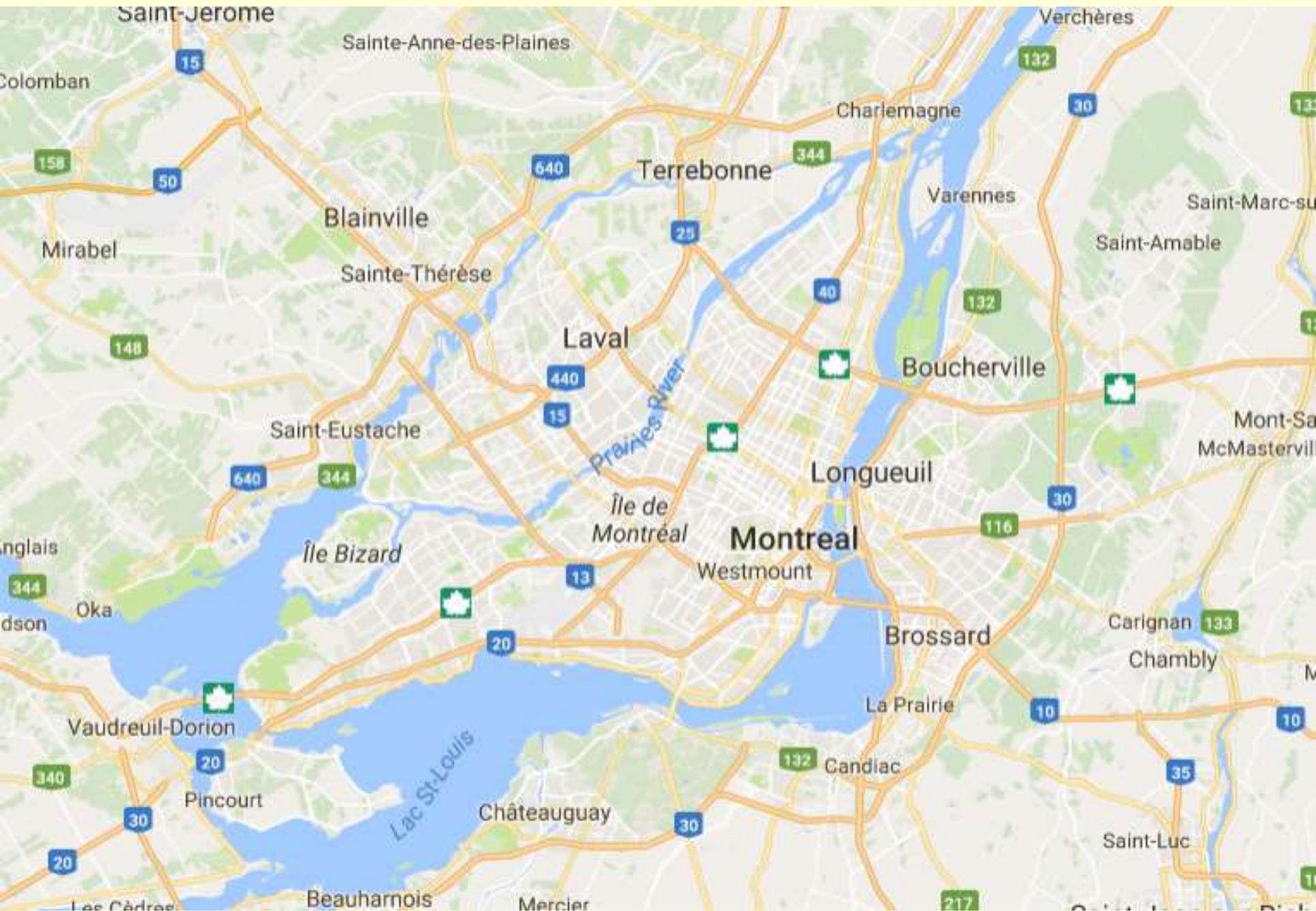
A photograph of a human brain held in two gloved hands. The brain is the central focus, showing its characteristic convoluted surface. The hands are wearing light-colored, possibly latex, gloves. A white double-headed arrow is drawn across the left side of the brain, indicating its size. The text "environ 20 cm" is written along the arrow.

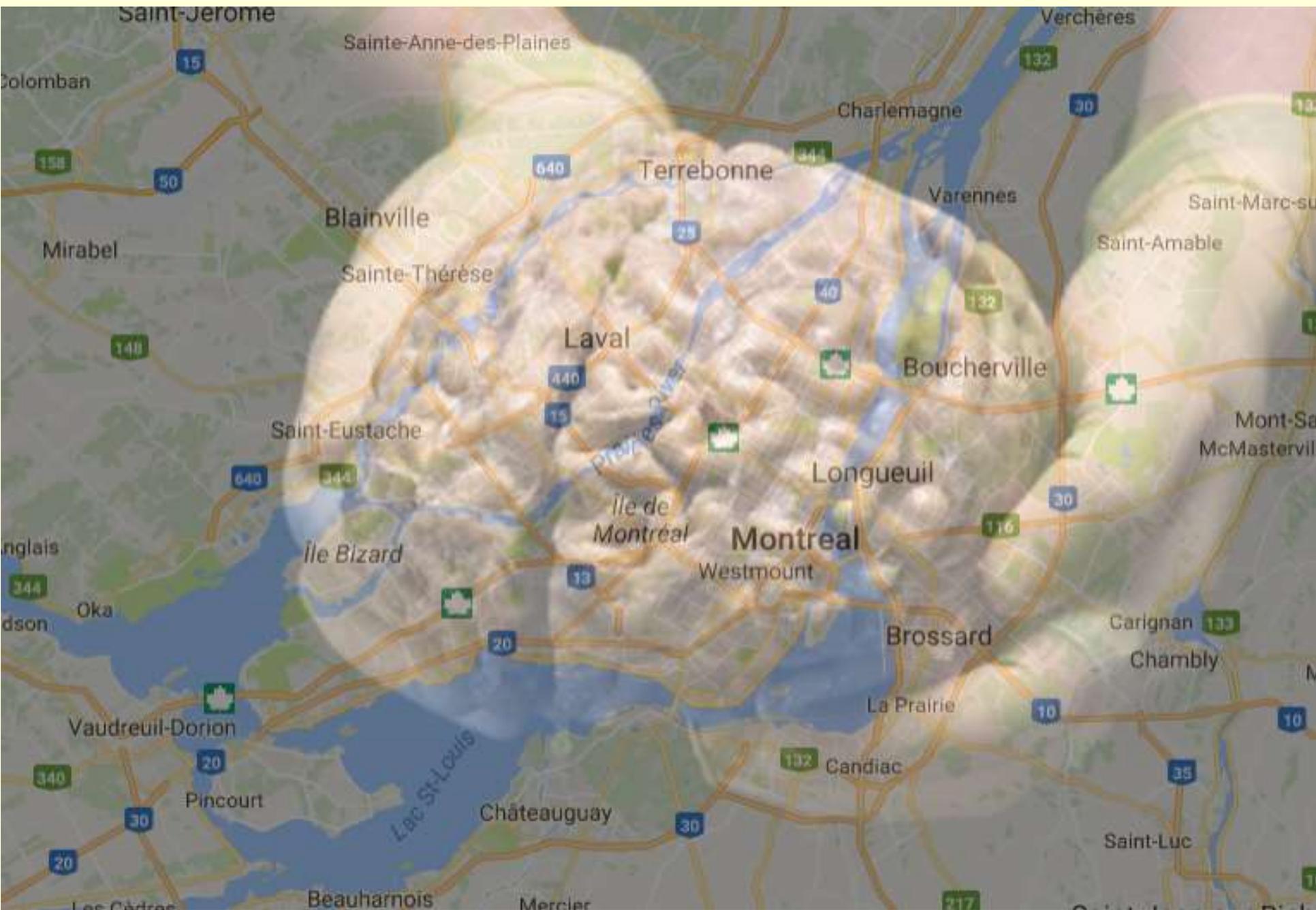
environ 20 cm

Quelle devrait être la taille d'un cerveau  
dont les synapses auraient la taille de deux poings ?



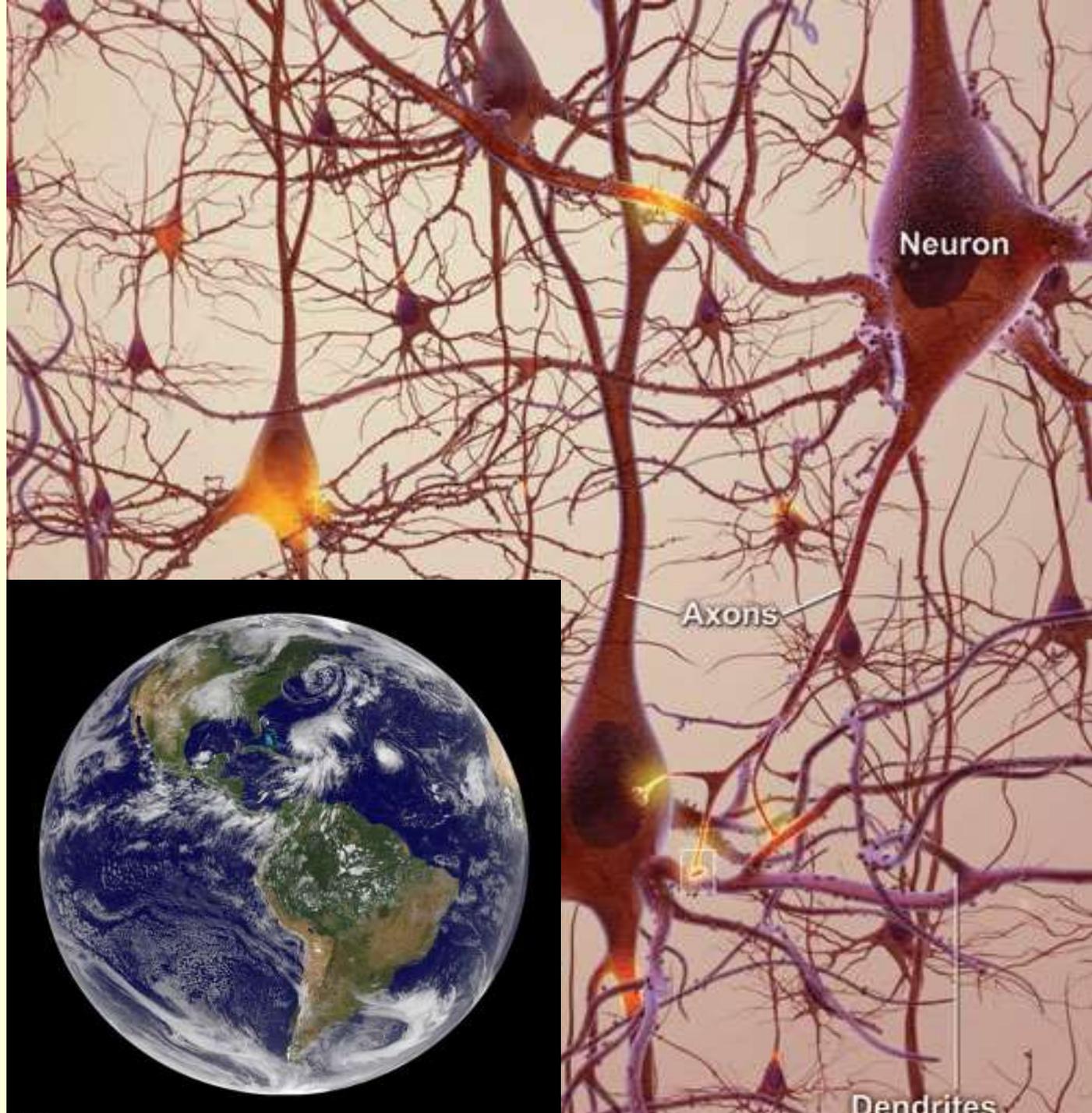
Alors :  $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} / 0,000\ 001 \text{ m} = 40\ 000 \text{ m} = \mathbf{40 \text{ km}}$



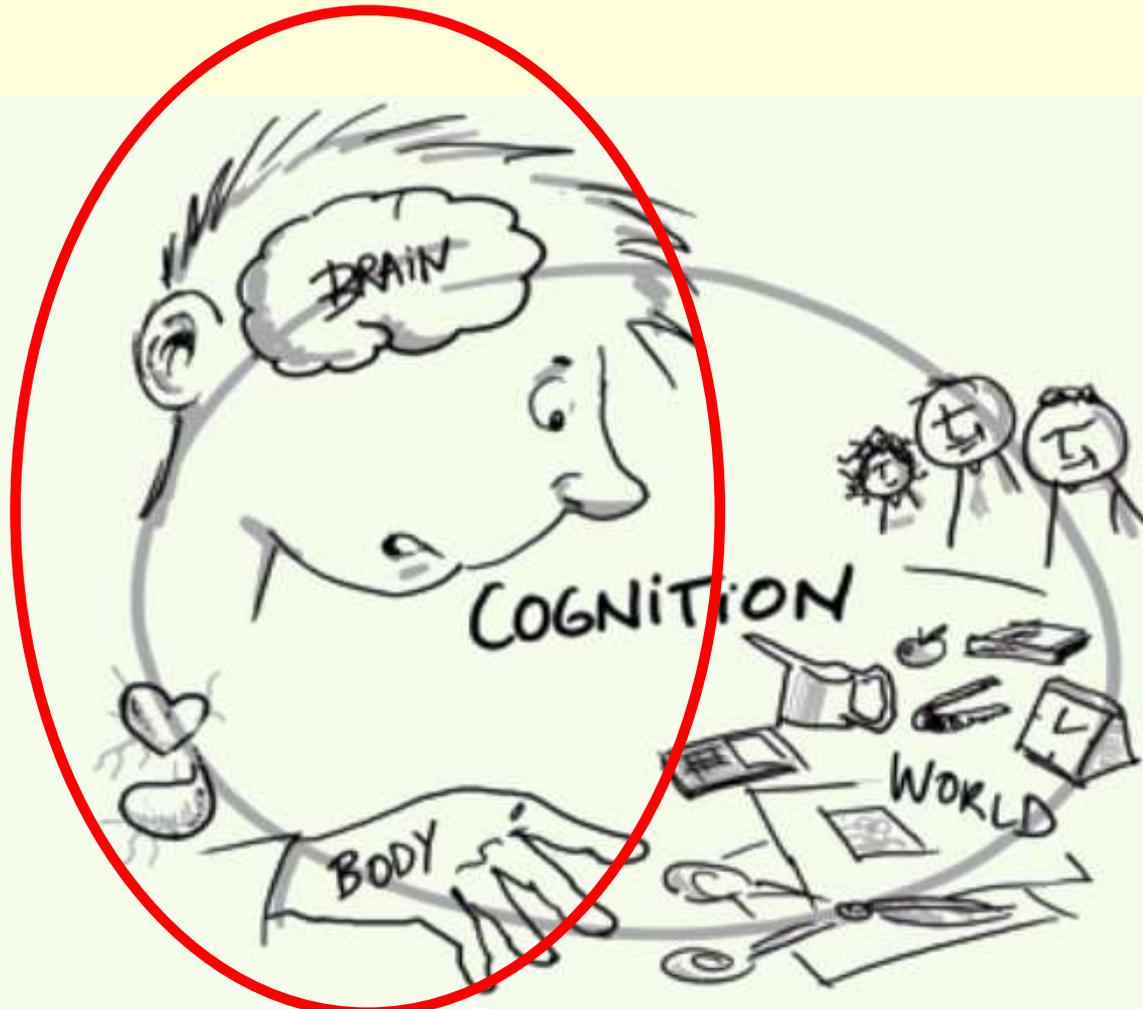


Et si on mettait  
bout à bout tous  
ces petits câbles,

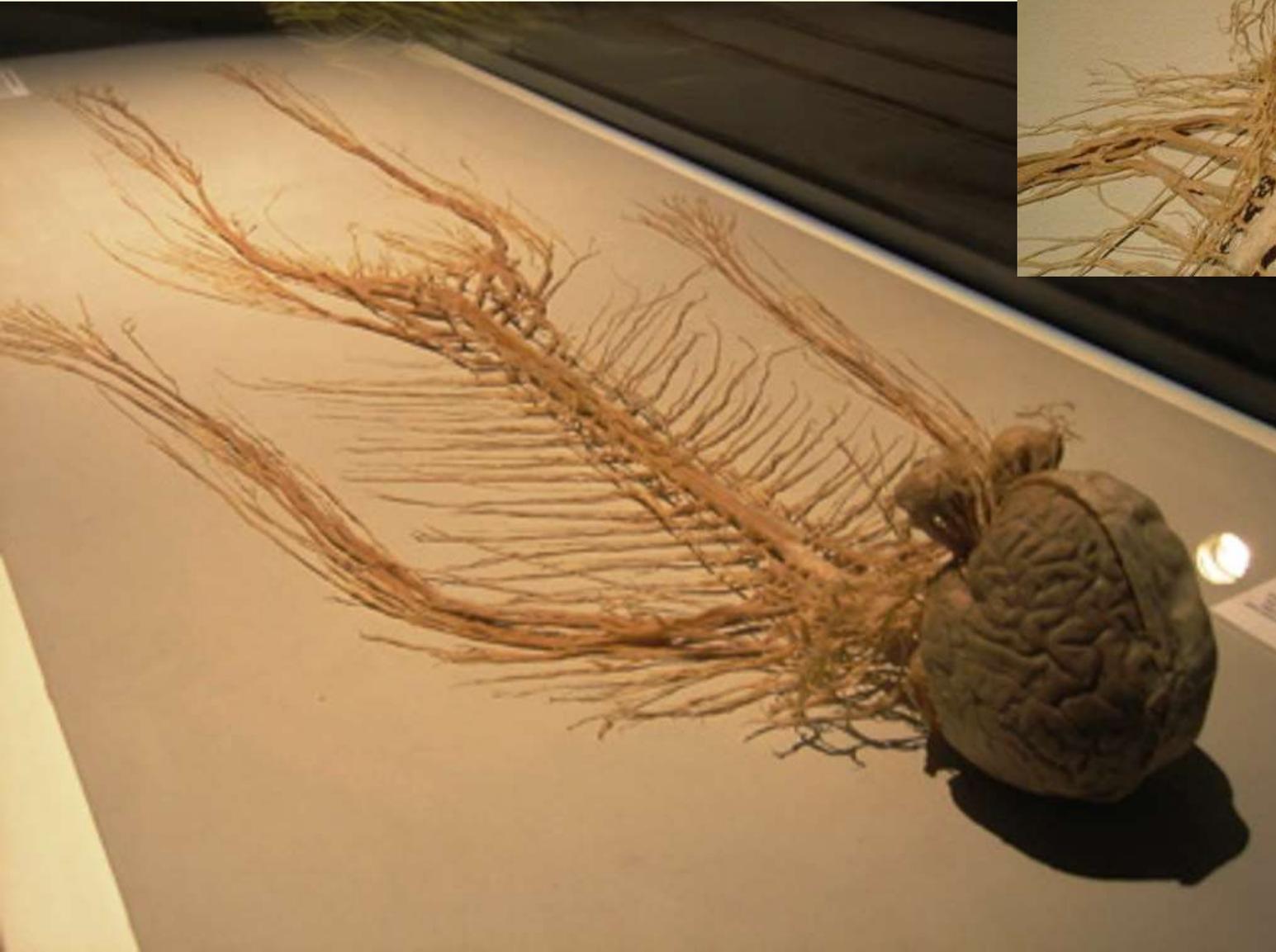
on a estimé  
qu'on pourrait  
faire plus de  
**4 fois le tour  
de la Terre**  
avec le contenu  
d'un seul cerveau  
humain !

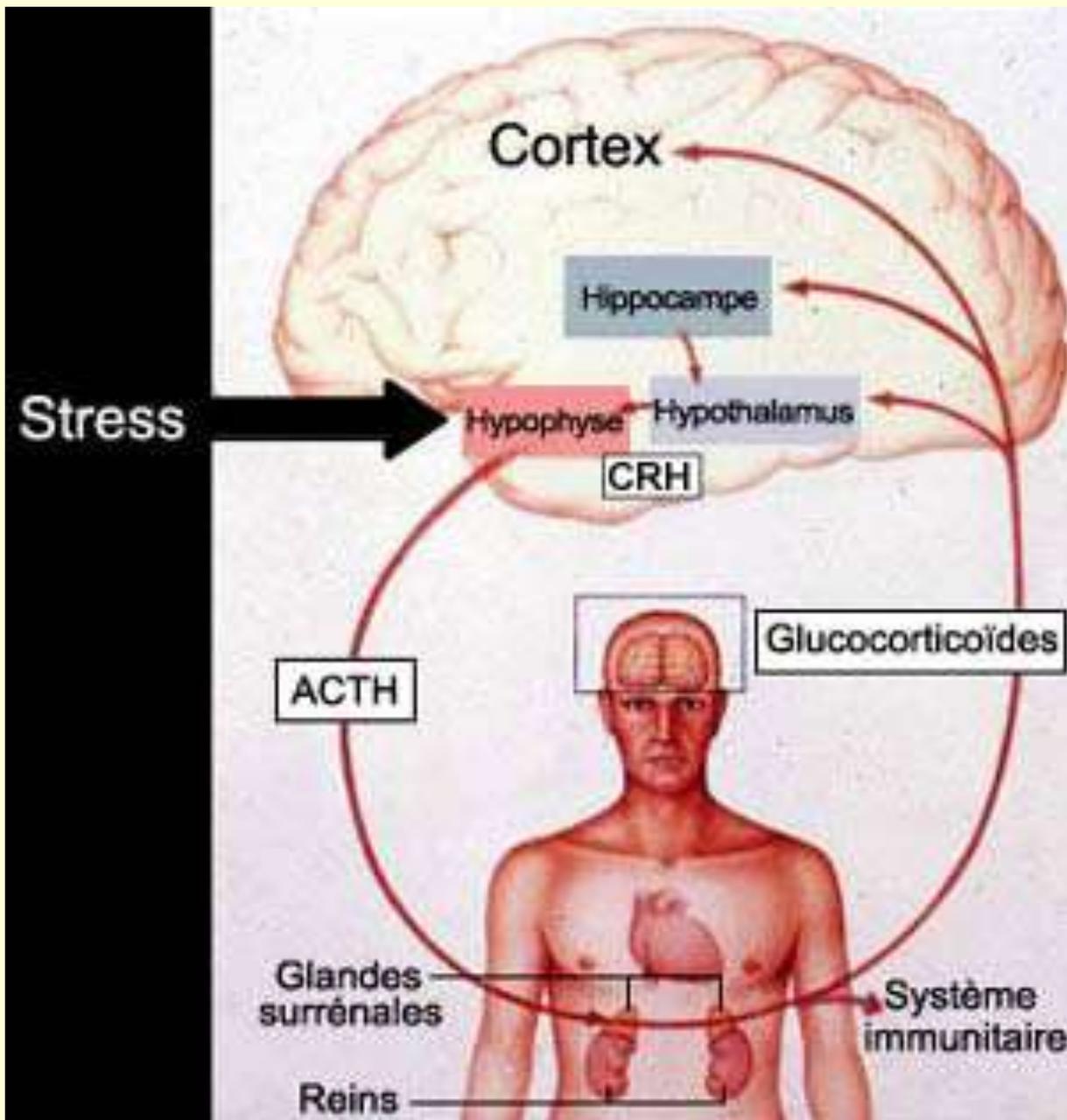


# Cerveau – Corps - Environnement



Car il y a aussi tous les nerfs du système nerveux **périphérique** et des **nerfs crâniens**...



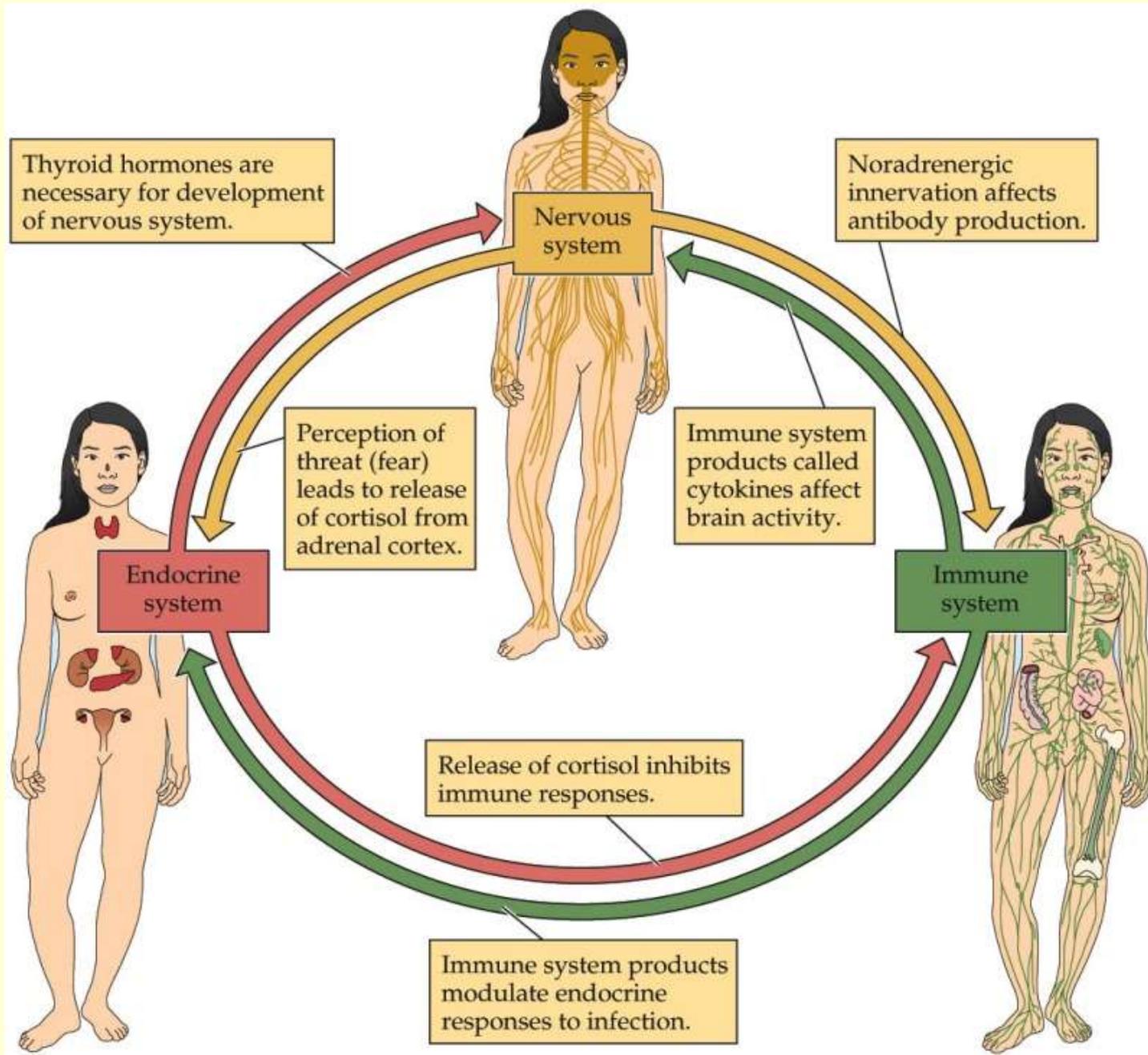


...et le **système endocrinien** avec toutes ses hormones

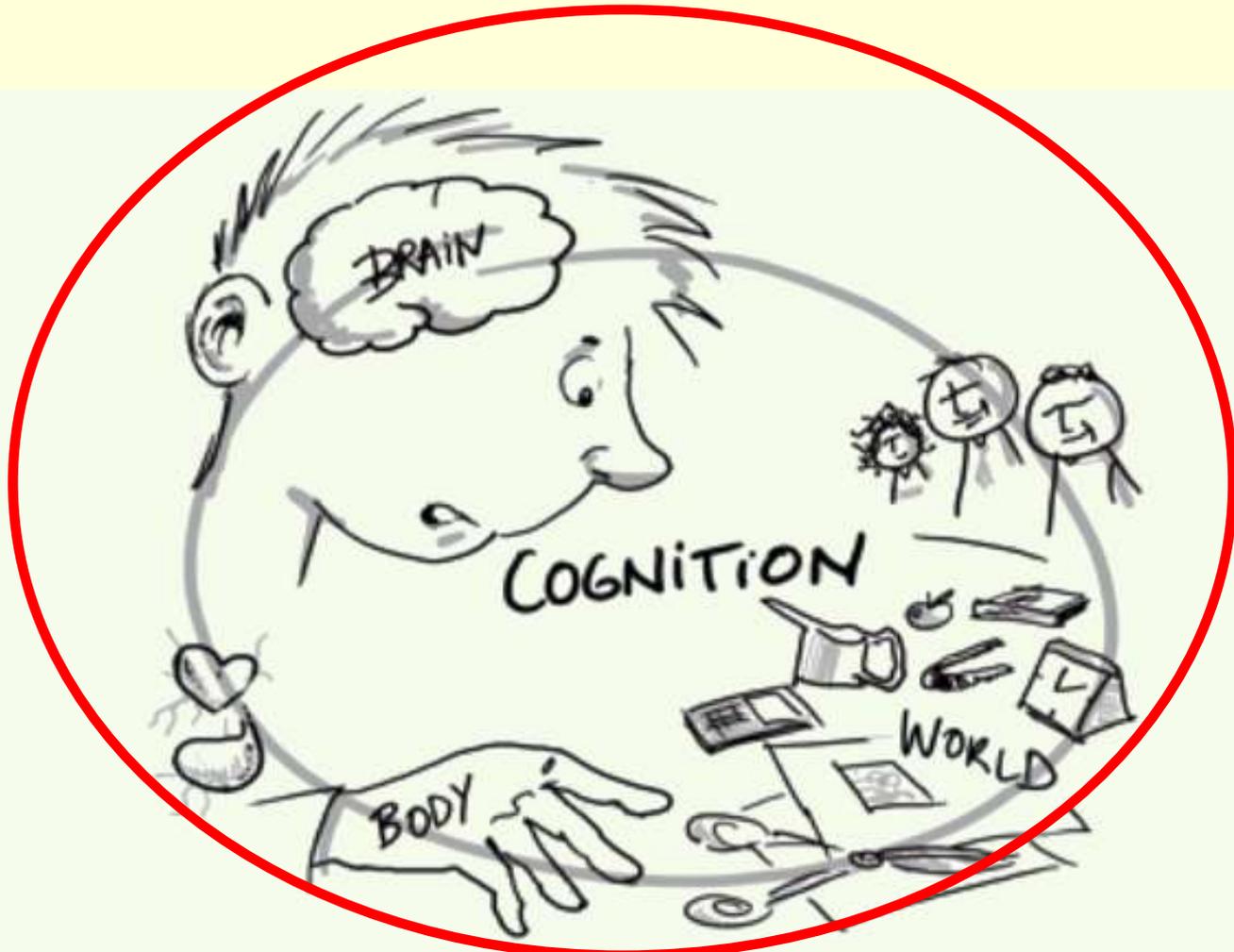
dirigées par l'hypophyse,

elle-même dirigée par l'hypothalamus...

...et toute la complémentarité entre les **systèmes nerveux, hormonal et Immunitaire.**



# Cerveau – Corps - Environnement





L'environnement physique...





...et l'environnement humain !



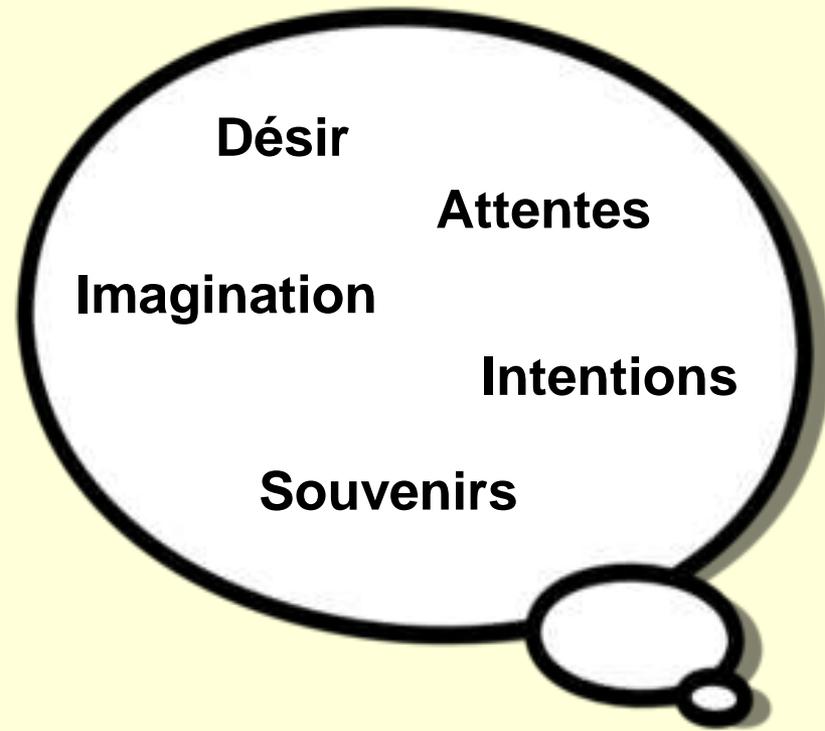


**Langage** : représentations symboliques communes permettant de coordonner nos actions

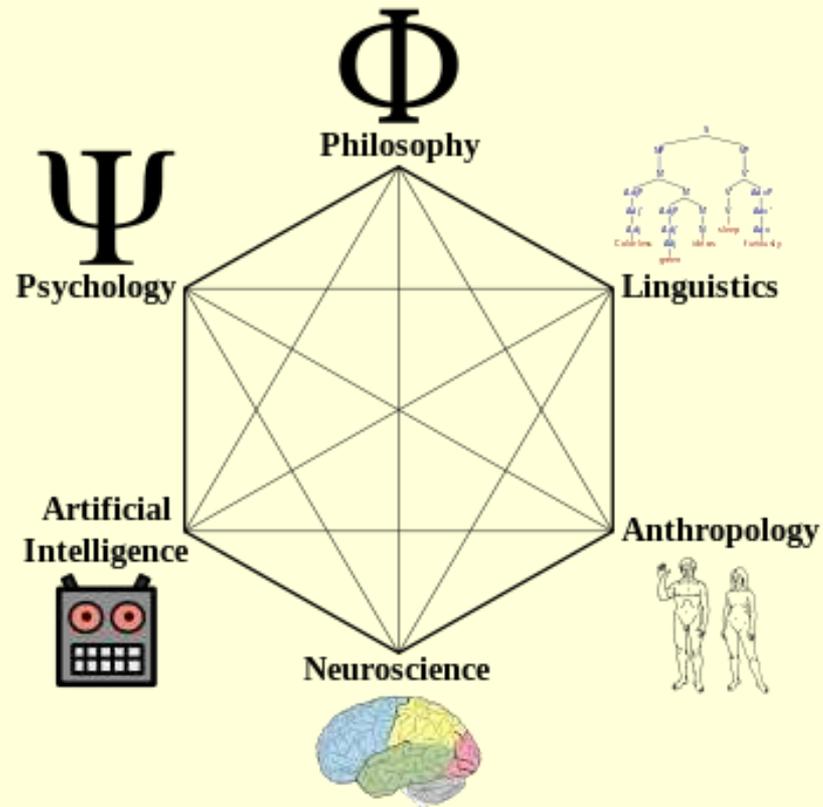


Ce corps-cerveau  
expérimente aussi  
**subjectivement**  
ce qu'il vit au  
contact des autres...

...ce que les  
**sciences cognitives**  
vont tenter  
d'expliquer.

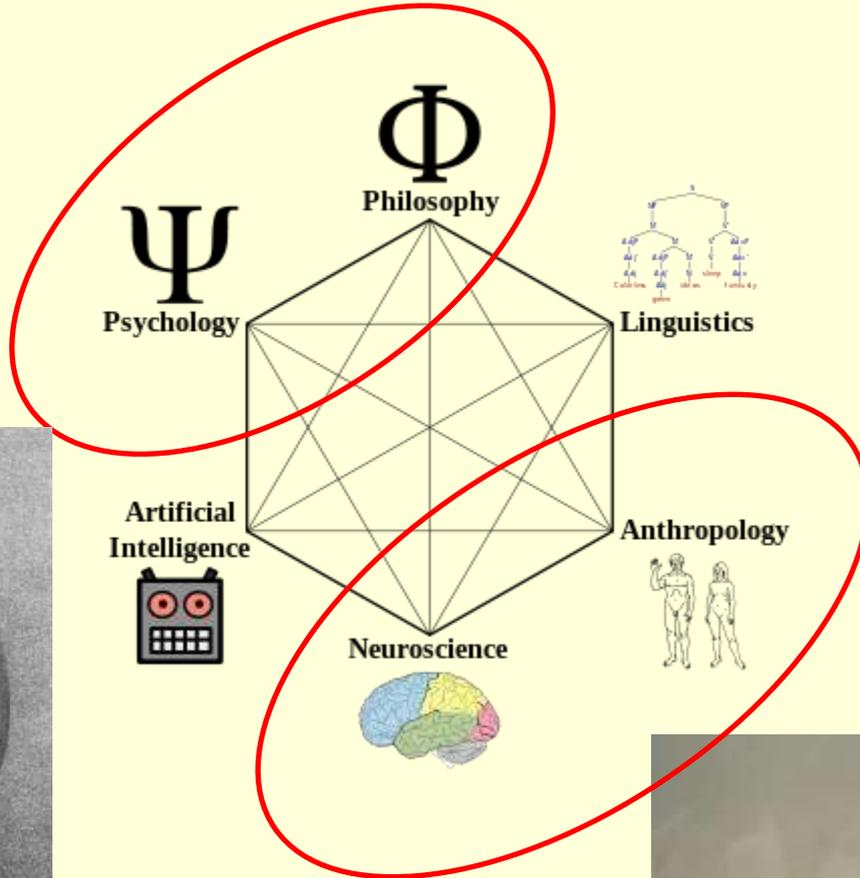


# Les « sciences cognitives »

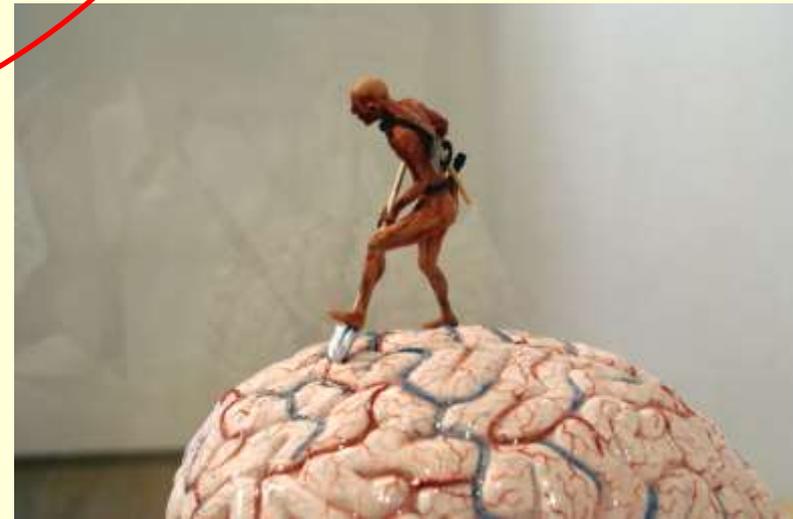


Dont certaines disciplines vont s'intéresser davantage à

l'aspect « subjectif »  
ou à la 1<sup>ère</sup> personne



l'aspect « objectif »  
ou à la 3<sup>e</sup> personne



Et ce n'est pas facile de concilier les deux...



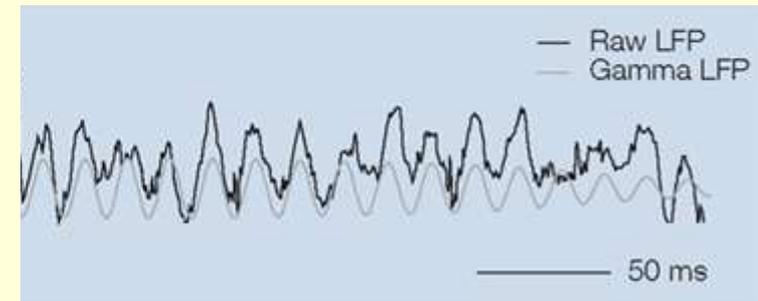
Le rouge que  
l'on ressent à  
la vue de cette  
pomme...

...c'est notre  
sentiment  
« subjectif »  
ou à la 1<sup>ère</sup>  
personne.

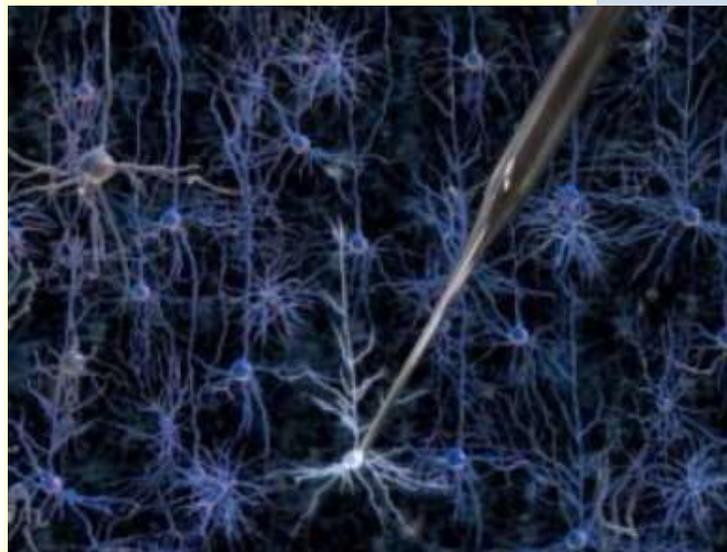
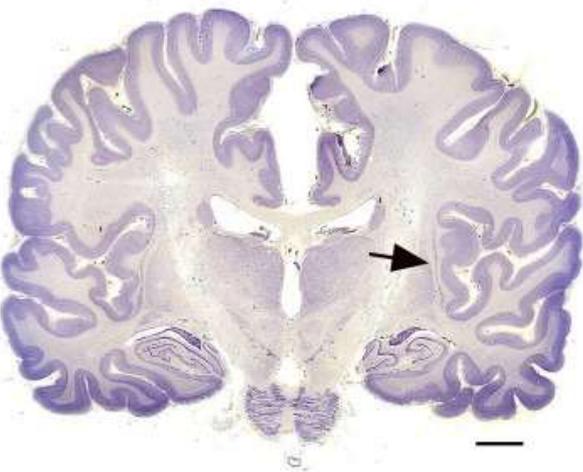


**Mais il est où le rouge dans notre cerveau ?**

Car si on regarde dans le cerveau, on voit juste  
des neurones qui sont parcourus  
par de l'activité électrique  
i.e. des ions qui traversent des membranes...!



B



On ne peut pas  
comprendre ces  
phénomènes en  
les réduisant à  
un seul niveau  
d'organisation !

Nous sommes fait de multiples **niveaux d'organisation**

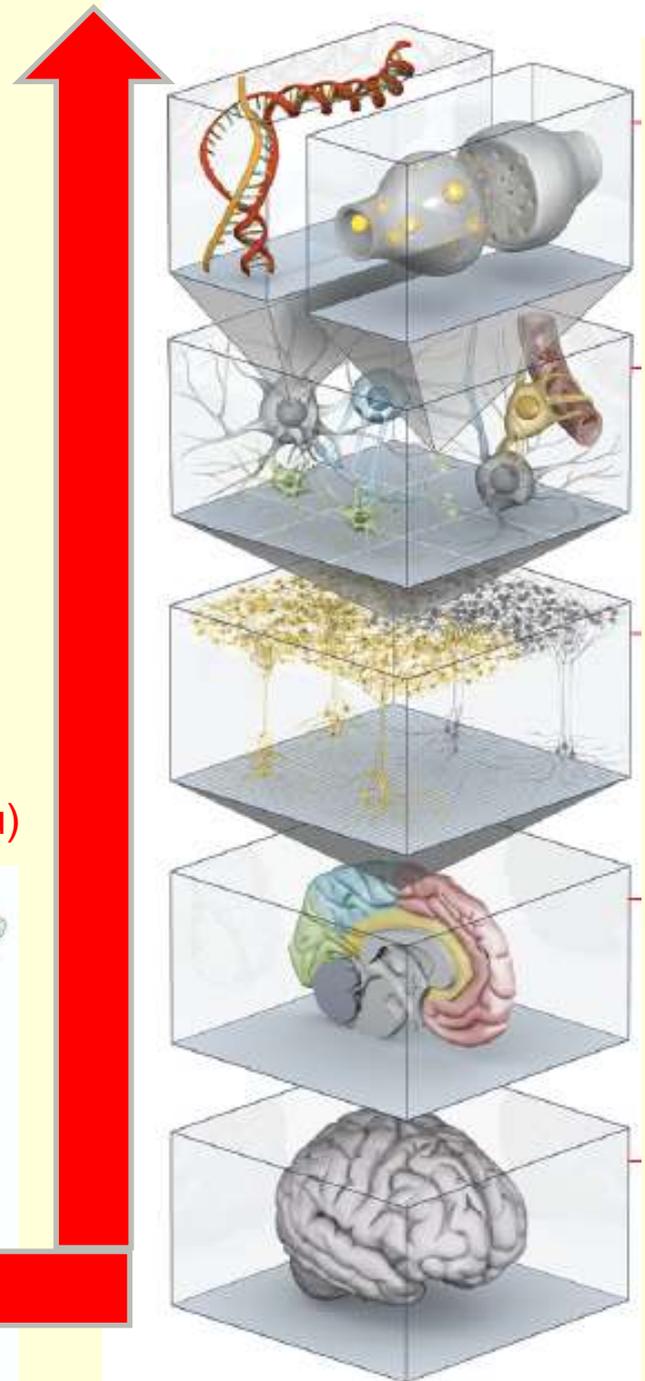
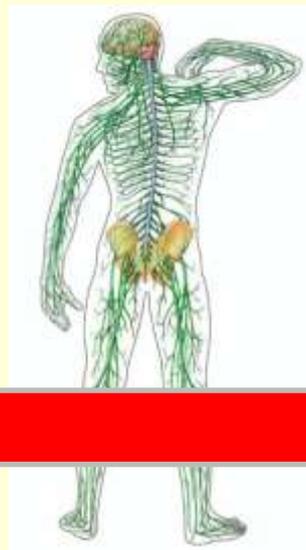
**LE** concept clé de ce cours !

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

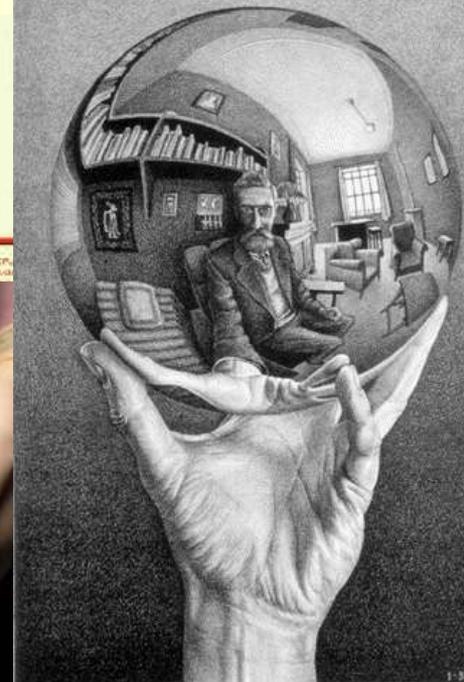
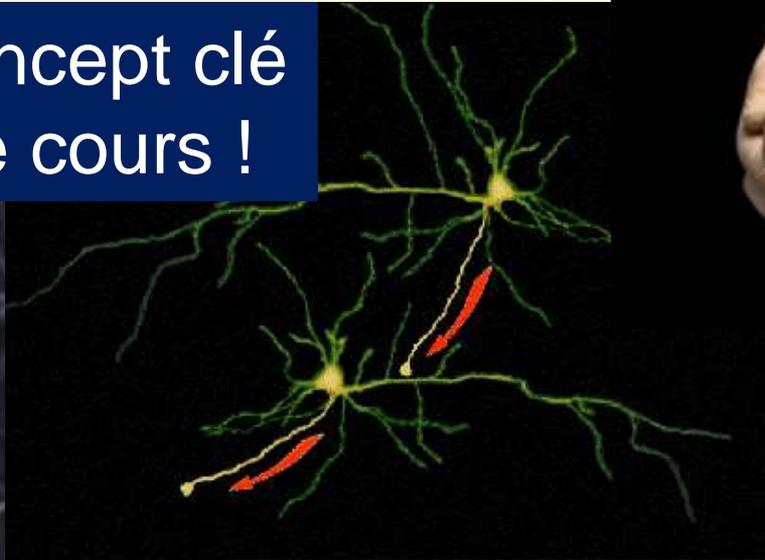
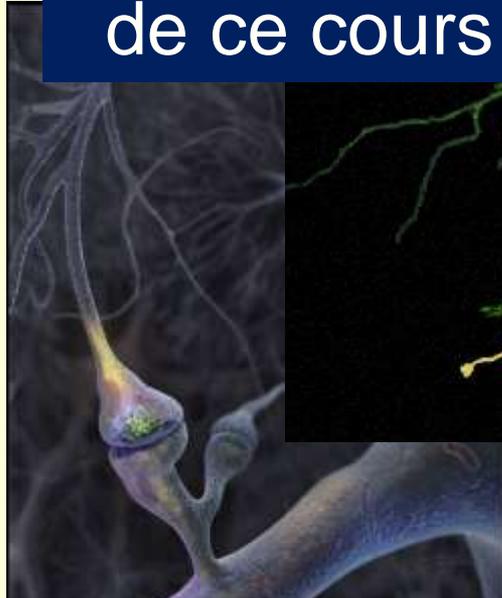
Le social  
(corps-cerveau-environnement)



L'individu  
(corps-cerveau)



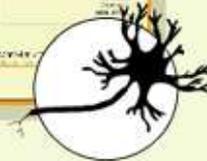
# LE concept clé de ce cours !



**Psychologique**



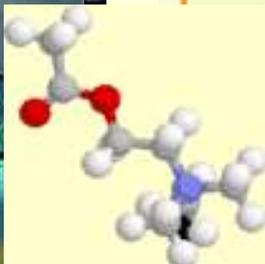
**Cérébral**



**Cellulaire**



**Moléculaire**



## Cours 1:

### A- Évolution et émergence des systèmes nerveux



*Le cerveau d'un chimpanzé et un cerveau humain en comparaison.*  
Poussin

Petit Palais.

### B- Un neurone, deux neurones : la communication neuronale



Repartons du problème de la conscience subjective.

Désir

Attentes

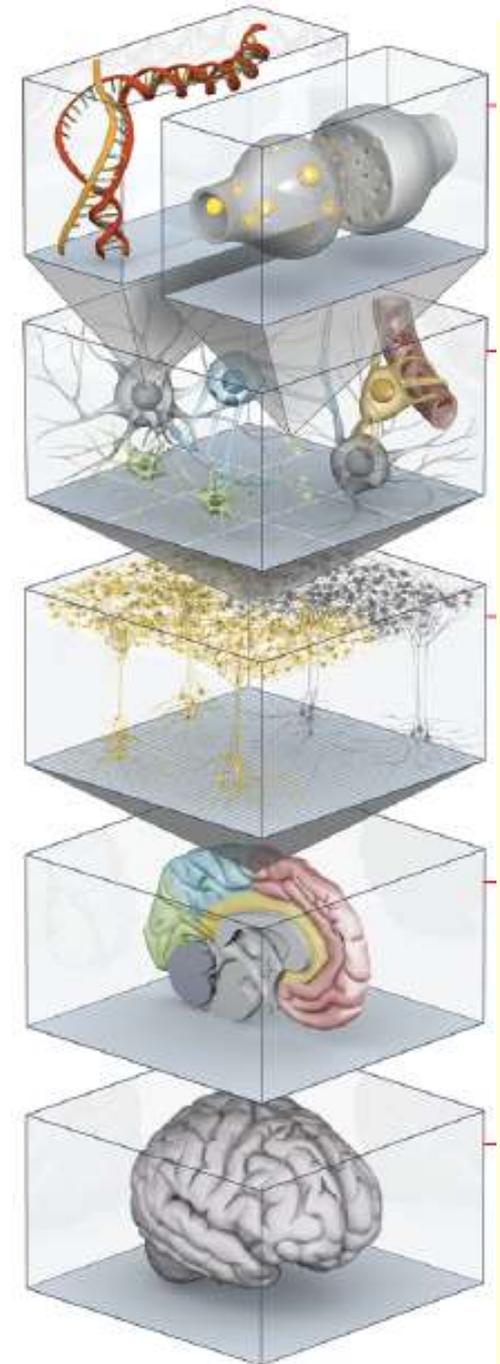
Imagination

Intentions

Souvenirs

C'est grâce à tous ces niveaux qu'elle émerge.

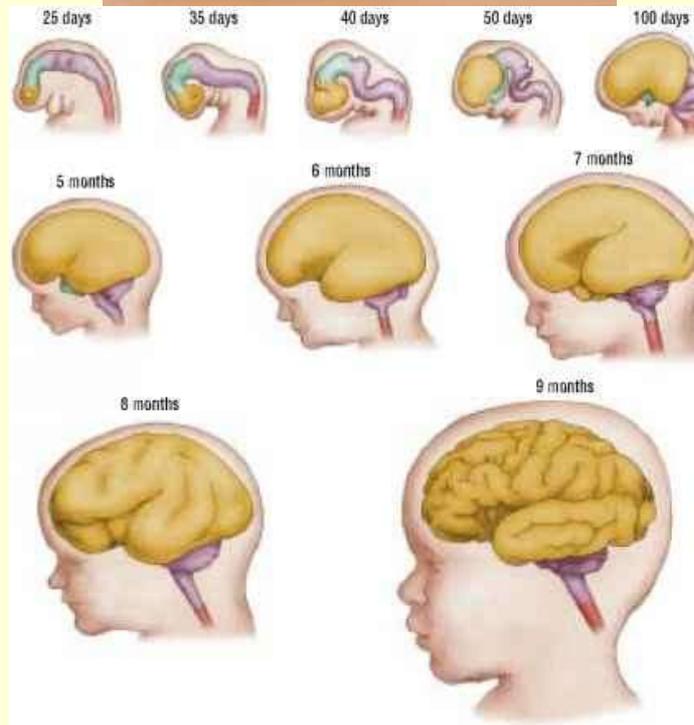
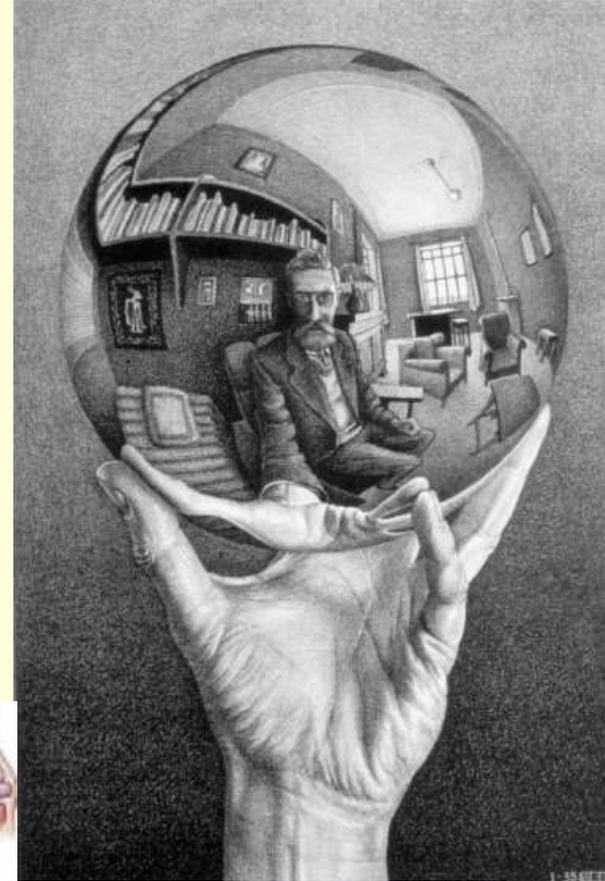
Mais elle commence quand ?

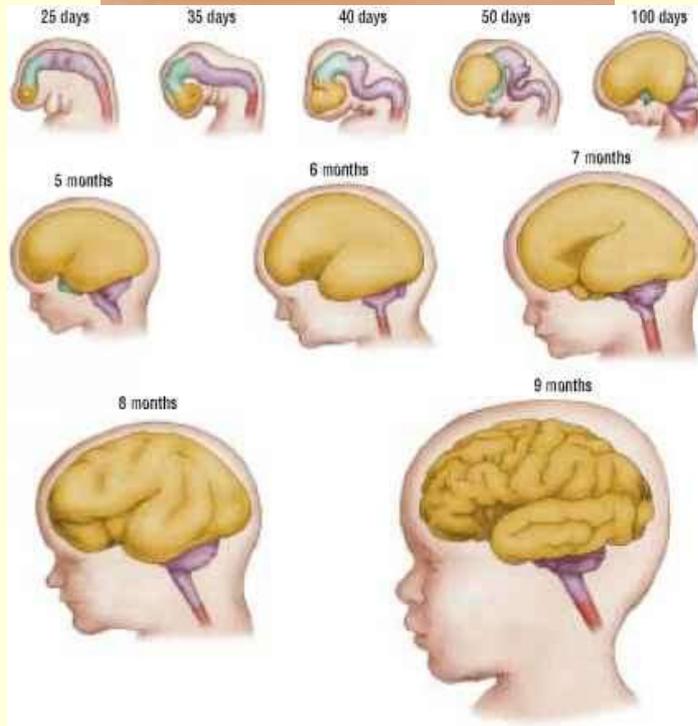
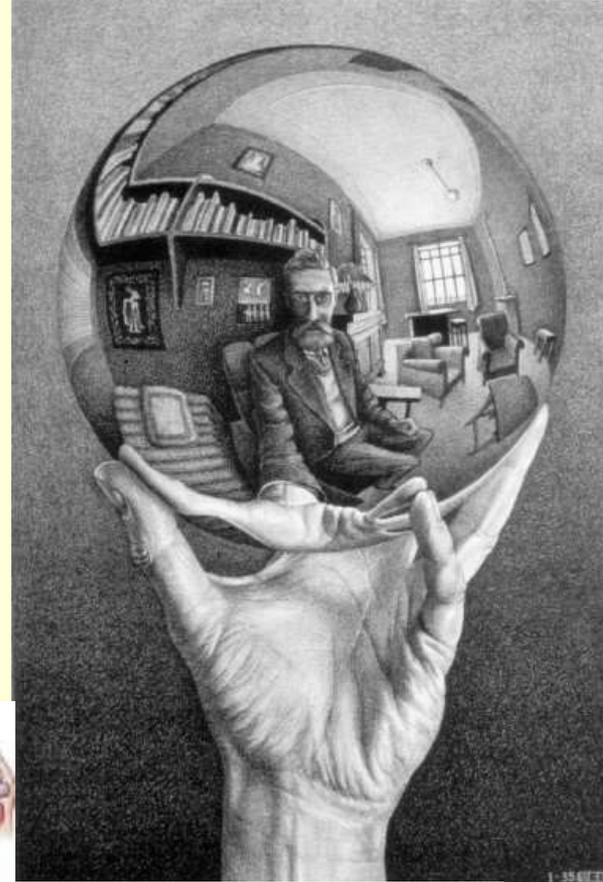


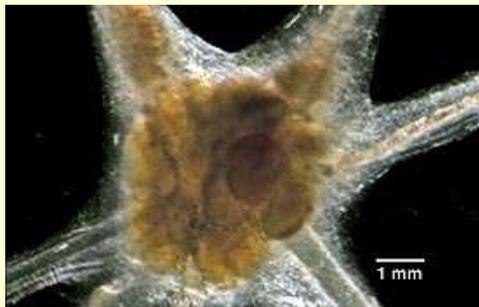
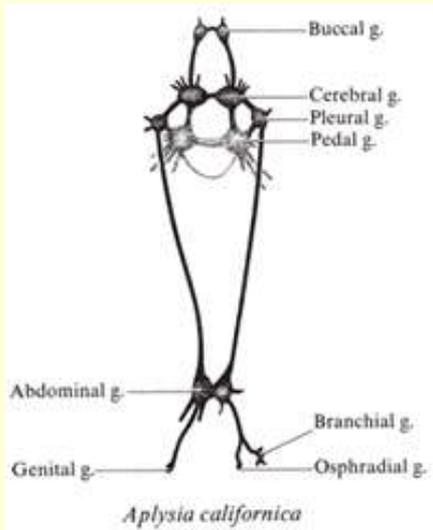
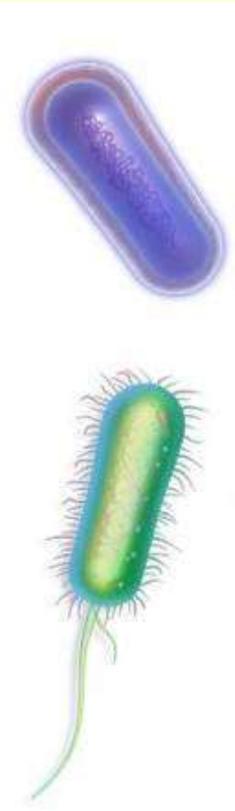
Difficile d'avoir accès  
à sa subjectivité...

...mais pas  
impossible par des  
protocoles astucieux

et l'on peut faire des  
corrélations avec le  
cerveau en  
développement.







# Linguistic Bodies

## The Continuity between Life and Language

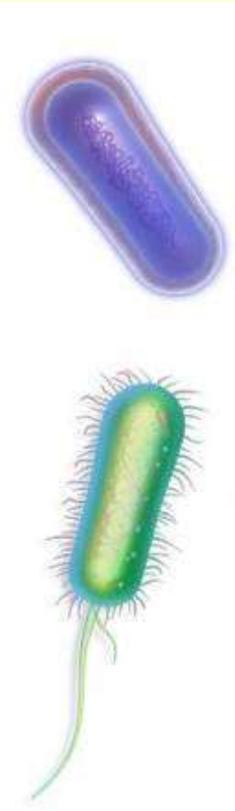
By Ezequiel A. Di Paolo, Elena Clare Cuffari and  
Hanne De Jaegher

A novel theoretical framework for an embodied, non-representational approach to language that extends and deepens enactive theory, bridging the gap between sensorimotor skills and language.

<https://mitpress.mit.edu/books/linguistic-bodies>

**2018**

Il va falloir **reculer dans le temps**  
pour essayer de comprendre où commence le « mind » !



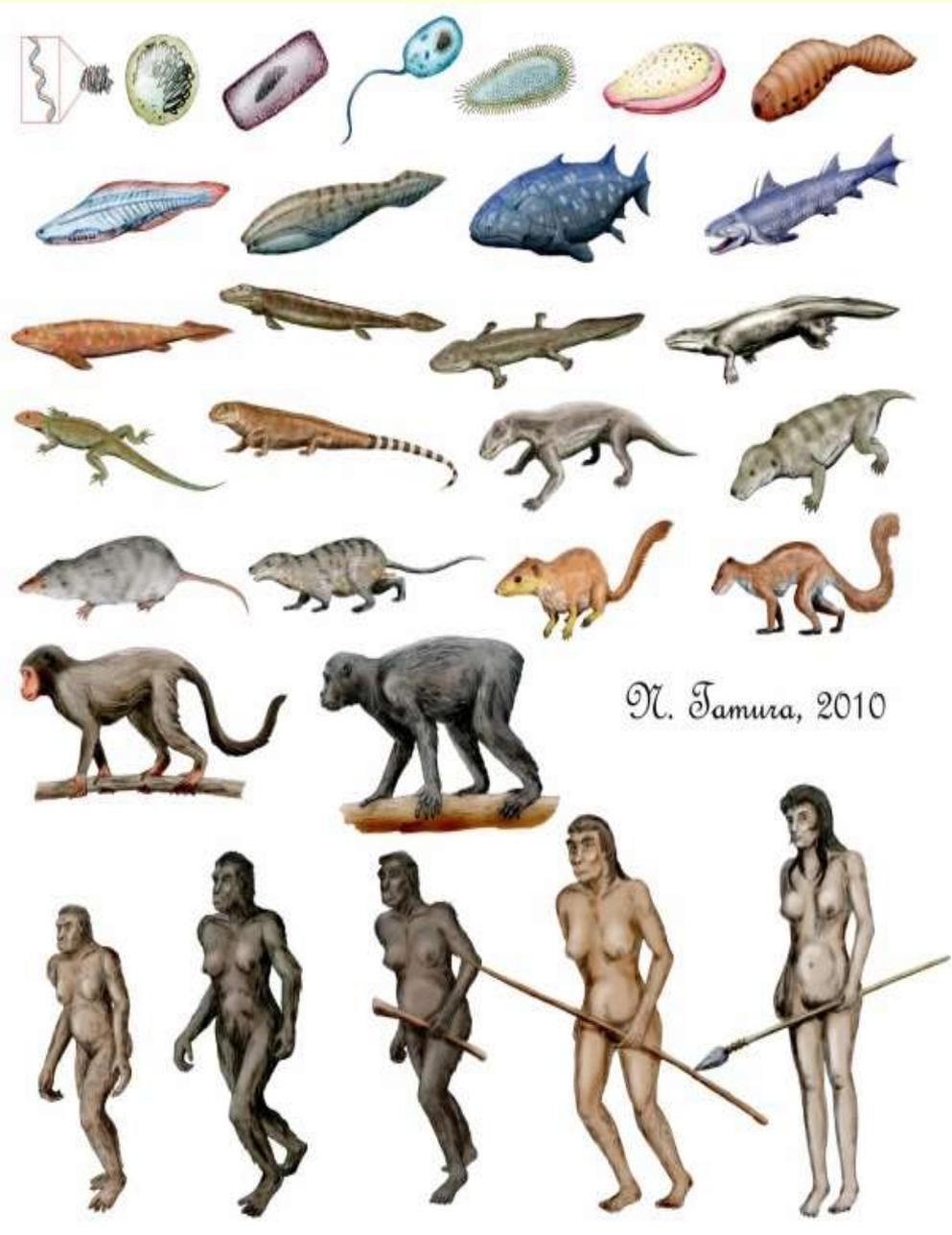


Live from the Flight Deck | golfcharlie232









« Rien en biologie n'a de sens, si ce n'est à la lumière de l'évolution »

- Theodosius Dobzhansky  
(1900-1975)



Pour essayer de comprendre le cerveau, il faut donc d'abord se pencher ce qu'est **la vie** elle-même...



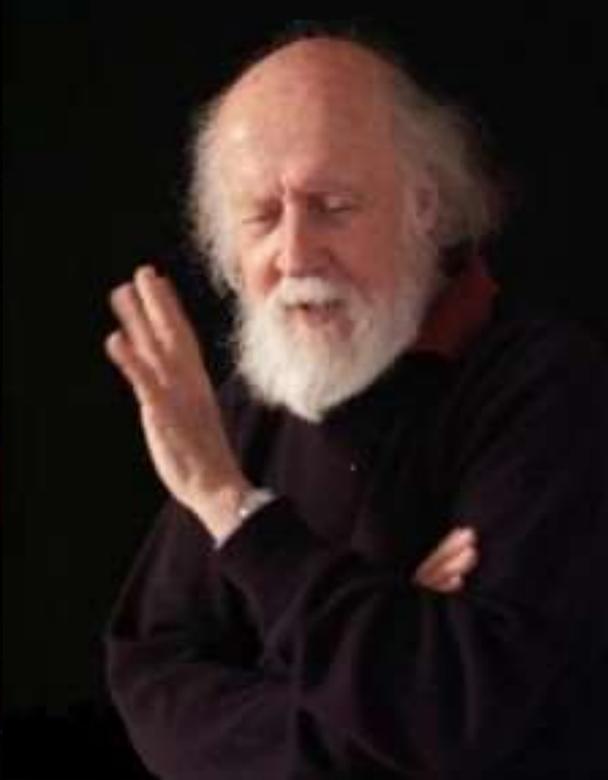
Et pour être sûr de ne rien manquer...





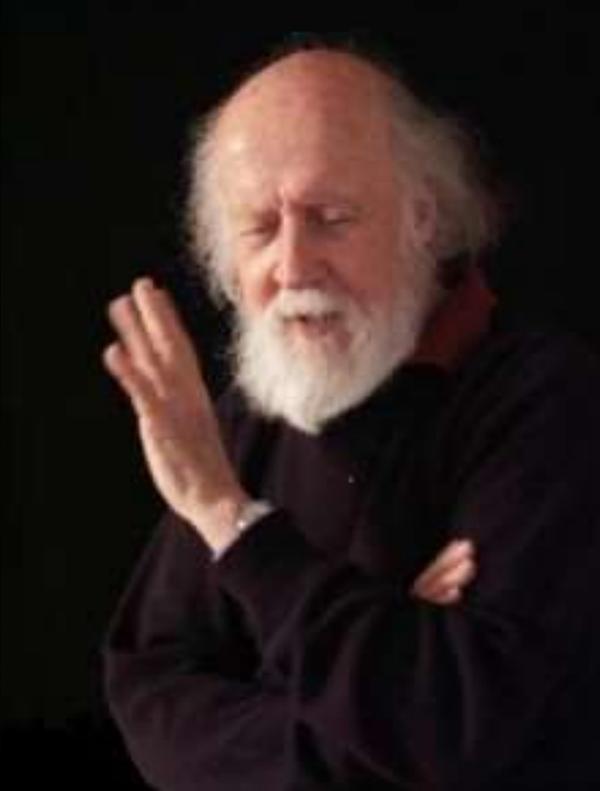
...on va reculer très loin dans le passé... ;-)







« L'histoire de l'Univers, c'est comment ces quarks et ces électrons sont devenus vous-mêmes.



Quand vous prenez conscience de votre existence, vous faites l'acte le plus extraordinairement complexe qui n'ait jamais été fait dans l'Univers et cela exige que 100 milliards de milliards de milliards de quarks et d'électrons jouent un rôle précis pour que vous soyez en mesure de penser ».

Plus de 13,8 milliards d'années d'organisation et de complexification depuis le Big Bang ont été nécessaires pour concrétiser ce simple fait. »



- Hubert Reeves



# Croissance de complexité

(ce qui ne veut pas dire que  
l'humain en soit la finalité !)

Vous êtes nés il y a  
13,8 milliards  
d'années

**Évolution cosmique, chimique et biologique**



(Crédit : modifié de Robert Lamontagne)

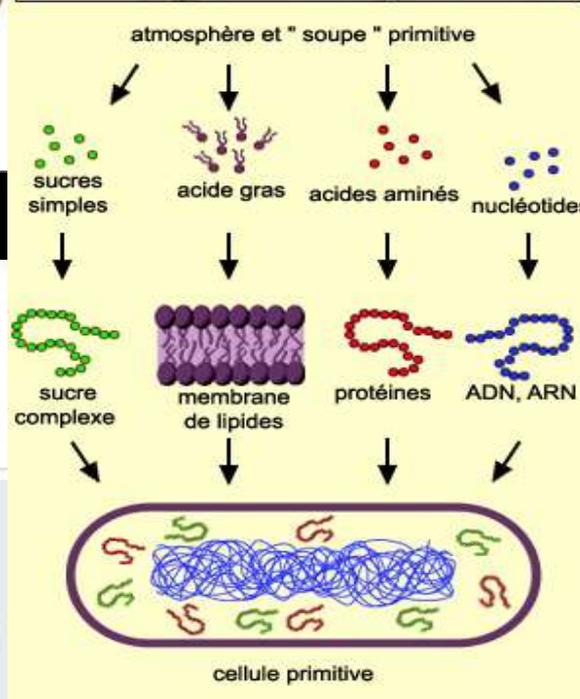
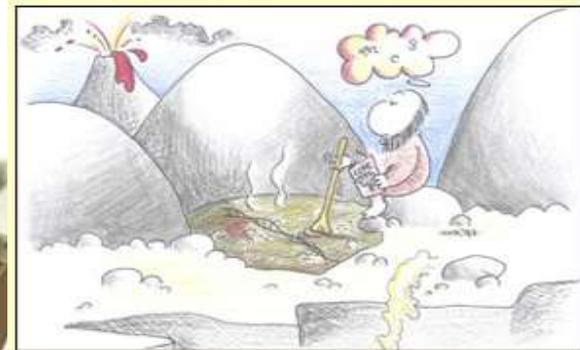
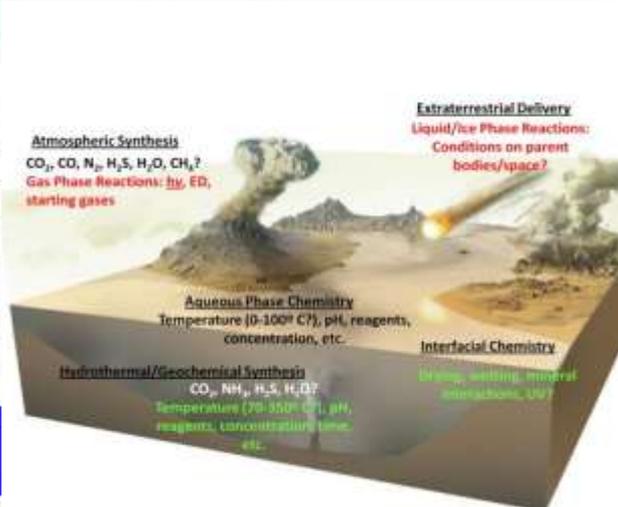


# Croissance de complexité

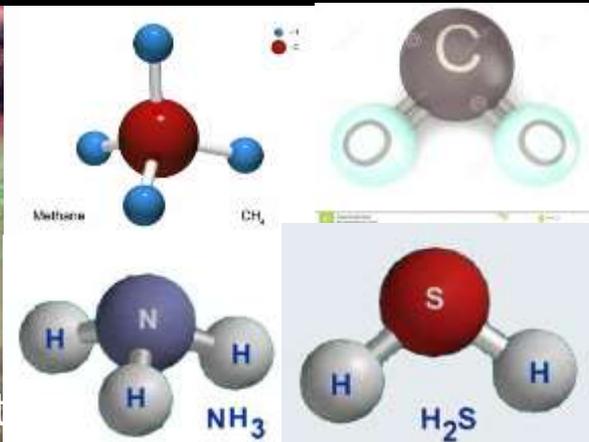
(ce qui ne veut pas dire que l'humain en soit la finalité !)



## Tableau Périodique des Éléments



## Évolution cosmique, chimique

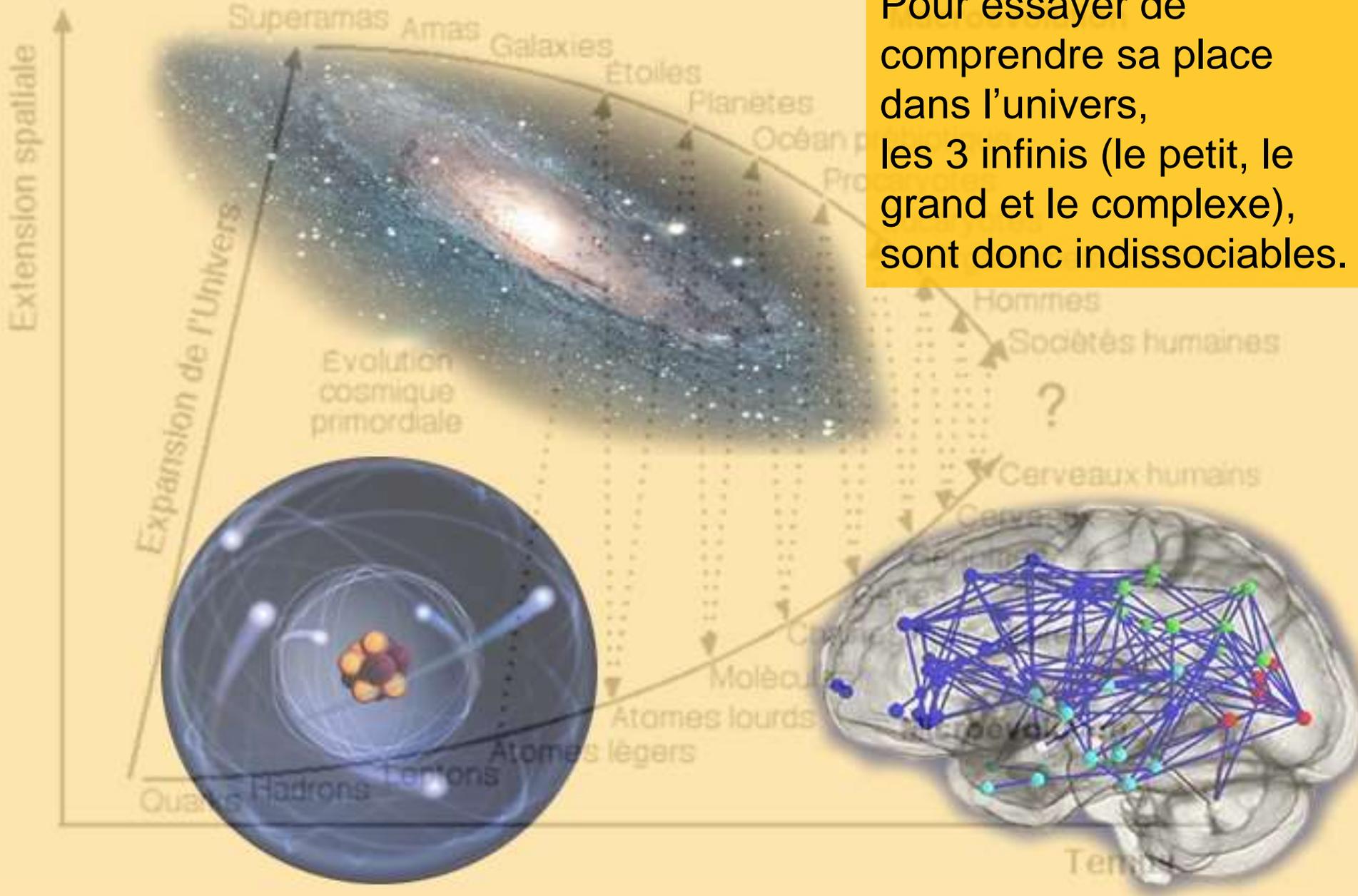


(Crédit : modifié de Robert Lamont)

Pour essayer de  
comprendre sa place  
dans l'univers,  
les 3 infinis (le petit, le  
grand et le complexe),  
sont donc indissociables.

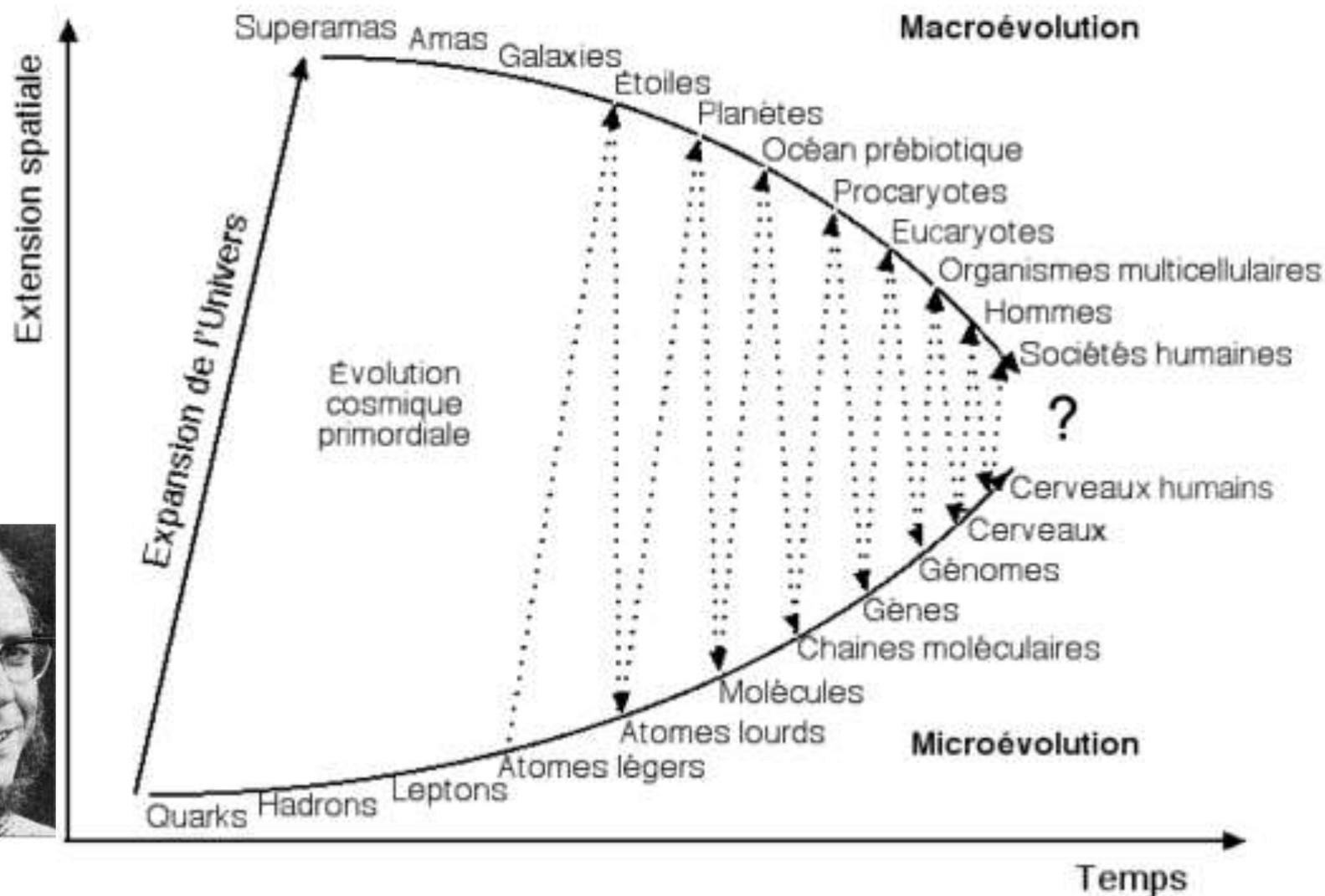


Pour essayer de comprendre sa place dans l'univers, les 3 infinis (le petit, le grand et le complexe), sont donc indissociables.

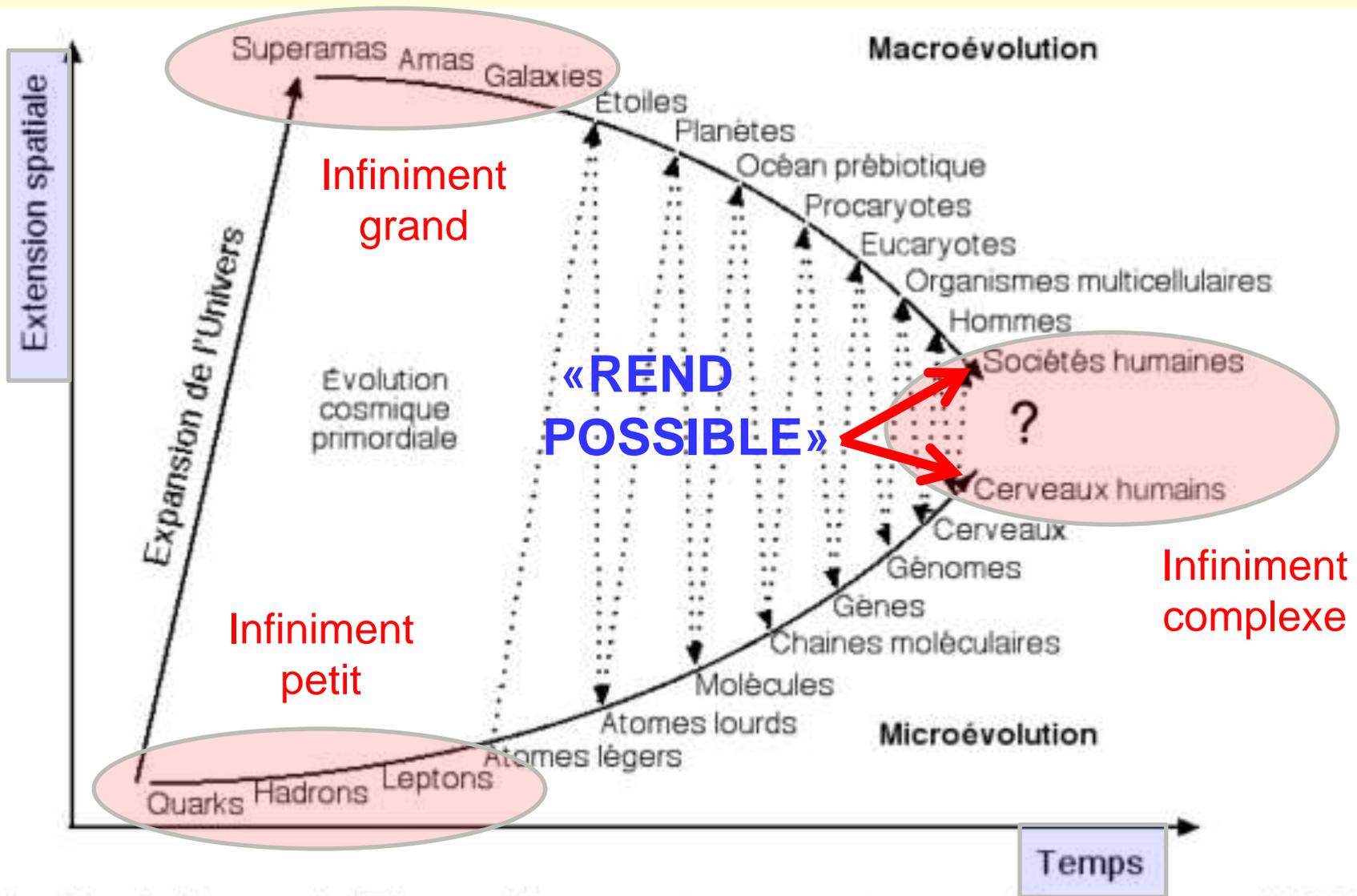




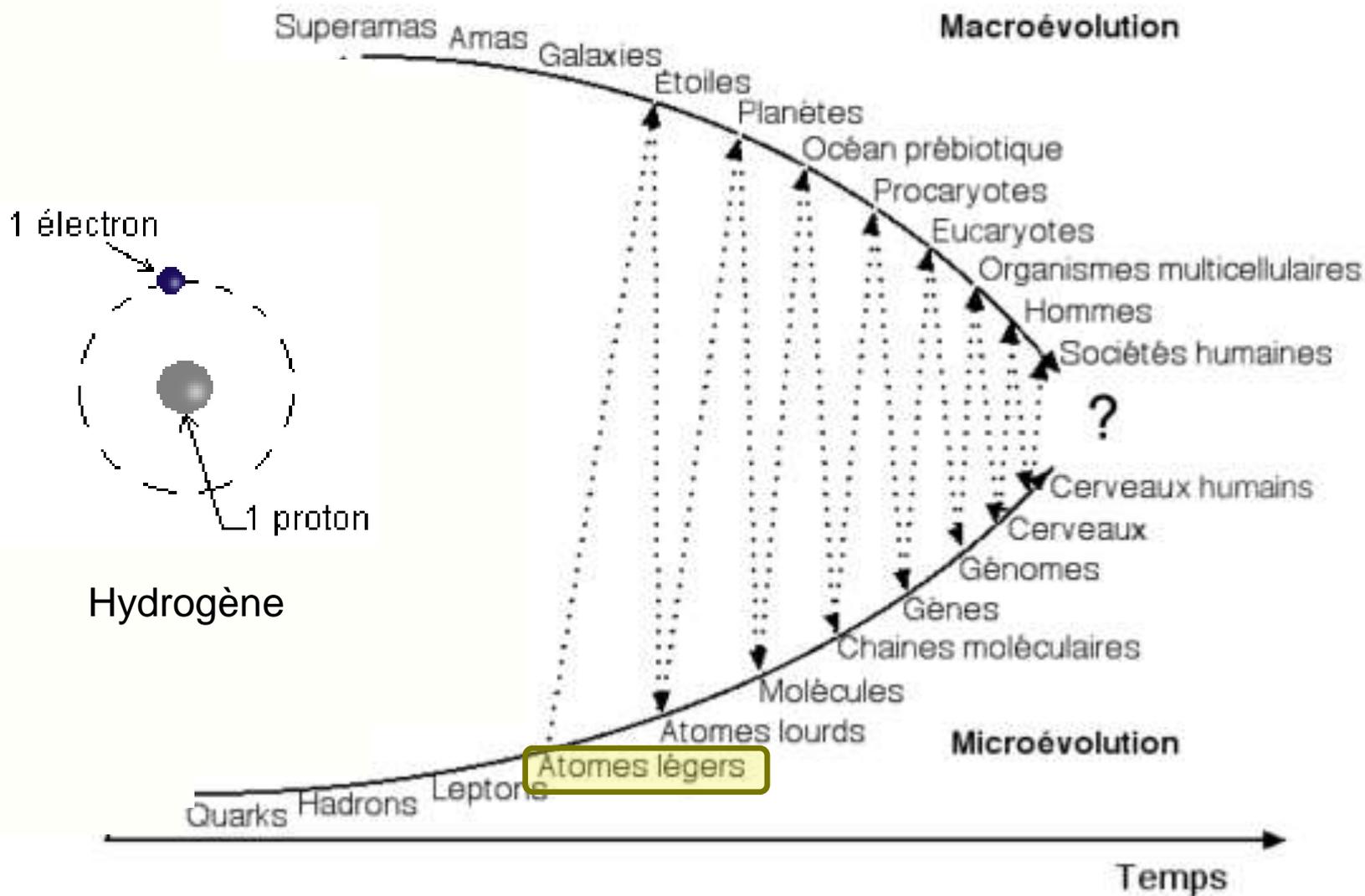
(1929 - 1980)

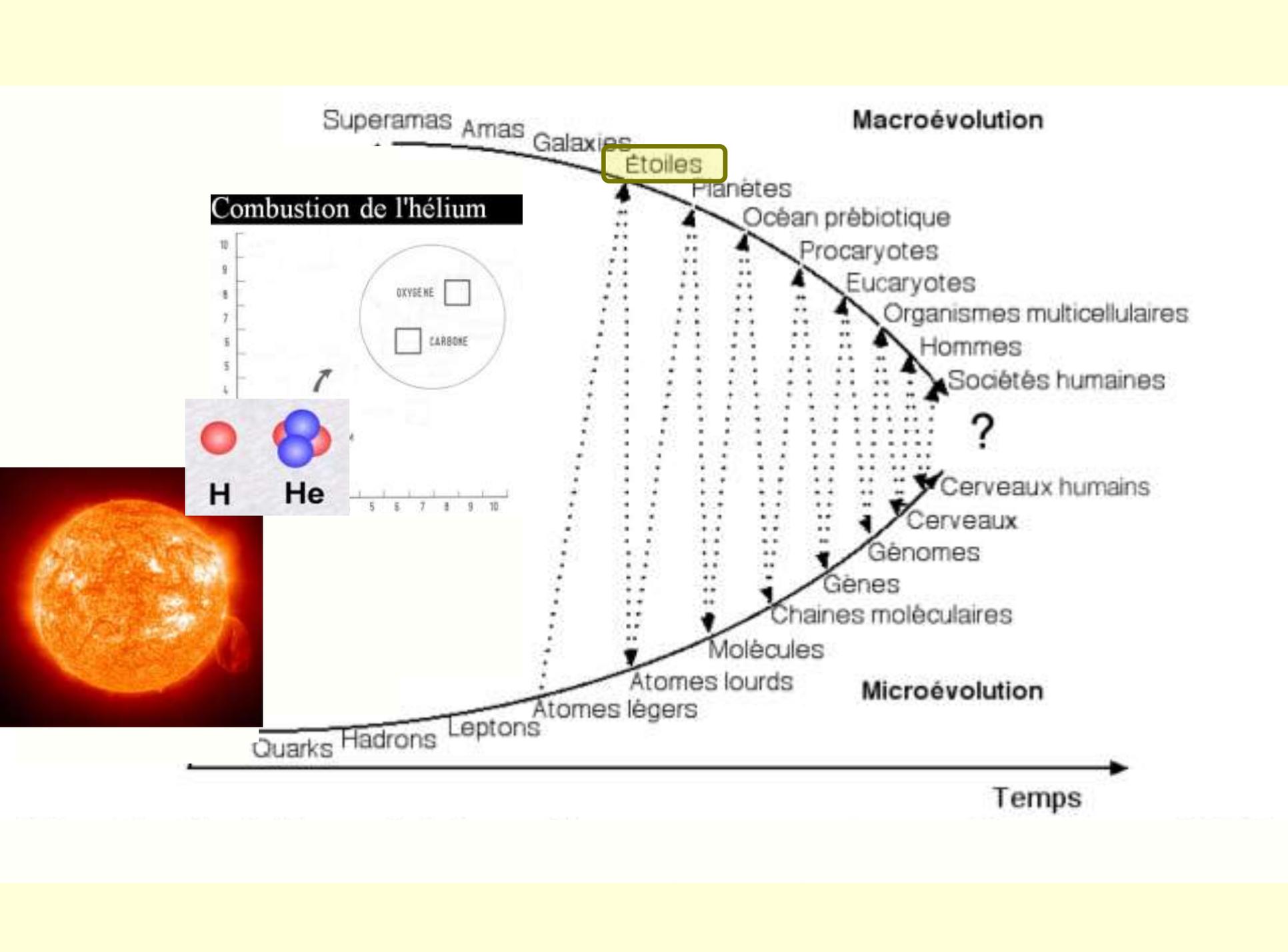


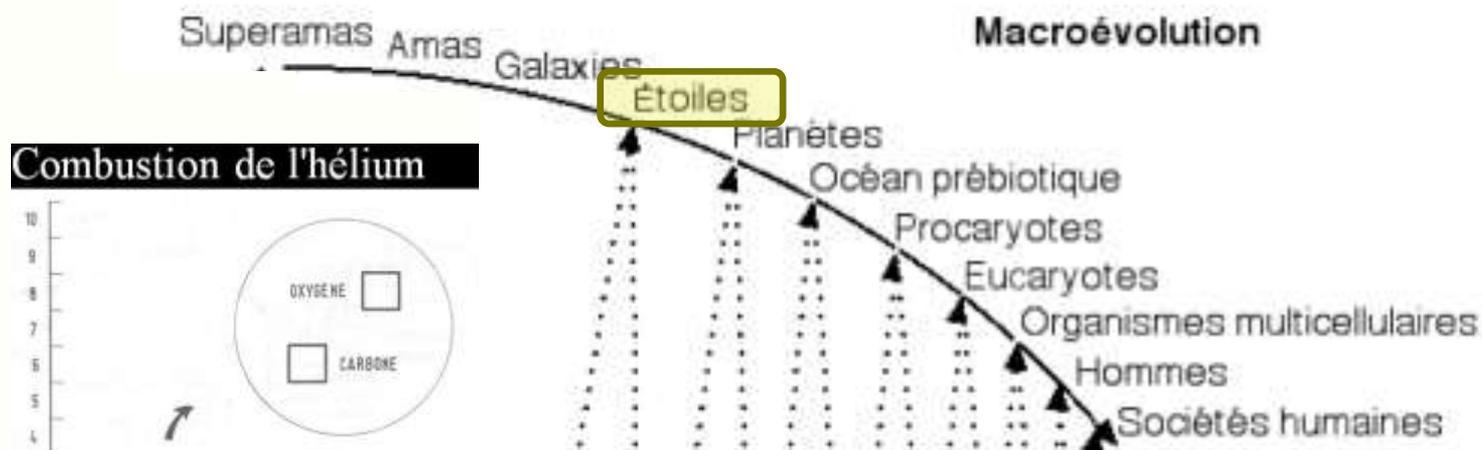
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.







**Elles s'éclatent pour vous!**

Sans les étoiles mortes, vous ne seriez pas là.

Le calcium de vos os, l'oxygène que vous respirez et le fer dans votre sang ont tous été formés dans des étoiles disparues depuis des milliards d'années.

[craq-astro.ca](http://craq-astro.ca)

CoolCosmos.net

Temps

# Macroévolution

Superamas Amas Galaxies Étoiles Planètes

## Tableau Périodique des Éléments

■ Métaux alcalins ■ Actinides O Solide L Liquide G Gaz  
■ Métaux alcalino-terreux ■ Métaux pauvres H Gaz N Non classé  
■ Métaux de transition ■ Non-métaux S Solide

1 H Hydrogène [1.008] 2 He Hélium [4.0026]  
 3 Li Lithium [6.941] 4 Be Béryllium [9.0122]  
 5 B Bore [10.811] 6 C Carbone [12.011] 7 N Azote [14.0064] 8 O Oxygène [15.999] 9 F Fluorure [18.9984] 10 Ne Néon [20.1797]  
 11 Na Sodium [22.98976928] 12 Mg Magnésium [24.304] 13 Al Aluminium [26.9815386] 14 Si Silicium [28.0855] 15 P Phosphore [30.973762] 16 S Soufre [32.06] 17 Cl Chlore [35.45] 18 Ar Argon [39.948]

19 K Potassium [39.0983] 20 Ca Calcium [40.078] 21 Sc Scandium [44.955912] 22 Ti Titane [47.88] 23 V Vanadium [50.9415] 24 Cr Chrome [51.9961] 25 Mn Manganèse [54.938] 26 Fe Fer [55.845] 27 Co Cobalt [58.933195] 28 Ni Nickel [58.6934] 29 Cu Cuivre [63.546] 30 Zn Zinc [65.38] 31 Ga Gallium [69.723] 32 Ge Germanium [72.63] 33 As Arsenic [74.9216] 34 Se Sélénium [78.96] 35 Br Brome [79.904] 36 Kr Krypton [83.798]

37 Rb Rubidium [85.4678] 38 Sr Strontium [87.62] 39 Y Yttrium [88.905848] 40 Zr Zirconium [91.224] 41 Nb Niobium [92.90638] 42 Mo Molybdène [95.94] 43 Tc Technétium [98] 44 Ru Ruthénium [101.07] 45 Rh Rhodium [102.9055] 46 Pd Palladium [106.36] 47 Ag Argent [107.8682] 48 Cd Cadmium [112.414] 49 In Indium [114.818] 50 Sn Étain [118.710] 51 Sb Bismuth [121.757] 52 Te Tellure [127.6] 53 I Iode [126.90547] 54 Xe Xénon [131.29]

55 Cs Césium [132.90545196] 56 Ba Baryum [137.327] 57 La Lanthane (57-71) 58 Ce Cérium [140.12] 59 Pr Praseodyme [140.90765] 60 Nd Néodyme [144.24] 61 Pm Prométhée [145] 62 Sm Samarium [150.36] 63 Eu Europium [151.964] 64 Gd Gadolinium [157.25] 65 Tb Terbium [158.92534] 66 Dy Dysprosium [162.5] 67 Ho Holmium [164.93032] 68 Er Erbium [167.259] 69 Tm Thulium [168.93032] 70 Yb Ytterbium [173.054] 71 Lu Lutécium [174.967]

72 Hf Hafnium [178.49] 73 Ta Tantalum [180.94788] 74 W Wolfram [183.84] 75 Re Rhenium [186.207] 76 Os Osmium [190.23] 77 Ir Iridium [192.222] 78 Pt Platine [195.084] 79 Au Or [196.966569] 80 Hg Mercure [200.59] 81 Tl Thallium [204.3833] 82 Pb Plomb [207.2] 83 Bi Bismuth [208.9804] 84 Po Polonium [209] 85 At Astatine [210] 86 Rn Radon [222]

87 Fr Francium [223] 88 Ra Radium [226] 89 Ac Actinium [227] 90 Th Thorium [232.0377] 91 Pa Protactinium [231] 92 U Uranium [238.02891] 93 Np Neptunium [237] 94 Pu Plutonium [244] 95 Am Americium [243] 96 Cm Curium [247] 97 Bk Bérillium [247] 98 Cf Californium [251] 99 Es Einsteinium [252] 100 Fm Fermium [257] 101 Md Mendelevium [258] 102 No Nobeélium [259] 103 Lr Lawrencium [260]

104 Rf Rutherfordium [261] 105 Db Dubnium [262] 106 Sg Seaborgium [263] 107 Bh Bohrium [264] 108 Hs Hassium [265] 109 Mt Meitnerium [266] 110 Ds Darmstadtium [267] 111 Rg Roentgenium [268] 112 Copernicium [269] 113 Nh Nihonium [270] 114 Fl Flerovium [271] 115 Lv Livermorium [272] 116 Ts Tennessine [273] 117 Og Oganesson [274]

118 Uue Ununennium [285] 119 Uuq Unbinilium [286] 120 Uuq Unbinilium [287] 121 Uuq Unbinilium [288] 122 Uus Unbinilium [289] 123 Uuq Unbinilium [290] 124 Uuq Unbinilium [291] 125 Uuq Unbinilium [292] 126 Uus Unbinilium [293]

127 Uuq Unbinilium [294] 128 Uuq Unbinilium [295] 129 Uuq Unbinilium [296] 130 Uuq Unbinilium [297] 131 Uuq Unbinilium [298] 132 Uuq Unbinilium [299] 133 Uuq Unbinilium [300]

134 Uuq Unbinilium [301] 135 Uuq Unbinilium [302] 136 Uuq Unbinilium [303] 137 Uuq Unbinilium [304] 138 Uuq Unbinilium [305] 139 Uuq Unbinilium [306] 140 Uuq Unbinilium [307]

141 Uuq Unbinilium [308] 142 Uuq Unbinilium [309] 143 Uuq Unbinilium [310] 144 Uuq Unbinilium [311] 145 Uuq Unbinilium [312] 146 Uuq Unbinilium [313] 147 Uuq Unbinilium [314] 148 Uuq Unbinilium [315]

149 Uuq Unbinilium [316] 150 Uuq Unbinilium [317] 151 Uuq Unbinilium [318] 152 Uuq Unbinilium [319] 153 Uuq Unbinilium [320] 154 Uuq Unbinilium [321] 155 Uuq Unbinilium [322] 156 Uuq Unbinilium [323]

157 Uuq Unbinilium [324] 158 Uuq Unbinilium [325] 159 Uuq Unbinilium [326] 160 Uuq Unbinilium [327] 161 Uuq Unbinilium [328] 162 Uuq Unbinilium [329] 163 Uuq Unbinilium [330]

164 Uuq Unbinilium [331] 165 Uuq Unbinilium [332] 166 Uuq Unbinilium [333] 167 Uuq Unbinilium [334] 168 Uuq Unbinilium [335] 169 Uuq Unbinilium [336] 170 Uuq Unbinilium [337] 171 Uuq Unbinilium [338]

172 Uuq Unbinilium [339] 173 Uuq Unbinilium [340] 174 Uuq Unbinilium [341] 175 Uuq Unbinilium [342] 176 Uuq Unbinilium [343] 177 Uuq Unbinilium [344] 178 Uuq Unbinilium [345] 179 Uuq Unbinilium [346]

180 Uuq Unbinilium [347] 181 Uuq Unbinilium [348] 182 Uuq Unbinilium [349] 183 Uuq Unbinilium [350] 184 Uuq Unbinilium [351] 185 Uuq Unbinilium [352] 186 Uuq Unbinilium [353]

187 Uuq Unbinilium [354] 188 Uuq Unbinilium [355] 189 Uuq Unbinilium [356] 190 Uuq Unbinilium [357] 191 Uuq Unbinilium [358] 192 Uuq Unbinilium [359] 193 Uuq Unbinilium [360]

194 Uuq Unbinilium [361] 195 Uuq Unbinilium [362] 196 Uuq Unbinilium [363] 197 Uuq Unbinilium [364] 198 Uuq Unbinilium [365] 199 Uuq Unbinilium [366] 200 Uuq Unbinilium [367] 201 Uuq Unbinilium [368]

202 Uuq Unbinilium [369] 203 Uuq Unbinilium [370] 204 Uuq Unbinilium [371] 205 Uuq Unbinilium [372] 206 Uuq Unbinilium [373] 207 Uuq Unbinilium [374] 208 Uuq Unbinilium [375]

209 Uuq Unbinilium [376] 210 Uuq Unbinilium [377] 211 Uuq Unbinilium [378] 212 Uuq Unbinilium [379] 213 Uuq Unbinilium [380] 214 Uuq Unbinilium [381] 215 Uuq Unbinilium [382]

216 Uuq Unbinilium [383] 217 Uuq Unbinilium [384] 218 Uuq Unbinilium [385] 219 Uuq Unbinilium [386] 220 Uuq Unbinilium [387] 221 Uuq Unbinilium [388] 222 Uuq Unbinilium [389]

223 Uuq Unbinilium [390] 224 Uuq Unbinilium [391] 225 Uuq Unbinilium [392] 226 Uuq Unbinilium [393] 227 Uuq Unbinilium [394] 228 Uuq Unbinilium [395] 229 Uuq Unbinilium [396] 230 Uuq Unbinilium [397]

231 Uuq Unbinilium [398] 232 Uuq Unbinilium [399] 233 Uuq Unbinilium [400] 234 Uuq Unbinilium [401] 235 Uuq Unbinilium [402] 236 Uuq Unbinilium [403] 237 Uuq Unbinilium [404]

238 Uuq Unbinilium [405] 239 Uuq Unbinilium [406] 240 Uuq Unbinilium [407] 241 Uuq Unbinilium [408] 242 Uuq Unbinilium [409] 243 Uuq Unbinilium [410] 244 Uuq Unbinilium [411]

245 Uuq Unbinilium [412] 246 Uuq Unbinilium [413] 247 Uuq Unbinilium [414] 248 Uuq Unbinilium [415] 249 Uuq Unbinilium [416] 250 Uuq Unbinilium [417] 251 Uuq Unbinilium [418]

252 Uuq Unbinilium [419] 253 Uuq Unbinilium [420] 254 Uuq Unbinilium [421] 255 Uuq Unbinilium [422] 256 Uuq Unbinilium [423] 257 Uuq Unbinilium [424] 258 Uuq Unbinilium [425]

259 Uuq Unbinilium [426] 260 Uuq Unbinilium [427] 261 Uuq Unbinilium [428] 262 Uuq Unbinilium [429] 263 Uuq Unbinilium [430] 264 Uuq Unbinilium [431] 265 Uuq Unbinilium [432]

266 Uuq Unbinilium [433] 267 Uuq Unbinilium [434] 268 Uuq Unbinilium [435] 269 Uuq Unbinilium [436] 270 Uuq Unbinilium [437] 271 Uuq Unbinilium [438] 272 Uuq Unbinilium [439]

273 Uuq Unbinilium [440] 274 Uuq Unbinilium [441] 275 Uuq Unbinilium [442] 276 Uuq Unbinilium [443] 277 Uuq Unbinilium [444] 278 Uuq Unbinilium [445] 279 Uuq Unbinilium [446]

280 Uuq Unbinilium [447] 281 Uuq Unbinilium [448] 282 Uuq Unbinilium [449] 283 Uuq Unbinilium [450] 284 Uuq Unbinilium [451] 285 Uuq Unbinilium [452] 286 Uuq Unbinilium [453]

287 Uuq Unbinilium [454] 288 Uuq Unbinilium [455] 289 Uuq Unbinilium [456] 290 Uuq Unbinilium [457] 291 Uuq Unbinilium [458] 292 Uuq Unbinilium [459] 293 Uuq Unbinilium [460]

294 Uuq Unbinilium [461] 295 Uuq Unbinilium [462] 296 Uuq Unbinilium [463] 297 Uuq Unbinilium [464] 298 Uuq Unbinilium [465] 299 Uuq Unbinilium [466] 300 Uuq Unbinilium [467]

301 Uuq Unbinilium [468] 302 Uuq Unbinilium [469] 303 Uuq Unbinilium [470] 304 Uuq Unbinilium [471] 305 Uuq Unbinilium [472] 306 Uuq Unbinilium [473] 307 Uuq Unbinilium [474]

308 Uuq Unbinilium [475] 309 Uuq Unbinilium [476] 310 Uuq Unbinilium [477] 311 Uuq Unbinilium [478] 312 Uuq Unbinilium [479] 313 Uuq Unbinilium [480] 314 Uuq Unbinilium [481]

315 Uuq Unbinilium [482] 316 Uuq Unbinilium [483] 317 Uuq Unbinilium [484] 318 Uuq Unbinilium [485] 319 Uuq Unbinilium [486] 320 Uuq Unbinilium [487] 321 Uuq Unbinilium [488]

322 Uuq Unbinilium [489] 323 Uuq Unbinilium [490] 324 Uuq Unbinilium [491] 325 Uuq Unbinilium [492] 326 Uuq Unbinilium [493] 327 Uuq Unbinilium [494] 328 Uuq Unbinilium [495]

329 Uuq Unbinilium [496] 330 Uuq Unbinilium [497] 331 Uuq Unbinilium [498] 332 Uuq Unbinilium [499] 333 Uuq Unbinilium [500]

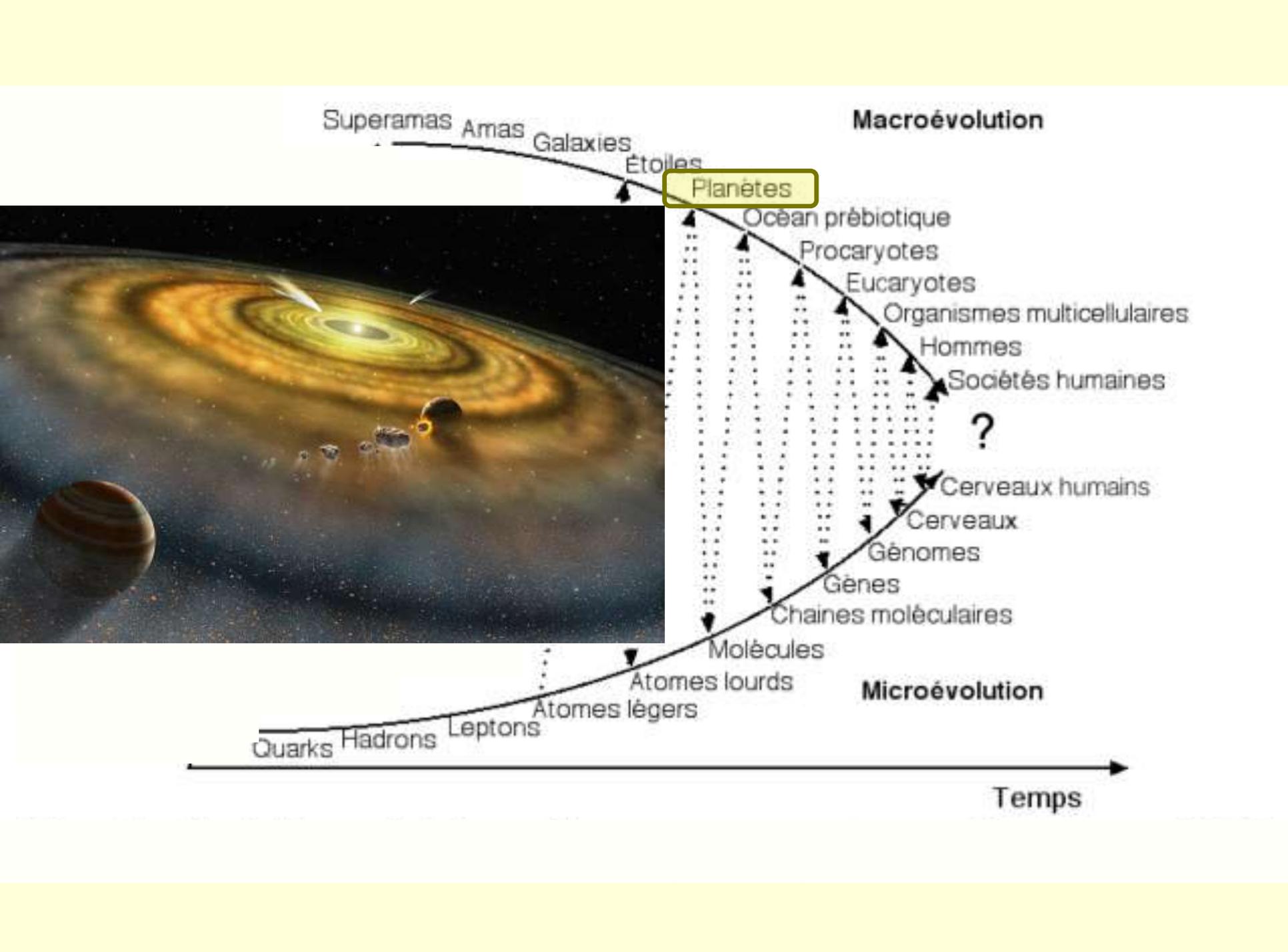
Océan prébiotique  
 Procaryotes  
 Eucaryotes  
 Organismes multicellulaires  
 Hommes  
 Sociétés humaines  
 ?  
 Cerveaux humains  
 Cerveaux  
 Génomes  
 Gènes  
 Chaînes moléculaires  
 Molécules

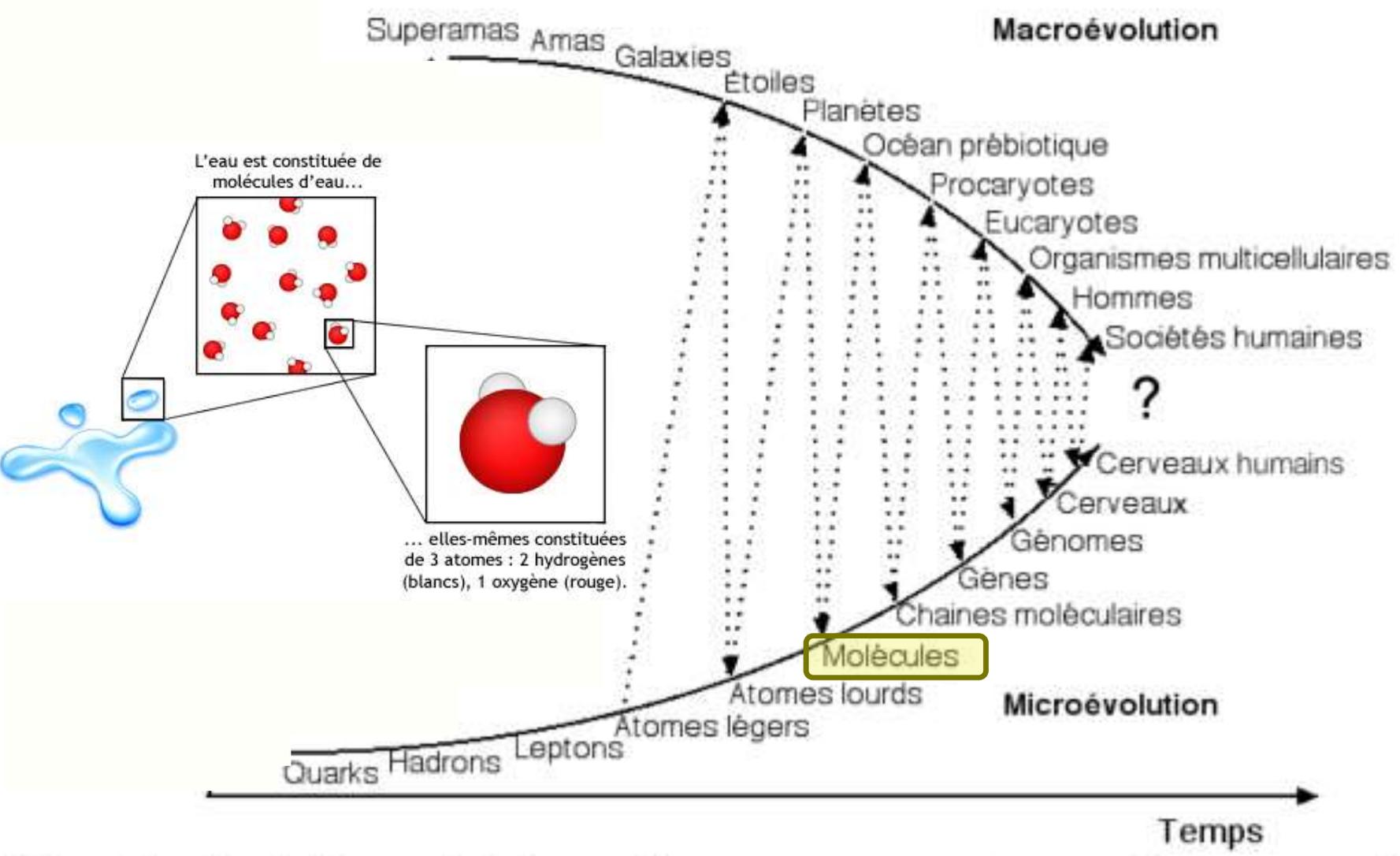
Atomes lourds

Quarks Hadrons Leptons Atomes légers

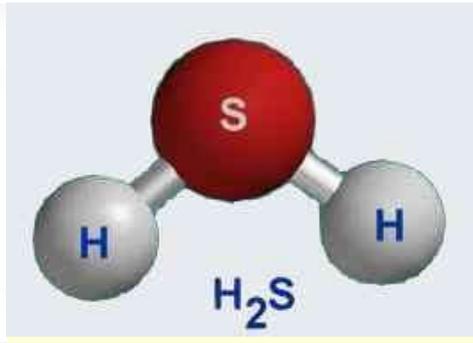
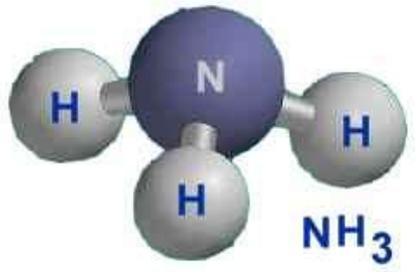
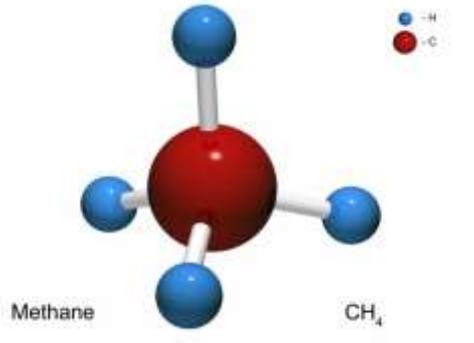
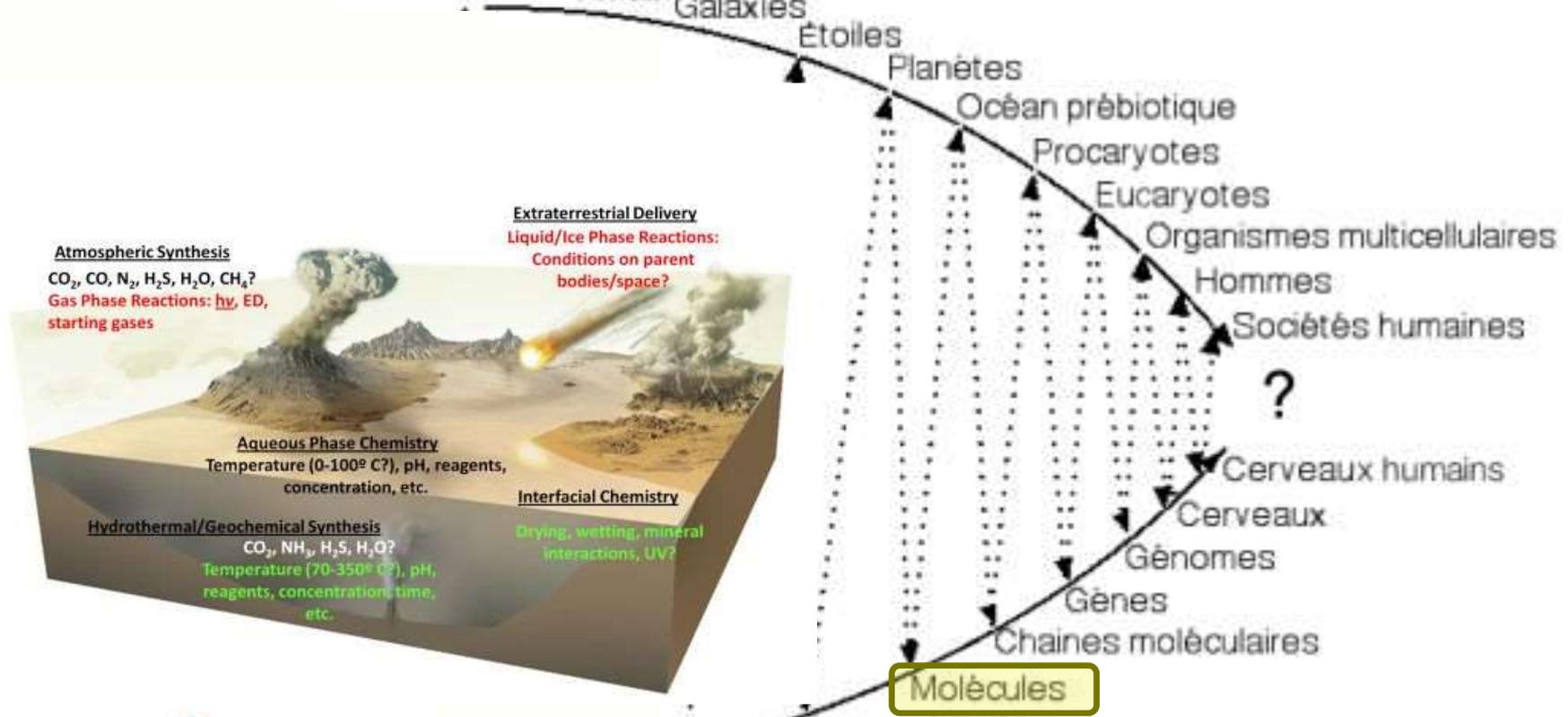
# Microévolution

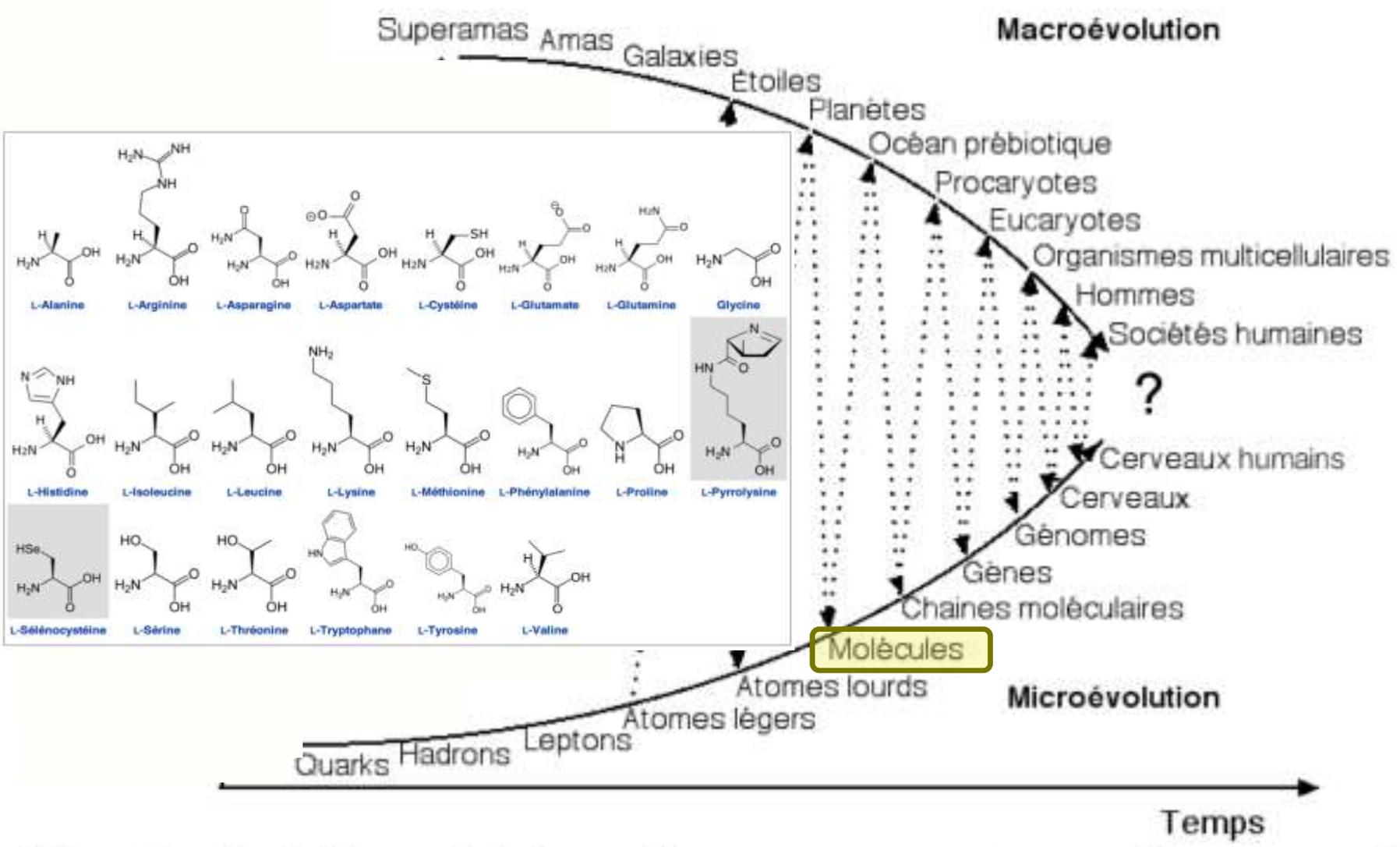
Temps

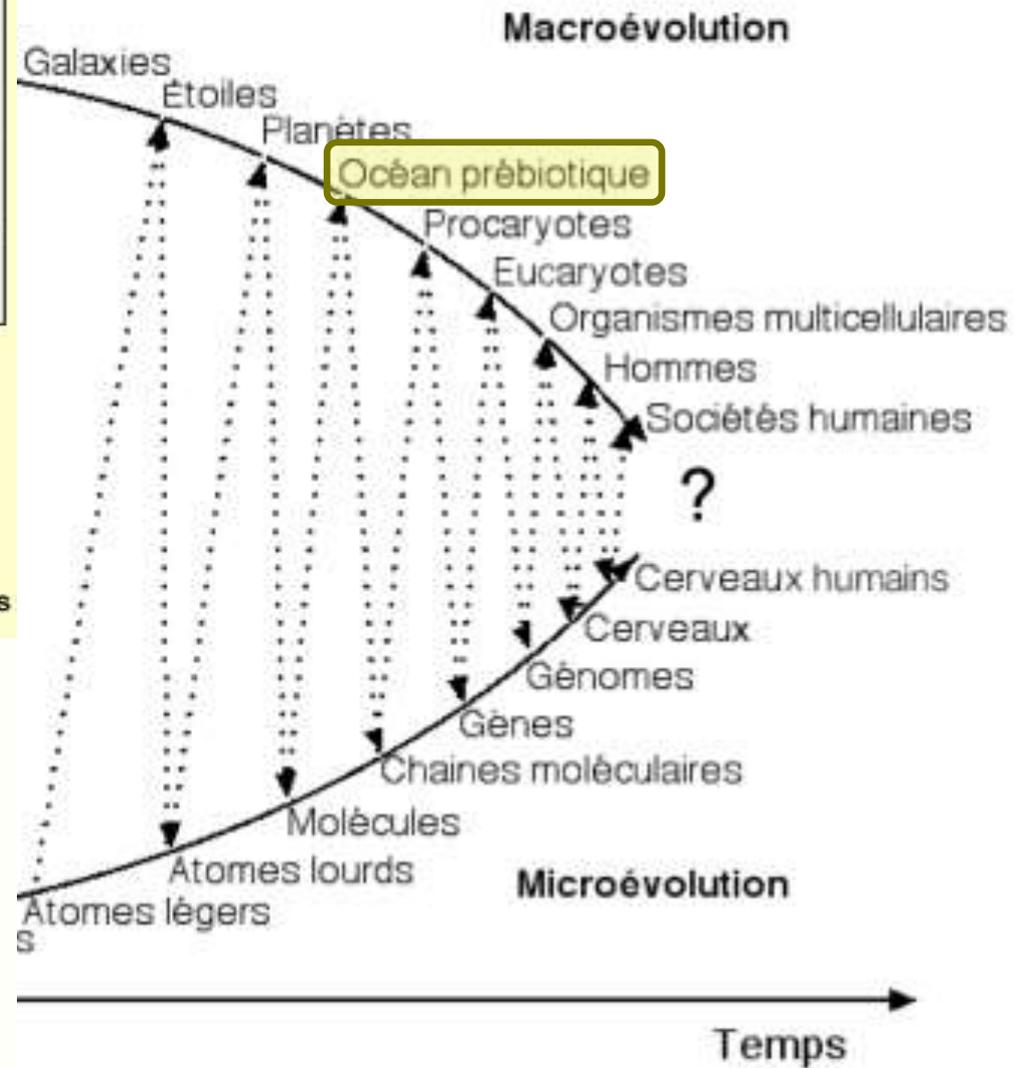
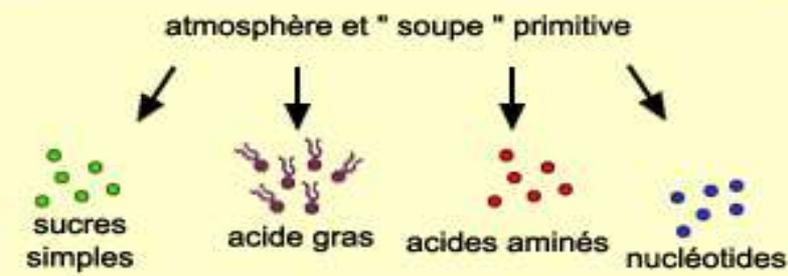


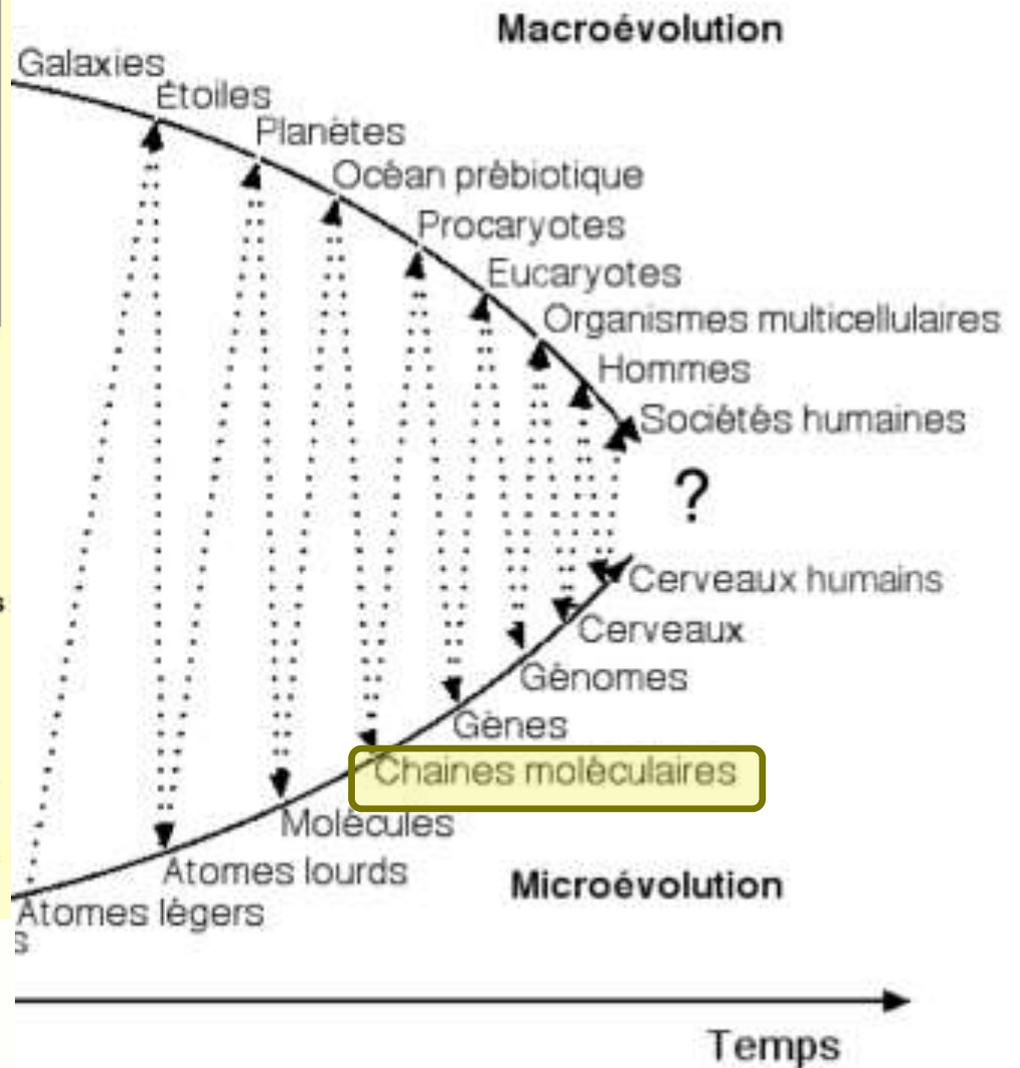
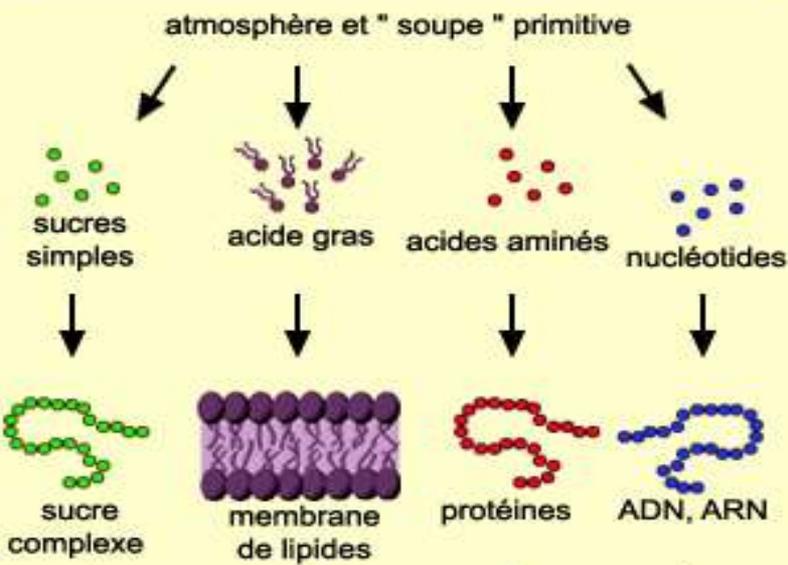


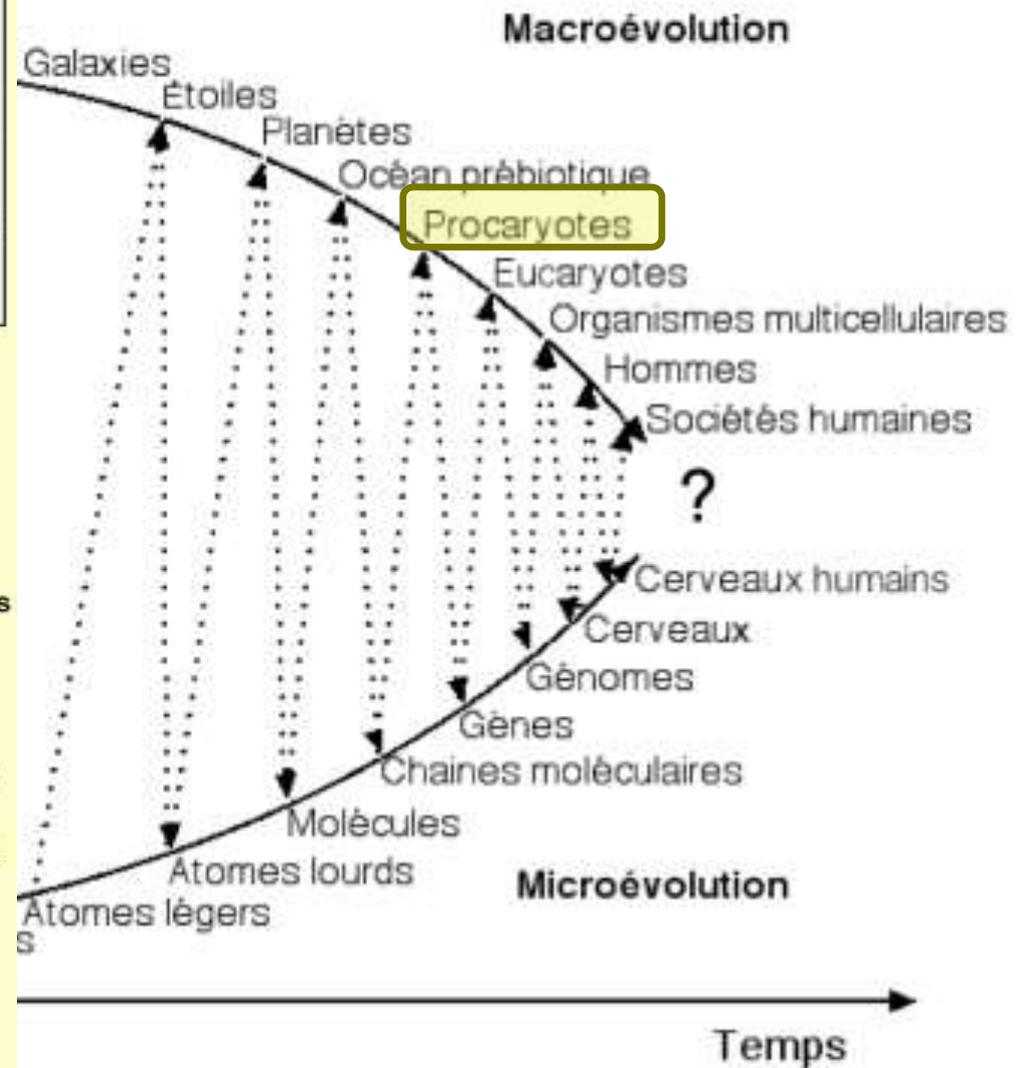
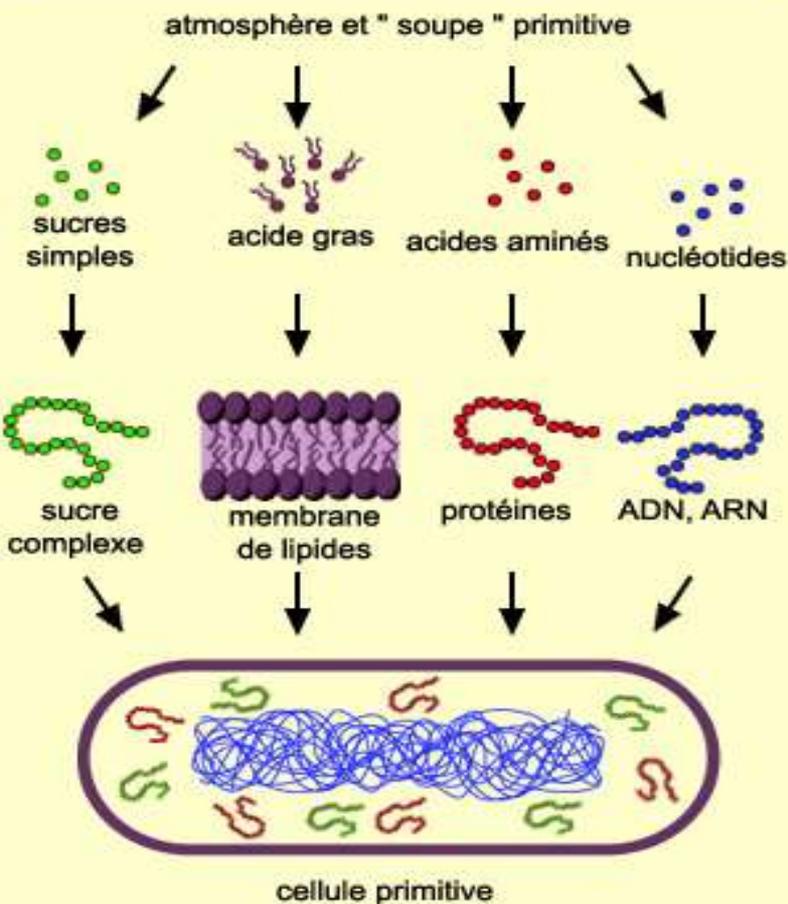
Superamas Amas Galaxies Étoiles Planètes Macroévolution

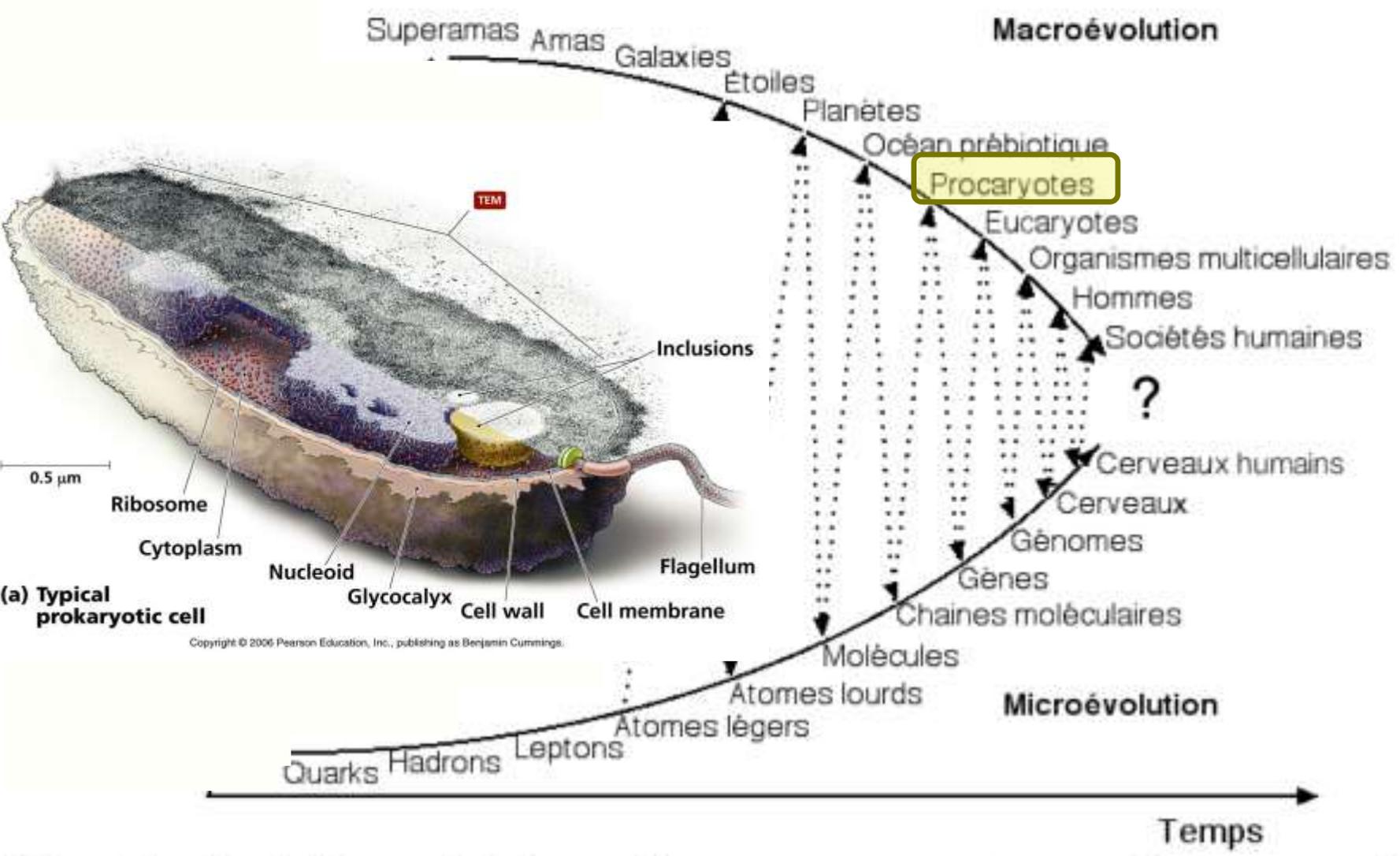


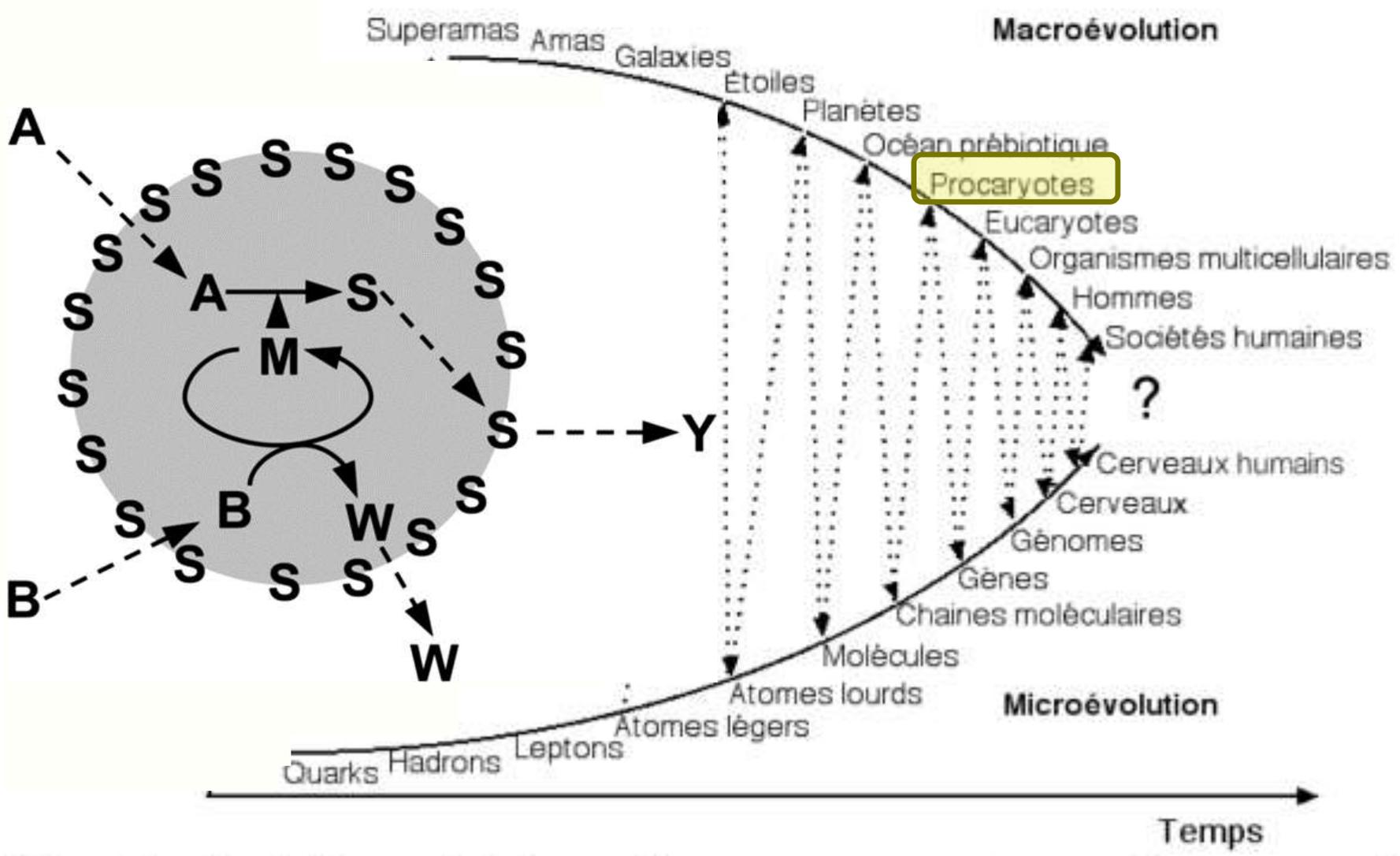


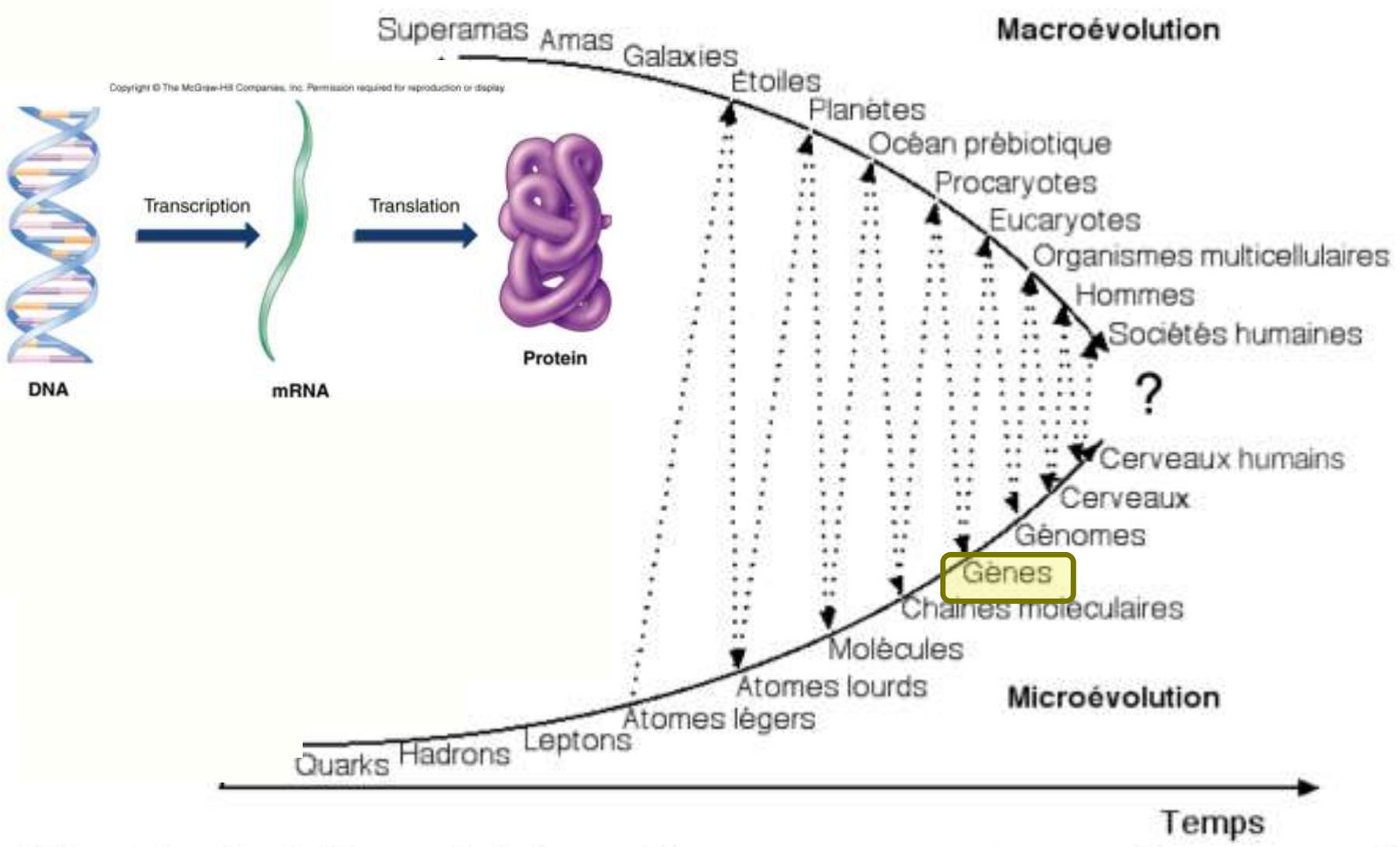


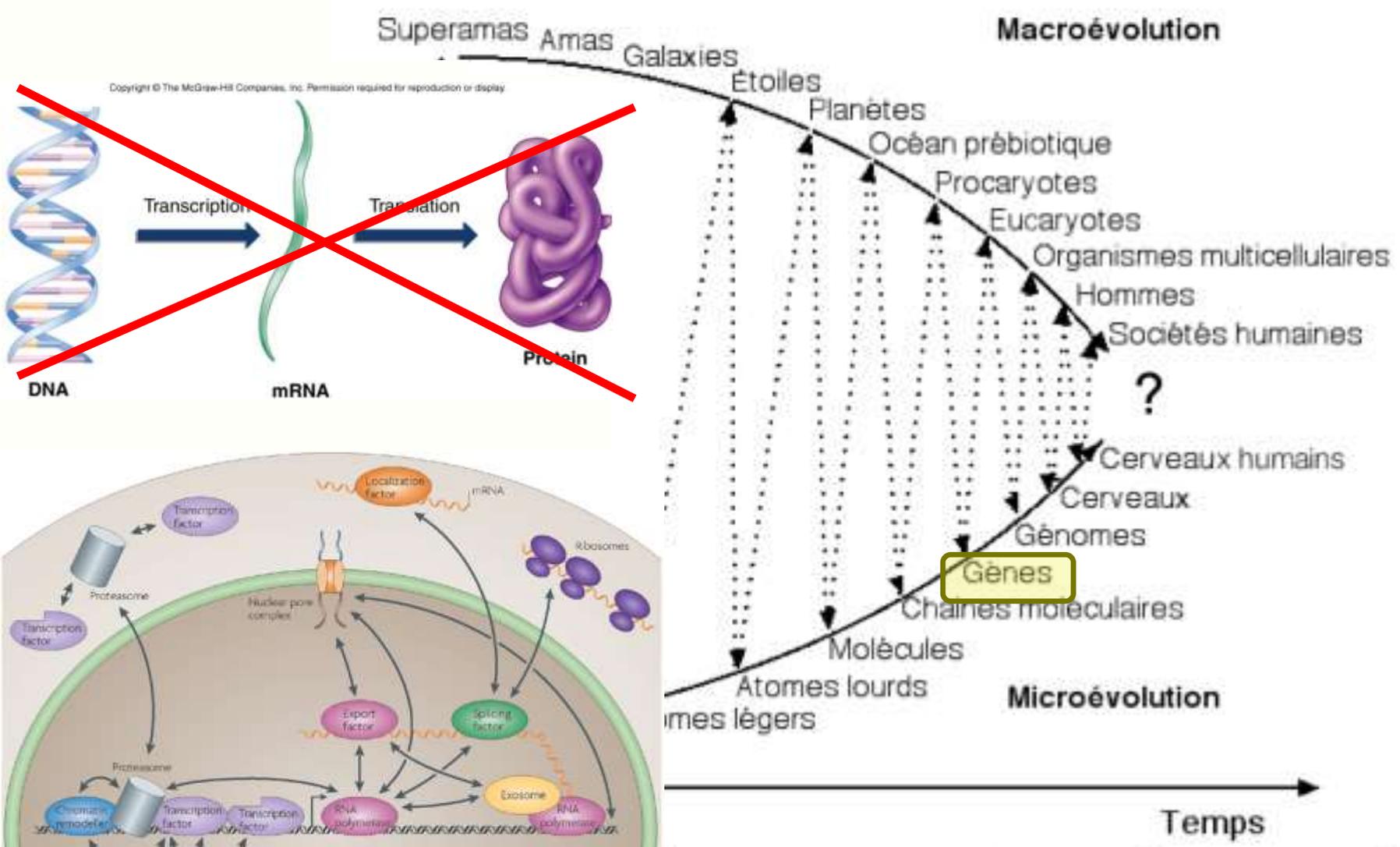


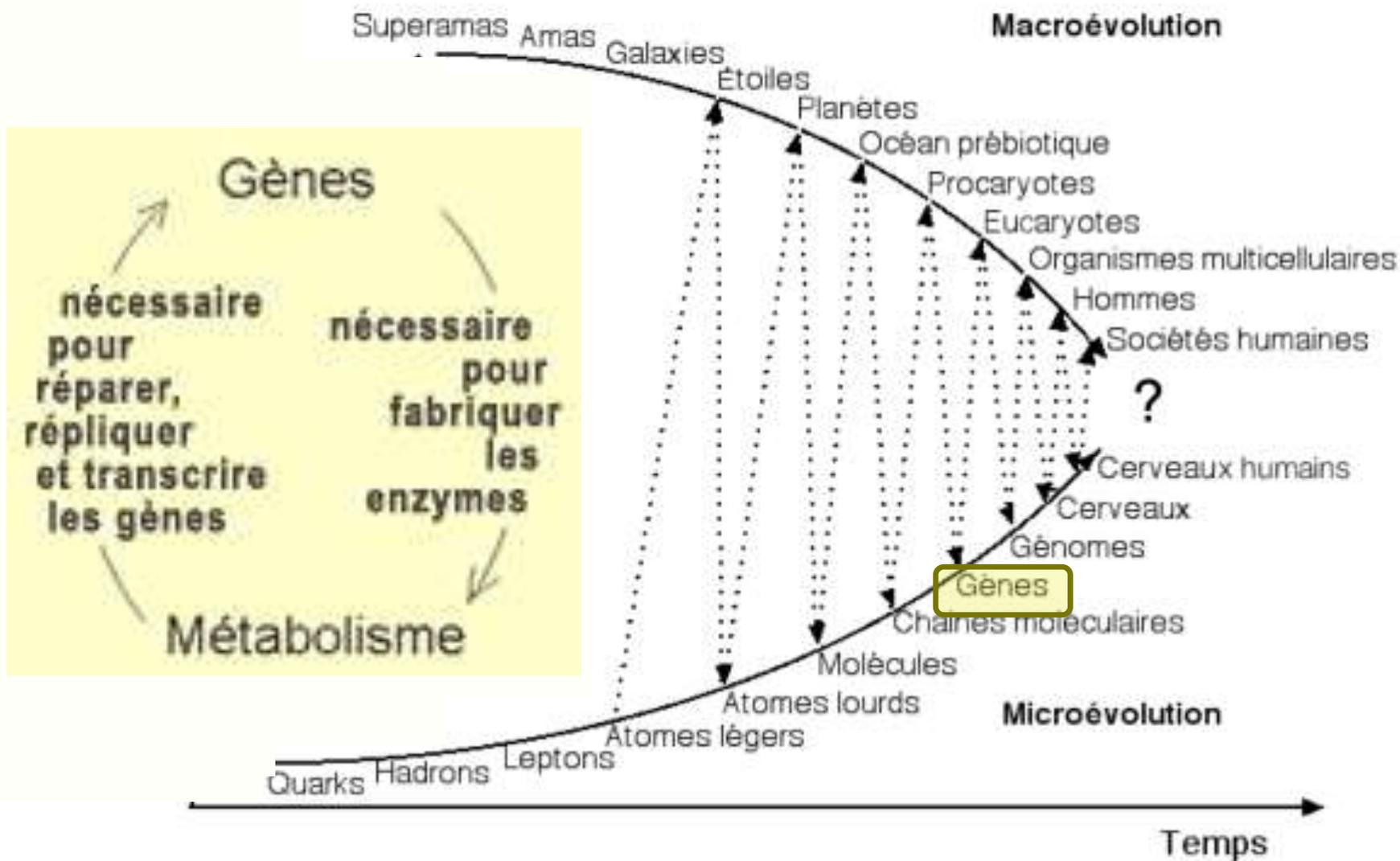


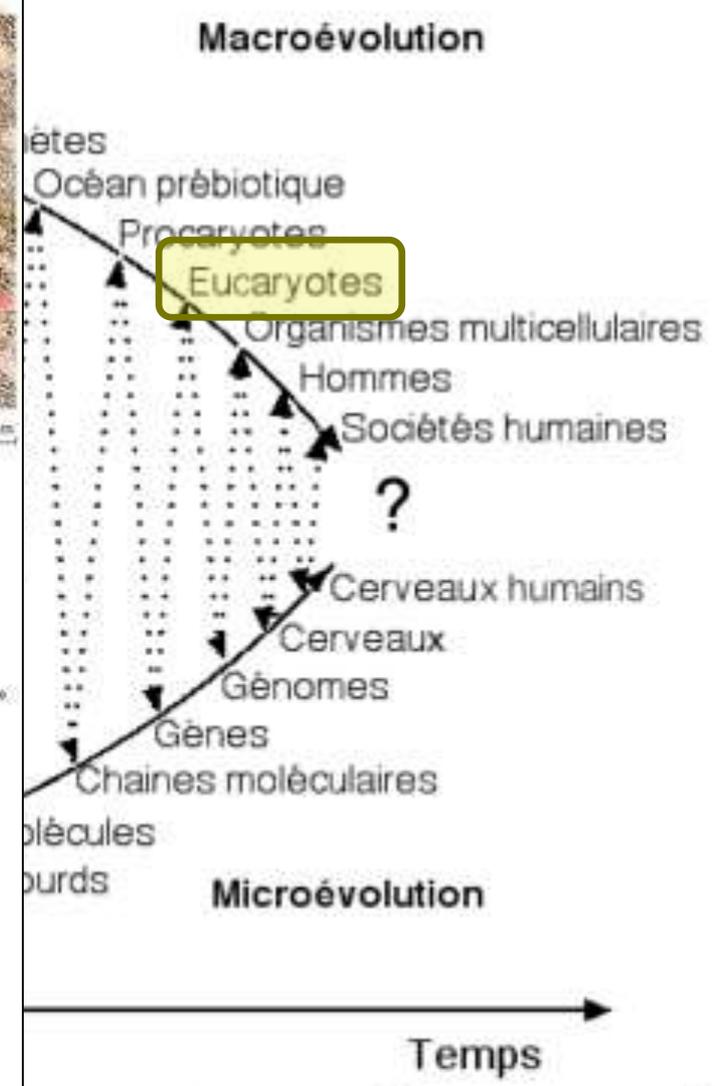
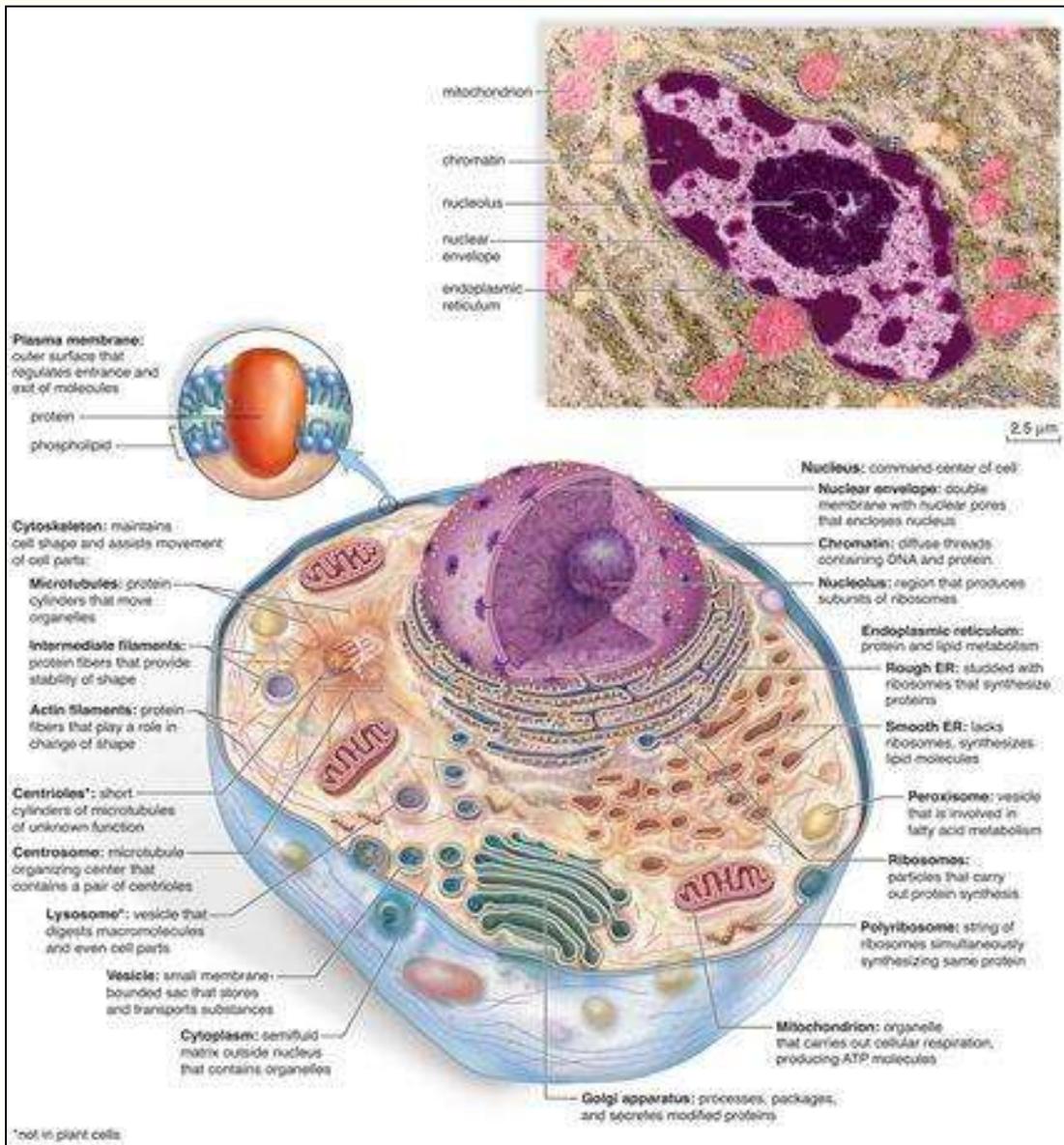


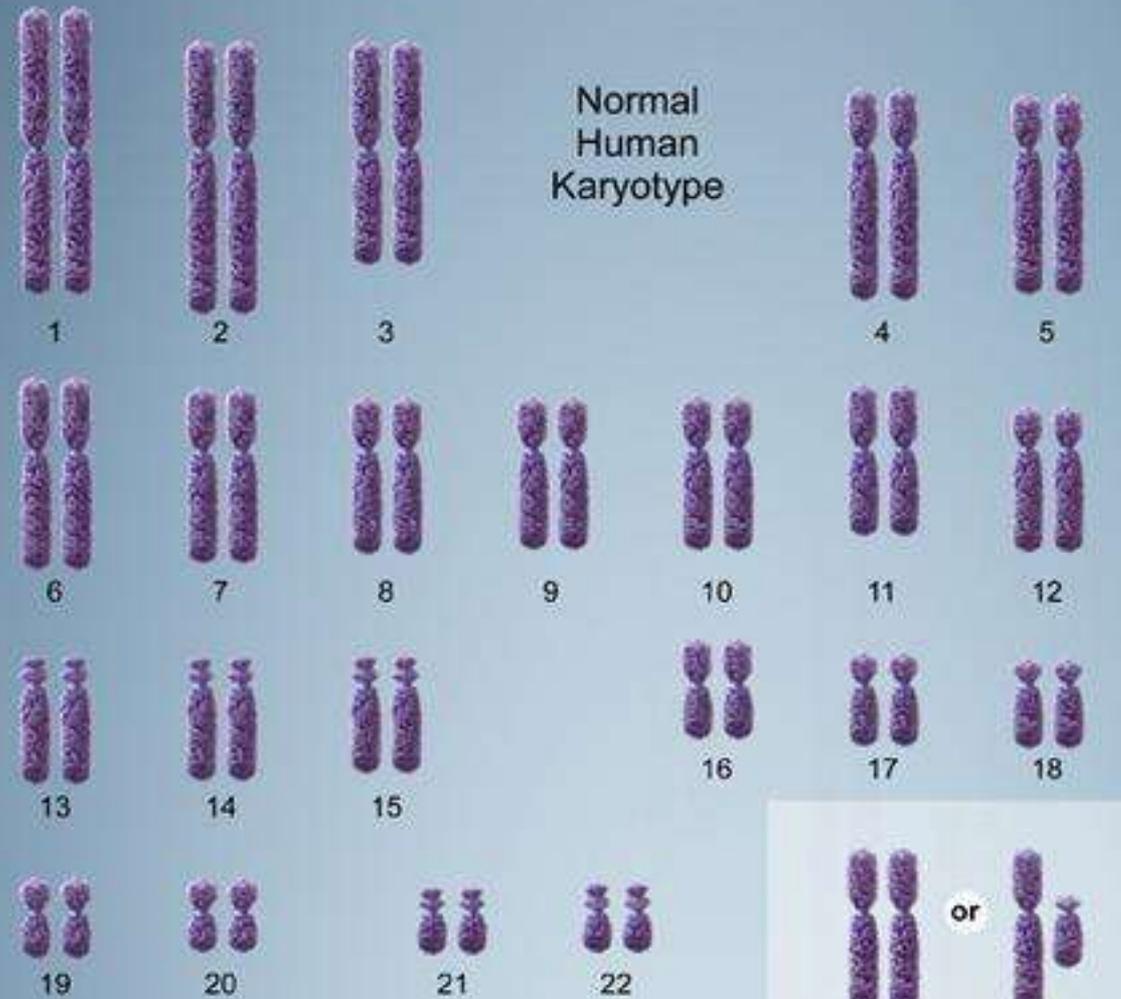












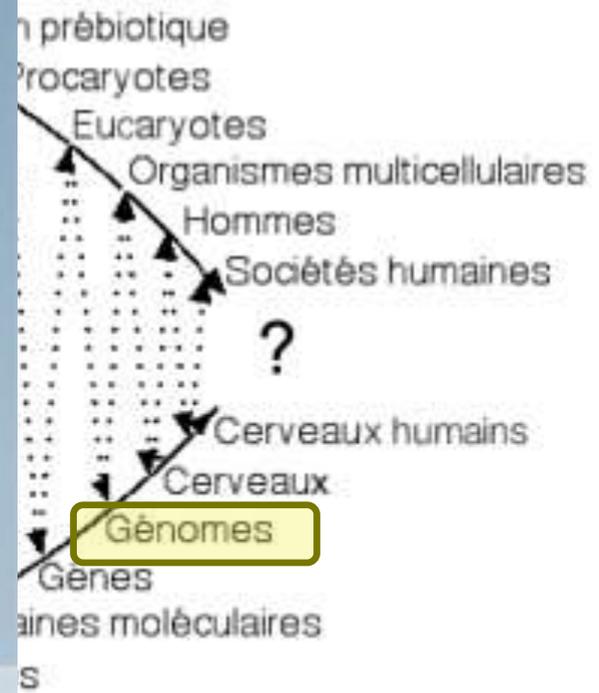
Normal Human Karyotype

Autosomes

XX (female) or XY (male)

Sex Chromosomes

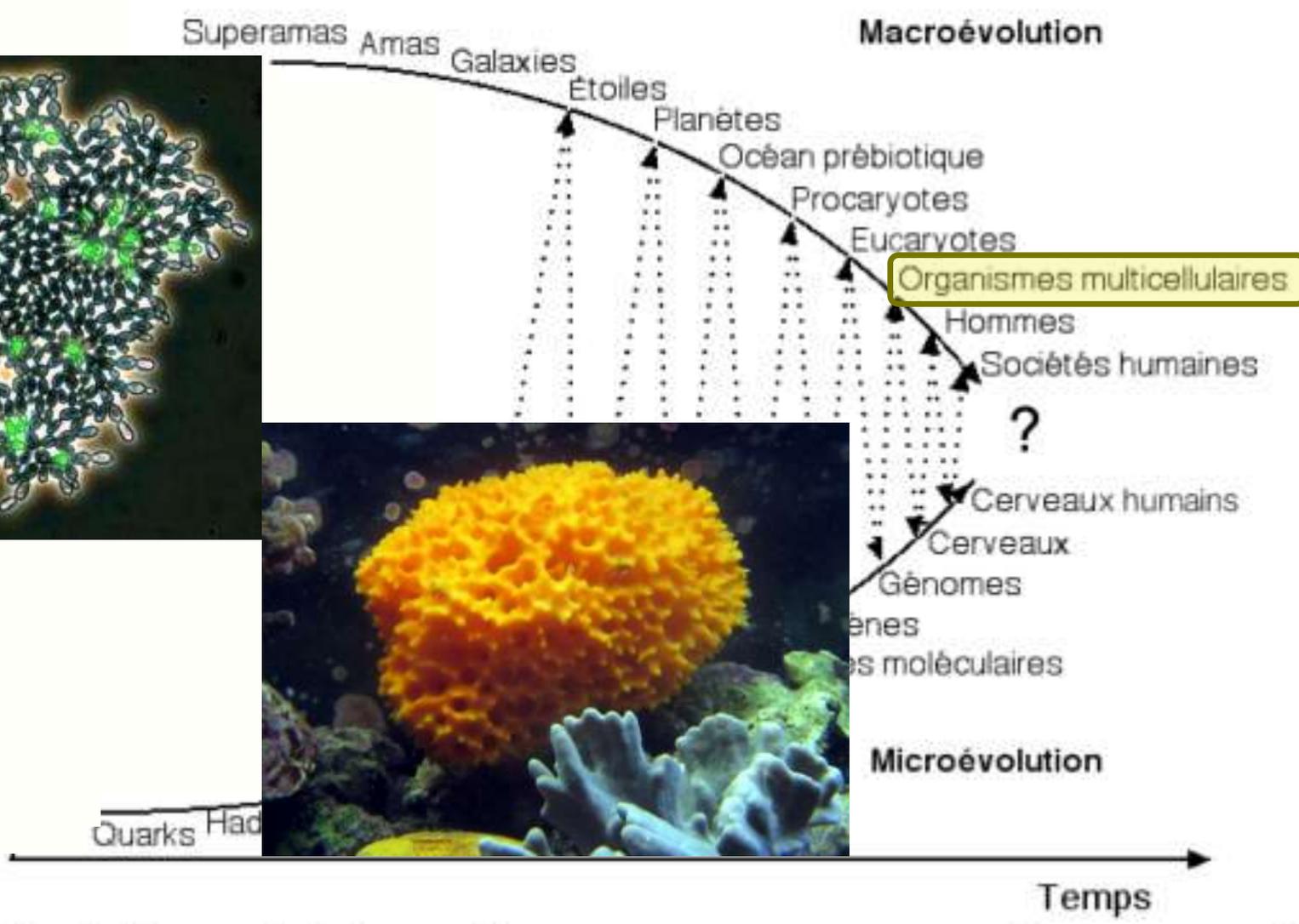
**Macroévolution**



**Microévolution**

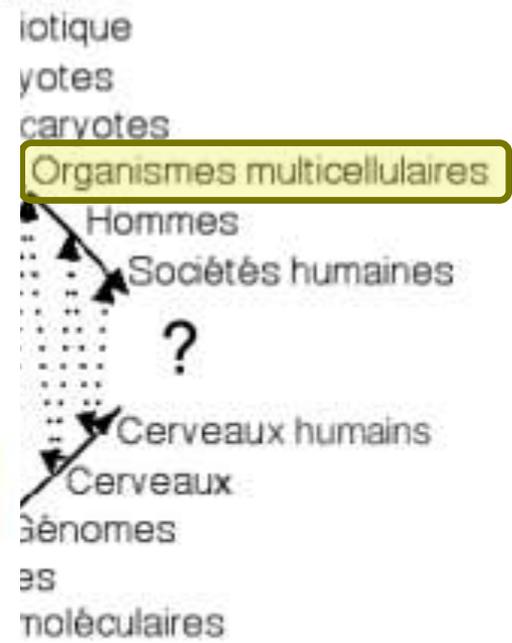


Temps



Superamas Amas Galaxies Étoiles Planètes

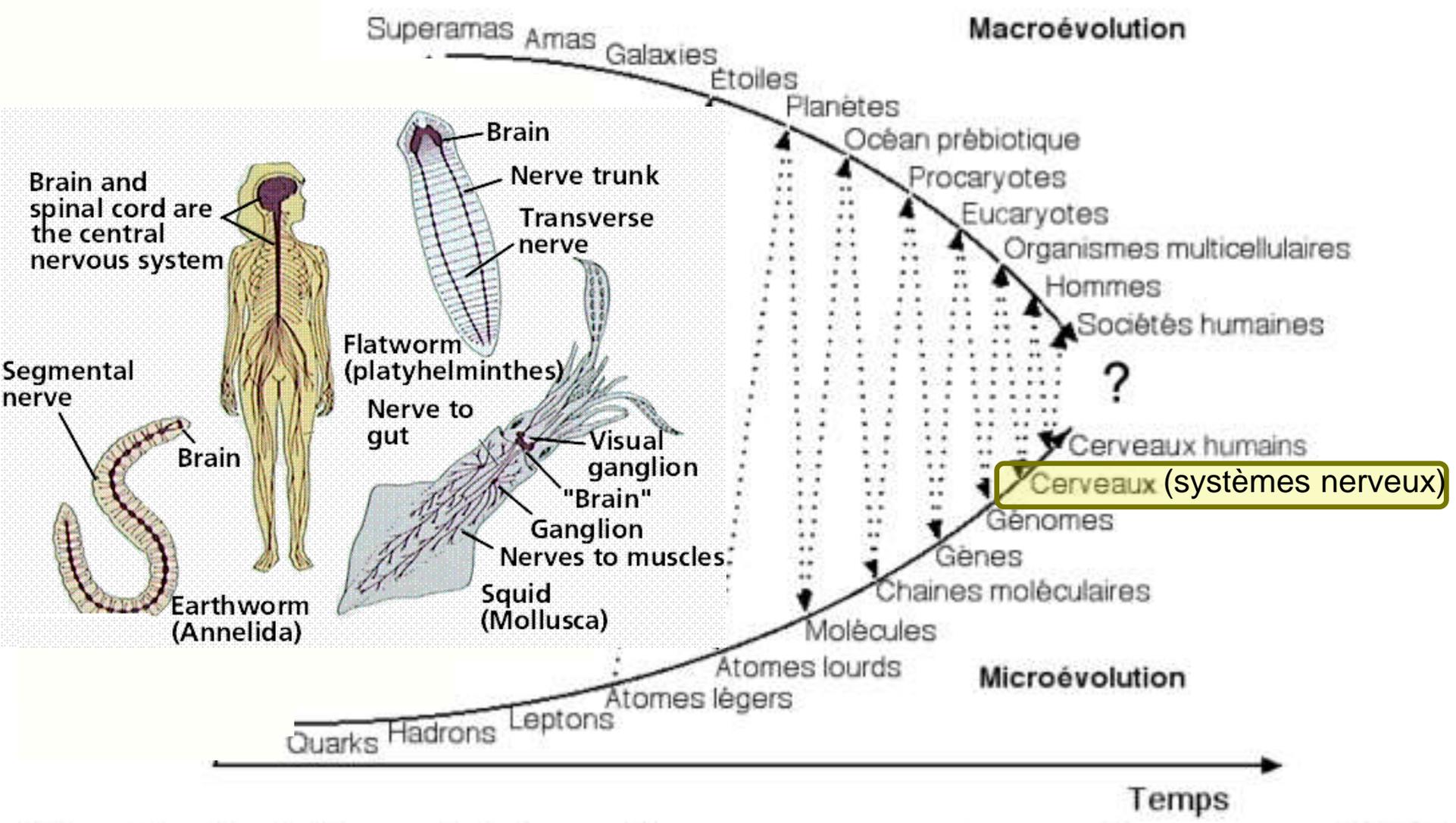
### Macroévolution



Quarks Hadrons Leptons Atomes légers Atomes lourds

### Microévolution





2<sup>e</sup> principe de la thermodynamique :

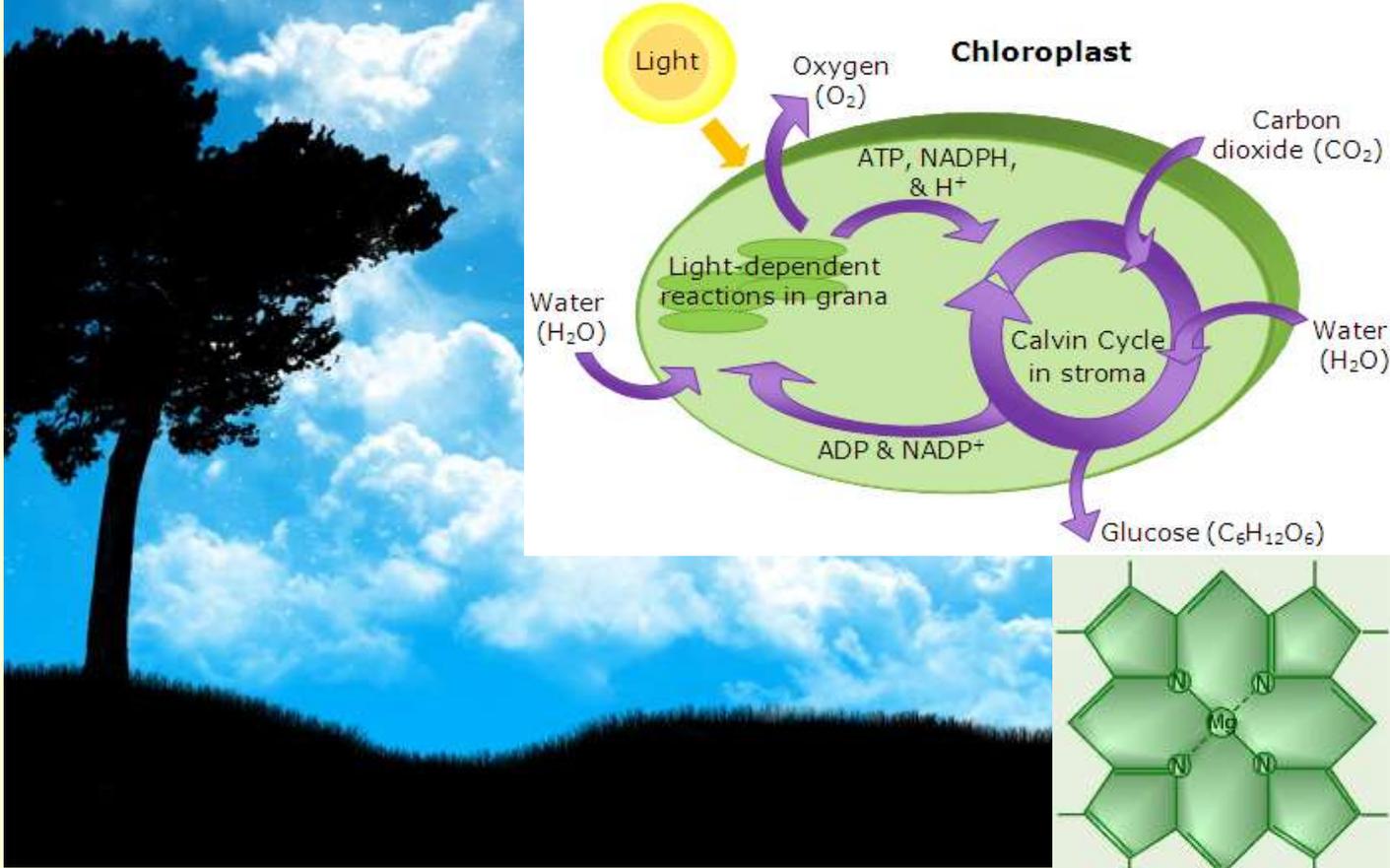
l'entropie (désordre) croît constamment





« La seule raison d'être d'un être vivant, c'est **d'être**,  
c'est-à-dire de **maintenir sa structure.** »

- Henri Laborit



Plantes :

photosynthèse

grâce à l'énergie du soleil





## Animaux :

**autonomie motrice**  
pour trouver leurs ressources  
dans l'environnement

# Un système nerveux !

Différent du **système hormonal** : le moment des premières règles d'une femme varie, l'important c'est qu'elle finisse par les avoirs...

Différent du **système immunitaire** : commencez à fabriquer des anticorps ce soir au lieu de maintenant et ce sera rarement fatal...

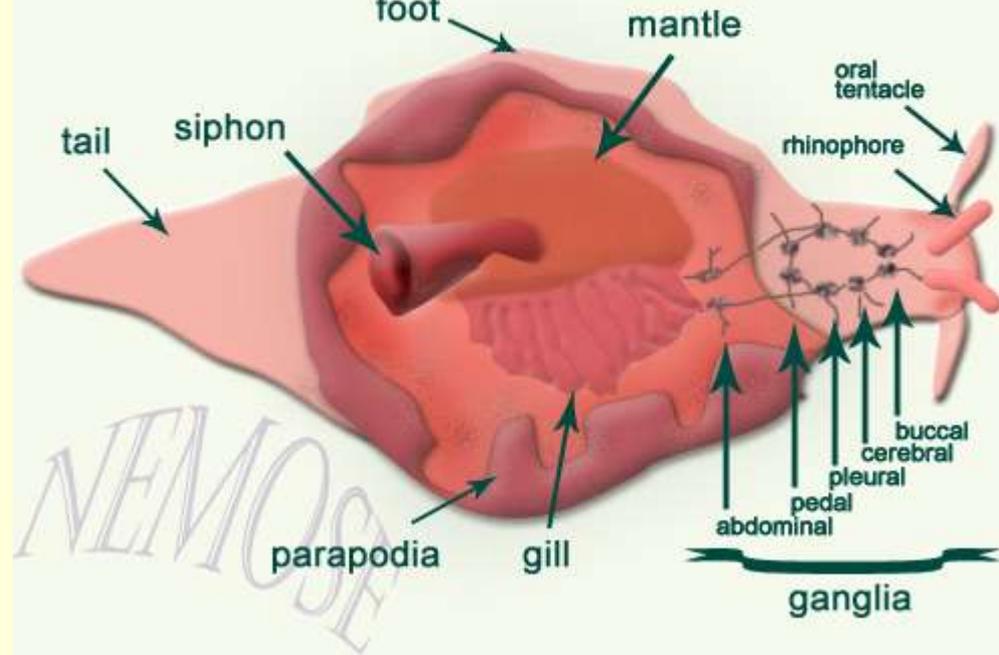
Mais ne bondissez pas en une fraction de seconde après avoir aperçu un guépard surgir des hautes herbes, votre existence peut se terminer là.

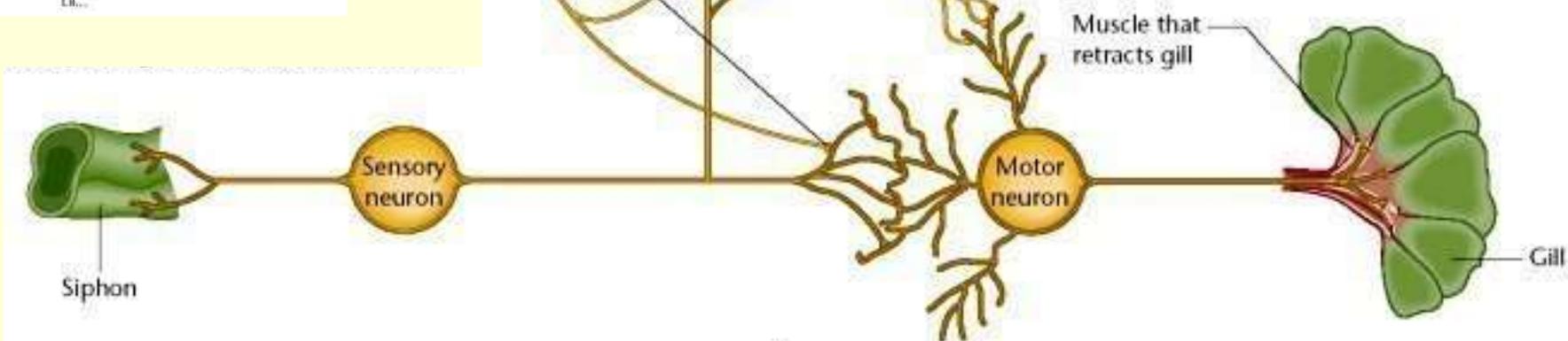
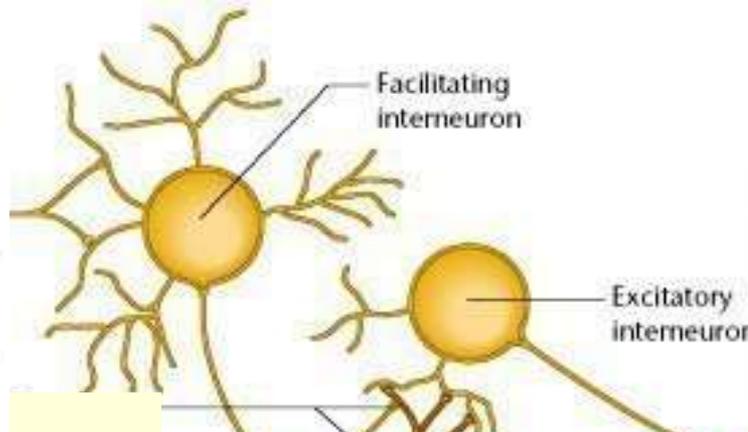
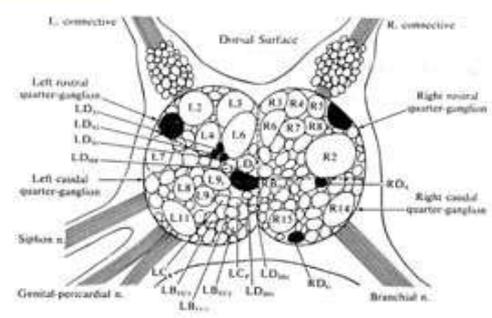
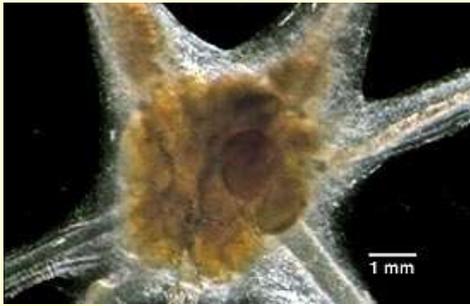
Faire ressortir du **sens** du chaos du monde, **prévoir** ce qui va s'y passer, et y **réagir** promptement, voilà le rôle du **système nerveux**.





**Aplysie**  
(mollusque marin)





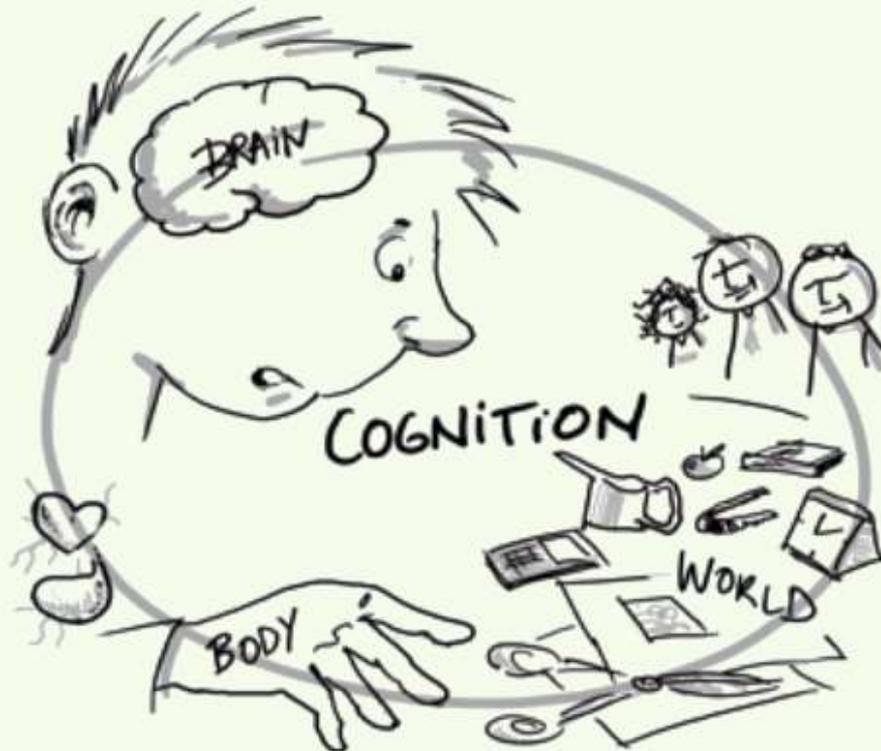
# Une boucle sensori - motrice

qui va permettre de **connaître** le monde et **d'agir** sur ce monde.

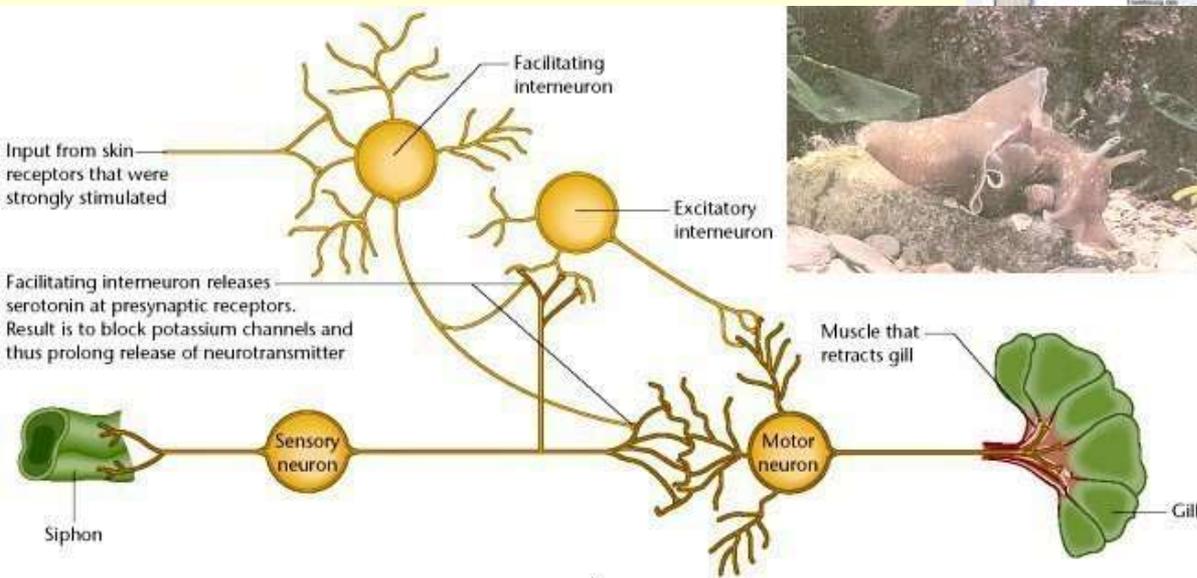
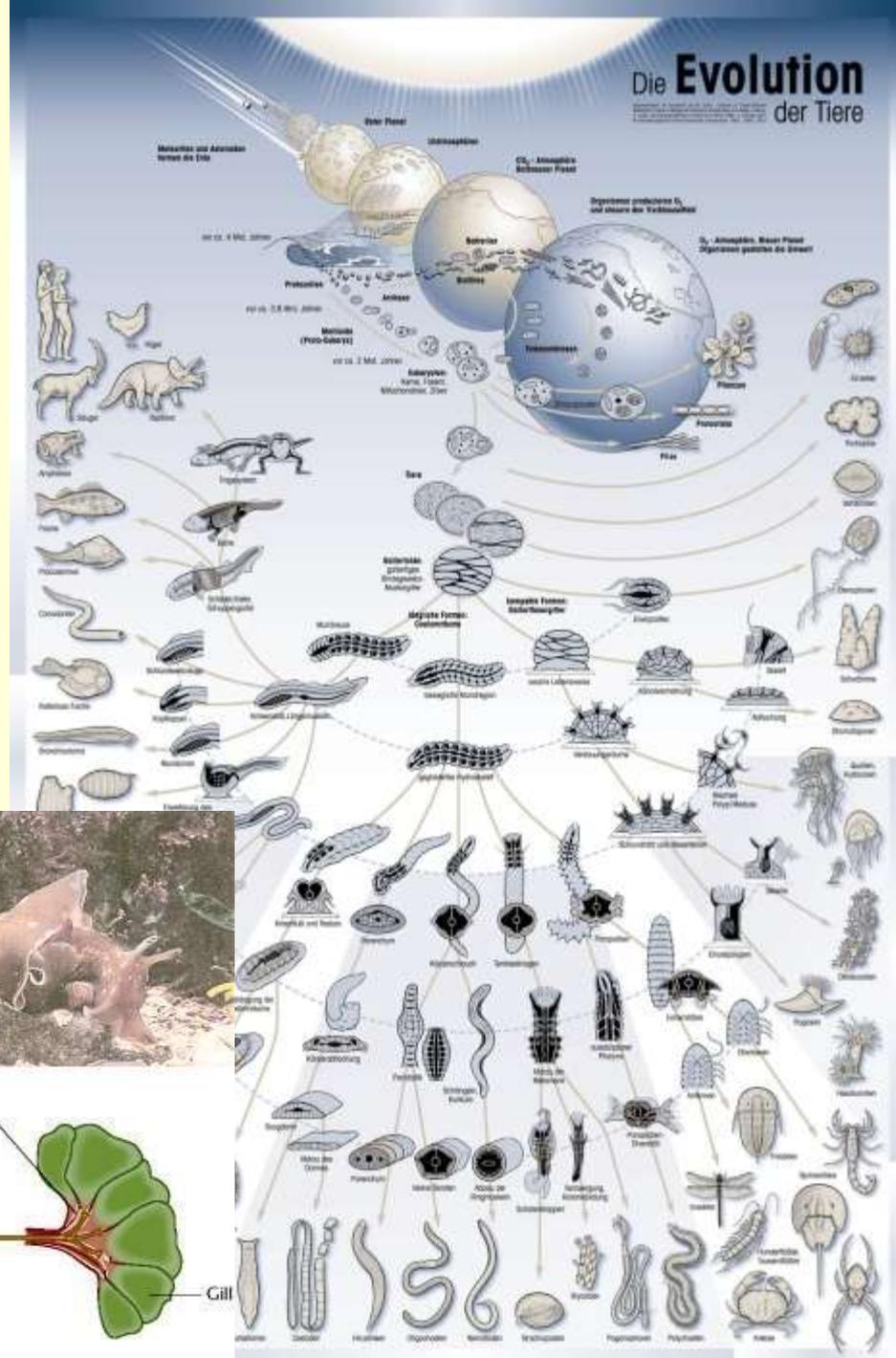
Et progressivement,

« la logique fondamentale du système nerveux [va devenir] celle d'un **couplage** entre des mouvements et un flux de modulations sensorielles de manière **circulaire**. »

- Francisco Varela, Le cercle créateur, p.126



Pendant des centaines de millions d'années, c'est donc cette boucle-sensorimotrice qui va se complexifier...

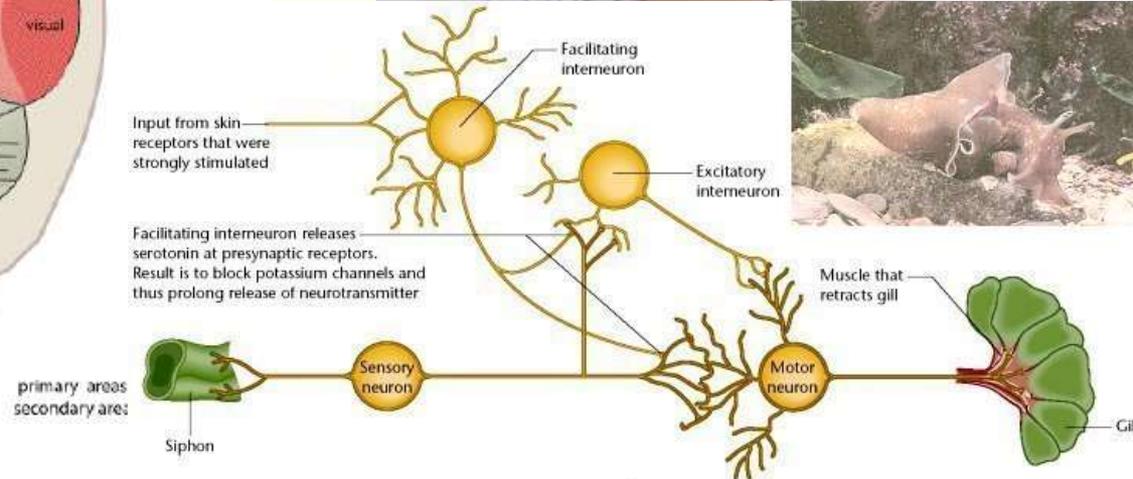
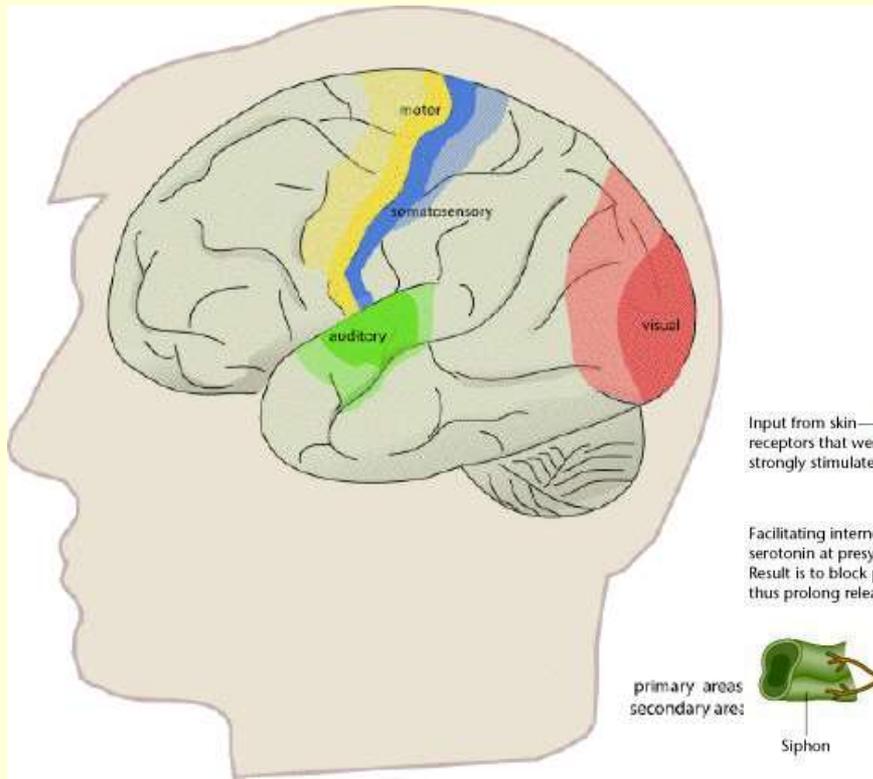


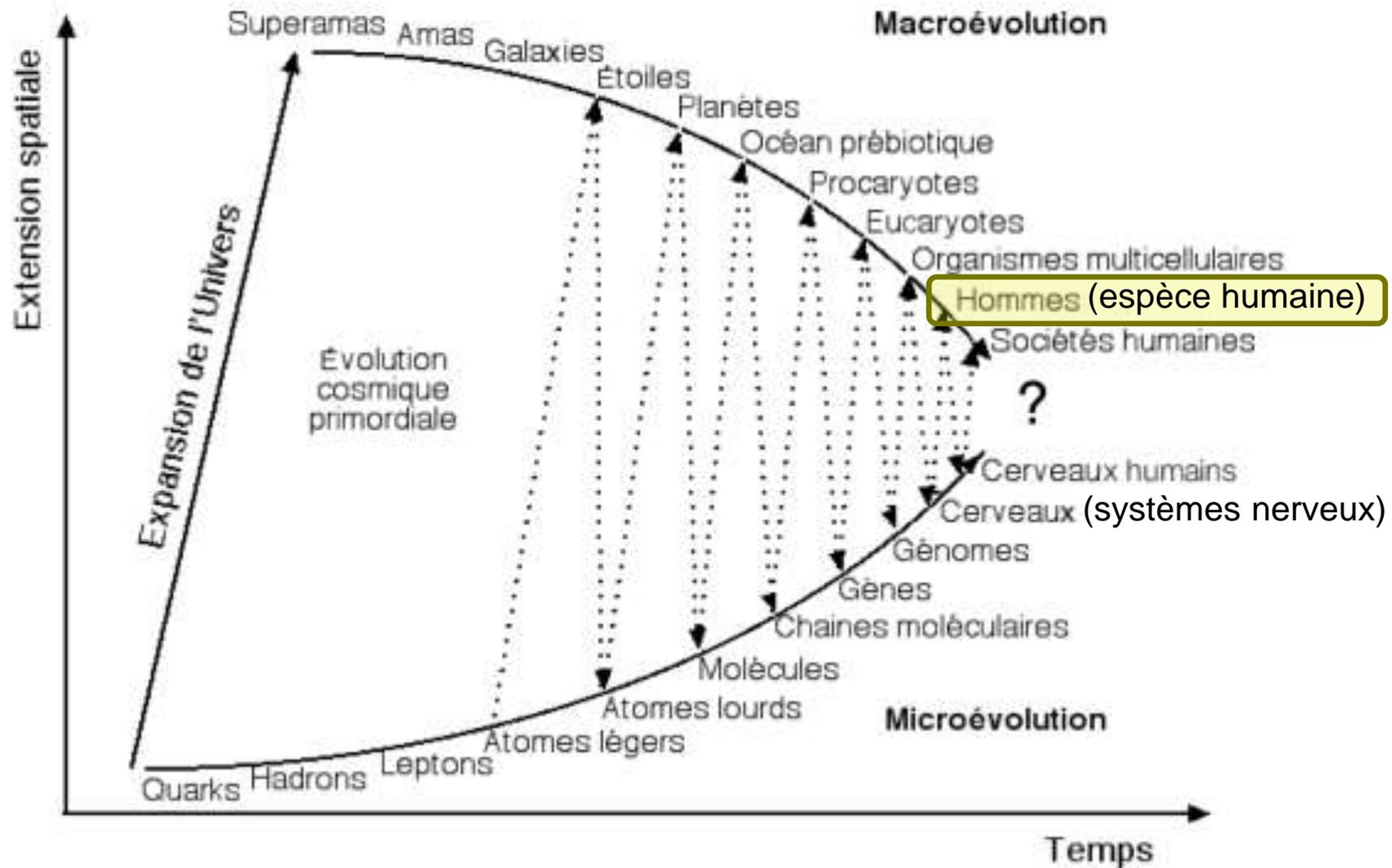


Le cerveau humain est encore construit sur cette **boucle perception – action**,

mais la plus grande partie du cortex humain va essentiellement **moduler cette boucle**,

comme les inter-neurones de l'aplysie.

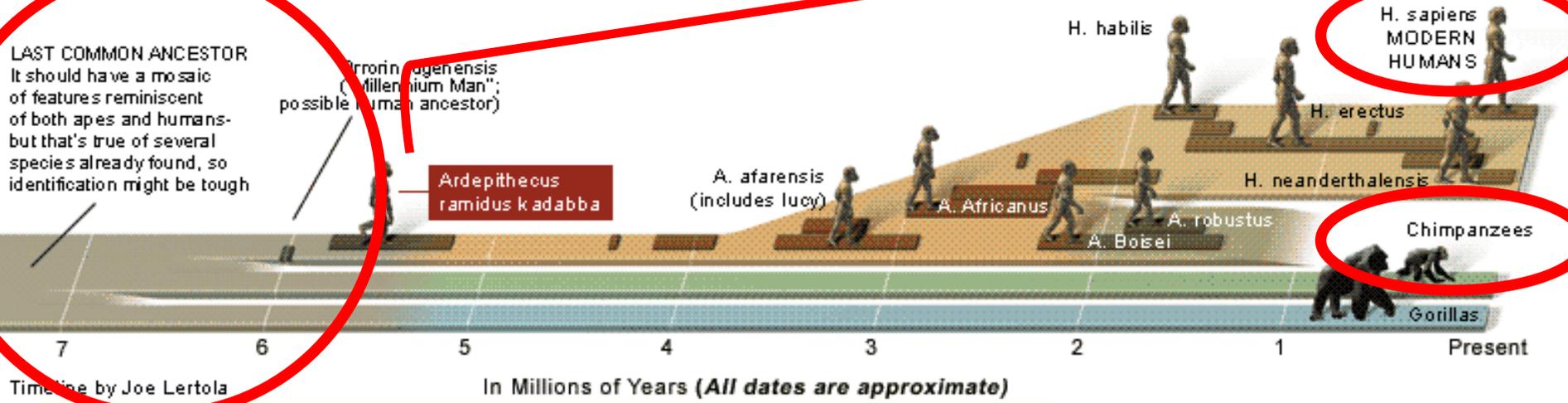




# A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

The newest fossils have brought scientists tantalizingly close to the time when humans first walked upright—splitting off from the chimpanzees. Their best guess now is that it happened at least 6 million years ago [Click here to read the cover story >>](#)

**LAST COMMON ANCESTOR**  
It should have a mosaic of features reminiscent of both apes and humans—but that's true of several species already found, so identification might be tough



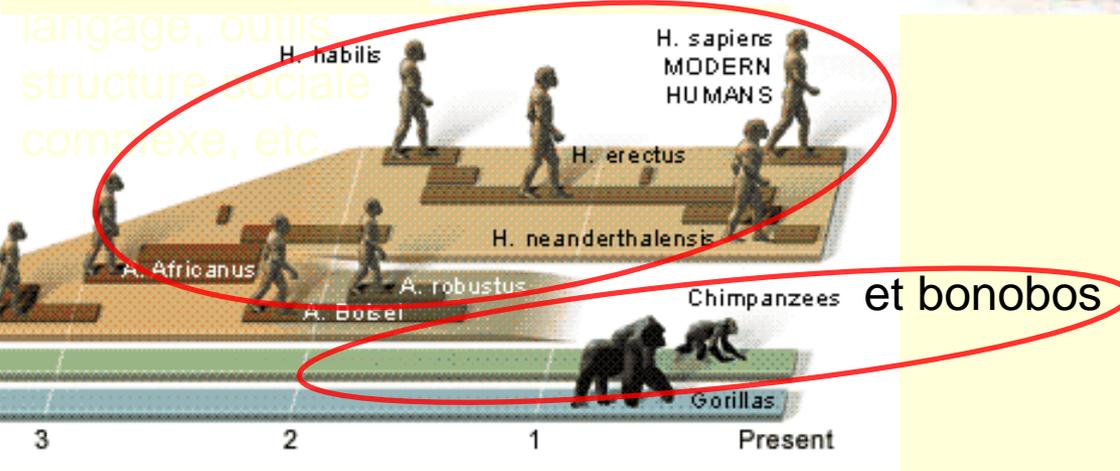
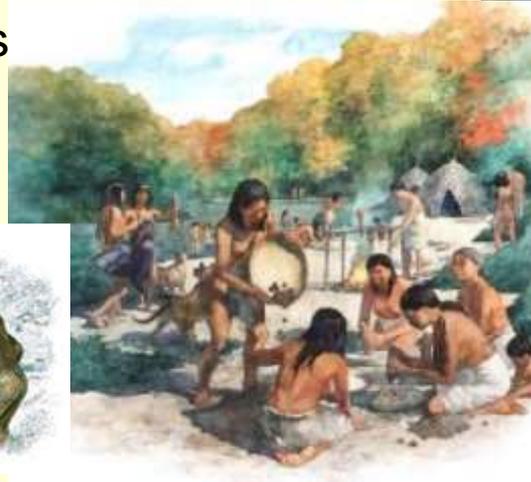
## L'hominisation,

ou l'histoire de la lignée humaine.

[http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/histoire\\_bleu03.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/histoire_bleu03.html)

Mais rien de comparable aux transformations cognitives chez les hominidés durant à peine plus longtemps (3 millions d'années)

- langage, outils, structure sociale complexe, etc.



**CHIMPANZEE vs BONOBO**

**WHICH TEAM ARE YOU ON?**

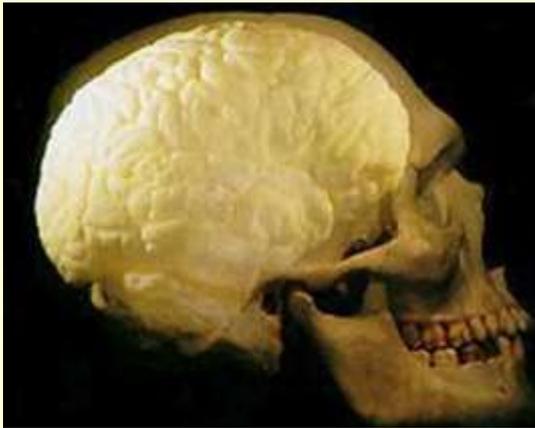
War, violence & MEN rule

Peace, love & WOMEN rule



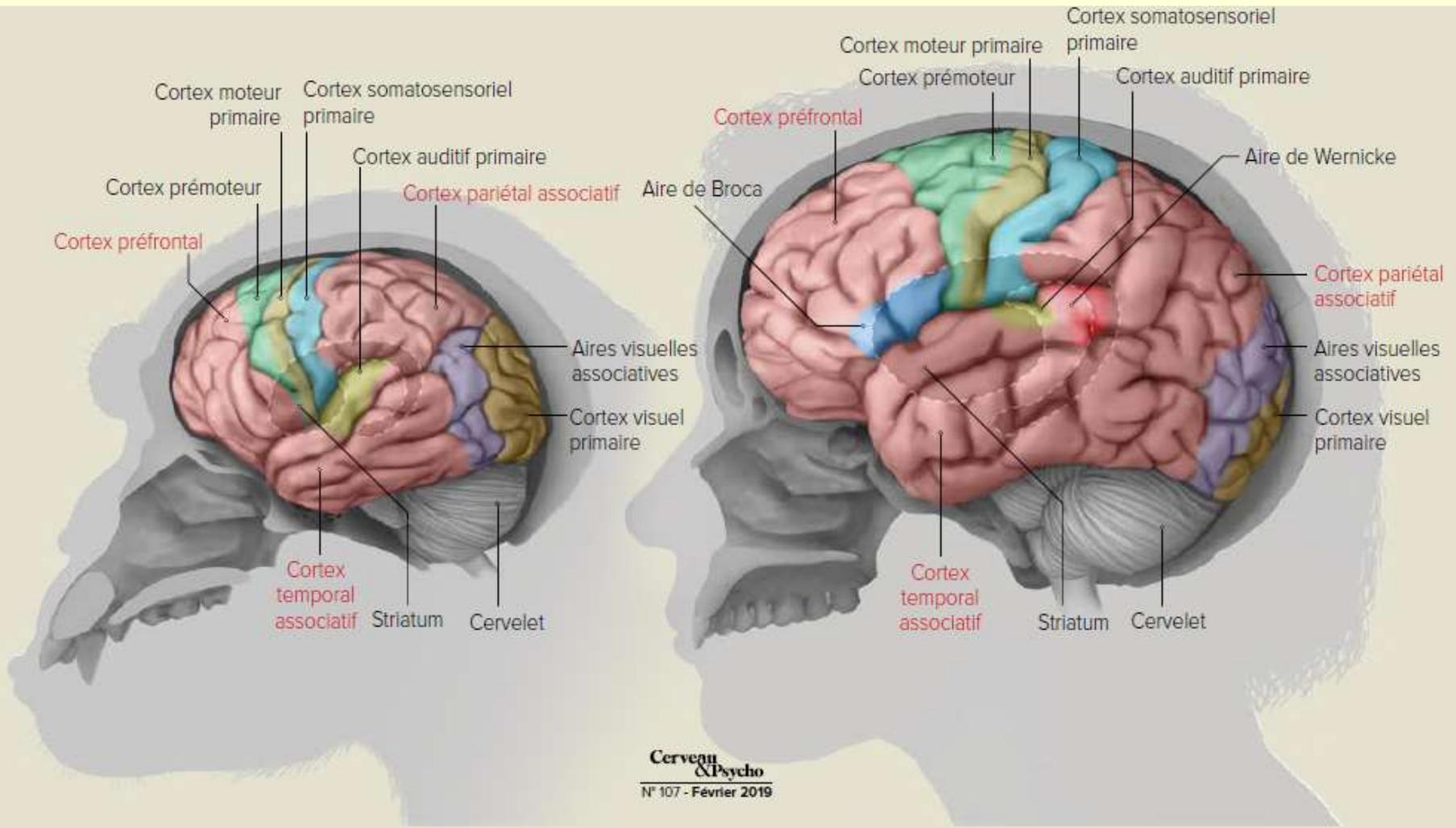
Évolution divergente chimpanzés / bonobos  
il y a **1-2 millions d'année** a donné :

- organisation sociale différente (bonobos: matriarcale; chimpanzé: dominée par mâle alpha)
- utilisation d'outils présente chez l'un (chimpanzé) mais pas chez l'autre.



**L'expansion cérébrale** est sans doute une part importante de l'explication derrière ces changements cognitifs spectaculaires.

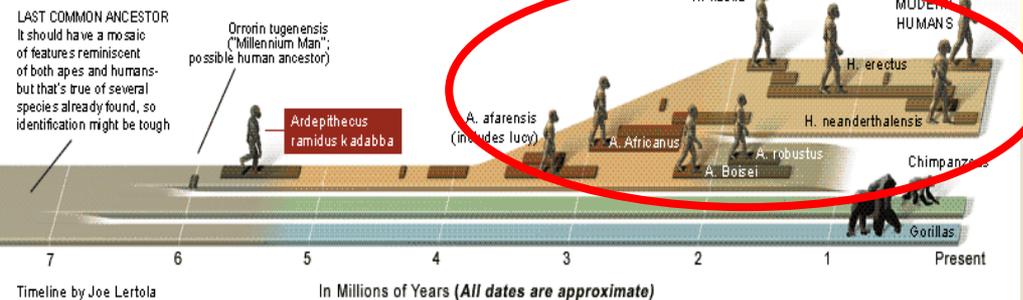




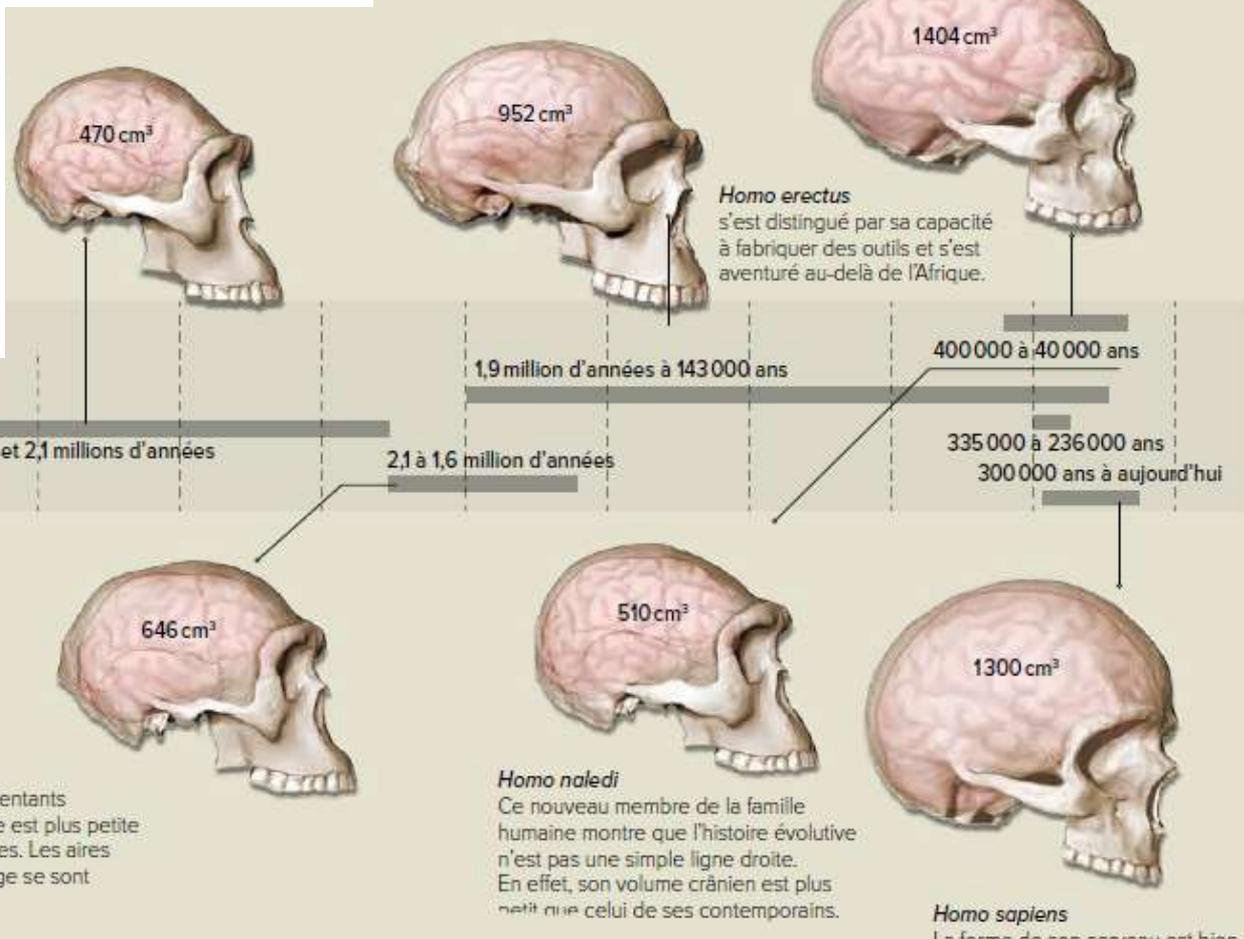
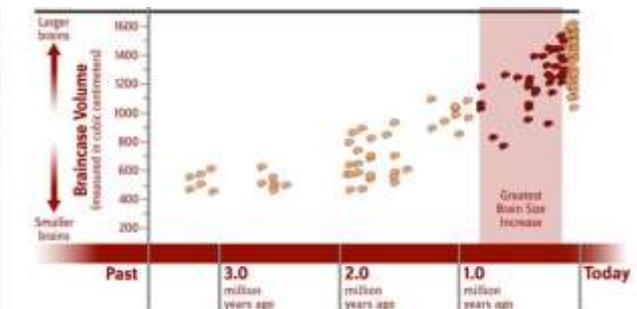
**chimpanzé**

**humain**

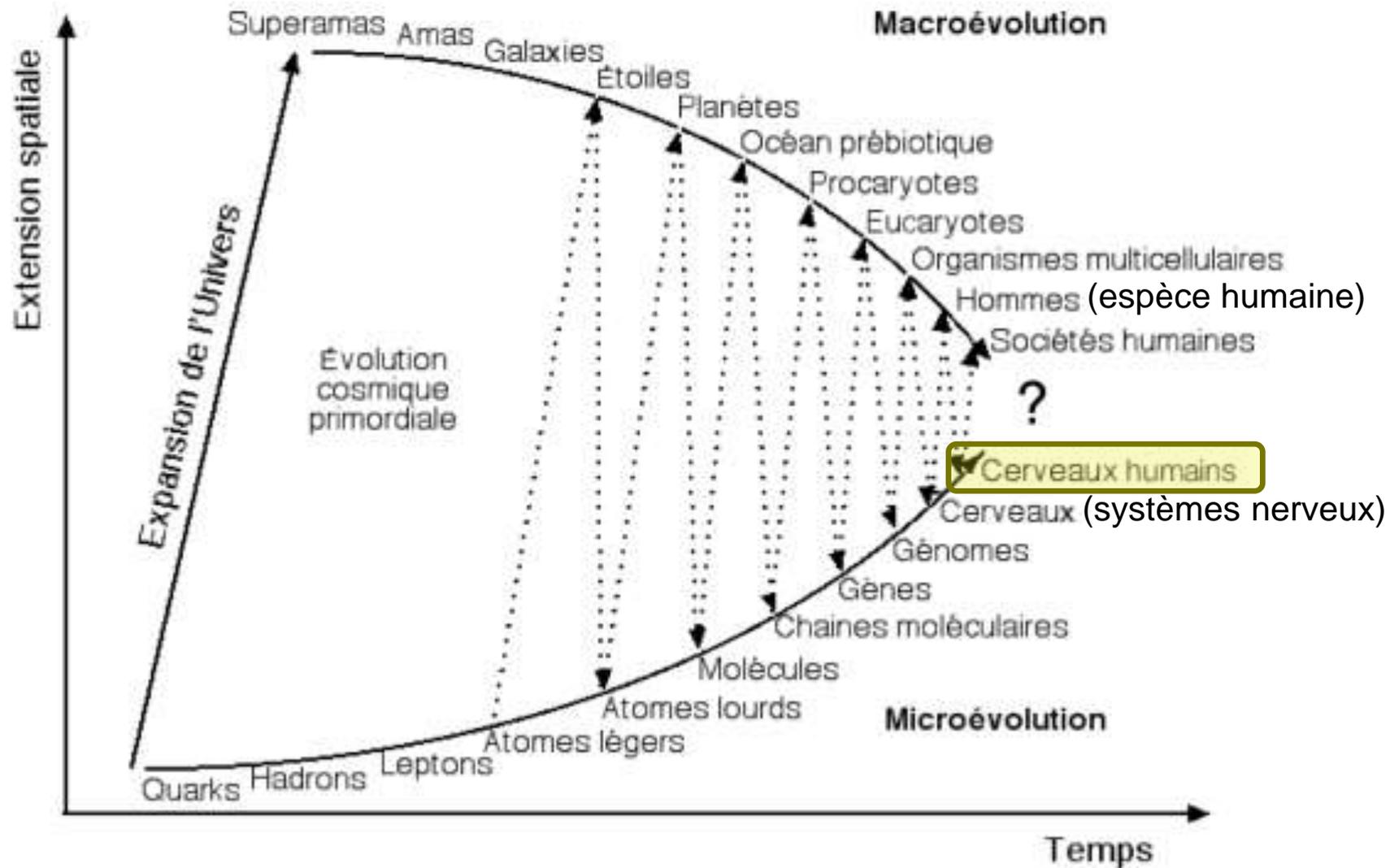
# En moins de 4 millions d'années, un temps relativement court à l'échelle de l'évolution,

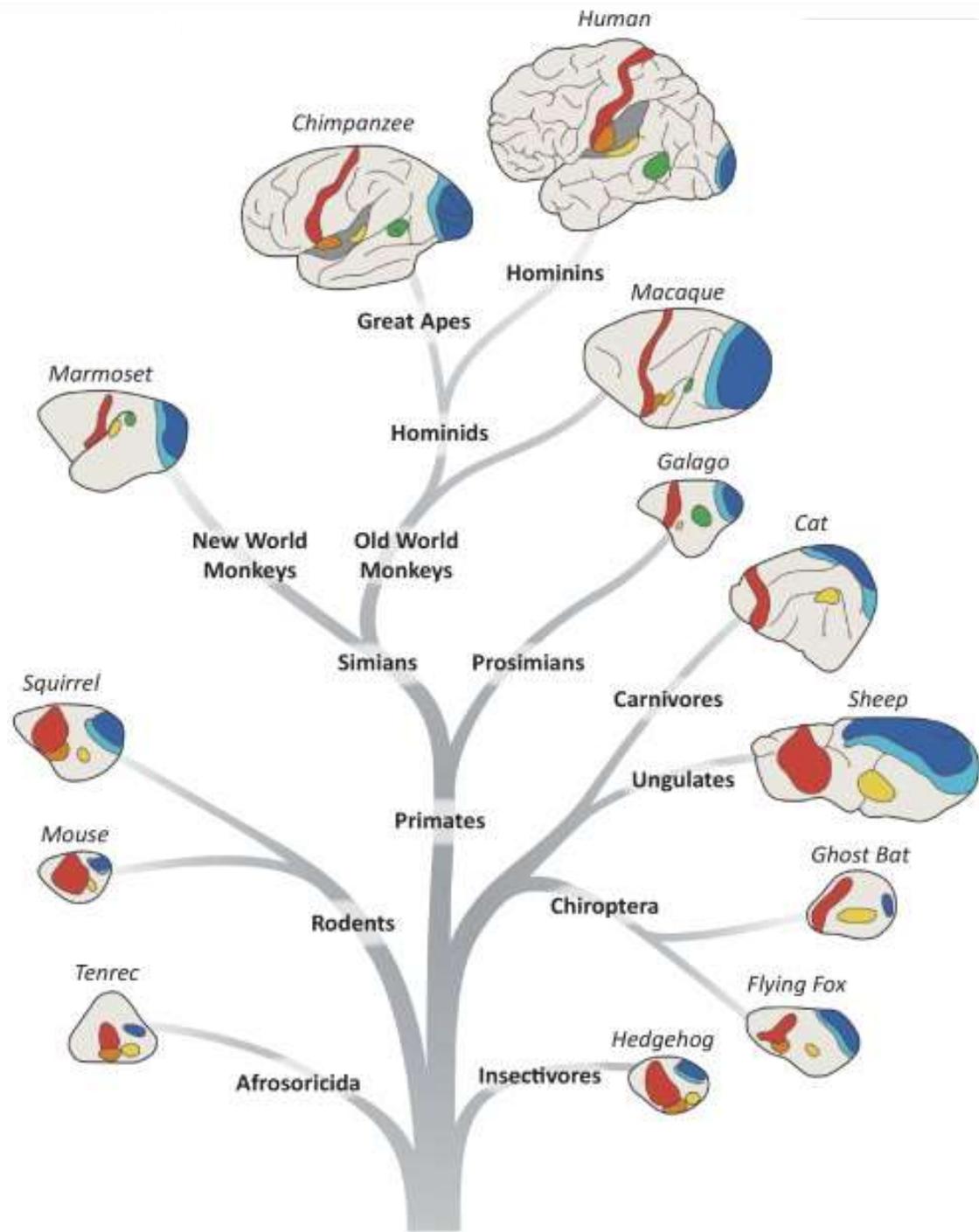


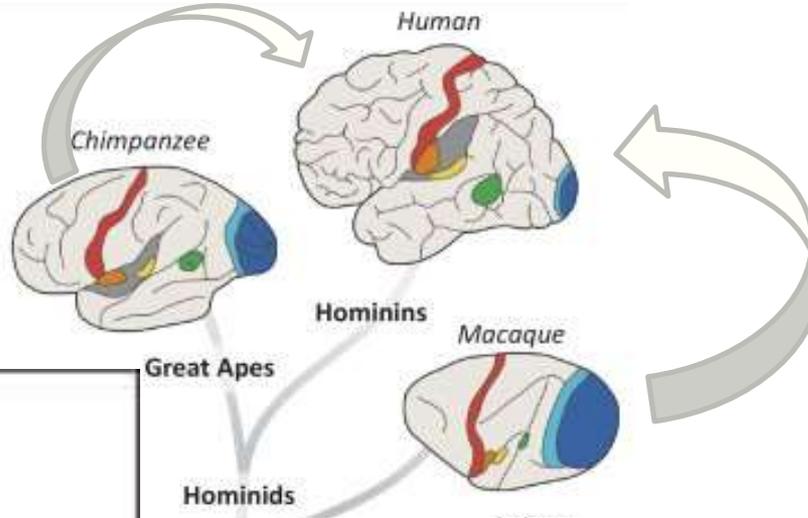
*Homo neanderthalensis* a cohabité avec *Homo sapiens*. Bon chasseur, il manipulait des outils et le feu. Son volume crânien est comparable au nôtre.



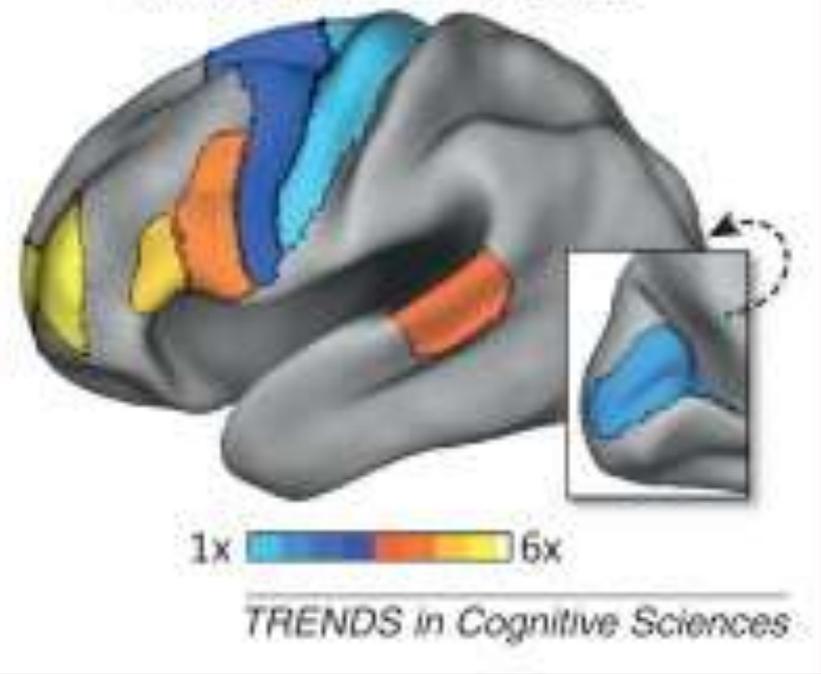
le cerveau des hominidés va **tripler** du volume qu'il avait acquis en 60 millions d'années d'évolution des primates.





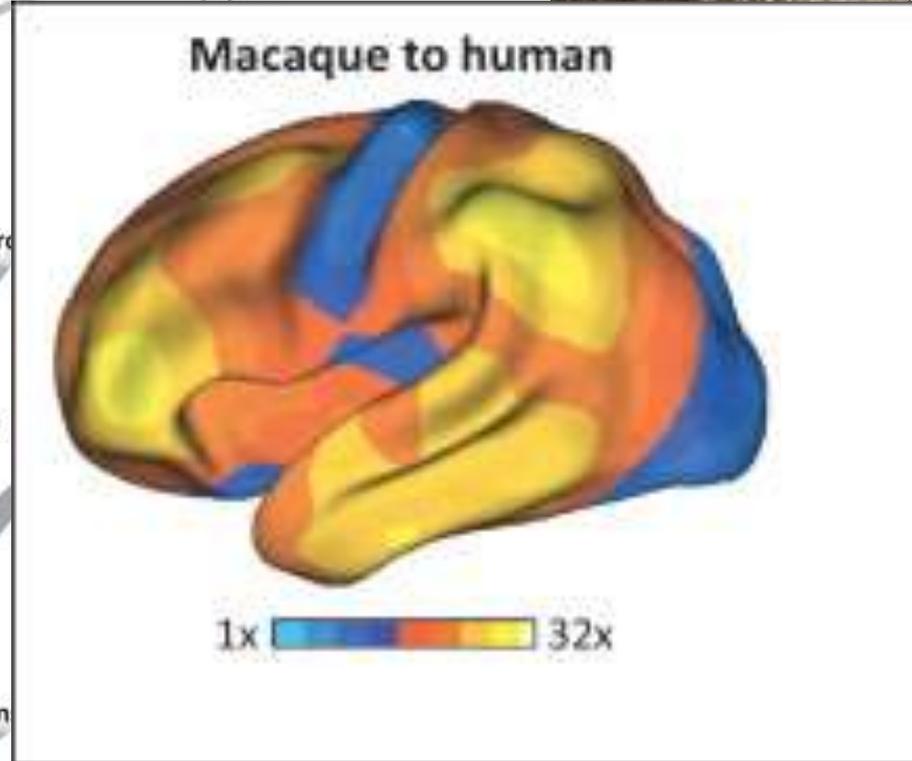


### Chimpanzee to human

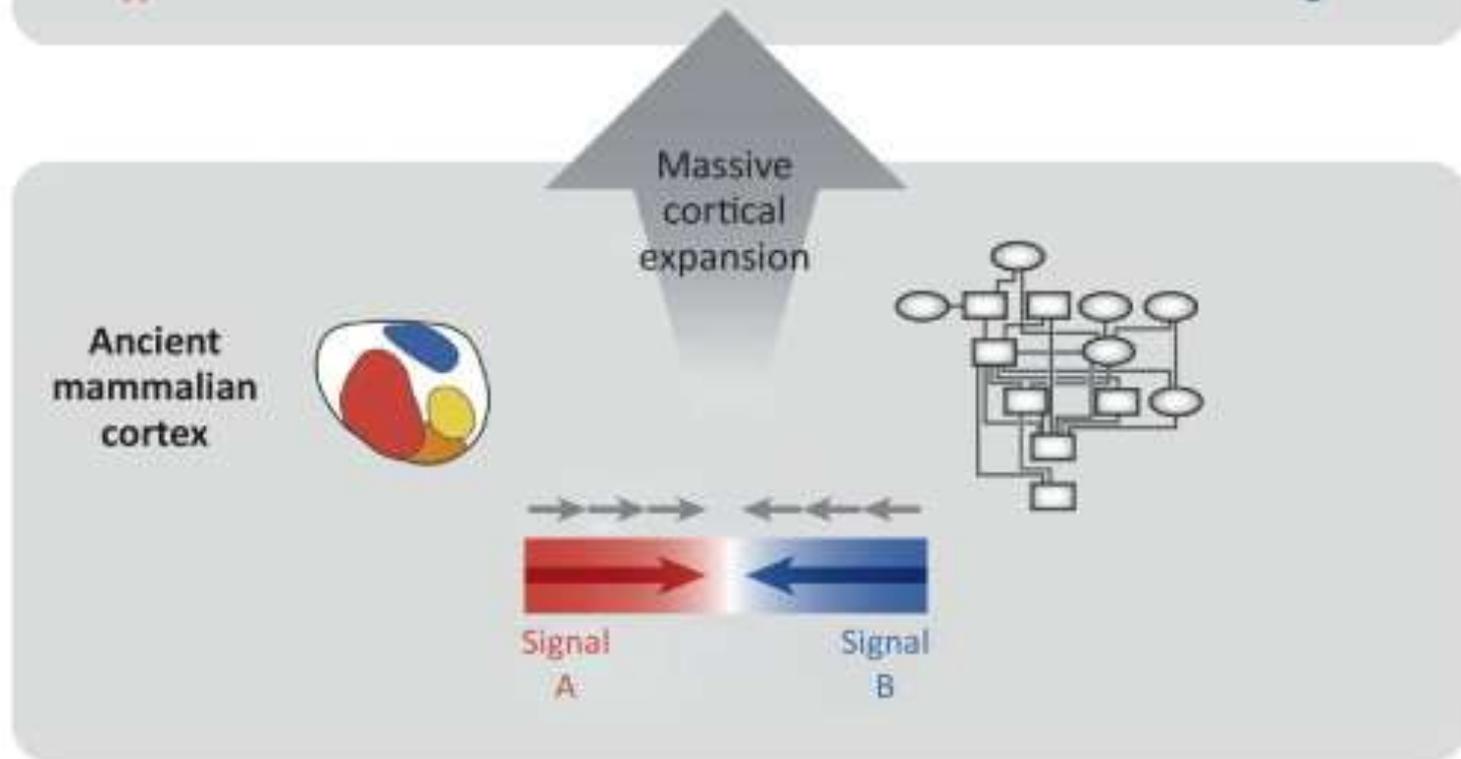
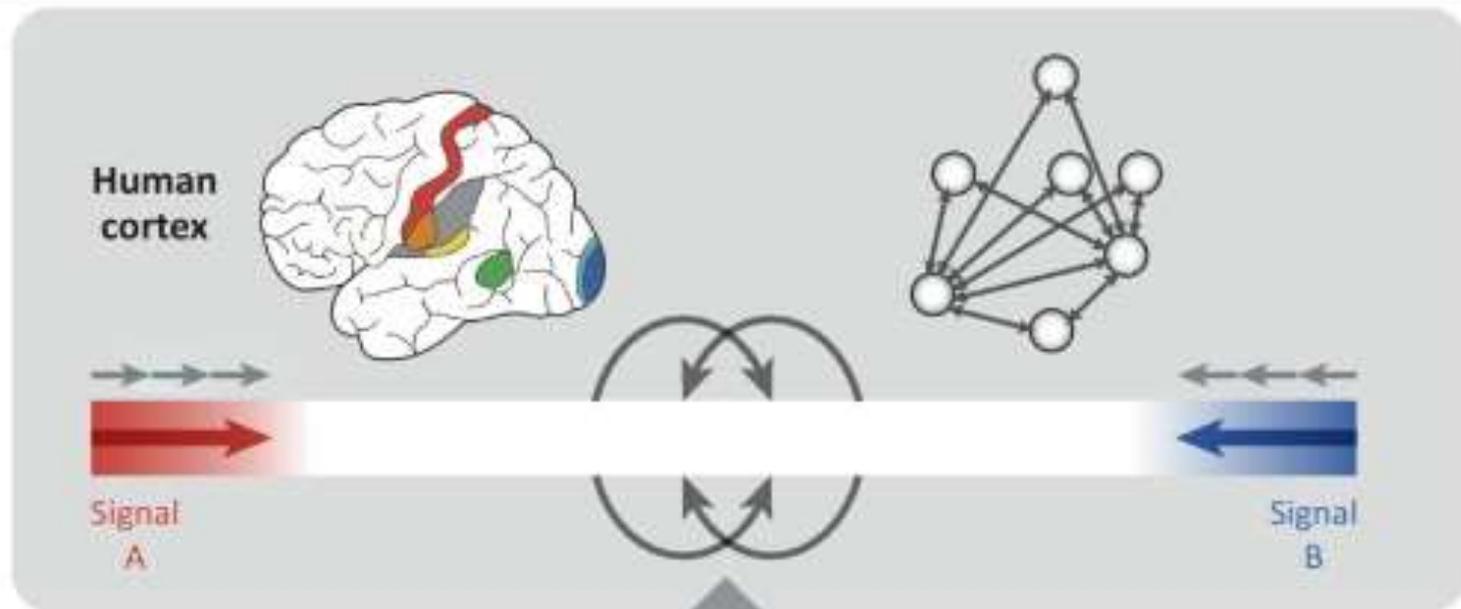


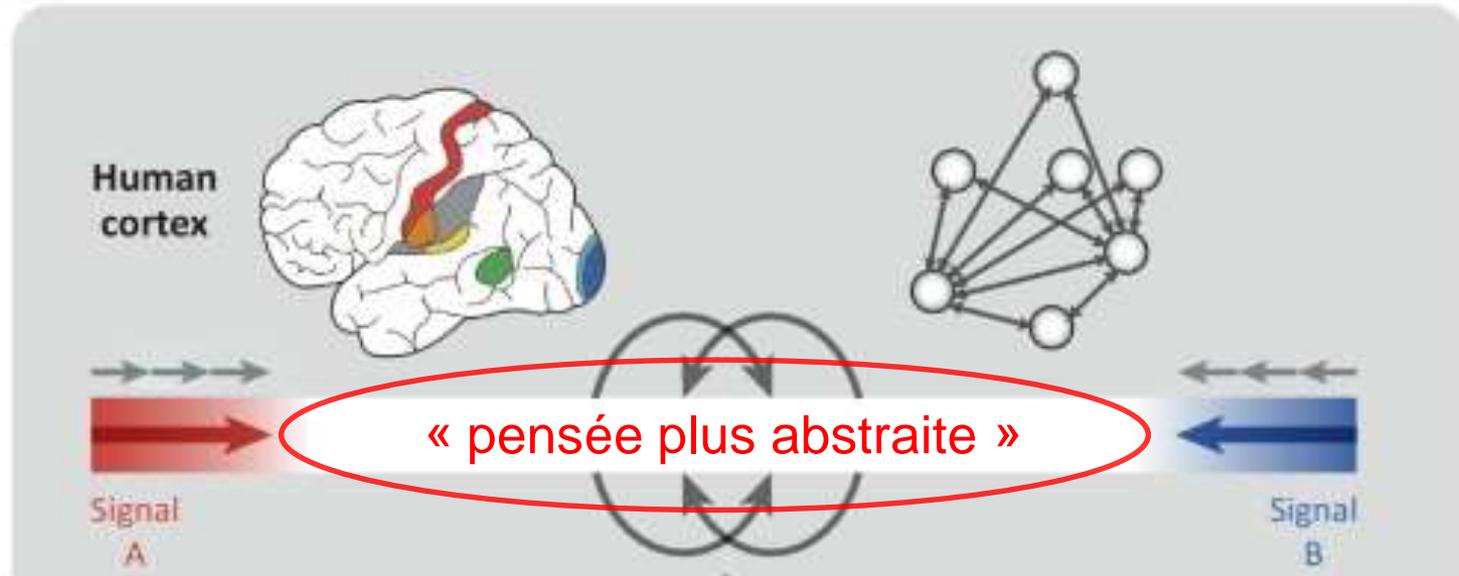
Ancêtre commun :  
environ 6-7 millions d'années

### Macaque to human



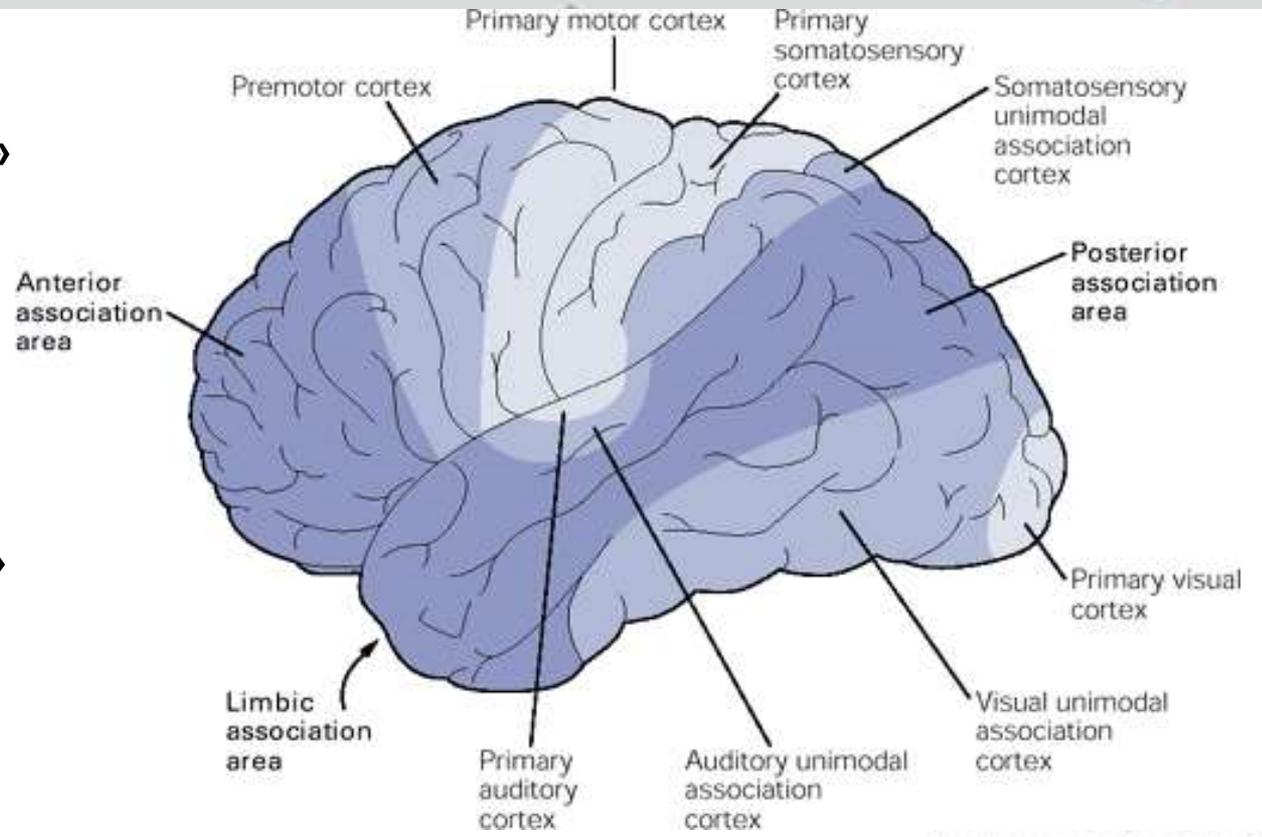
Ancêtre commun :  
environ 25 millions d'années



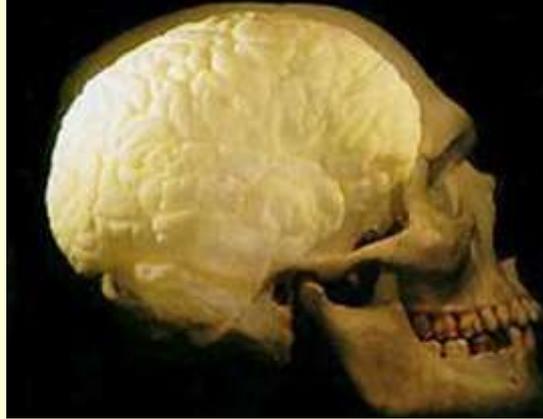


## Cortex « associatif »

crée de l'espace pour le « offline »



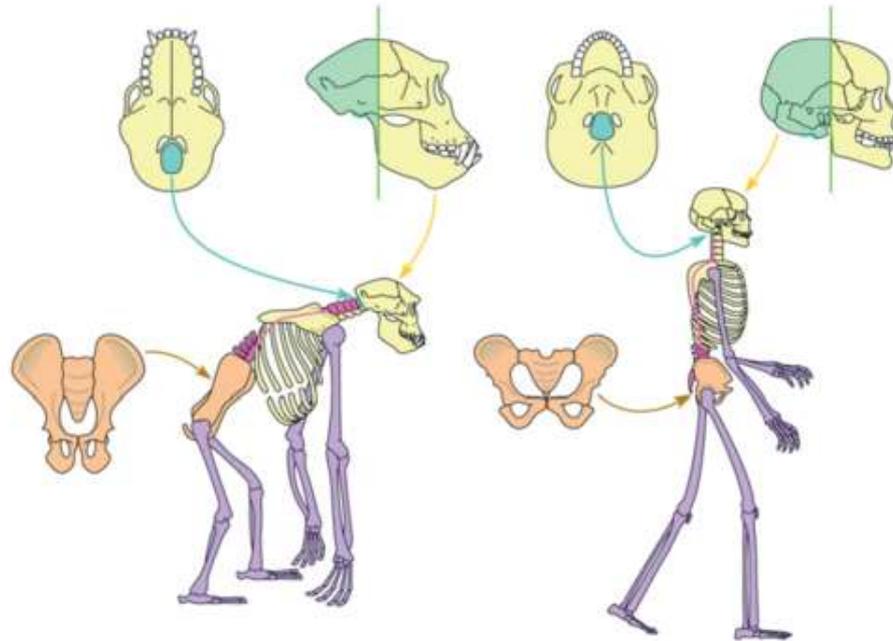
Pour comprendre cette évolution très particulière de notre espèce,



il faut considérer que le **corps** et le **cerveau** ont évolué **ensemble**.

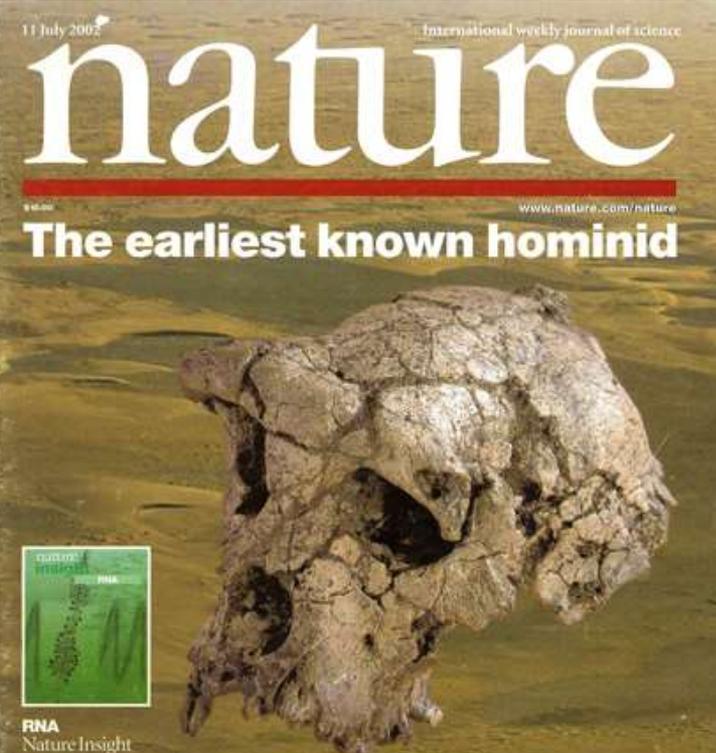
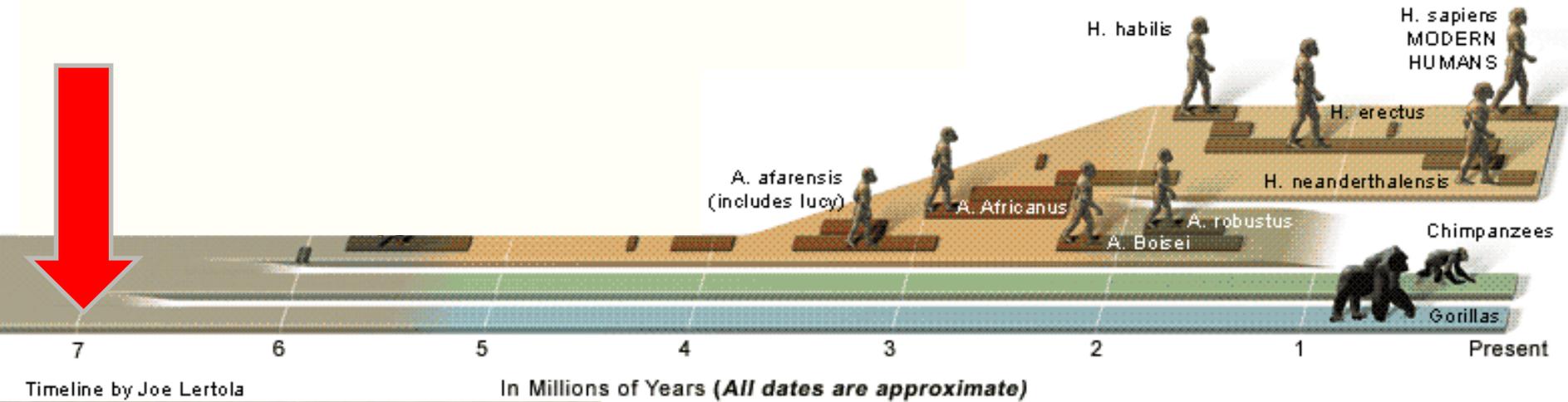
Un point tournant incontournable : **la bipédie ?**

### Les caractères qui distinguent l'Homme et le chimpanzé



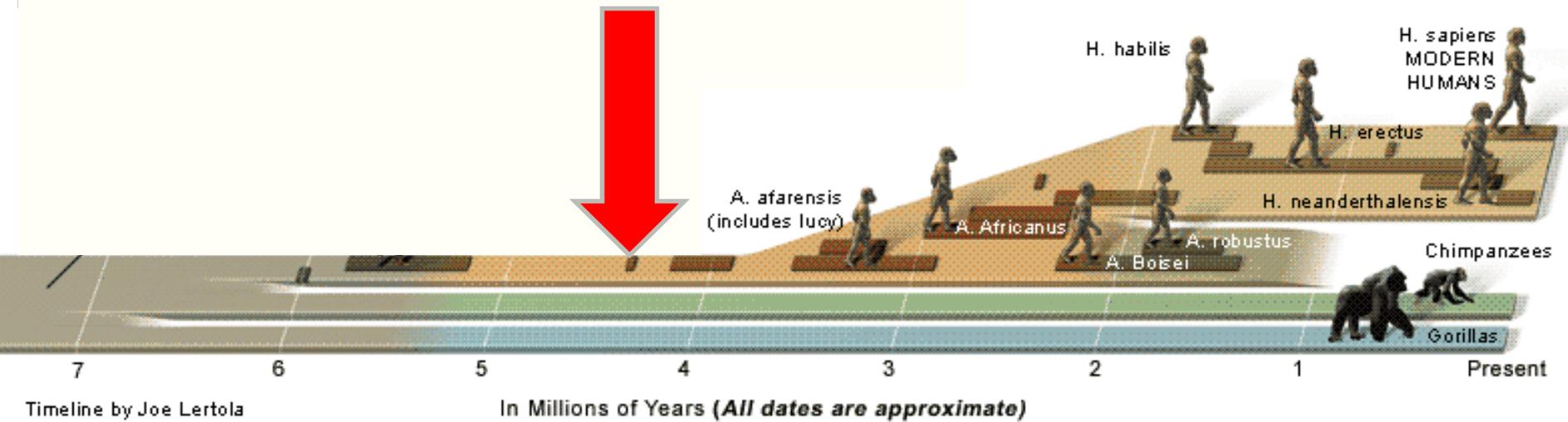
- colonne vertébrale
- position du trou occipital
- rapport volume crânien / face

- bassin
- longueur relative des membres et position de la jambe



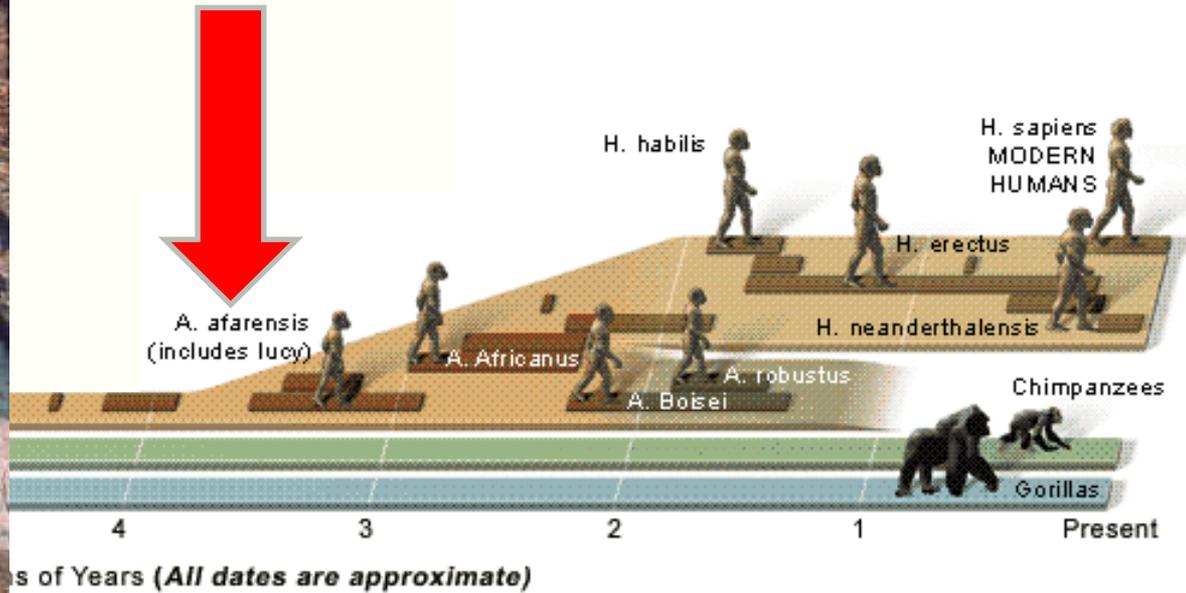
Le premier spécimen fossile de ***Sahelanthropus tchadensis*** a été surnommé « Toumaï » et son âge est estimé à environ **7 millions d'années**, a été découvert au Tchad par l'équipe de Michel Brunet en juillet 2001.

La **bipédie** de *Sahelanthropus tchadensis* est **très probable** pour ses découvreurs parce que le trou occipital correspond à celui d'une colonne vertébrale redressée...

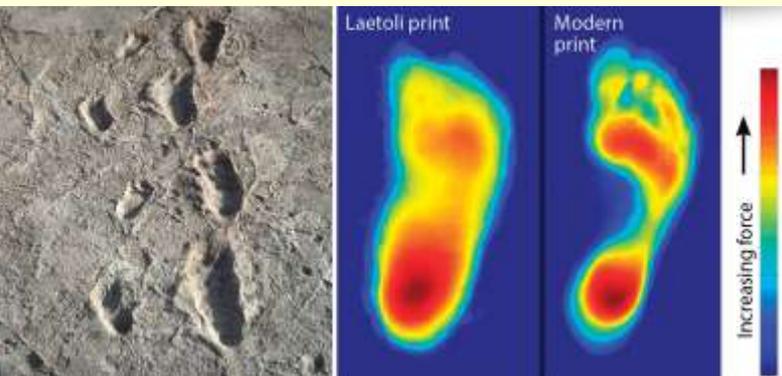


*Ardipithecus ramidus*, qui vivait en Afrique de l'Est au Pliocène inférieur, il y a **4,4 millions d'années**, possède de nombreux traits intermédiaires entre les chimpanzés et *Australopithecus afarensis*.

Il pouvait probablement **marcher debout mais seulement sur de courtes distances.**



Le site de **Laetoli**, découvert en 1977 en Tanzanie, a livré des empreintes de pas d'hominidés bipèdes exceptionnellement conservées dans de la cendre volcanique durcie il y a **3,66 millions d'années**.



## Laetoli footprints reveal bipedal gait biomechanics different from those of modern humans and chimpanzees

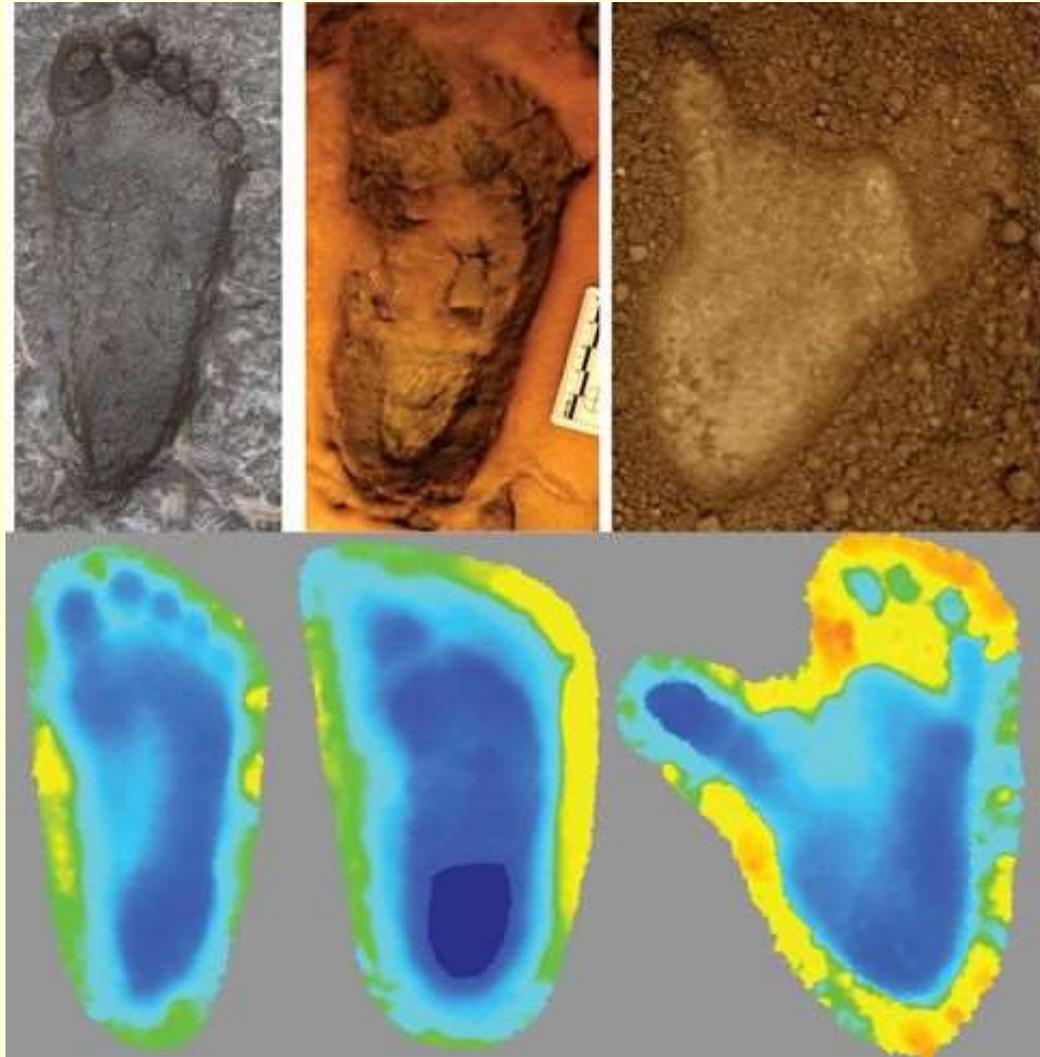
[Kevin G. Hatala](#), [Brigitte Demes](#) and [Brian G. Richmond](#)

17 August 2016

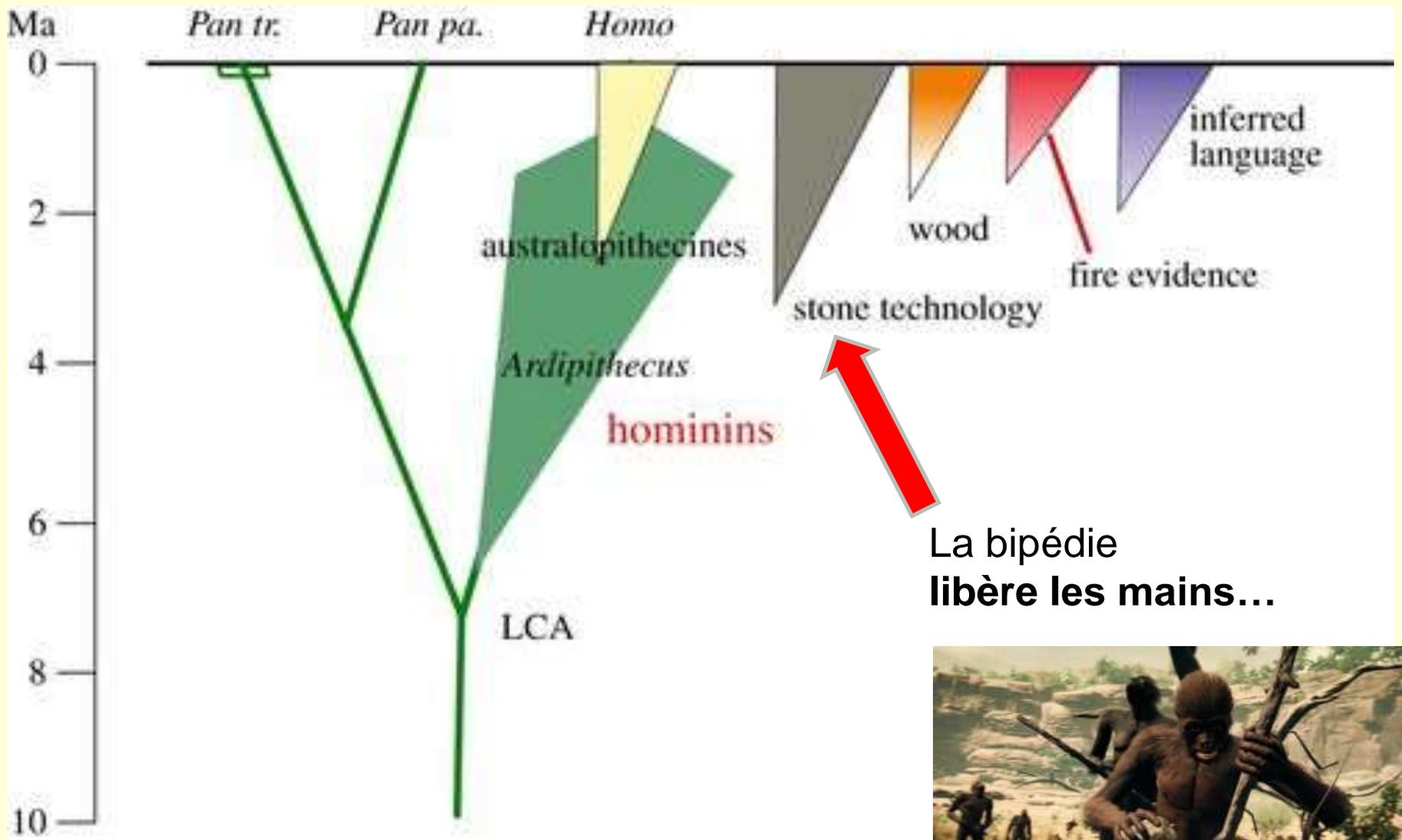
<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2016.0235>

...the ca **3.66 Ma** hominin footprints at Laetoli, Tanzania, provided what is still today **the earliest indisputable evidence of bipedalism** in the human fossil record.

These trackways are widely considered to have been made by ***Australopithecus afarensis***...

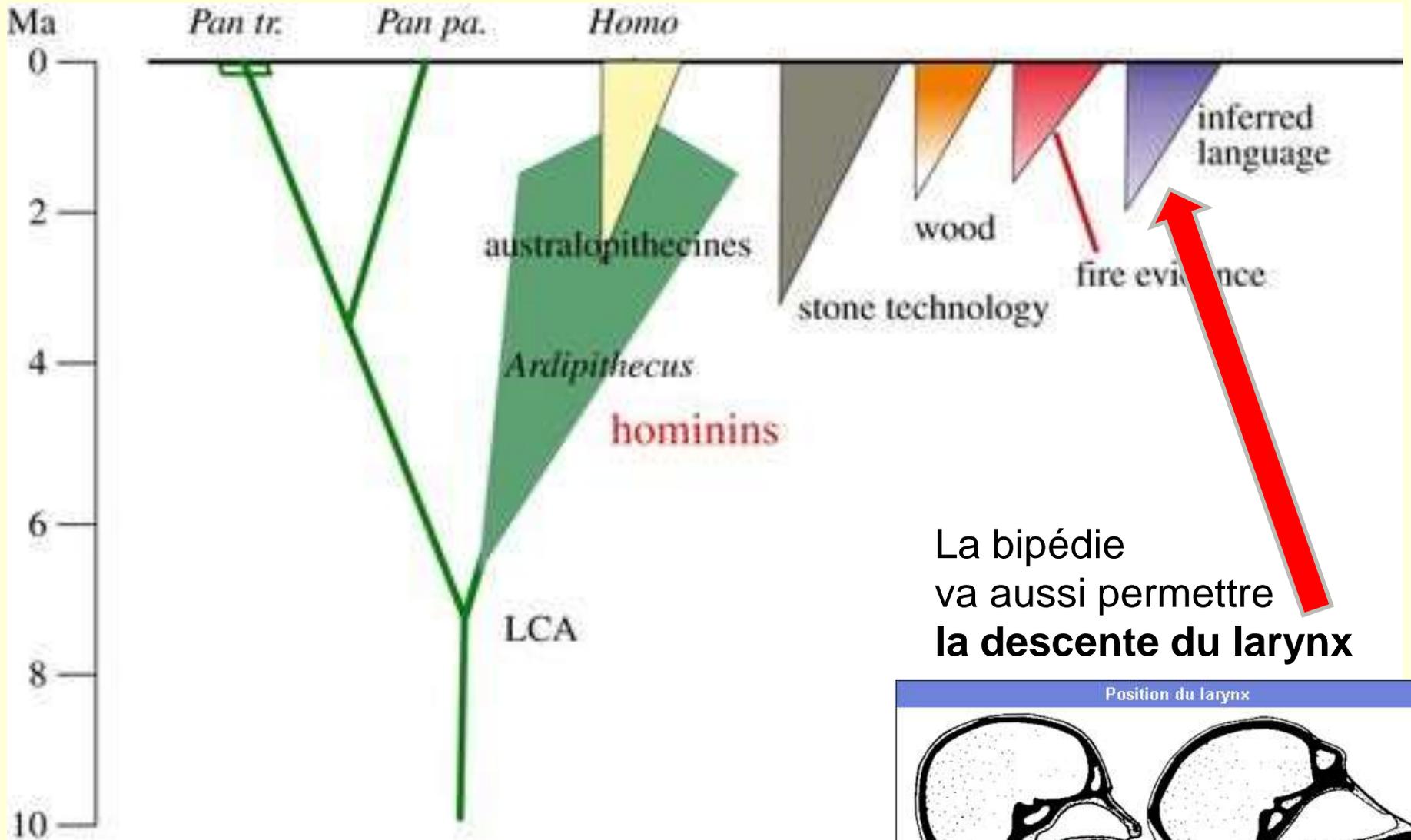


Examples of human, Laetoli hominin and chimpanzee footprints.

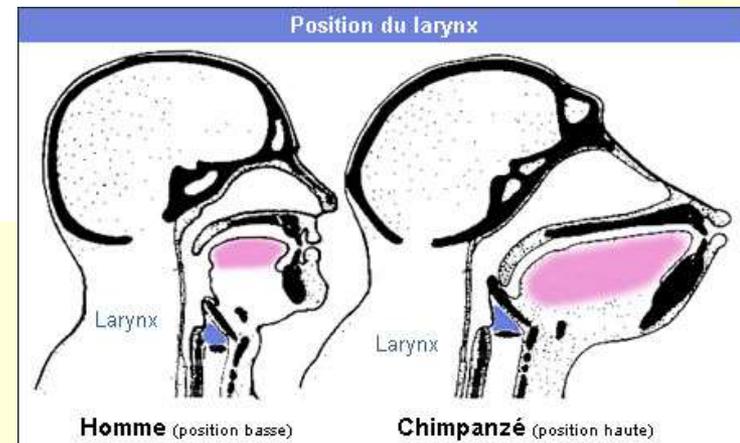


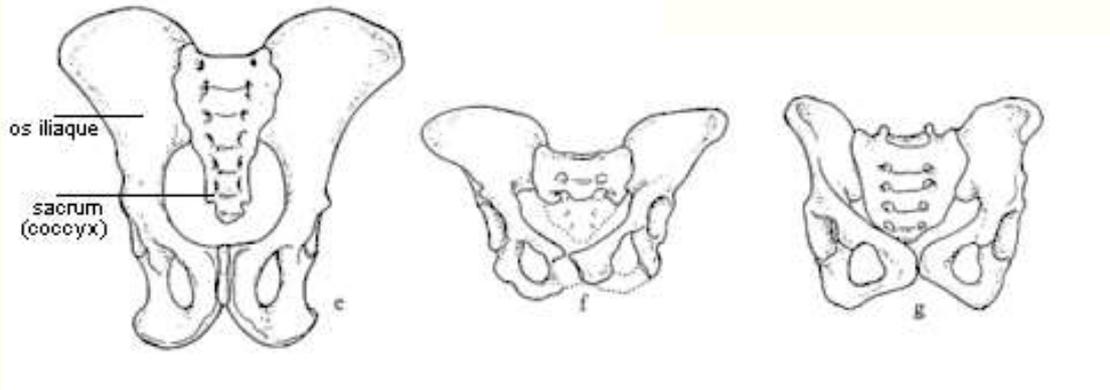
La bipédie libère les mains...





La bipédie  
va aussi permettre  
**la descente du larynx**





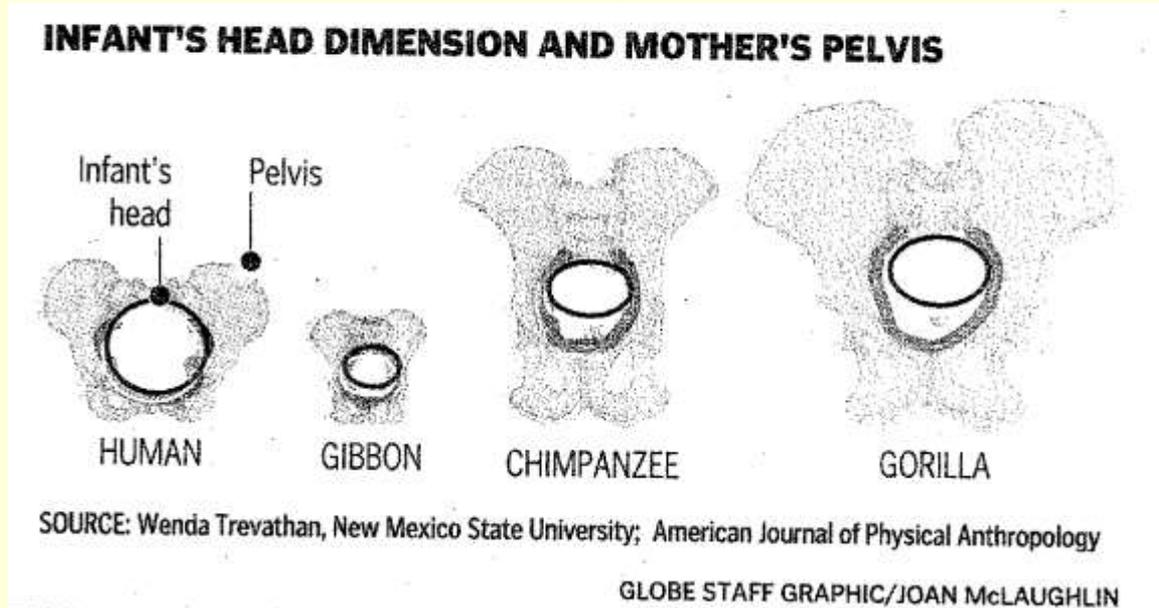
Chimpanzé

Australopithèque

Humain

La **bipédie** va aussi amener un bassin plus **bas** et plus **large** capable de soutenir les viscères et le poids du tronc.

Le bébé humain avec son gros cerveau va avoir de la **difficulté à passer** dans le canal pelvien lors de l'accouchement (sans doute le plus compliqué et douloureux de tous les mammifères).

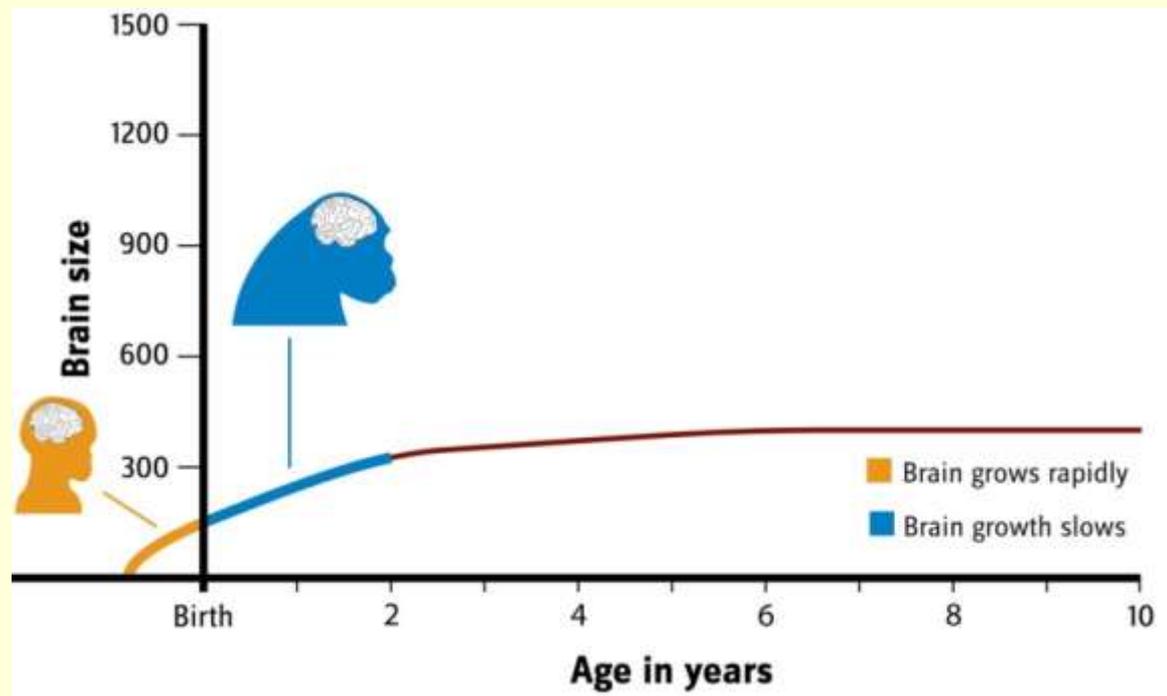
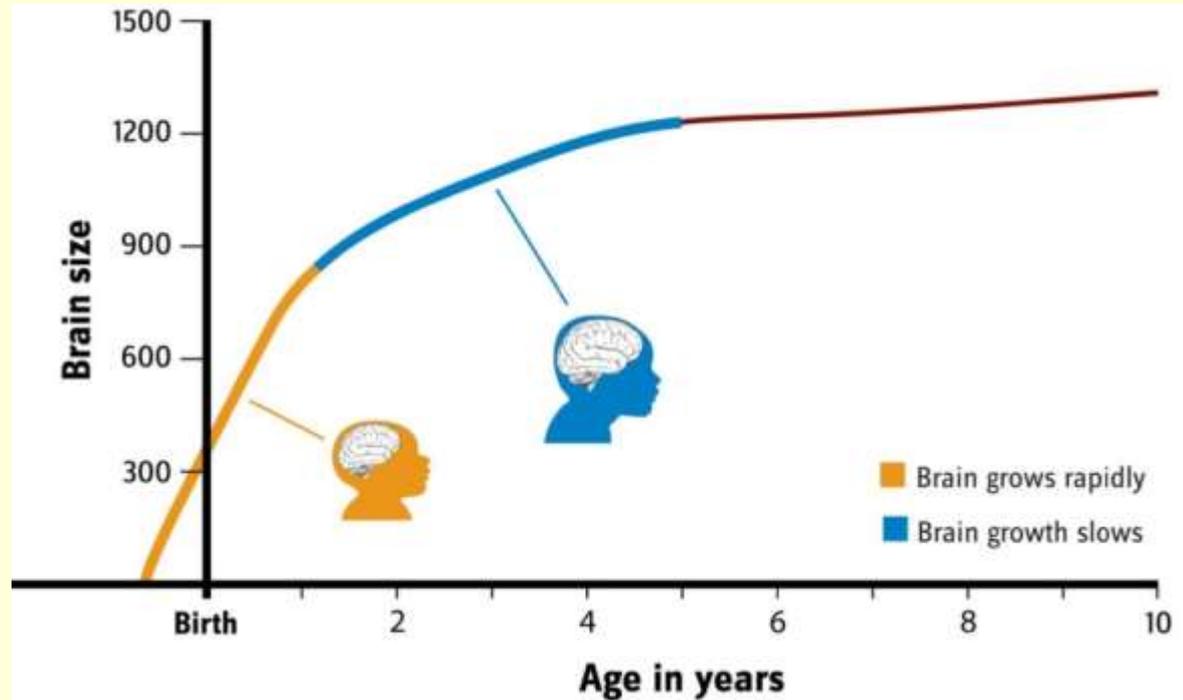


La sélection naturelle a donc favorisé les enfants **prématurés**. De sorte que le bébé humain naît à un stade de développement **inachevé** : il est de loin **le moins précoce de tous les primates** (« néoténie »).

À la naissance, le cerveau humain ne représente que **25 %** du volume qu'il atteindra à l'âge adulte.

Chez le chimpanzé nouveau-né, cette proportion est de **40 %**.

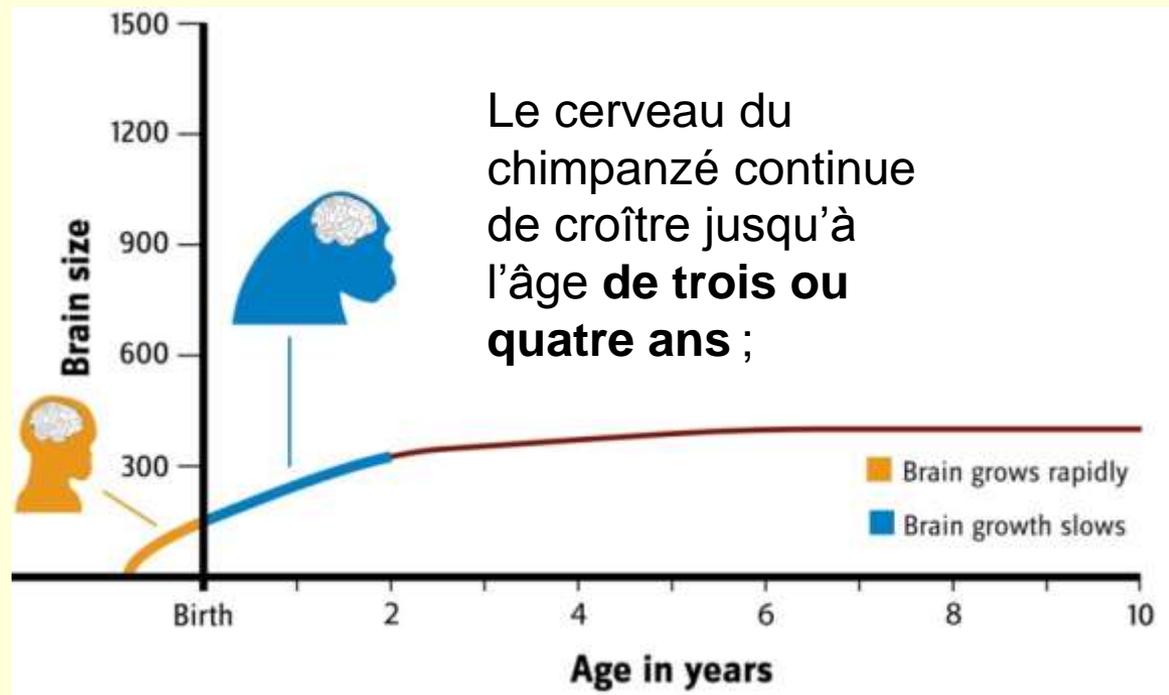
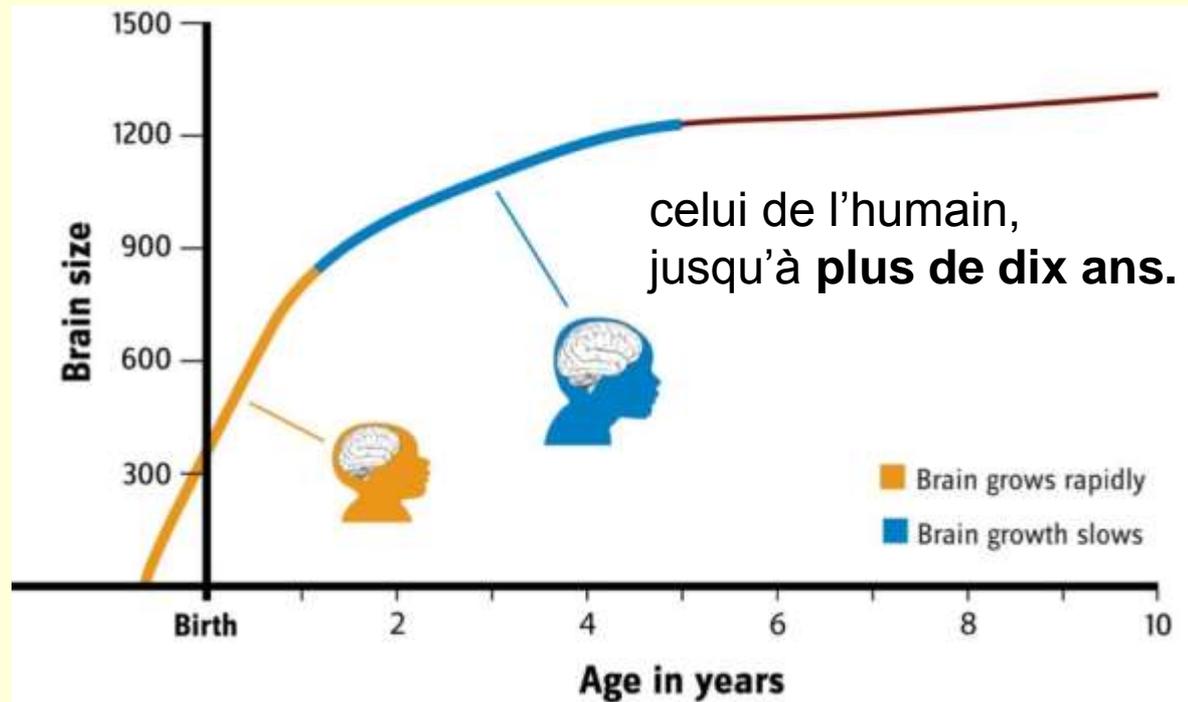
Pour atteindre ce même niveau, la grossesse humaine devrait durer **16 mois !**

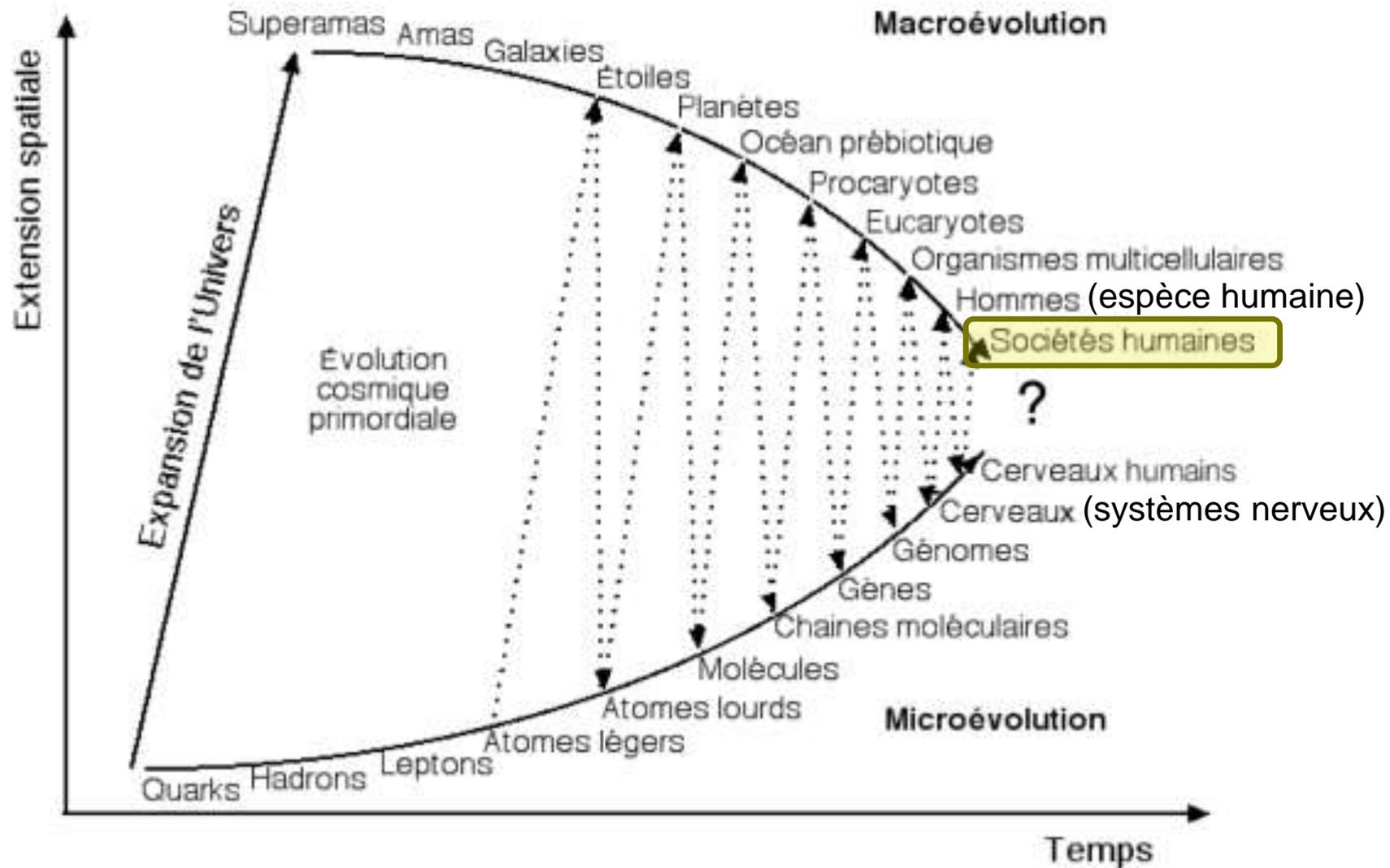


À un an, le cerveau n'a atteint que **50 %** de son volume final chez l'humain,

mais **80 %** chez notre plus proche parent

→ implique que de nombreuses étapes du développement cognitif se déroulent dans un **contexte social riche.**





À cause de cette période prolongée de dépendance juvénile chez l'humain, élever un enfant est considérablement **plus coûteux sur le plan biologique qu'élever un petit primate.**

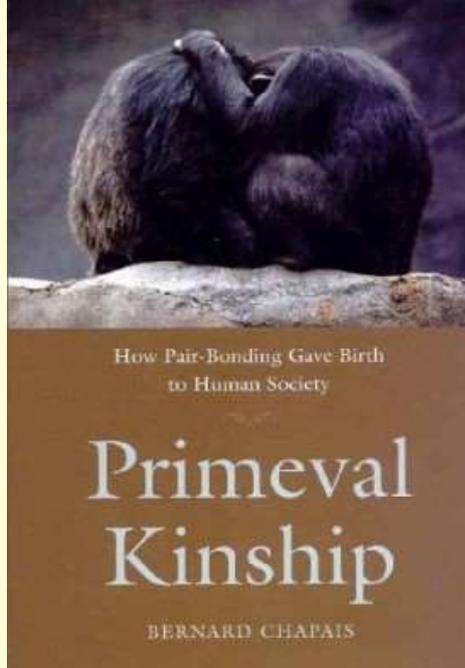
Et comme les mères humaines prennent soin de cette progéniture à développement lent jusque tard dans l'adolescence, il arrive souvent qu'elles élèvent plusieurs enfants dépendants simultanément.



L'approvisionnement des enfants, passé l'âge du sevrage, n'existe pas chez les autres primates.

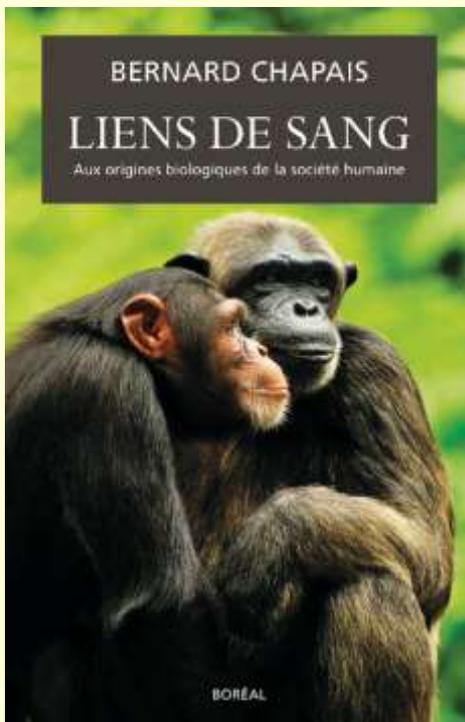
Les soins maternels constituent donc une activité essentiellement **séquentielle** dans la vie des mères primates.

**La contribution du père aux soins parentaux** chez l'humain va ainsi devenir déterminante.



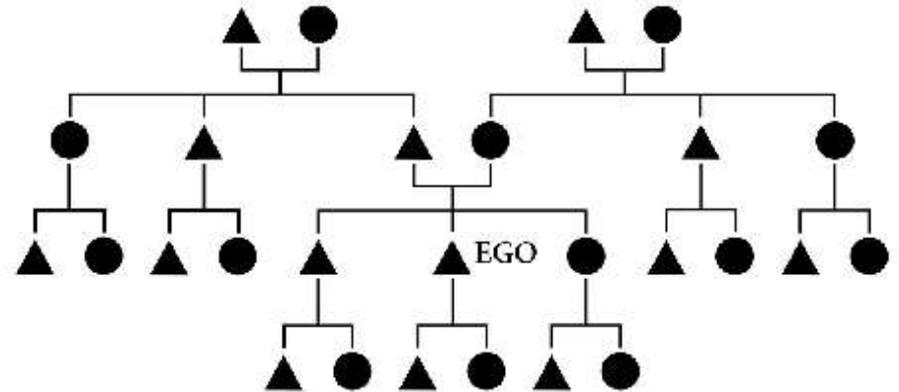
Ce qui précède et ce qui va suivre est tiré des travaux de l'anthropologue et primatologue montréalais **Bernard Chapais** dont vous pouvez lire une synthèse remarquable dans ses livres **Primeval Kinship** (2008) et **Liens de sang** (2015).

Chapais y rappelle donc l'importance de la **coopération parentale** dans l'évolution de la famille humaine qui a maintes fois été démontrée.

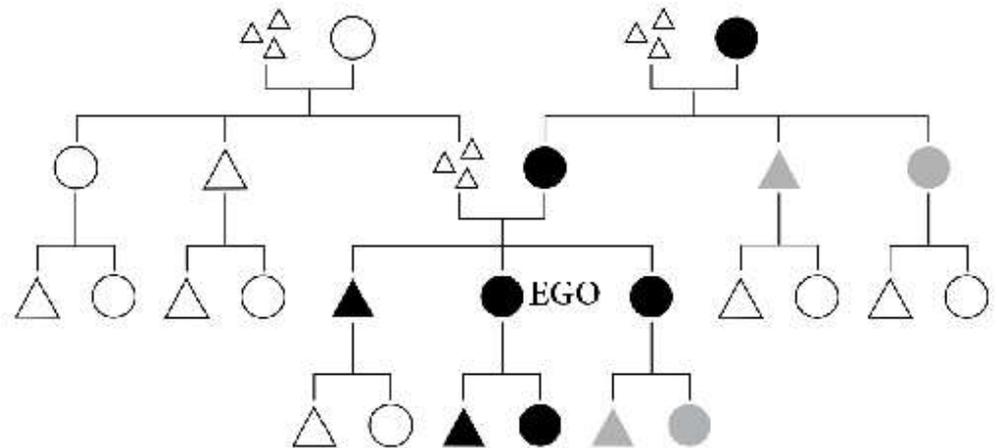


Concrètement, cela a amené la formation d'un **couple monogame stable** durant plusieurs années qui va ainsi distinguer l'espèce humaine de ses plus proches cousins (chimpanzés et bonobos).

Ce phénomène nouveau va en amener un autre d'une grande importance : la **reconnaissance étendue de la parenté**, unique à chez l'espèce humaine.



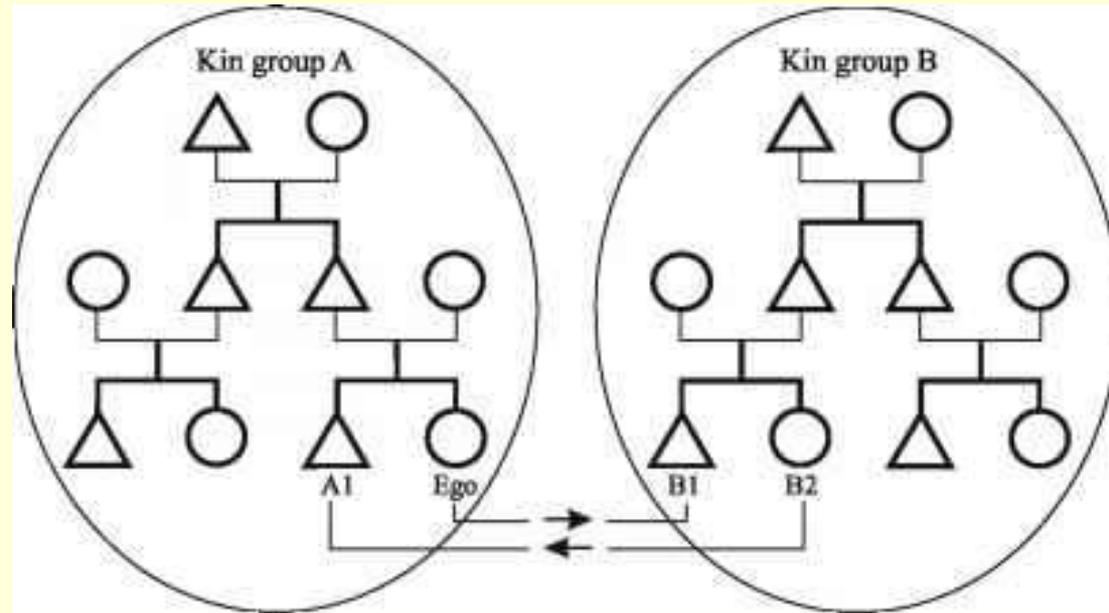
Car cela n'est pas le cas chez les autres primates (les chimpanzés par exemple où la promiscuité sexuelle fait en sorte que les petits, élevés par leur mère, ne savent pas qui est leur père).



À cela va s'ajouter le phénomène de l'évitement de l'inceste (déjà présents chez les autres primates)

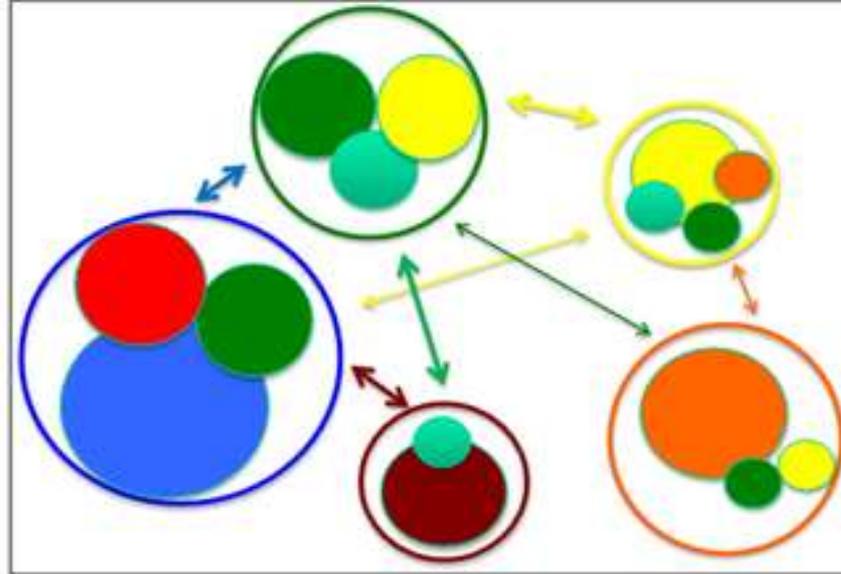
mais qui, dans les groupes humains formés de couples monogames, va amener **l'exogamie reproductive**,

i.e. un individu quitte son groupe pour aller vivre et se reproduire dans un autre.

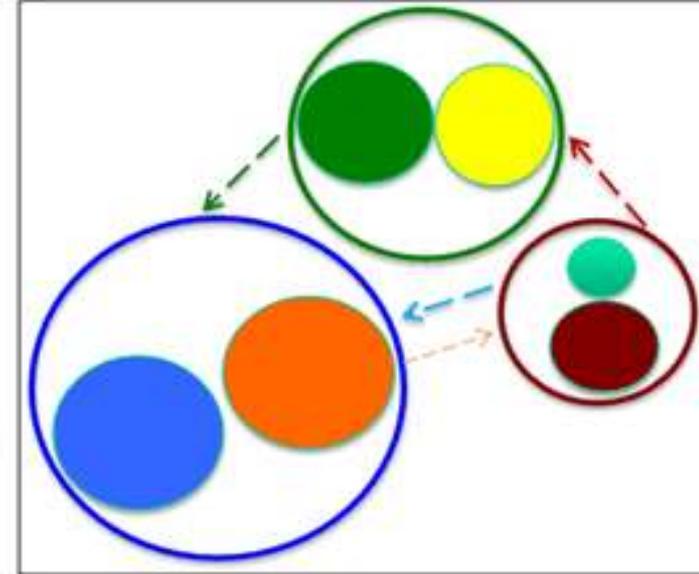


L'exogamie reproductive va amener un **processus de pacification et d'alliances entre les groupes (unique aux sociétés humaines)** :

une femelle du groupe A qui s'en va dans le groupe B demeure à la fois liée à ses parents restés dans le groupe A et à son mari du groupe B (et par conséquent à la famille de son mari dans le groupe B).



Humans



Other primates

La structure sociale humaine d'**exogamie réciproque** :

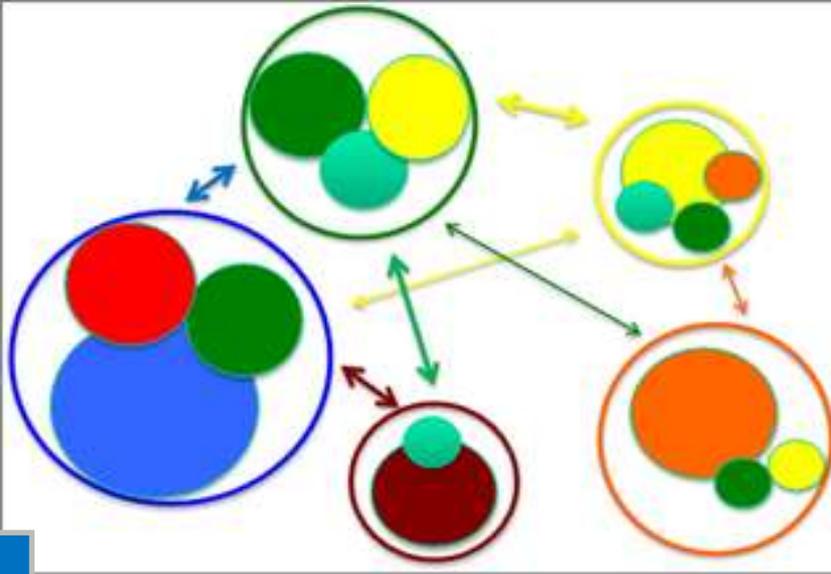
- inclut l'échange de partenaires sexuels, de biens et de services (flèches bi-directionnelles),
- implique de multiples lignées de parenté (cercles pleins) existant souvent dans des communautés résidentielles multiples (cercles ouverts).

Il en résulte une coopération répandue (superposition des cercles pleins) à l'intérieur et entre les communautés humaines.

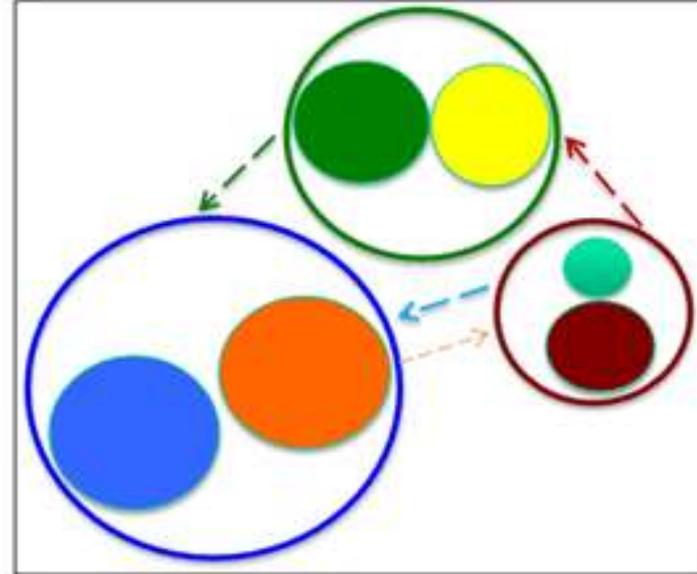
Au contraire, chez les autres primates, mâles ou femelles émigrent (flèches pointillées).

**L'absence d'exogamie réciproque** fait en sorte que les lignées de parenté sont réduites à des communautés simples qui ne génèrent donc pas les "méta-groupes" à l'origine des structures sociales humaines complexes.

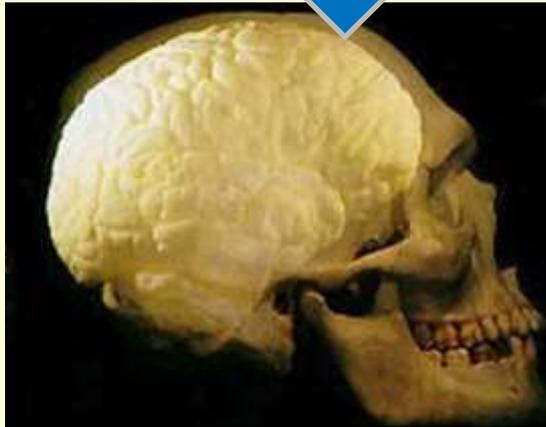
Organisation sociale complexe facilitée par...



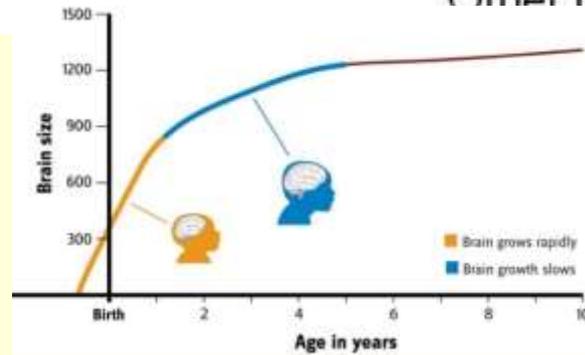
Humans



Other primates



Mais gros cerveau car mature tard...



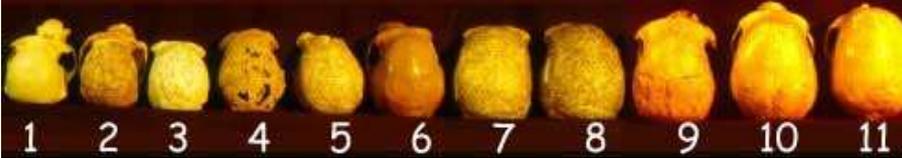
- bipédie modifie la forme du bassin
- néoténie et dépendance juvénile prolongée
- contribution du père aux soins parentaux
- couple monogame stable
- reconnaissance étendue de la parenté avec l'exogamie reproductive
- pacification + alliances entre groupes complexes

règles sociales complexes: pression sélective pour plus gros cerveau !?



Outre les **règles sociales de plus en plus complexes**, plusieurs phénomènes sont probablement agi de concert (et sont encore débattus) pour expliquer l'expansion cérébrale spectaculaire chez l'humain :



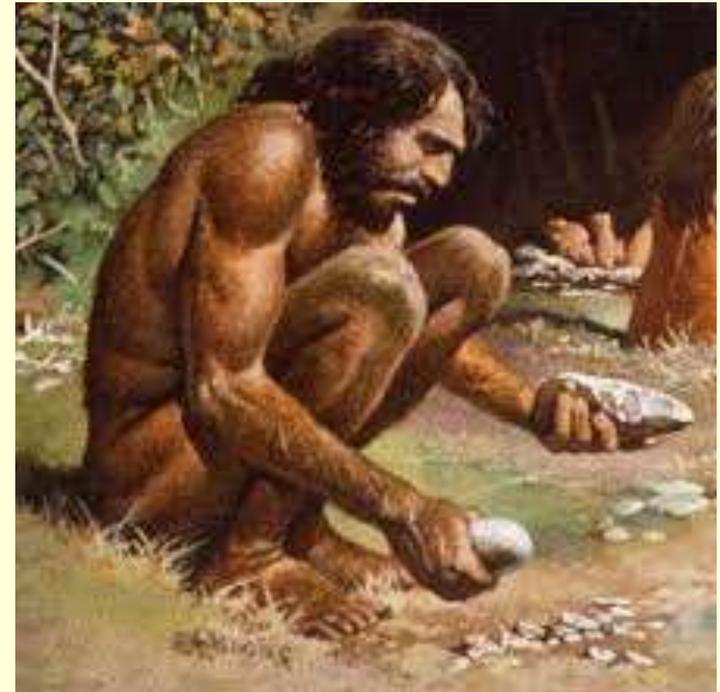


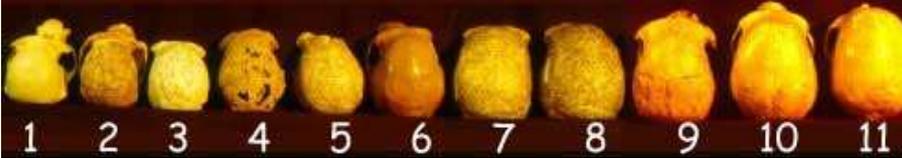
Outre les **règles sociales de plus en plus complexes**, plusieurs phénomènes sont probablement agi de concert (et sont encore débattus) pour expliquer l'expansion cérébrale spectaculaire chez l'humain :

- la **fabrication d'outils** (car elle nécessite précision motrice, mémoire et planification); Les premiers outils seraient datés de 3,3 millions d'années.

<http://www.hominides.com/html/actualites/premiers-outils-3-3-millions-annees-925.php> (21/05/15)

<http://mailchi.mp/pourlascience/au-sommaire-du-numro-477-de-pour-la-science-saturne-les-plus-belles-dcouvertes-de-cassini-627989?e=2cdb4df74c> (**août 2017**)





Outre les **règles sociales de plus en plus complexes**, plusieurs phénomènes sont probablement agi de concert (et sont encore débattus) pour expliquer l'expansion cérébrale spectaculaire chez l'humain :

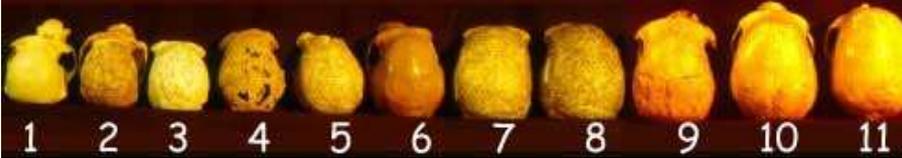
- la **fabrication d'outils** (car elle nécessite précision motrice, mémoire et planification); Les premiers outils seraient datés de 3,3 millions d'années.

<http://www.hominides.com/html/actualites/premiers-outils-3-3-millions-annees-925.php> (21/05/15)

<http://mailchi.mp/pourlascience/au-sommaire-du-numro-477-de-pour-la-science-saturne-les-plus-belles-dcouvertes-de-cassini-627989?e=2cdb4df74c> (**août 2017**)

- la **chasse** (suivre et prédire le parcours du gibier est facilité par la mémoire fournie par un gros cerveau);





Outre les **règles sociales de plus en plus complexes**, plusieurs phénomènes sont probablement agi de concert (et sont encore débattus) pour expliquer l'expansion cérébrale spectaculaire chez l'humain :

- la **fabrication d'outils** (car elle nécessite précision motrice, mémoire et planification); Les premiers outils seraient datés de 3,3 millions d'années.

<http://www.hominides.com/html/actualites/premiers-outils-3-3-millions-annees-925.php> (21/05/15)

<http://mailchi.mp/pourlascience/au-sommaire-du-numro-477-de-pour-la-science-saturne-les-plus-belles-dcouvertes-de-cassini-627989?e=2cdb4df74c> (**août 2017**)

- la **chasse** (suivre et prédire le parcours du gibier est facilité par la mémoire fournie par un gros cerveau);

- la **préparation des aliments**

(What Makes Us Human?

Cooking, Study Says. **2012**

<http://news.nationalgeographic.com/news/2012/10/121026->

[human-cooking-evolution-raw-food-health-science/](http://news.nationalgeographic.com/news/2012/10/121026-human-cooking-evolution-raw-food-health-science/) )

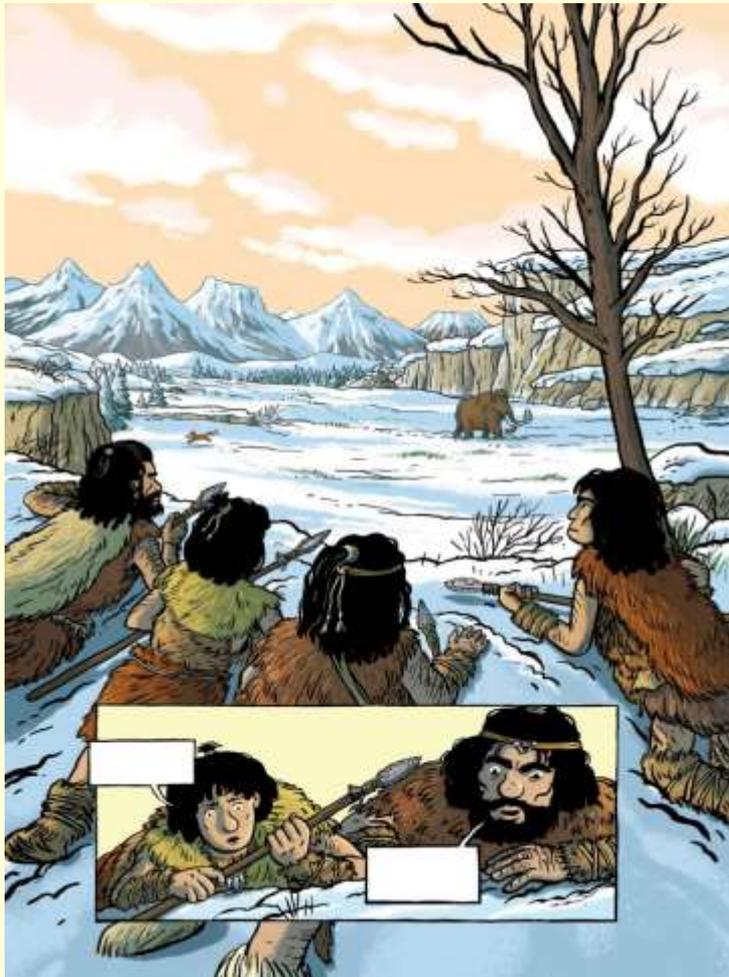


- l'apparition du langage :

→ représentations symboliques  
communes permettant de  
**coordonner nos actions...**



**...ou nos idées !**



## Cours 1:

### A- Évolution et émergence des systèmes nerveux



Le cerveau est le siège de nos pensées, de nos affections.  
Pascal

Petit Palais.

### B- Un neurone, deux neurones : la communication neuronale



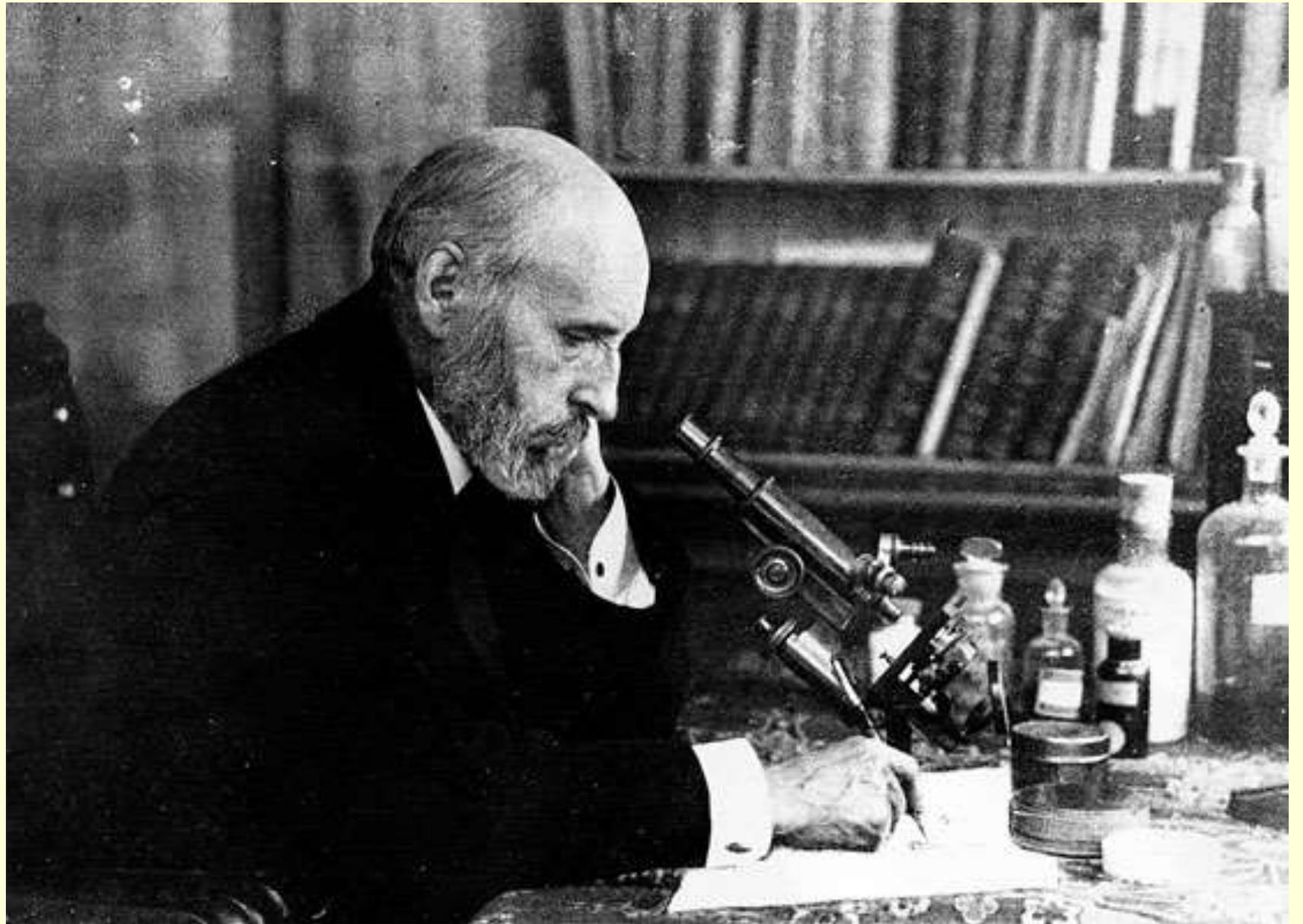
Ceci n'est pas un ordinateur

Reprenons notre  
histoire à la fin du

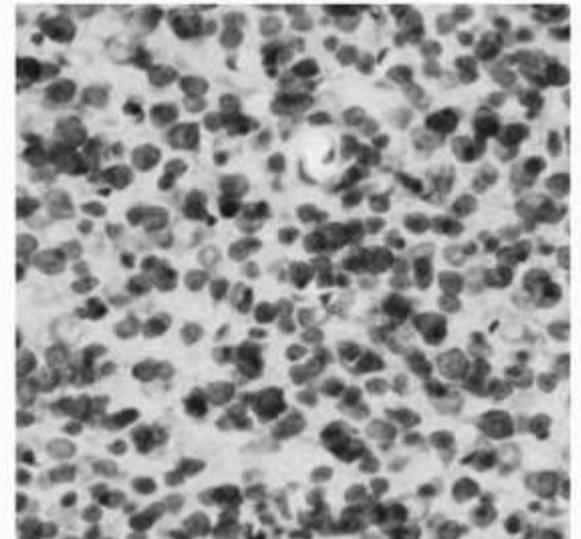
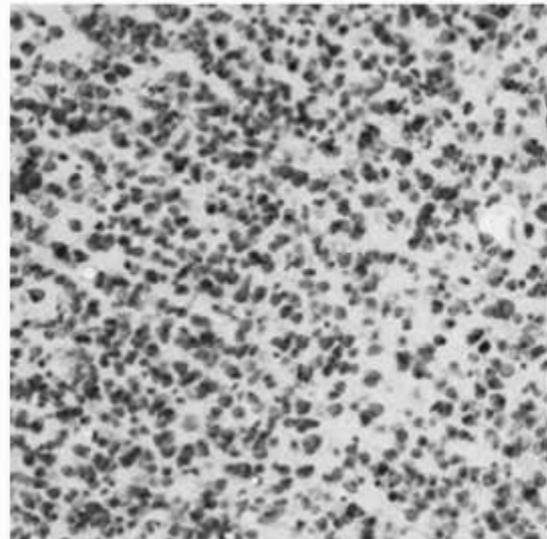
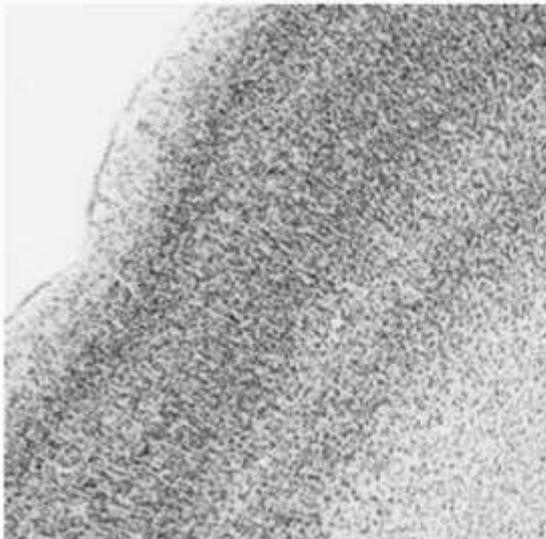
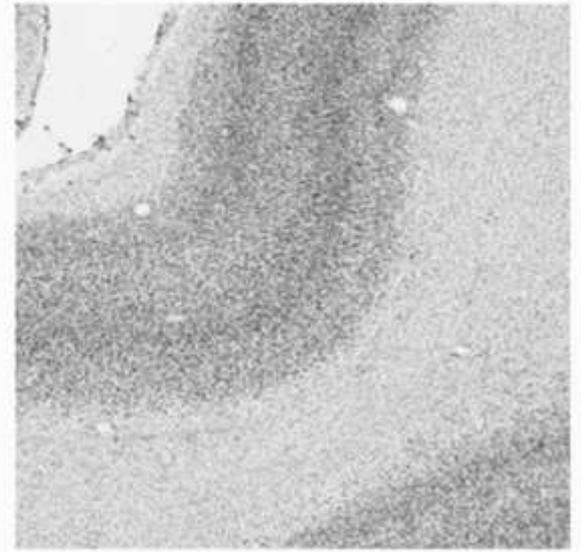
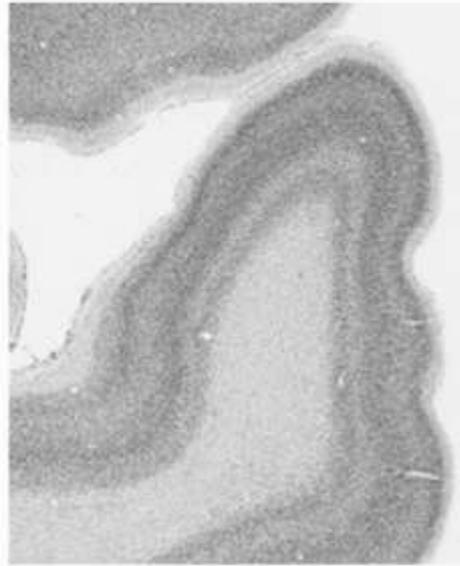
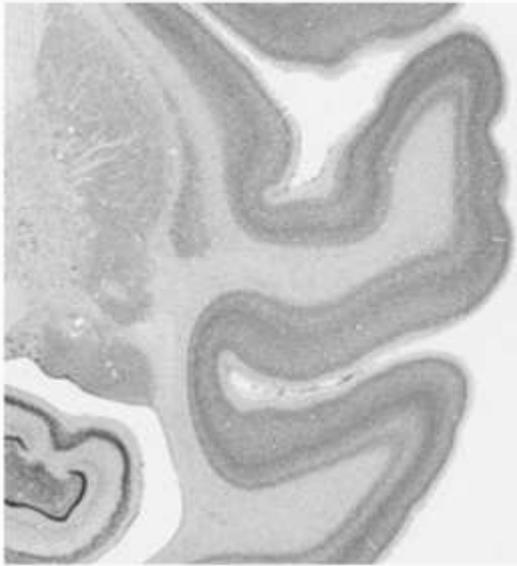
# XIX<sup>e</sup> SIÈCLE



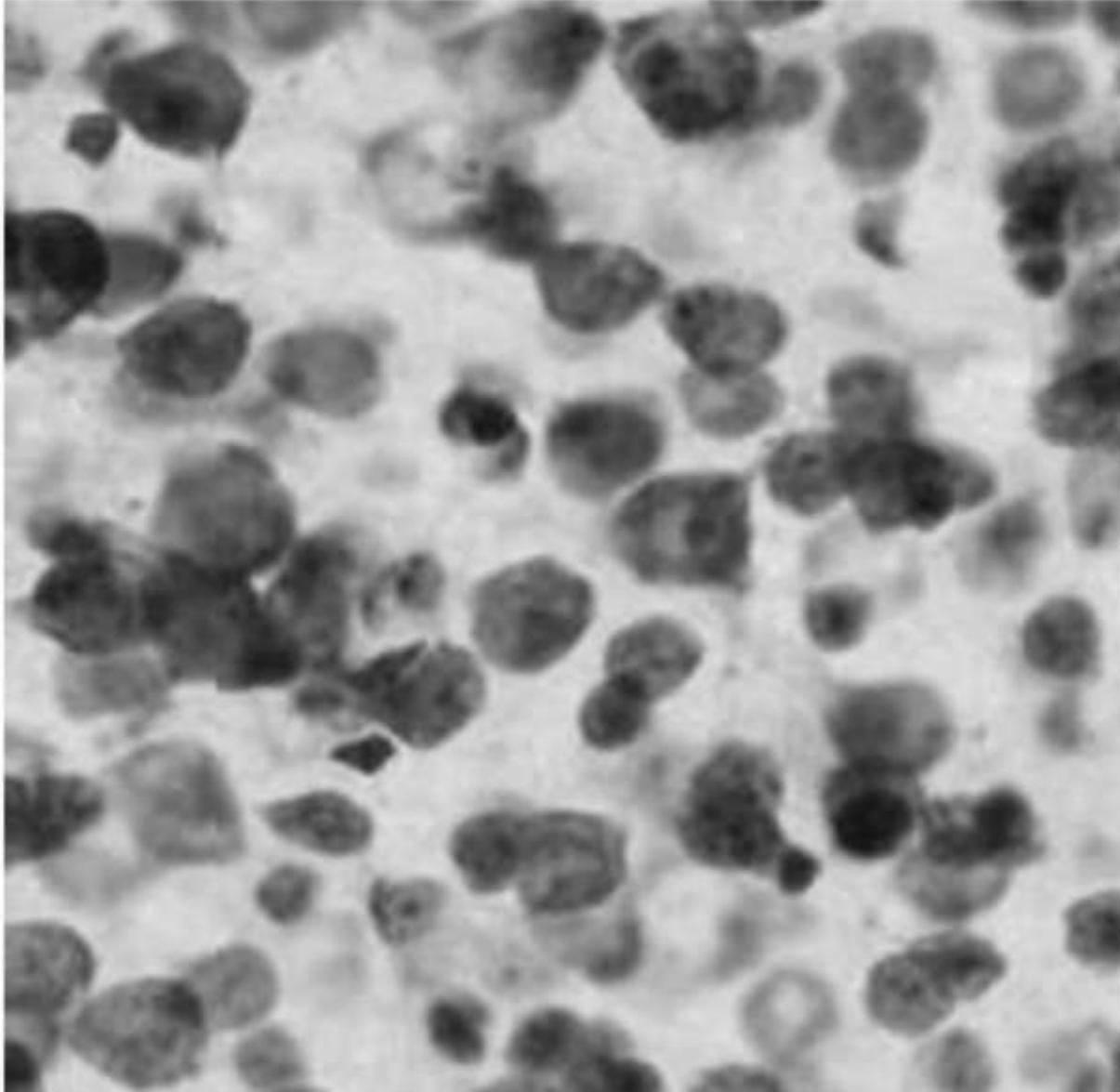


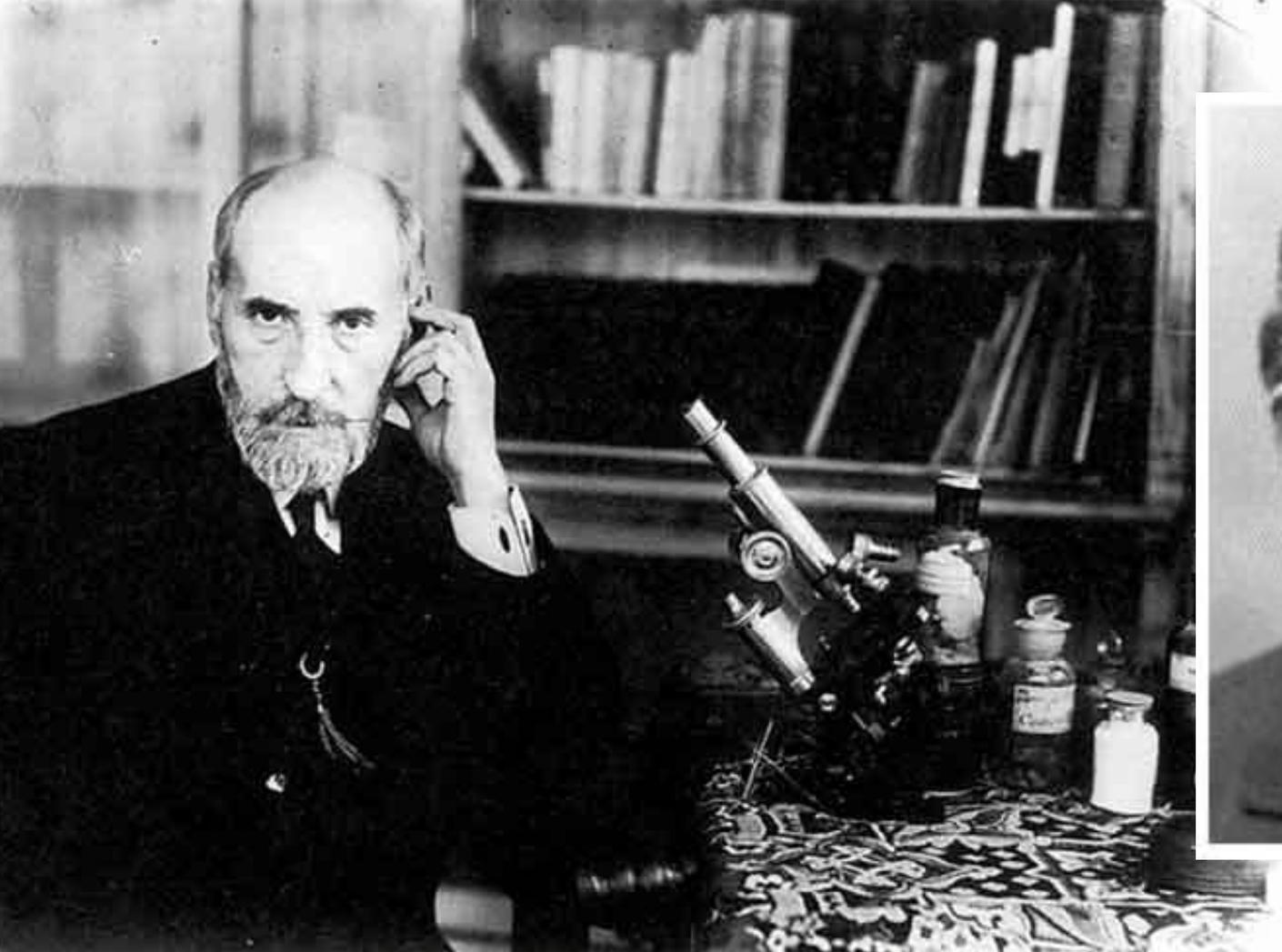


zoom in sur sa région foncée, aussi appelée matière grise...



matière grise : corps cellulaires des cellules du cerveau, les neurones

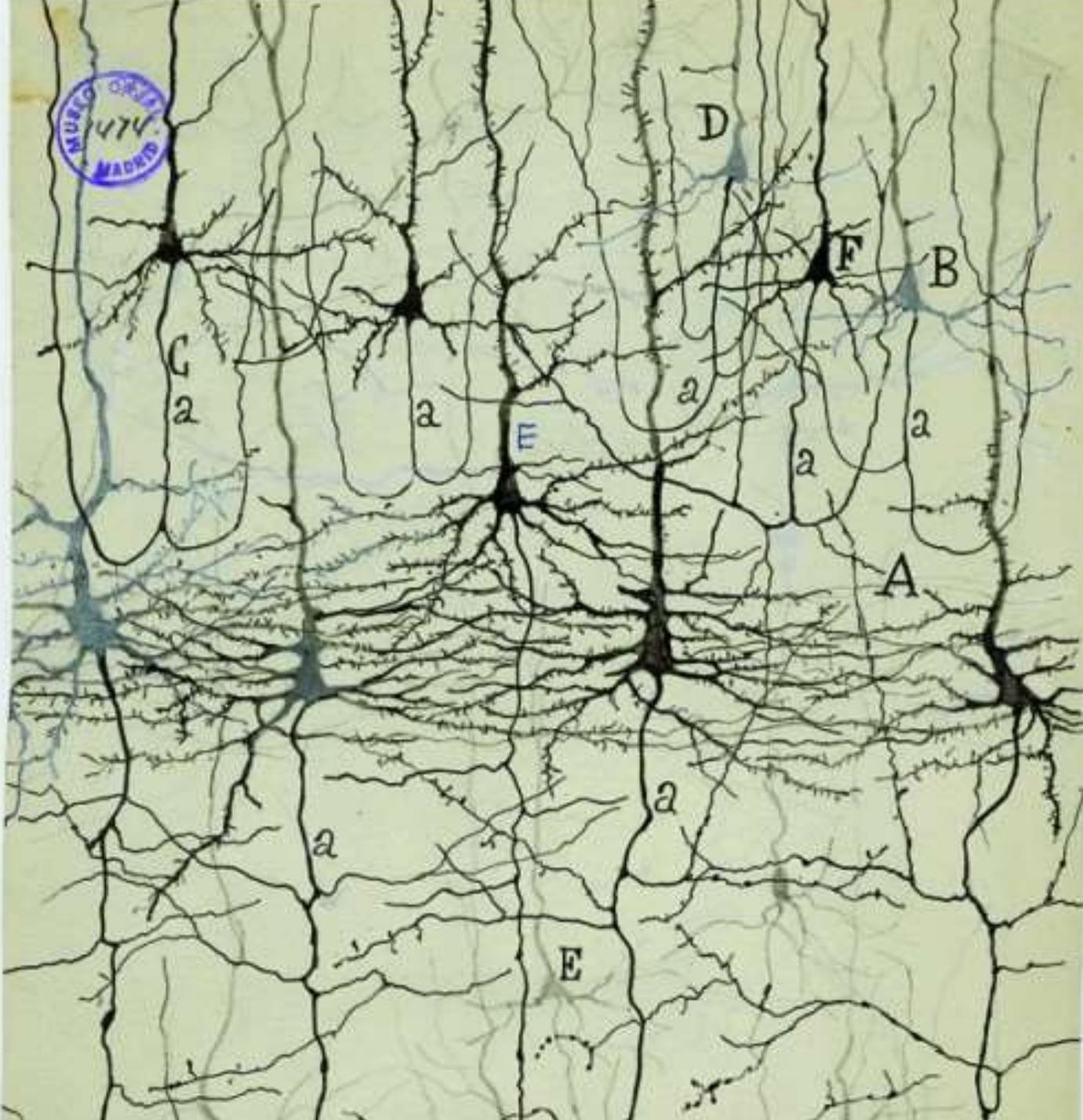




Santiago Ramon y Cajal



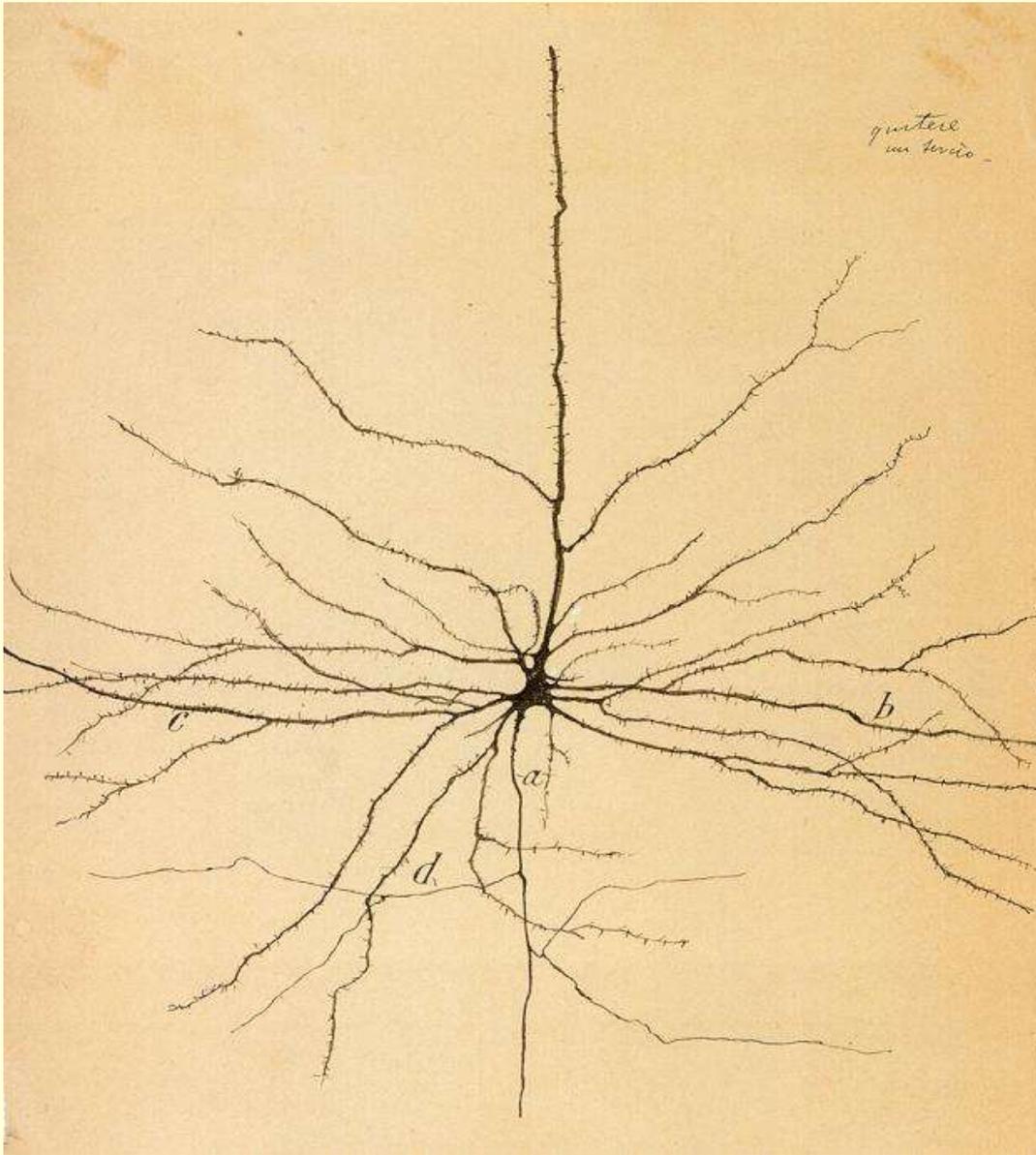
Camillo Golgi



À cette époque,

le paradigme dominant était encore que le système nerveux était constitué d'un **maillage fusionné**

ne comportant **pas de cellules isolées.**



Mais Cajal va montrer, à l'aide de la coloration de Golgi, que les neurones semblent plutôt former des cellules distinctes les unes des autres.

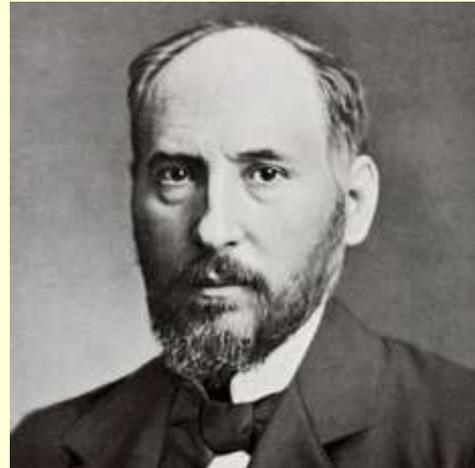


Neurone pyramidal du cortex moteur

Golgi et Cajal obtiennent le Prix Nobel de physiologie ou médecine en 1906.

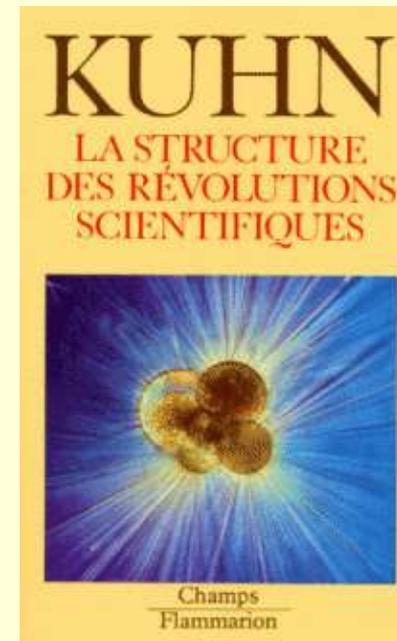


Dans son discours de réception du prix, Golgi défendit la **théorie réticulaire**.



Cajal, qui parlait après lui, contredit la position de Golgi et exposa sa **théorie du neurone...**

qui fut bientôt admise.



Le terme n'existait pas encore, mais on allait assister à un **changement de paradigme...**

## ...qu'est-ce qu'on entend par **paradigmes scientifiques** ?

C'est une notion introduite par Thomas Kuhn en 1962.

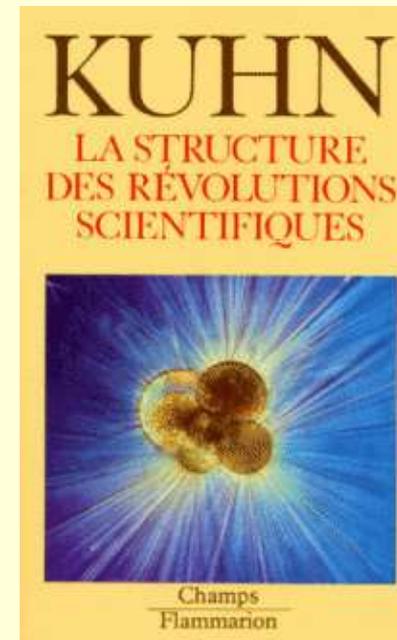
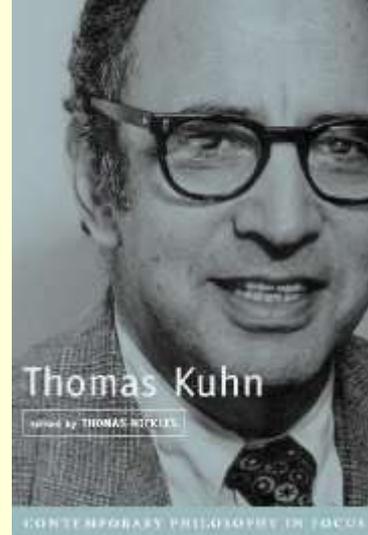
C'est l'idée qu'il y a, à une époque donnée,  
« **UNE** » **théorie plus largement acceptée** au sein de  
la communauté scientifique dans un domaine particulier.

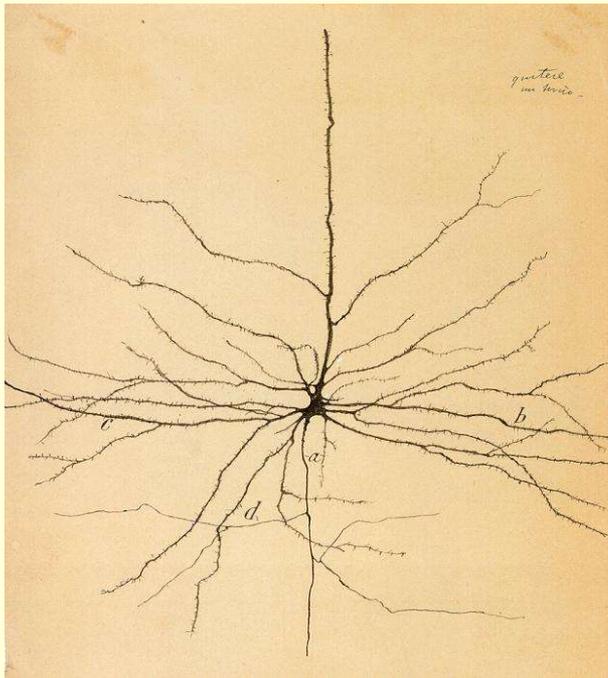
Ce que Kuhn appelle aussi la « science normale ».

Les lois de ce paradigme dominant pourront être dérangées  
périodiquement par des données « a-normales » qui,  
lorsqu'elles deviennent trop nombreuses,  
provoquent des **révolutions scientifiques**.

À des périodes calmes où règne un **paradigme dominant**  
succèdent donc des **crises** de contestation pouvant déboucher  
sur des remises en cause radicales paradigmes du moment.

La notion de paradigme attire donc aussi l'attention sur  
le contexte **sociologique** de la recherche scientifique.





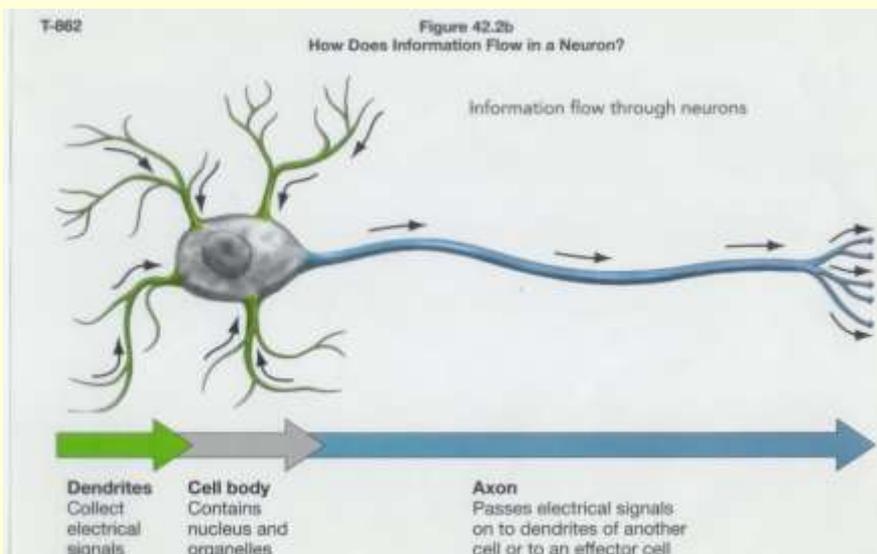
Neurone pyramidal du cortex moteur

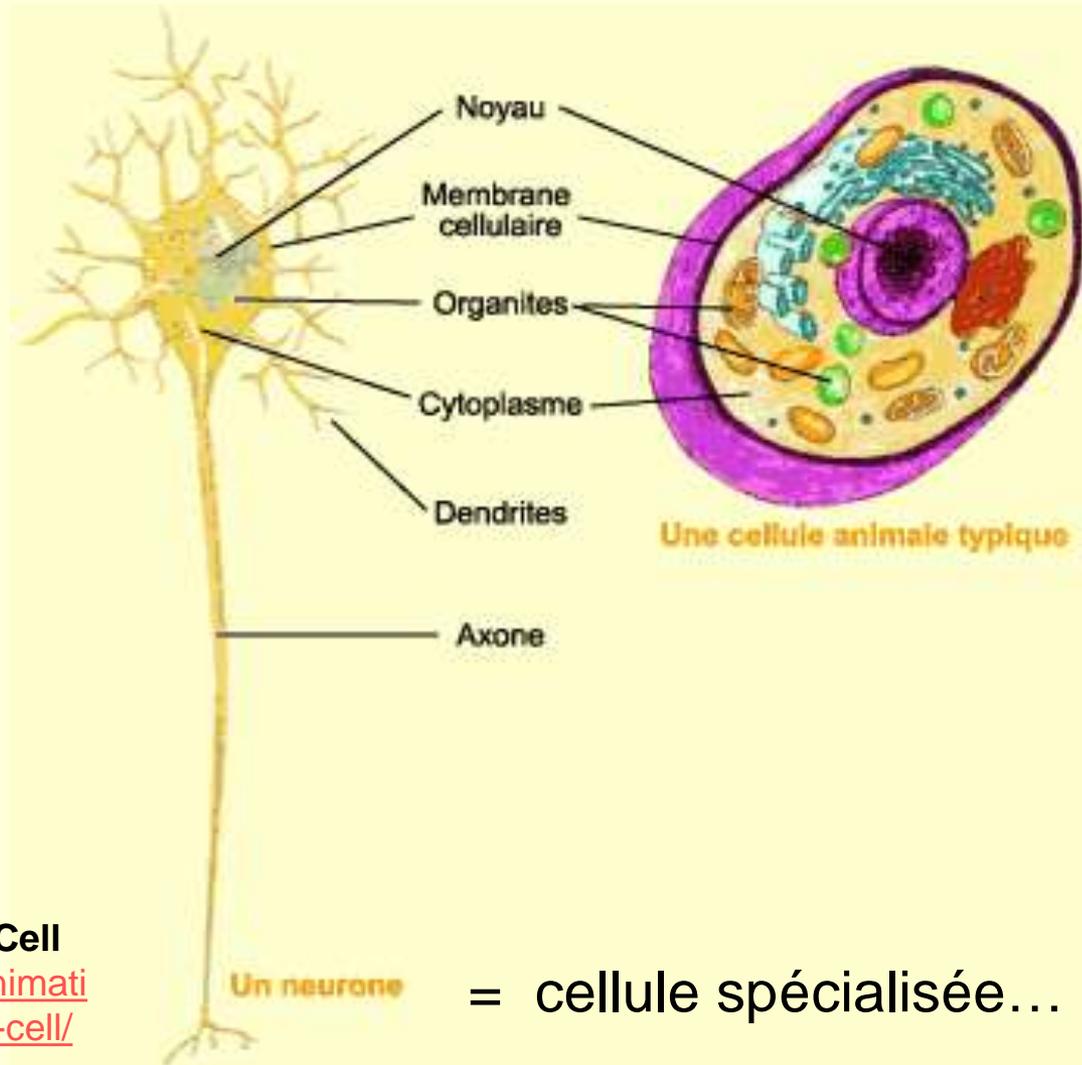
## La théorie (ou doctrine) du neurone :

1) **Le neurone** est l'unité structurelle et fonctionnelle de base du système nerveux;

2) Les neurones sont des cellules discrètes qui ne sont **pas reliées en continu entre elles**;

3) Un neurone est composé de 3 parties : les **dendrites, le corps cellulaire et l'axone**;





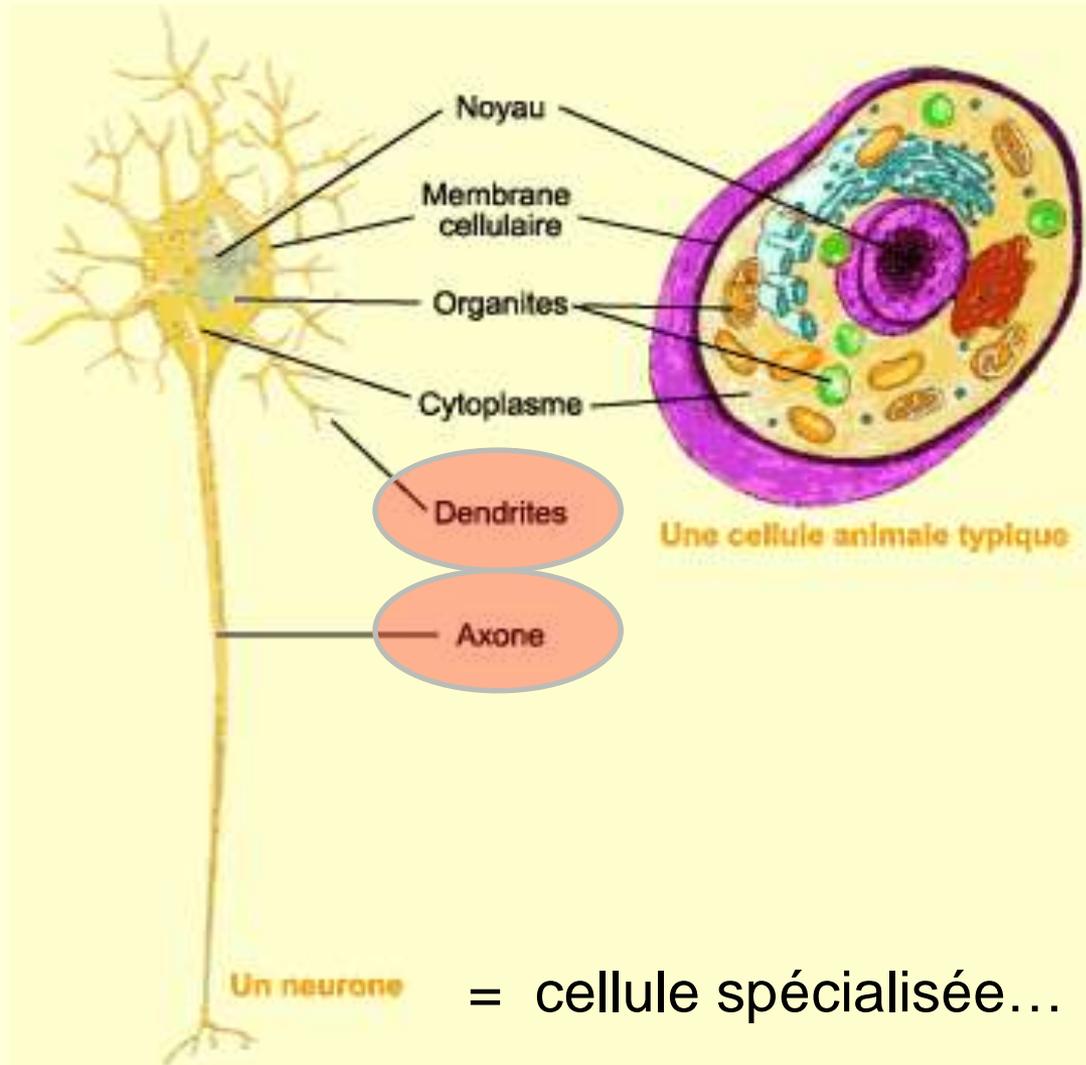
## ANIMATION

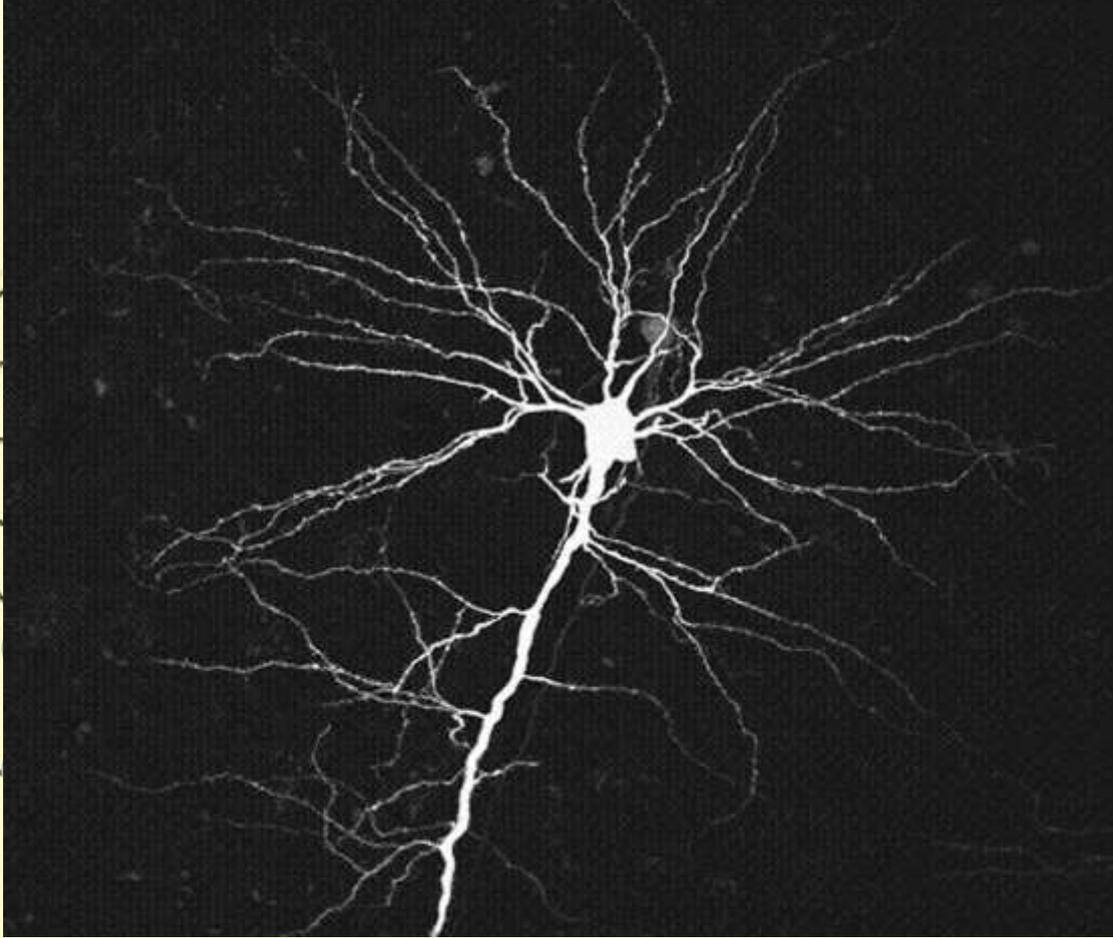
### The Inner Life of the Cell

<http://www.xvivo.net/animation/the-inner-life-of-the-cell/>

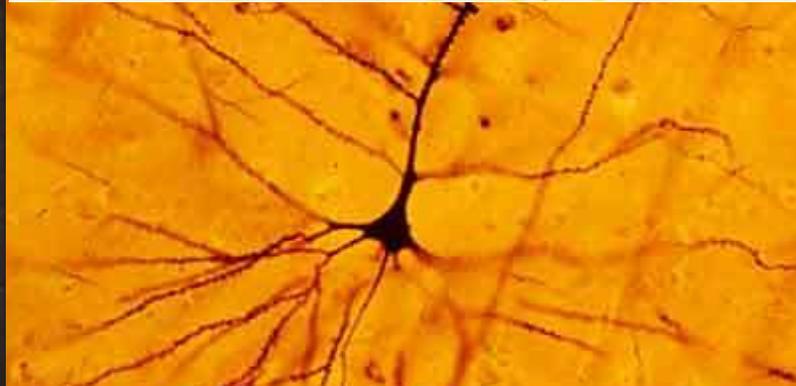
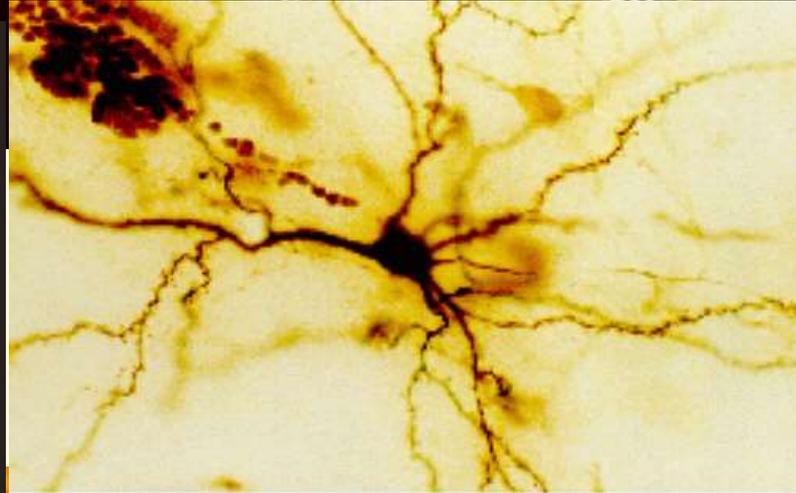
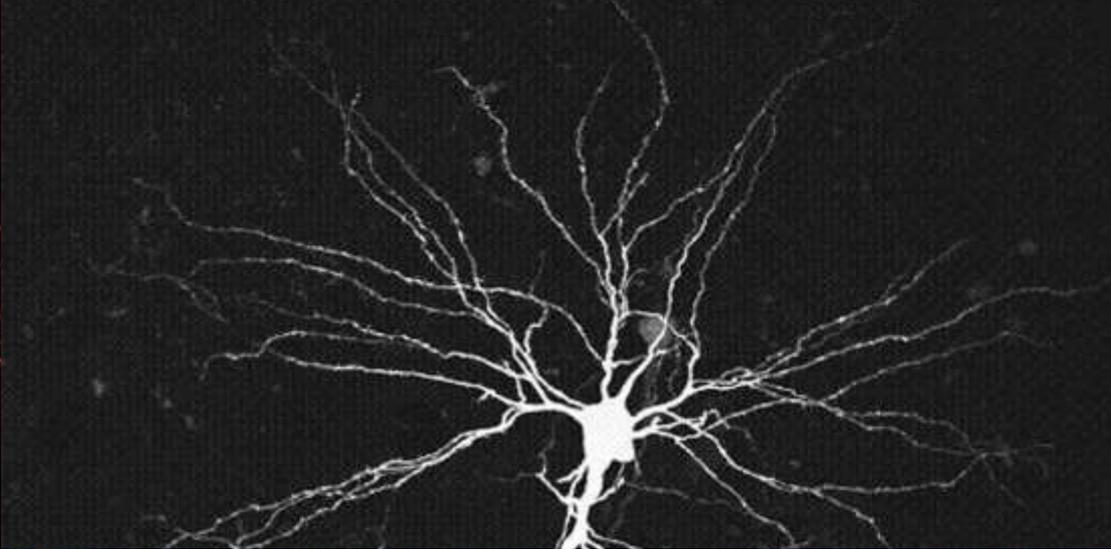
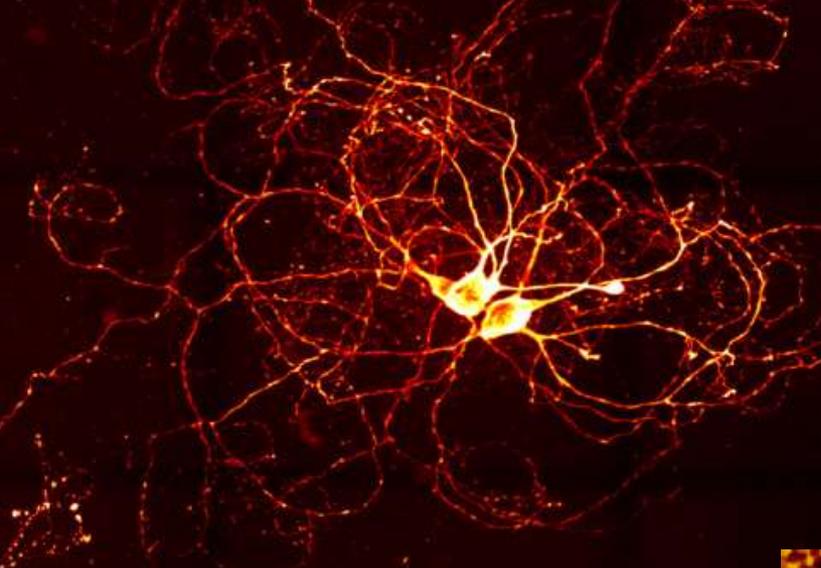
### *The Inner Life of the Cell*

[https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Inner\\_Life\\_of\\_the\\_Cell](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Inner_Life_of_the_Cell)





Un neurone = cellule spécialisée...

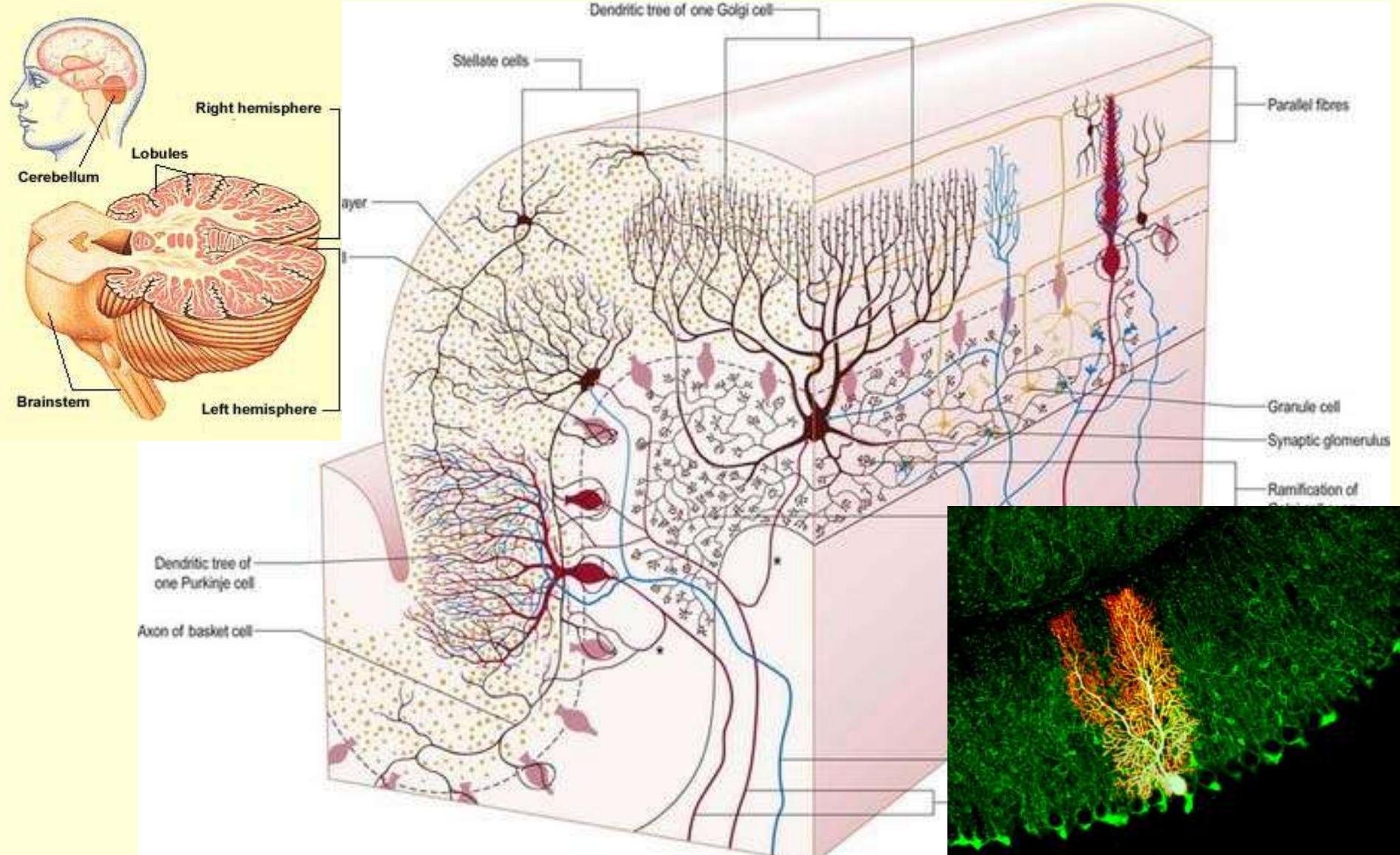


Très grand nombre de types de neurones différents

(estimé à plus de 1 000 et peut-être beaucoup plus, voire un continuum de types...).

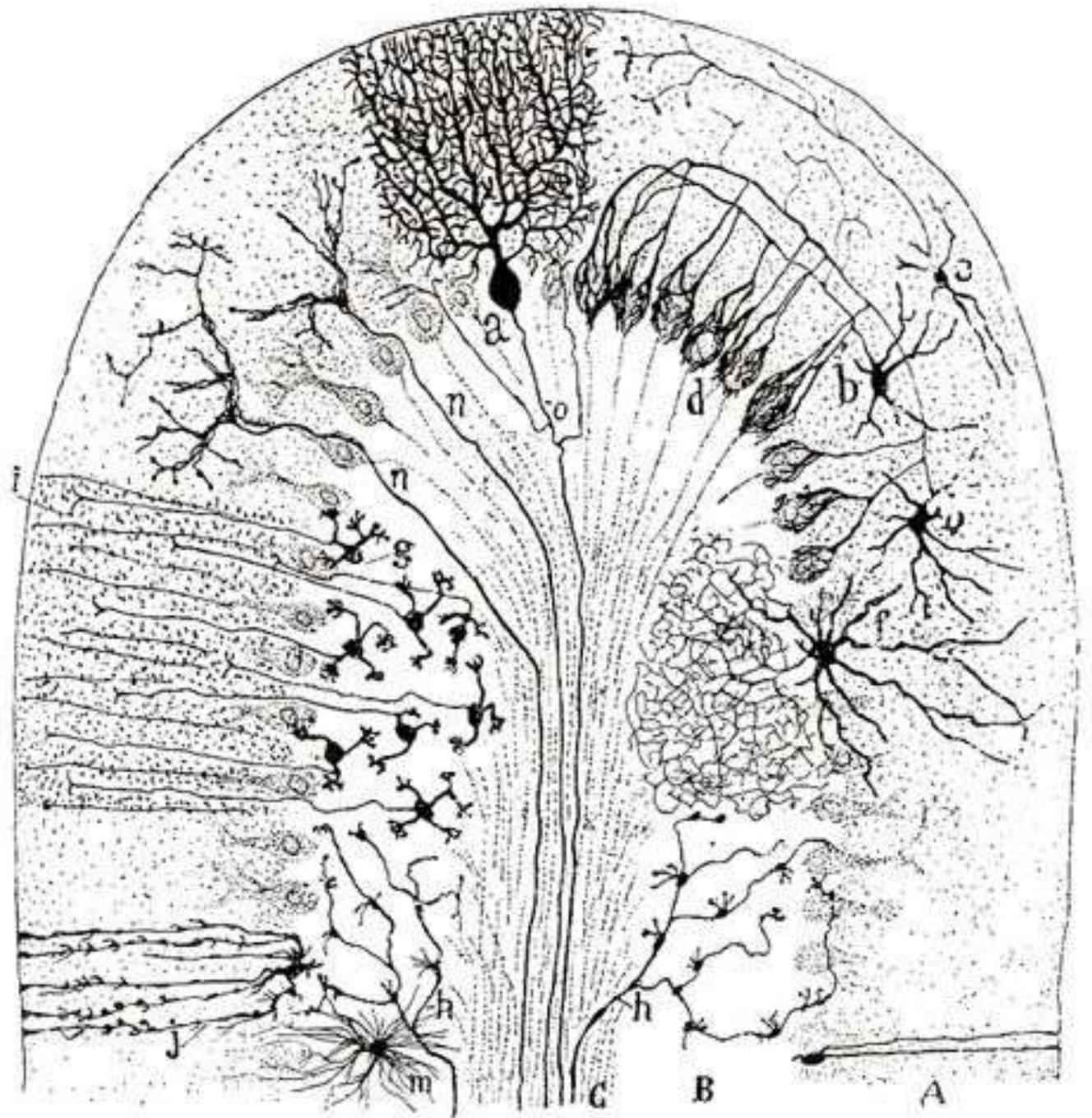
<http://jonlieffmd.com/blog/how-many-different-kinds-of-neurons-are-there>

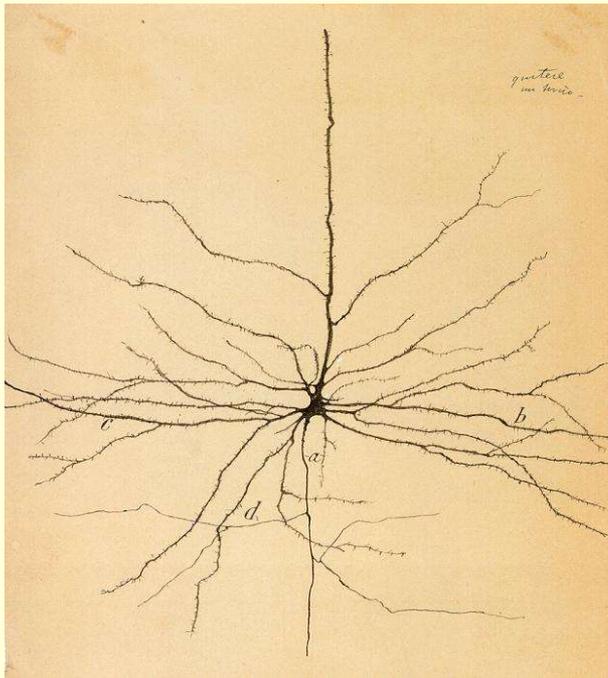
Grande variabilité de forme des neurones qui s'explique par leur pattern de connectivité avec les autres neurones, qui lui-même dépend de la fonction de ce circuit nerveux.



Cajal avait déjà conscience de la grande diversité de forme des neurones

comme le montre l'un de ses dessins des neurones du cervelet.





Neurone pyramidal du cortex moteur

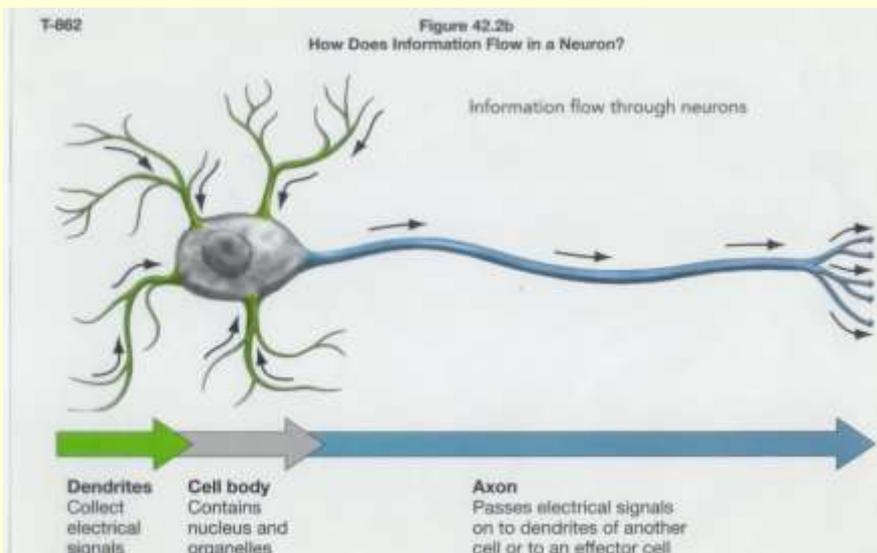
## La théorie (ou doctrine) du neurone :

1) **Le neurone** est l'unité structurelle et fonctionnelle de base du système nerveux;

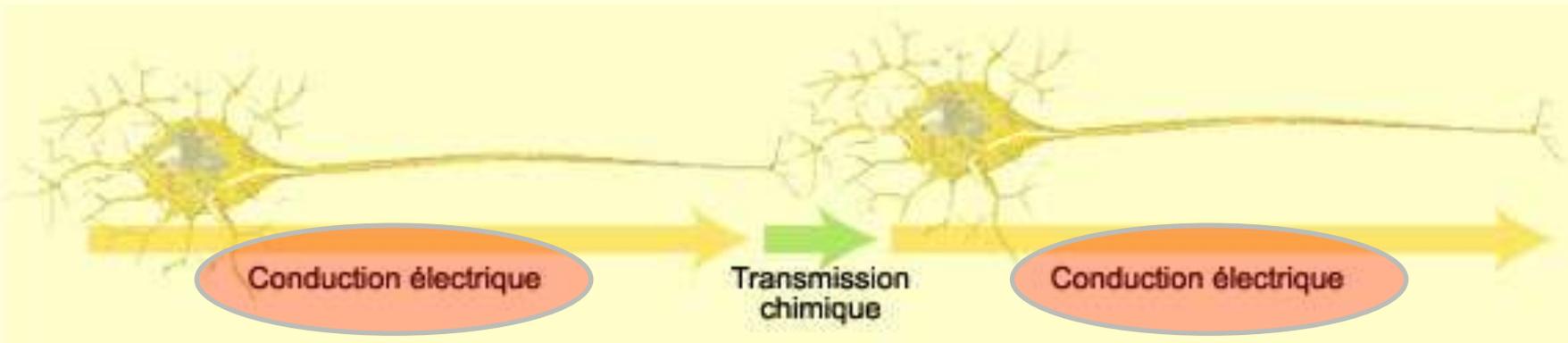
2) Les neurones sont des cellules discrètes qui ne sont **pas reliées en continu entre elles**;

3) Un neurone est composé de 3 parties : les **dendrites, le corps cellulaire et l'axone**;

4) L'information circule le long d'un neurone **dans une direction** (des dendrites à l'axone, via le corps cellulaire).



Car les neurones ont des dendrites et des axones pour communiquer **rapidement** avec d'autres neurones

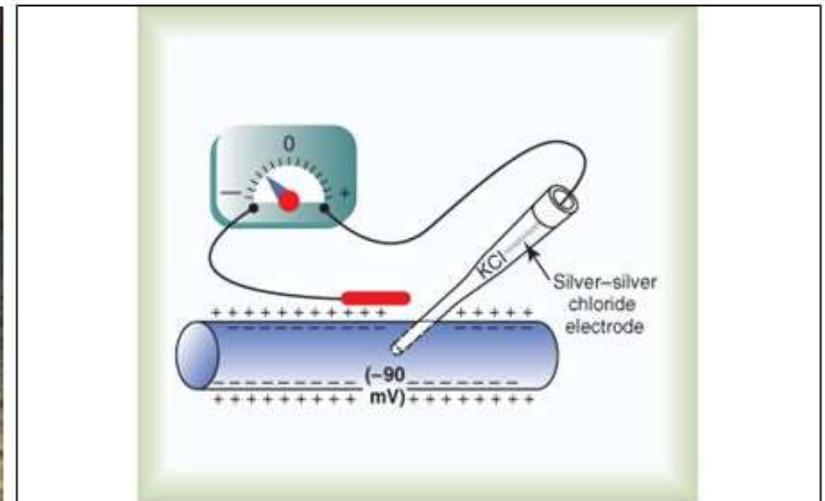


grâce à ce qu'on appelle les **influx nerveux** (ou **potentiels d'action**) dont on ignorait le mécanisme jusqu'au milieu du XXe siècle.



# Hodgkin-Huxley Expts, 1952

## Squid Giant Axon



© Elsevier, Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

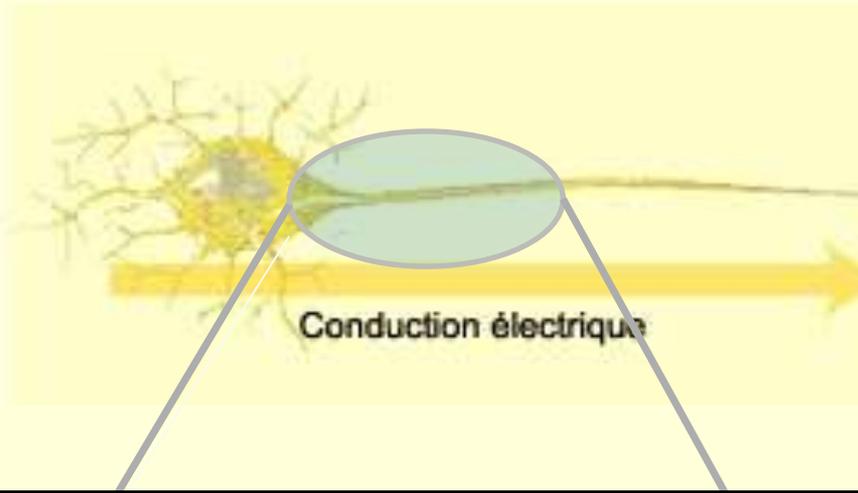
Few neurons, large diameter

Large enough to insert microelectrodes

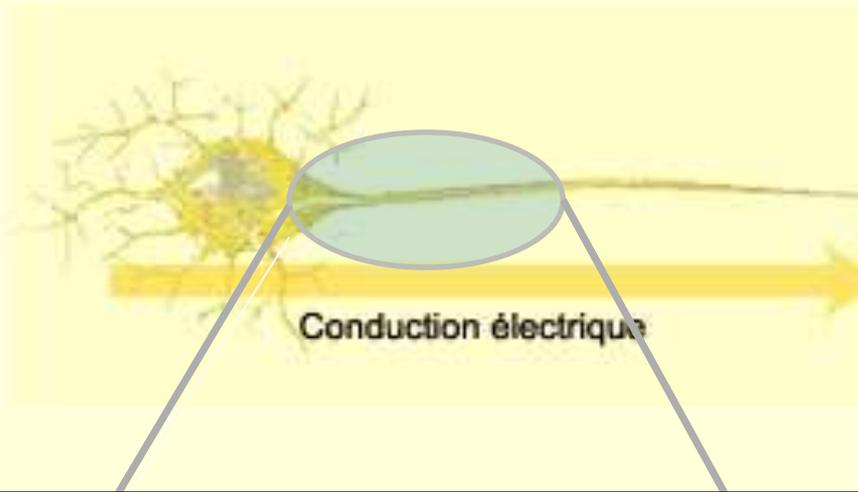
Stimulating microelectrodes (inject current) to disturb cell with electrical stimuli

Recording microelectrodes (see current changes in cell and record them)

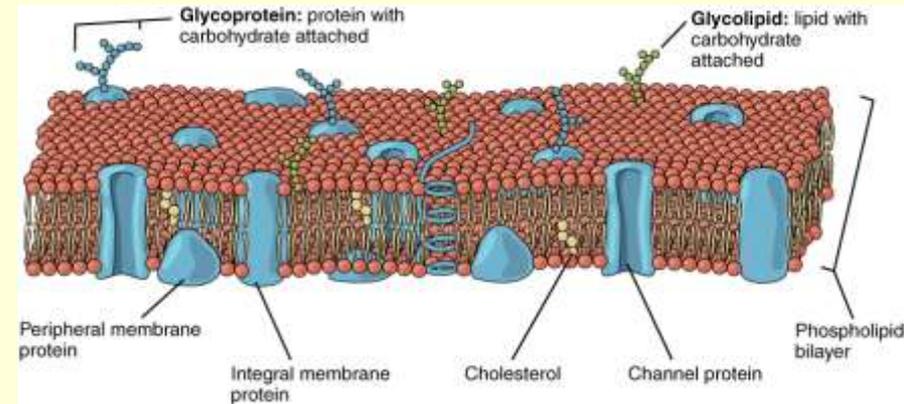
<http://www.science.smith.edu/departments/NeuroSci/courses/bio330/squid.html>



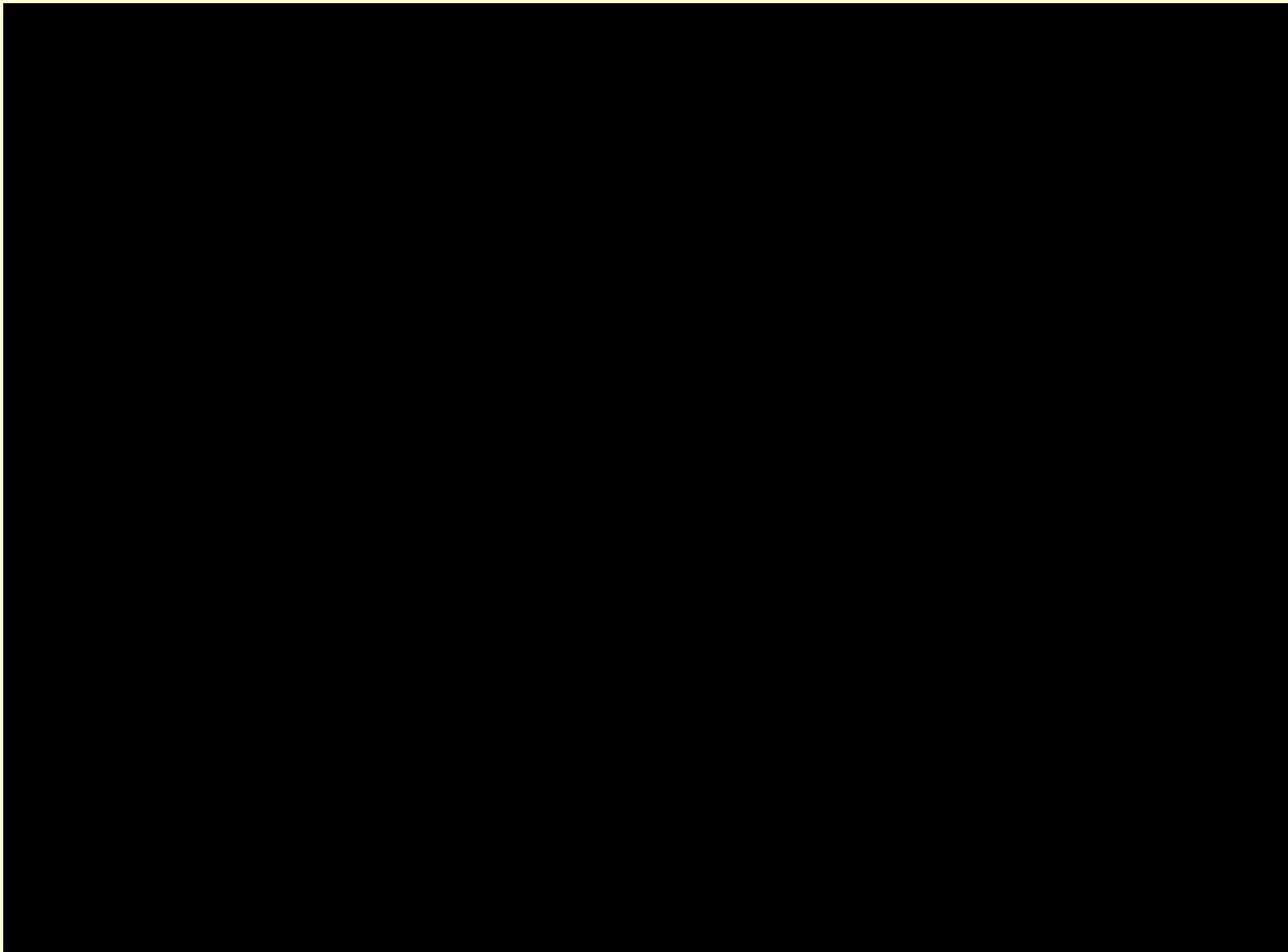
- Les neurones baignent dans du liquides physiologiques
- De nombreuses substances se dissocient en ions chargés dans ce liquide (Ex.: NaCl en Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>)
- Ces particules chargées ne se répartissent pas également à l'intérieur et à l'extérieur du neurone : l'intérieur est environ 70 millivolts plus négatif que l'extérieur
- Les neurones ont une membrane semi-perméable qui vont permettre le passage sélectifs de certains ions à travers elle, générant ainsi l'influx nerveux

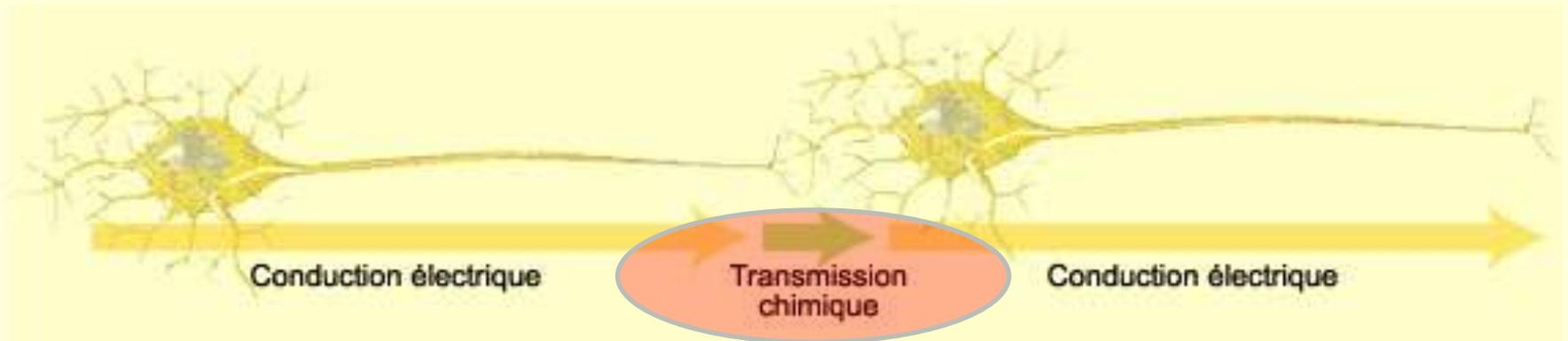


Plus tard, on démontrera que les pores de la membrane semi-perméable sont des protéines transmembranaires avec en leur centre un canal sélectif à certains ions.



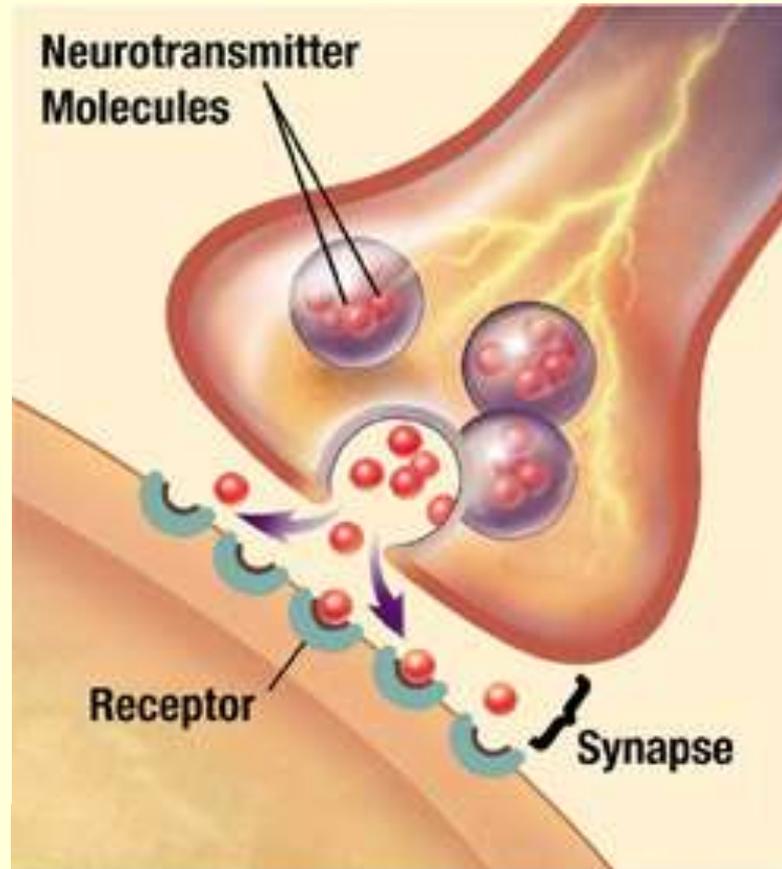
Et en plus, ces canaux changent de conformation (i.e. s'ouvrent et se ferment) en fonction du potentiel de membrane autour d'eux.

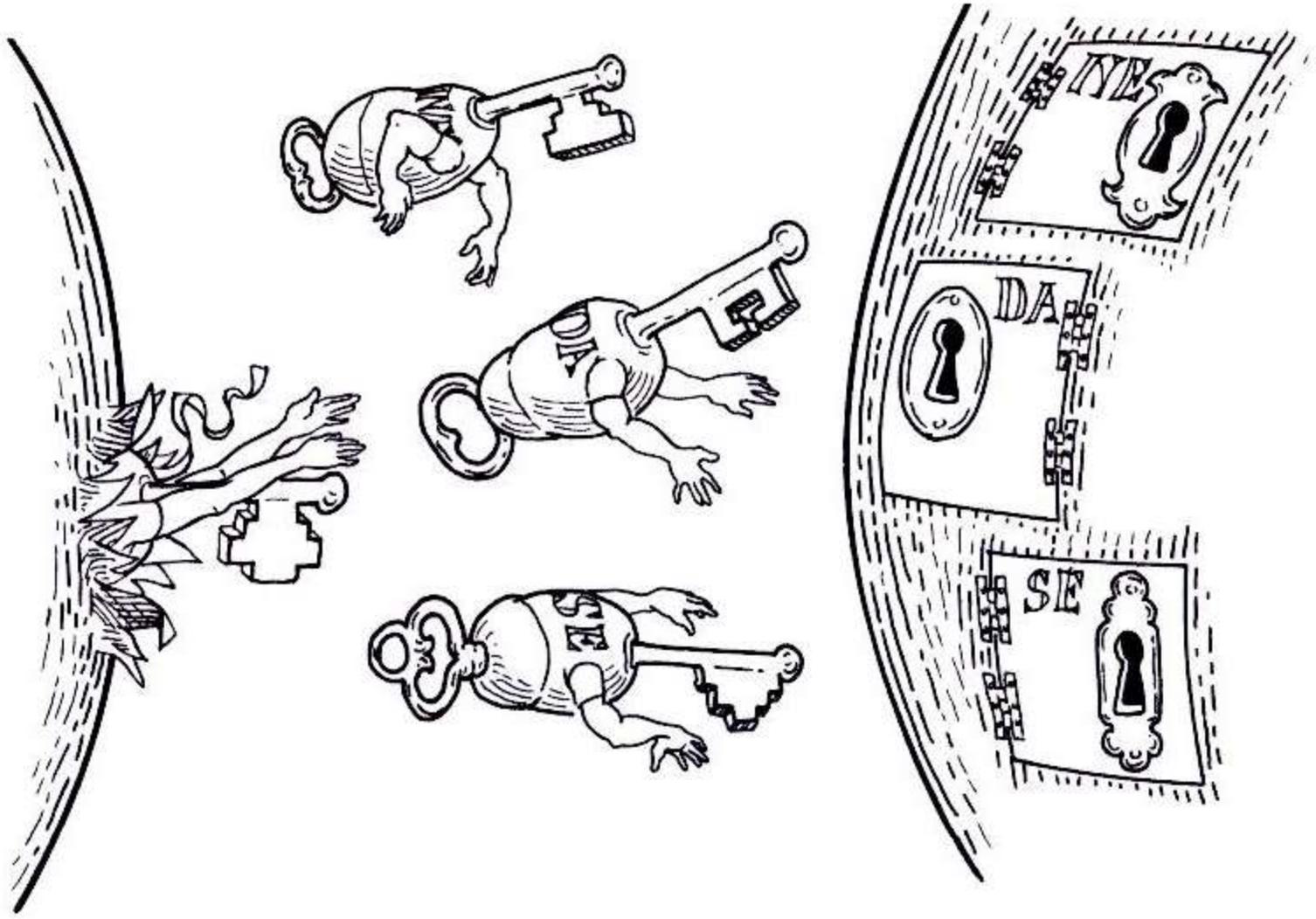


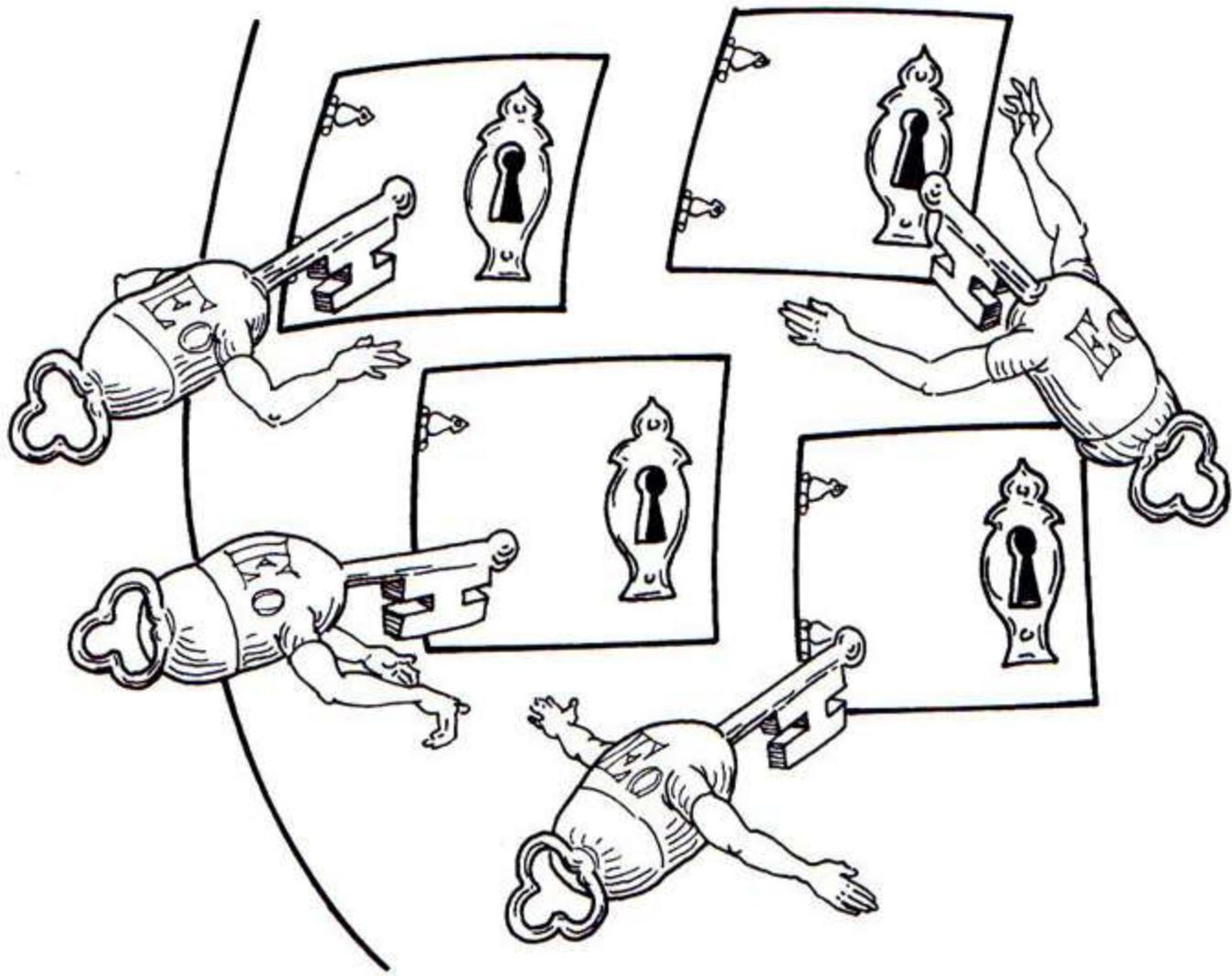


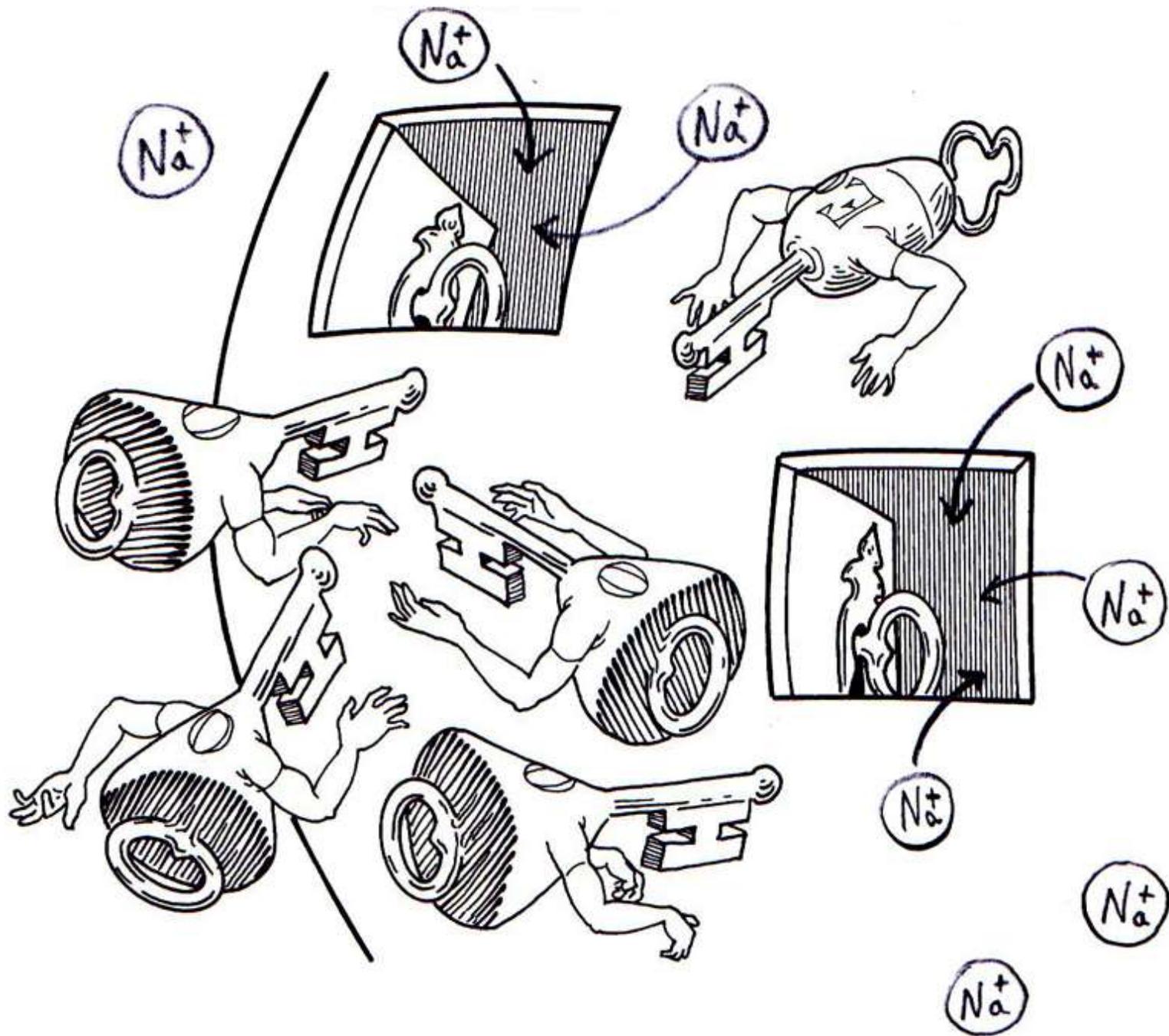
Donc les neurones qui font des connexions ne se touchent pas :

l'influx est recréé dans le neurone suivant grâce à la diffusion et à la fixation des **neurotransmetteurs**.





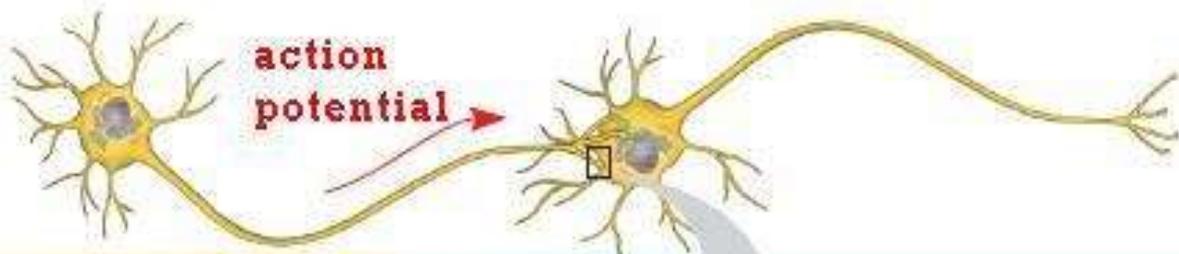




Presynaptic cell

Postsynaptic cell

action potential



Synaptic vesicles containing neurotransmitter

Presynaptic membrane

Voltage-gated  $\text{Ca}^{2+}$  channel

1  $\text{Ca}^{2+}$

Synaptic cleft

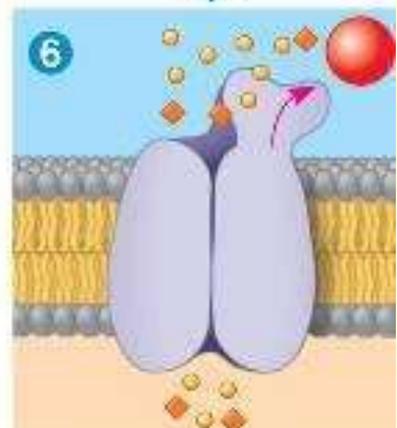
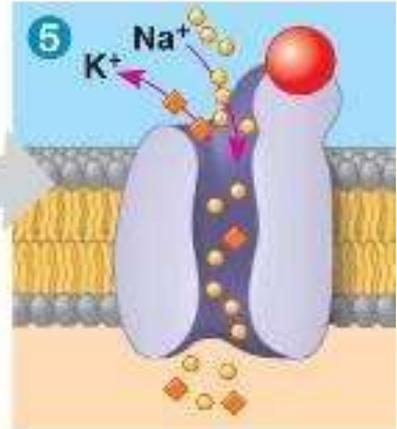
2

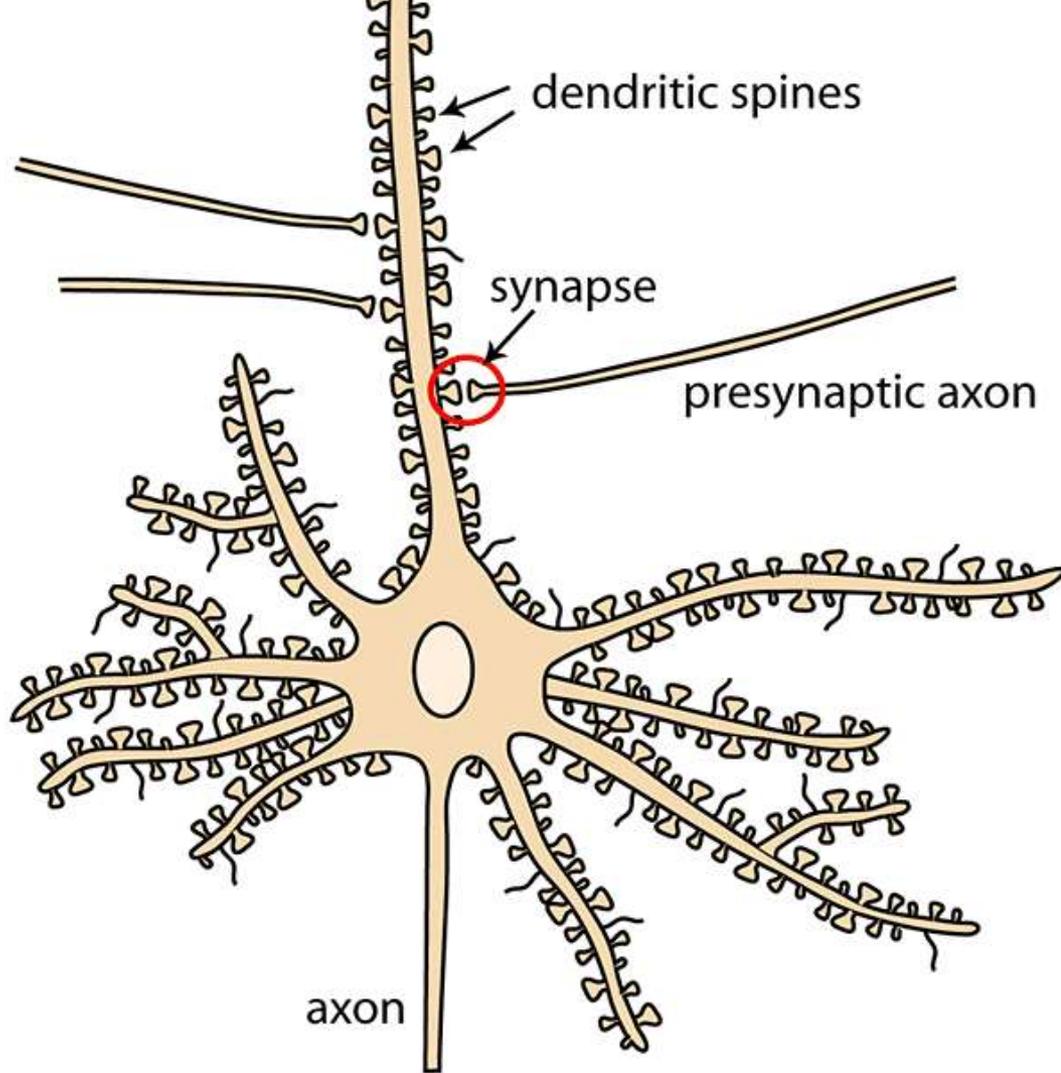
3

4

Ligand-gated ion channels

Postsynaptic membrane



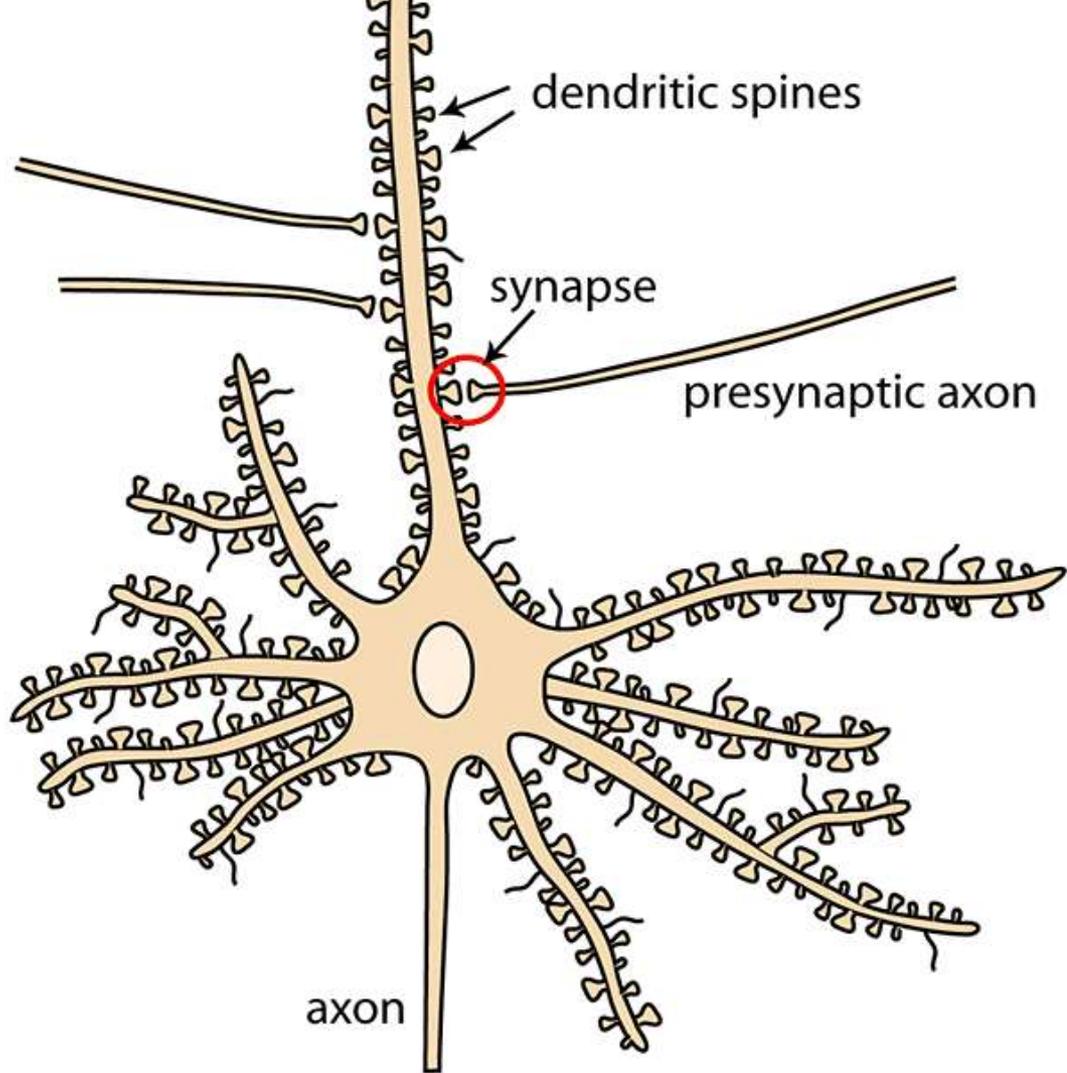


Smrt & Zhao. Frontiers

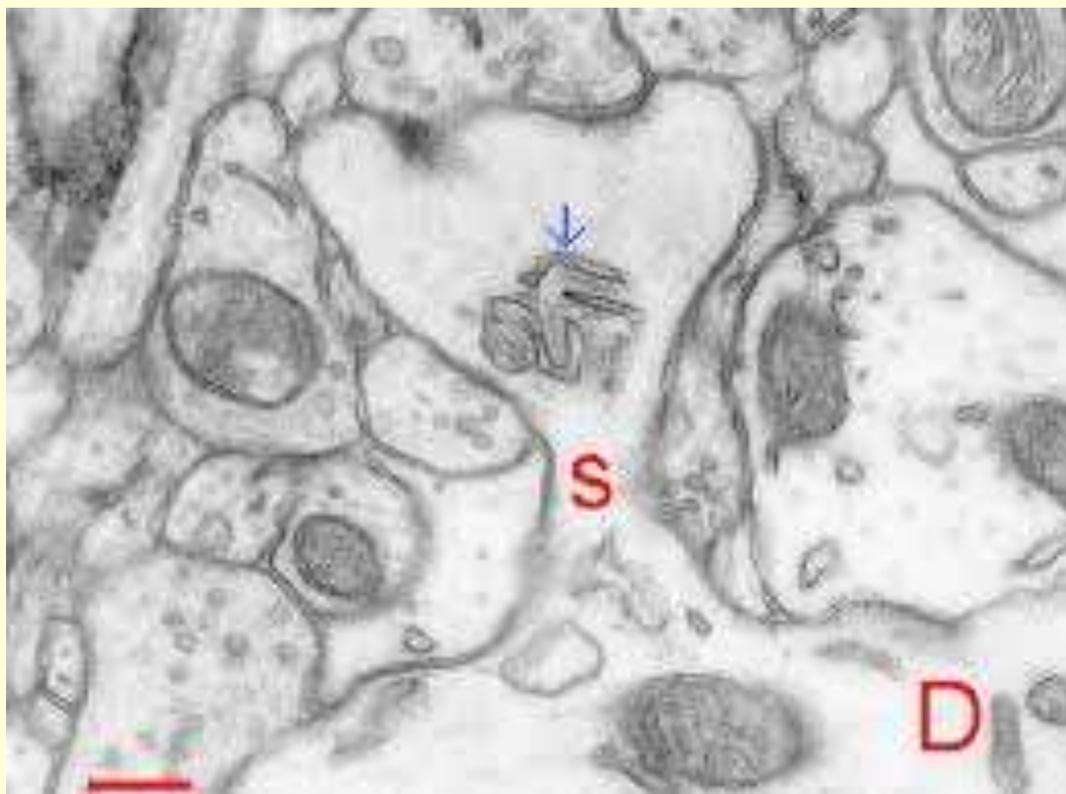
Les **dendrites** du neurone qui « reçoit la connexion » possèdent des milliers "**d'épines**" dendritiques qui bourgeonnent à leur surface.

C'est vis-à-vis ces épines que se situent les **boutons terminaux des axones**, sorte de renflements d'où sont excrétés les neurotransmetteurs.

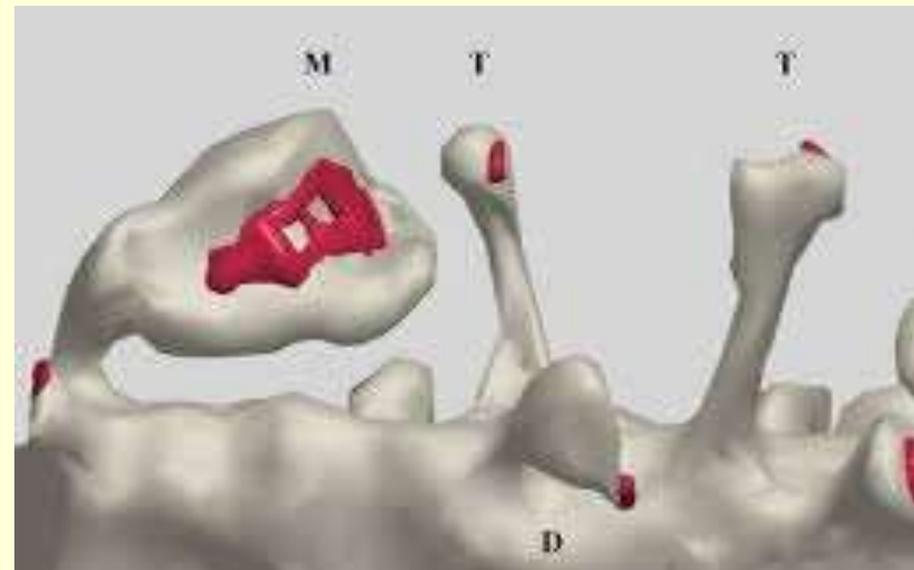
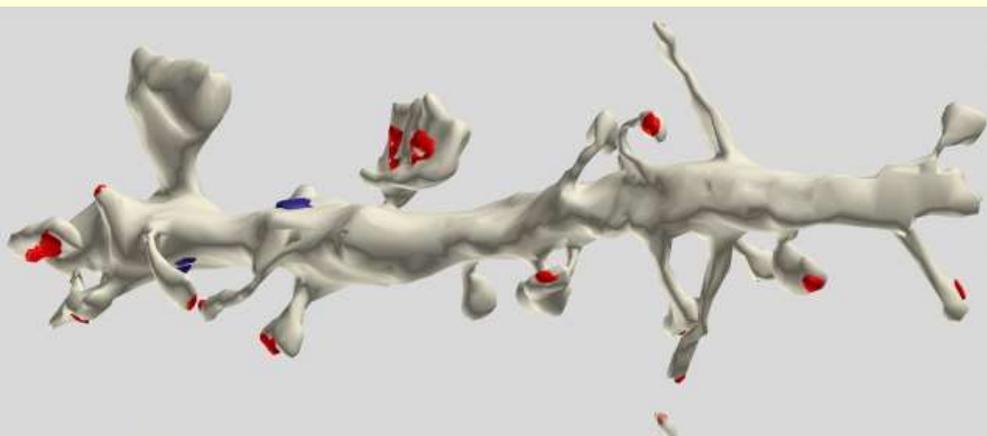
Les deux forment ce qu'on appelle la **synapse**.

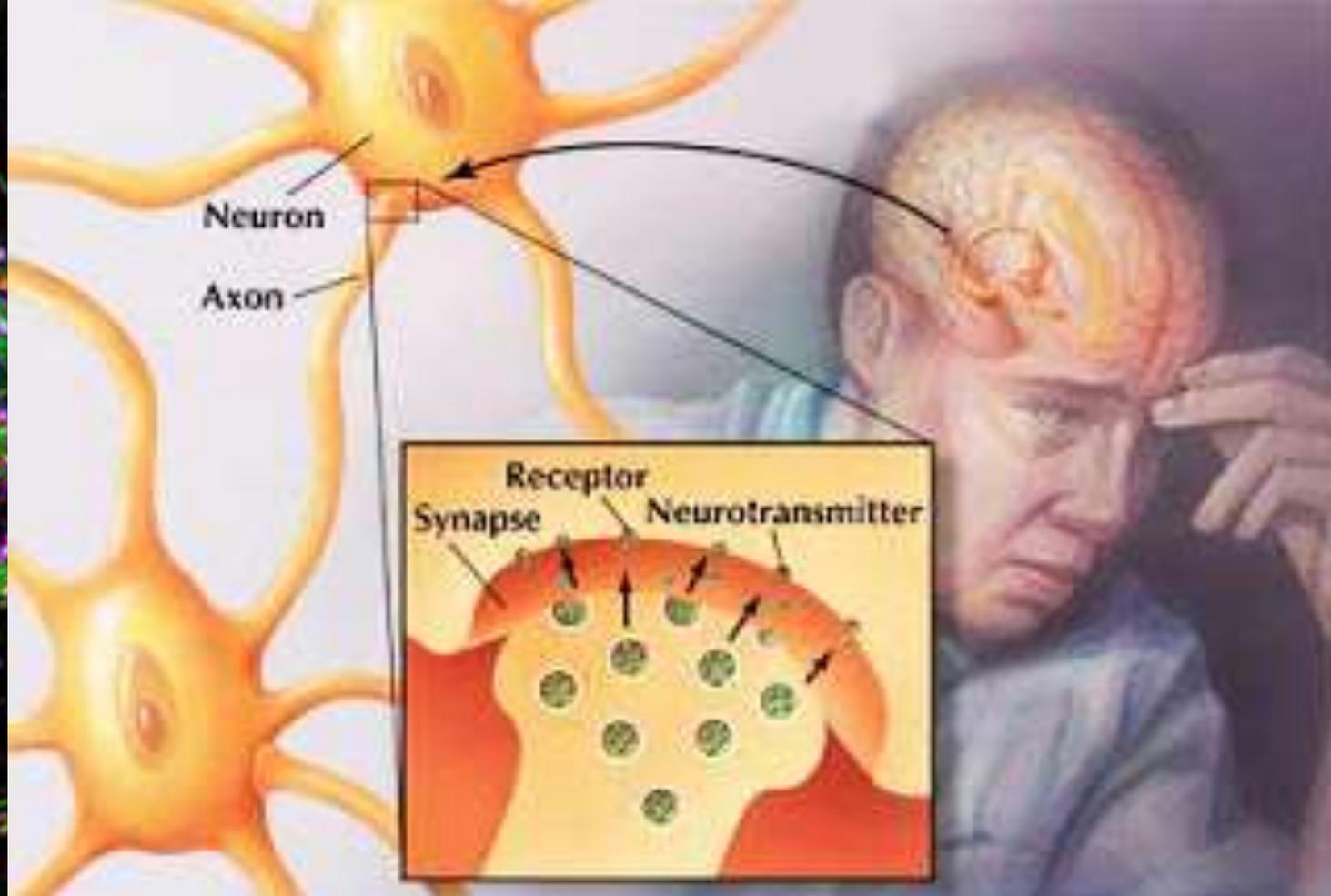


Smrt & Zhao. Frontiers in Biology 2010

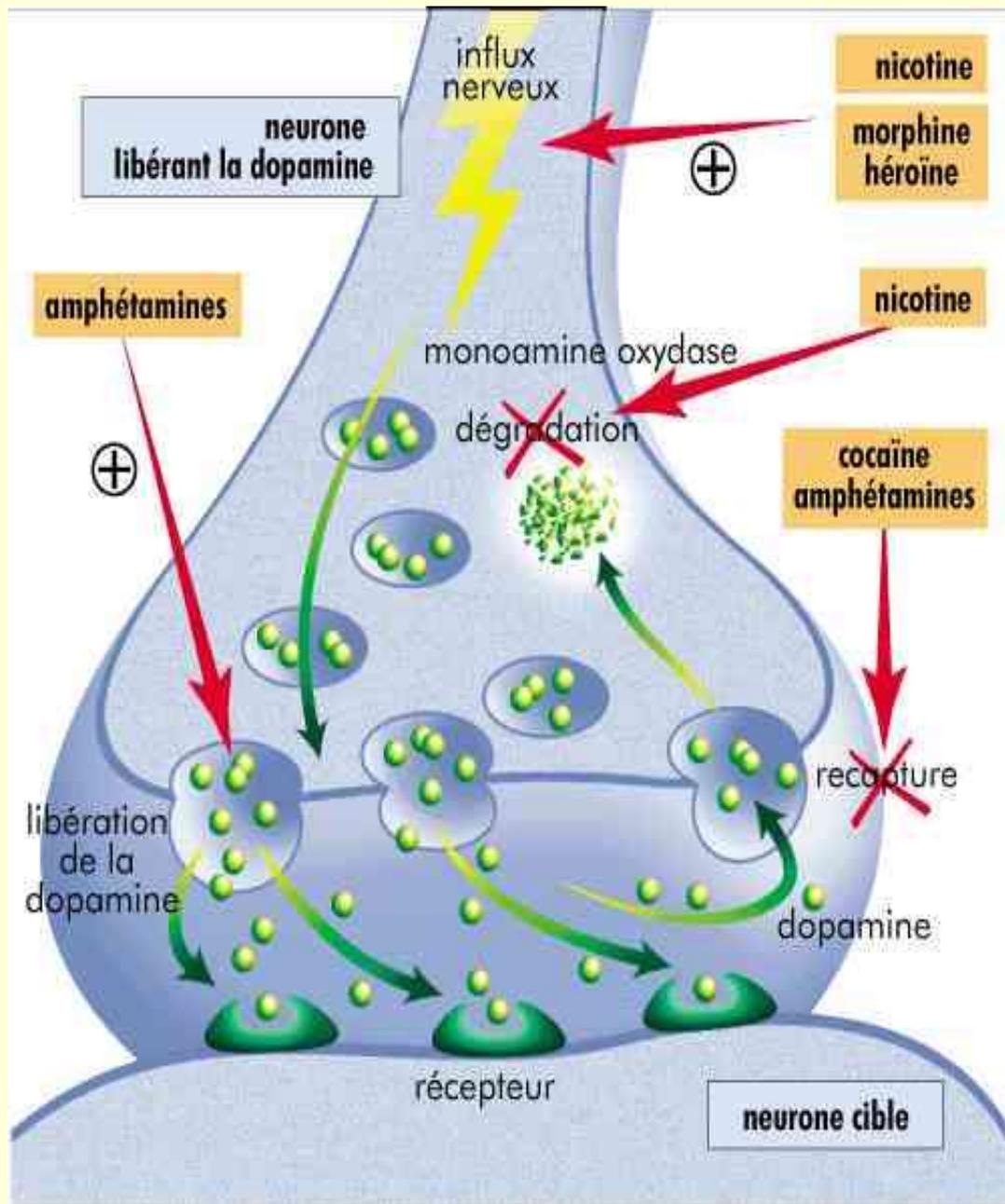


De plus, la taille et la forme de ces épines dendritiques ne sont **pas fixes** mais peuvent être au contraire **très plastiques** comme on le verra la semaine prochaine...

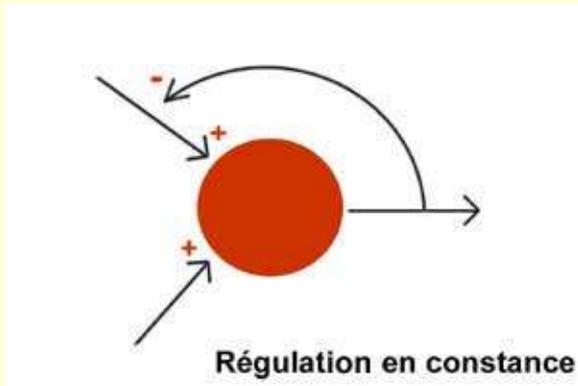




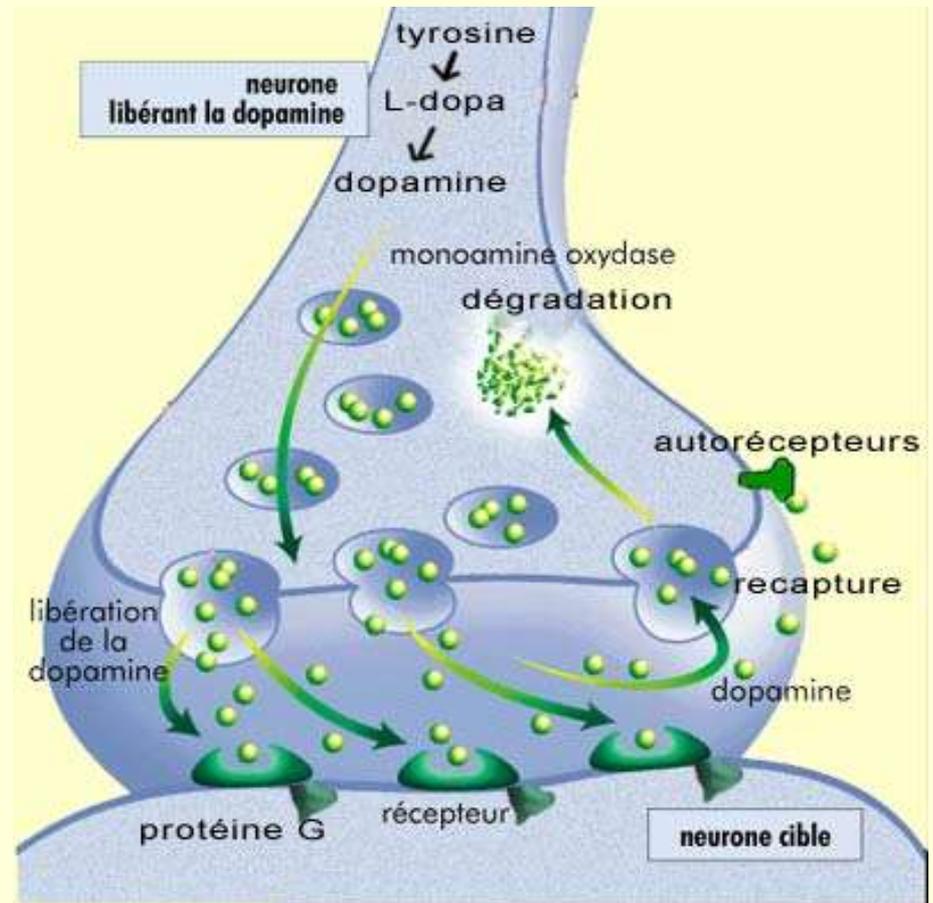
C'est à la synapse qu'agissent  
la grande majorité des  
**médicaments** et  
des **drogues**



On constate que **l'augmentation artificielle d'un neurotransmetteur exerce une rétroaction négative sur l'enzyme chargée de le fabriquer.**



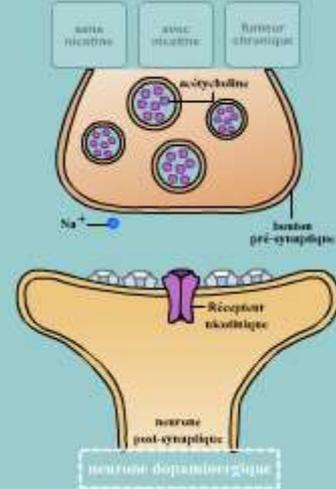
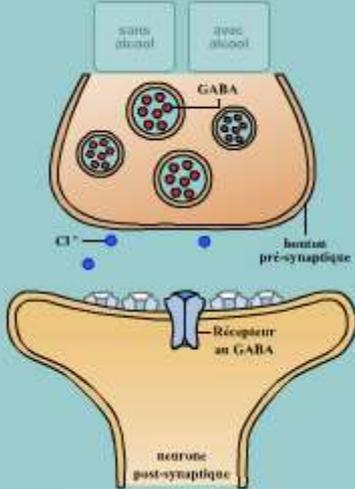
Résultat : quand cesse l'apport extérieur de la drogue, l'excès se traduit en manque.



Les phénomènes **d'accoutumance** et de **sevrage** s'expliquent ainsi lorsqu'il y a un apport exogène de substance dans un système hautement régulé par rétroactions négatives...

# Nicotine

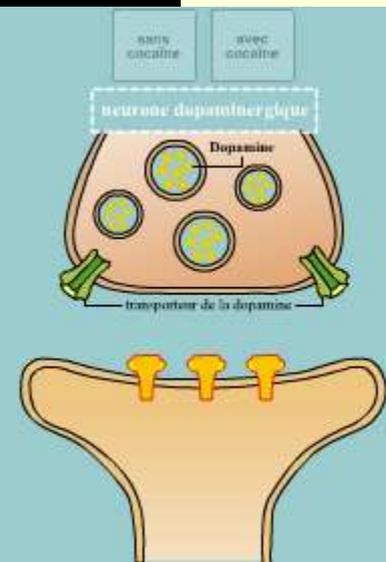
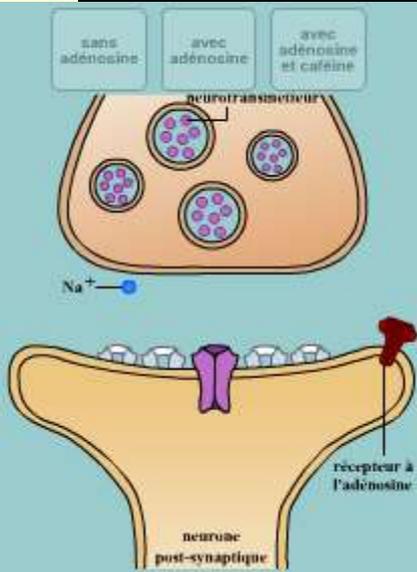
# Alcool

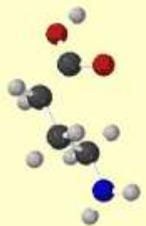


[http://lecerveau.mcgill.ca/flash/i/i\\_03/i\\_03\\_m/i\\_03\\_m\\_par/i\\_03\\_m\\_par.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/i/i_03/i_03_m/i_03_m_par/i_03_m_par.html)

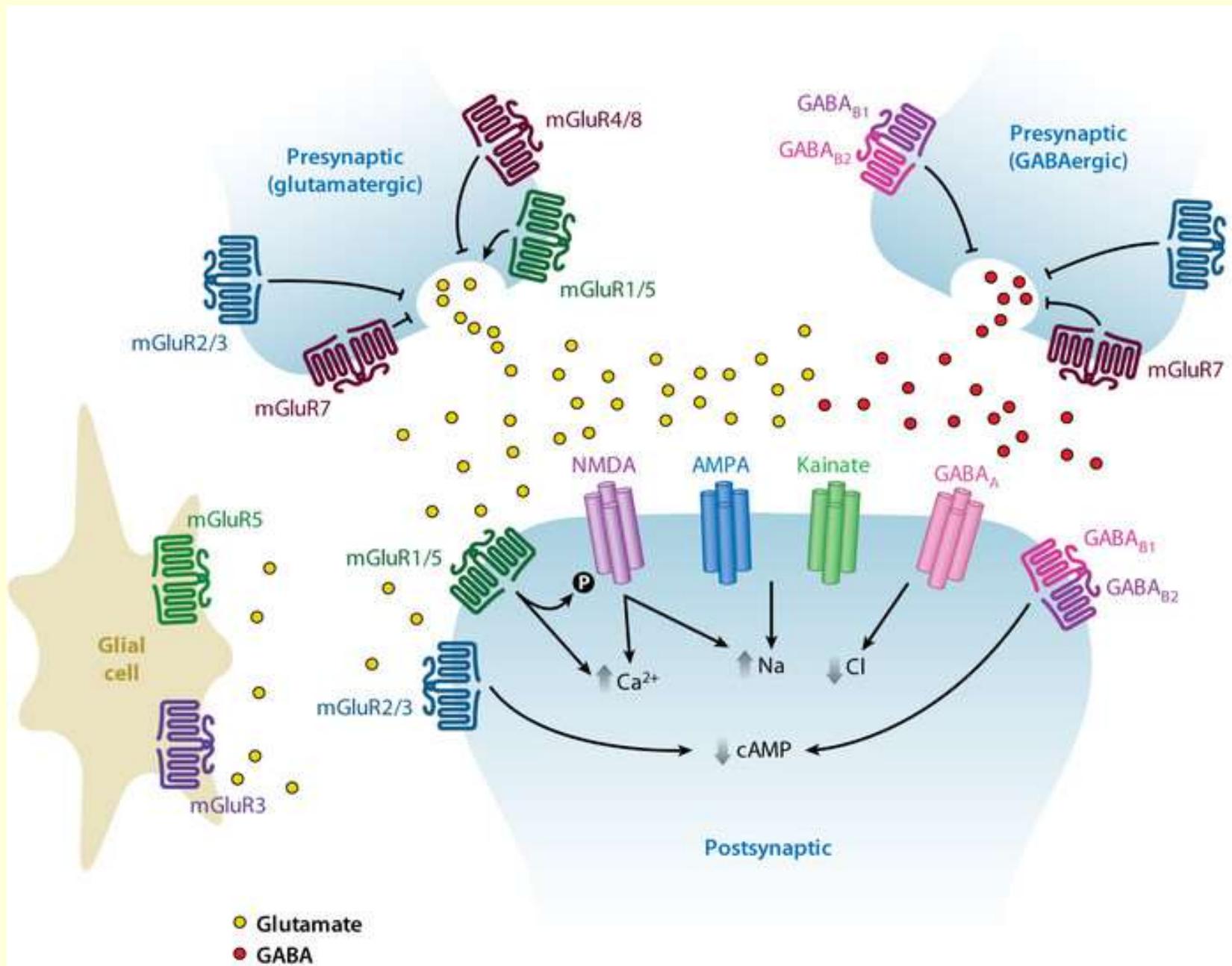
# Cocaïne

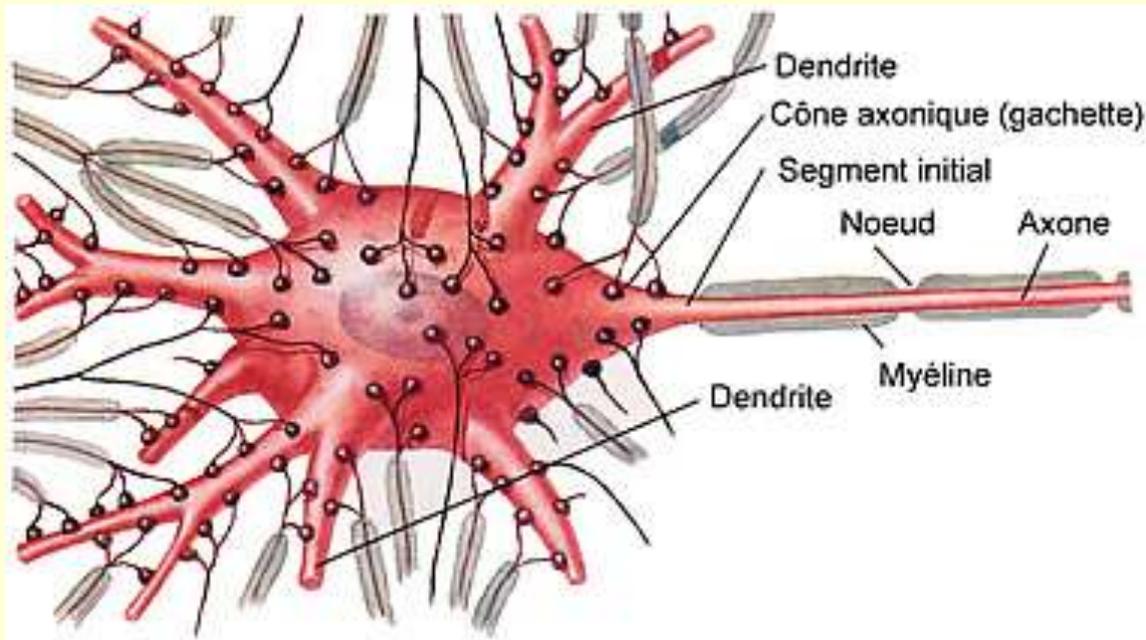
# Caféine





Etc, etc...

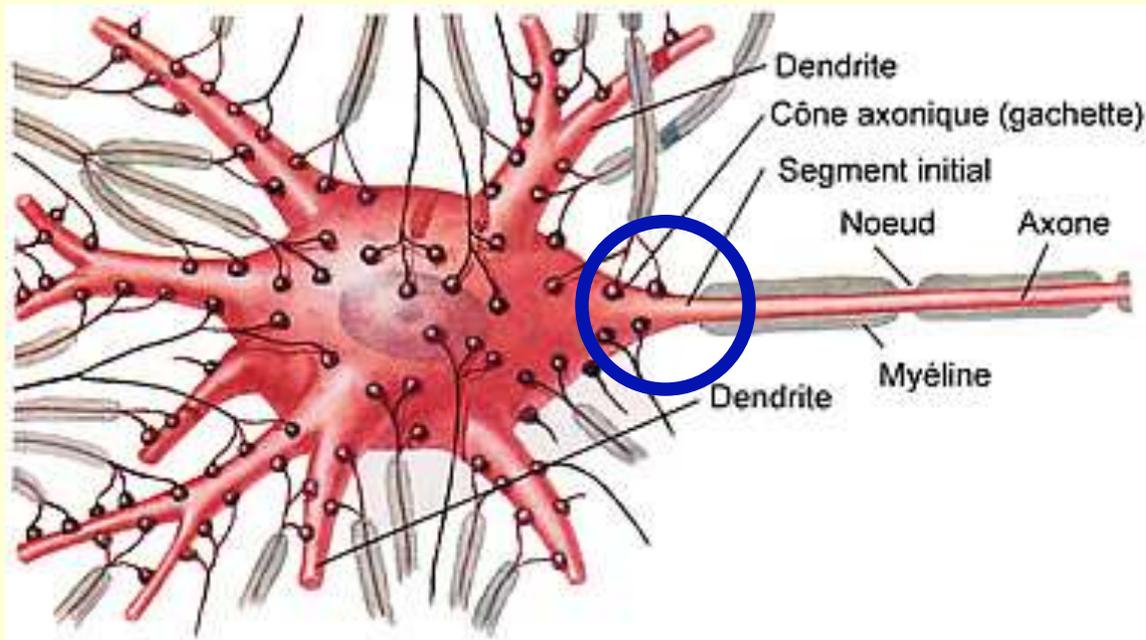




La diffusion passive de ces potentiels post-synaptique (leur intensité diminue avec le trajet) amène une **sommation de leurs effets excitateurs ou inhibiteurs**.

De petits potentiels excitateurs ou inhibiteurs sont donc **constamment générés** sur les dendrites et le corps cellulaire du neurone suite à la fixation des neurotransmetteurs sur leurs récepteurs.

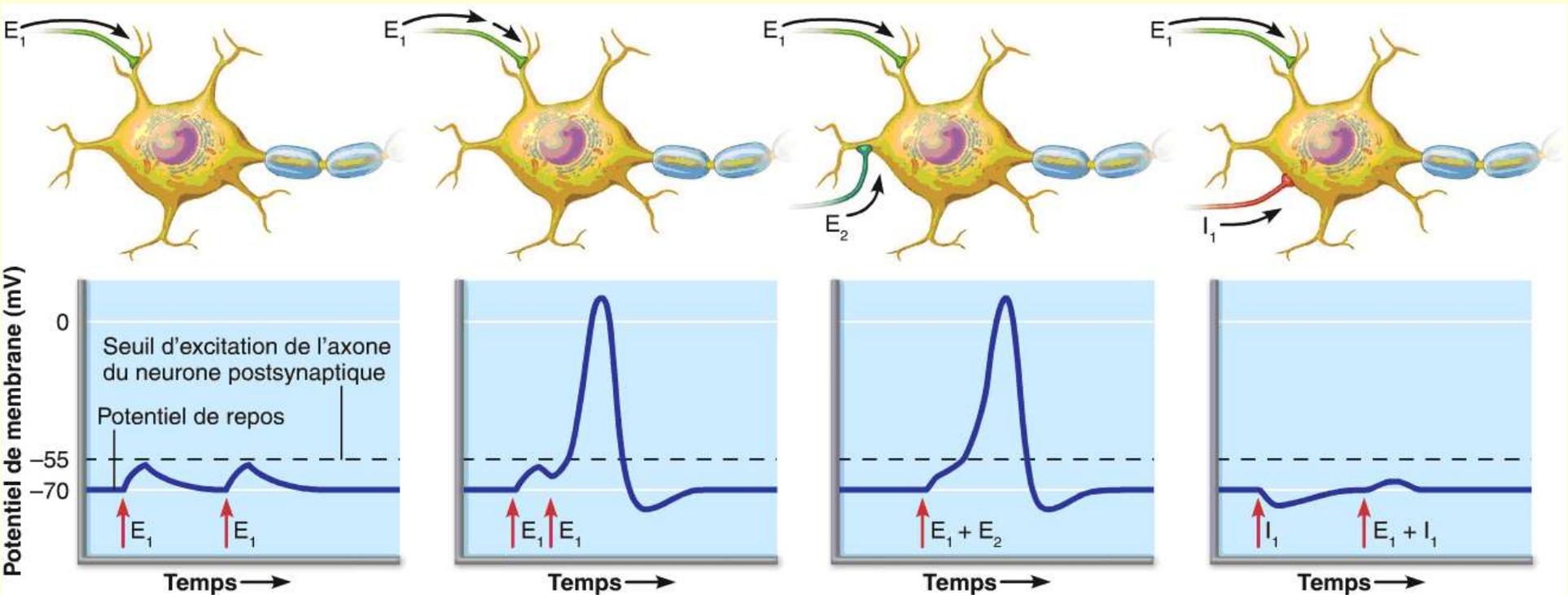




La diffusion passive de ces potentiels post-synaptique (leur intensité diminue avec le trajet) amène une **sommation de leurs effets excitateurs ou inhibiteurs**.

De petits potentiels excitateurs ou inhibiteurs sont donc **constamment générés** sur les dendrites et le corps cellulaire du neurone suite à la fixation des neurotransmetteurs sur leurs récepteurs.

Et plus la dépolarisation sera grande près de la **zone gâchette du début de l'axone**, plus cette dépolarisation sera susceptible d'engendrer un potentiel d'action.



(a) **Pas de sommation ou stimulus infralaminaire:**  
Pas de sommation des PPSE lorsque deux stimulus sont séparés dans le temps.

(b) **Sommation temporelle:**  
Sommation des PPSE lorsque deux stimulus sont rapprochés dans le temps.

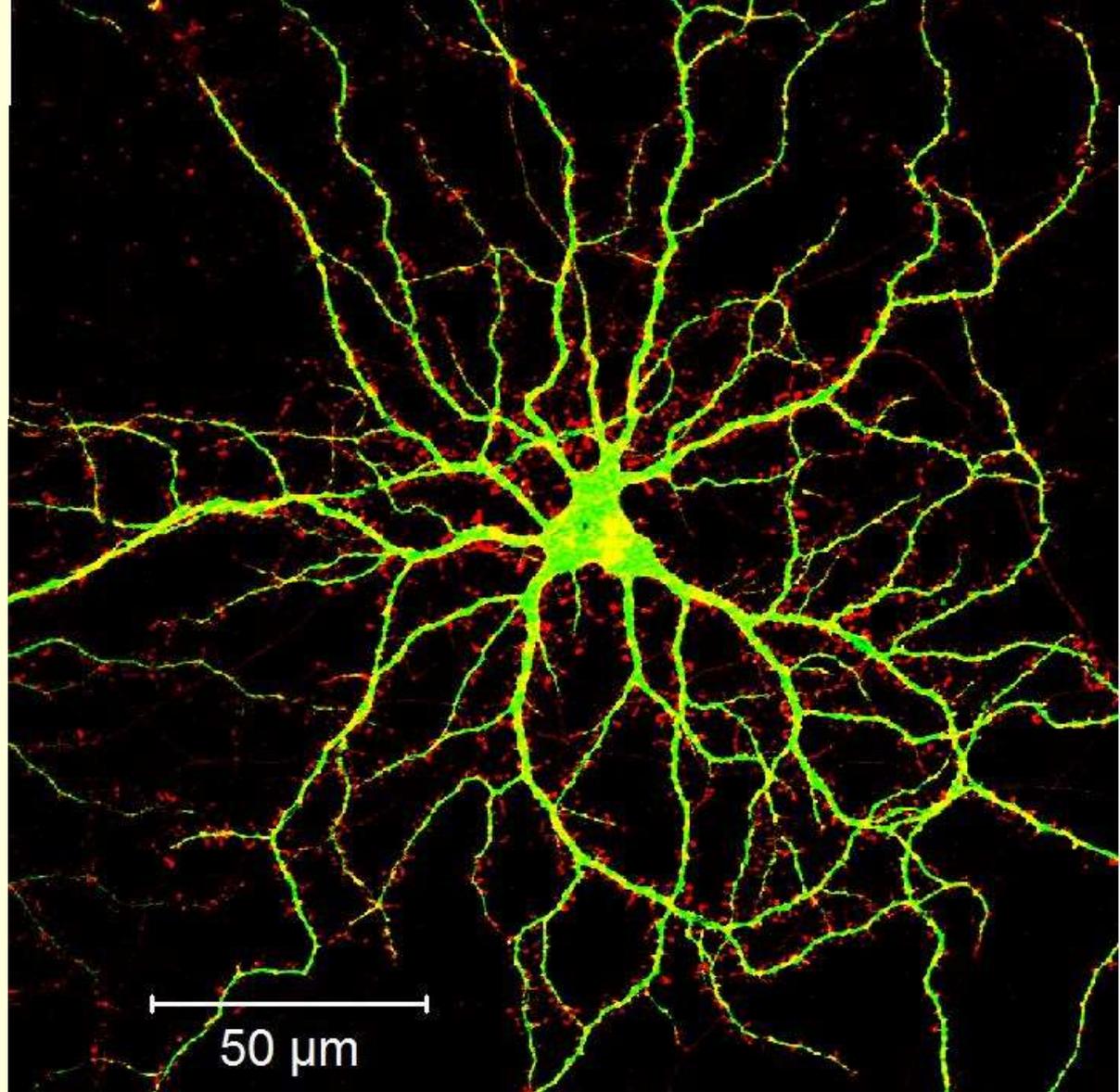
(c) **Sommation spatiale:**  
Sommation des PPSE lorsque deux stimulus se produisent simultanément.

(d) **Sommation spatiale du PPSE et du PPSI:**  
Annulation possible des changements de potentiel de membrane.

« Le fait qu'une cellule vivante se soit adaptée en une structure capable de recevoir et **d'intégrer** des données,

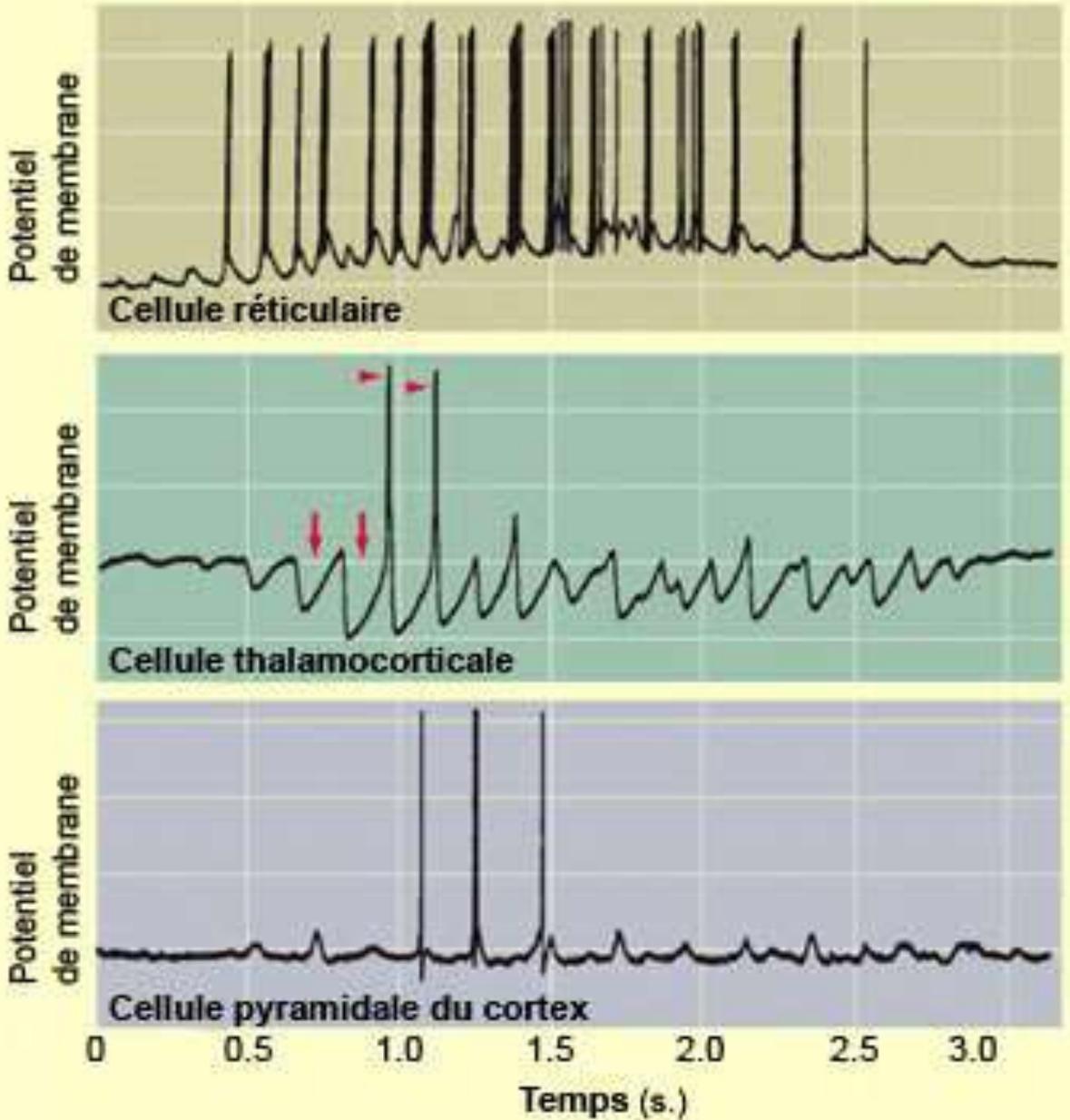
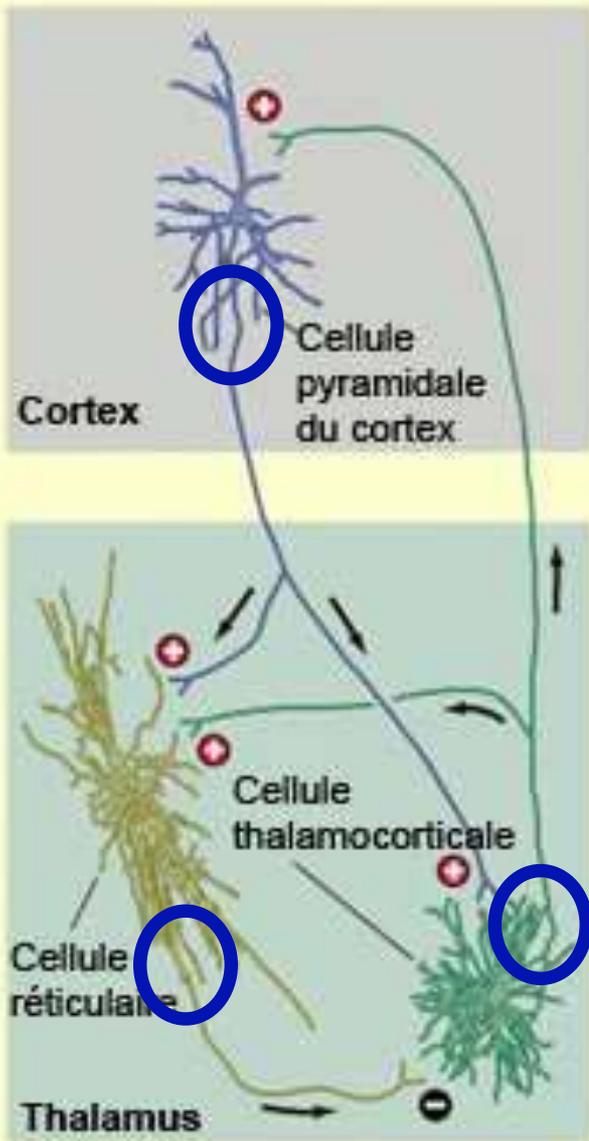
de **prendre des décisions** fondées sur ces données, et **d'envoyer des signaux** aux autres cellules en fonction du résultat de cette intégration

est un exploit remarquable de l'évolution. »



<http://m.cacm.acm.org/magazines/2011/8/114944-cognitive-computing/fulltext>

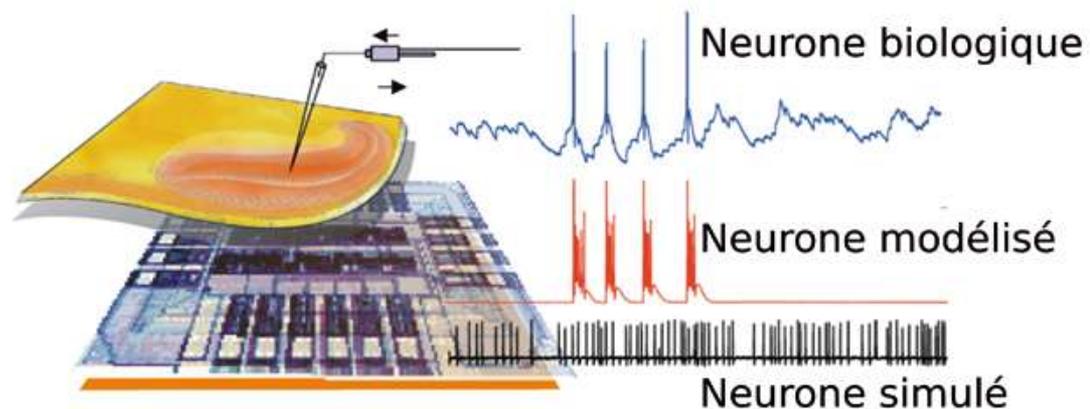
Dharmendra S. Modha, Rajagopal Ananthanarayanan, Steven K. Esser, Anthony Ndirango, Anthony J. Sherbondy, Raghavendra Singh, Communications of the ACM, Vol. 54 No. 8, Pages 62-71 (2011)

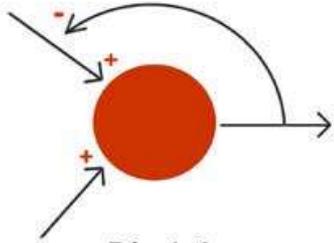
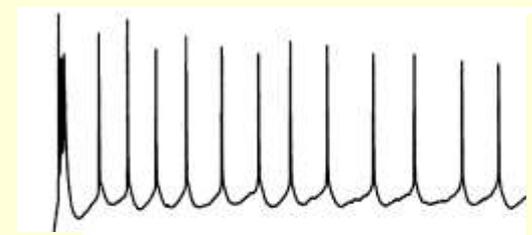
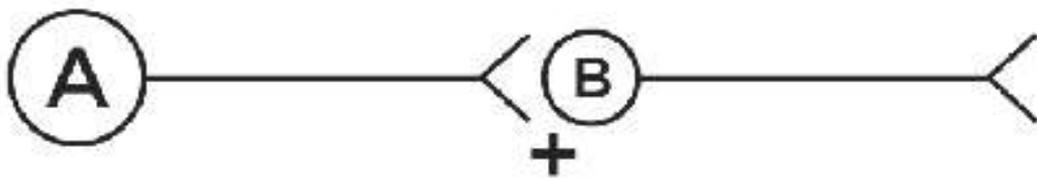


## Vers les « neurosciences computationnelles »

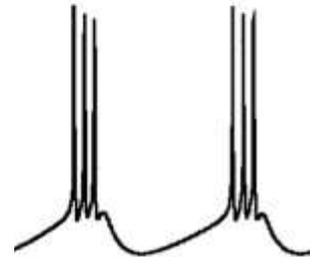
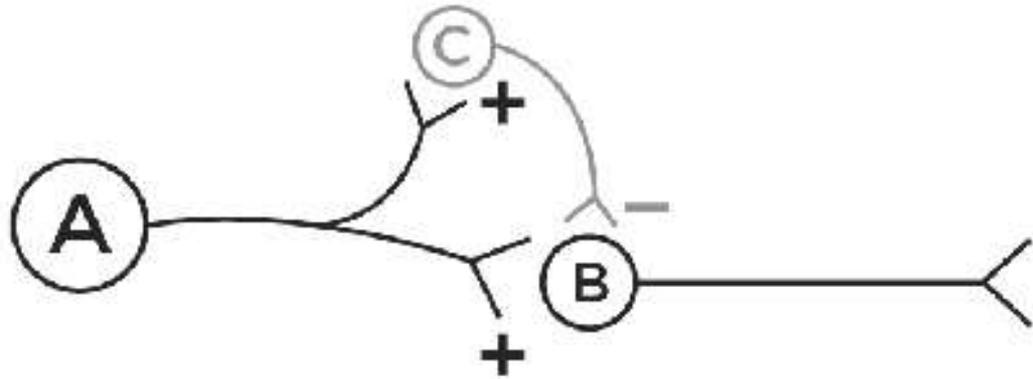
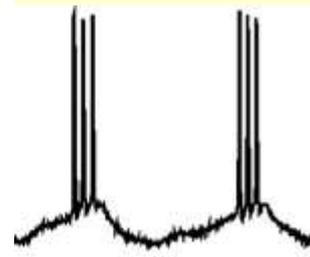
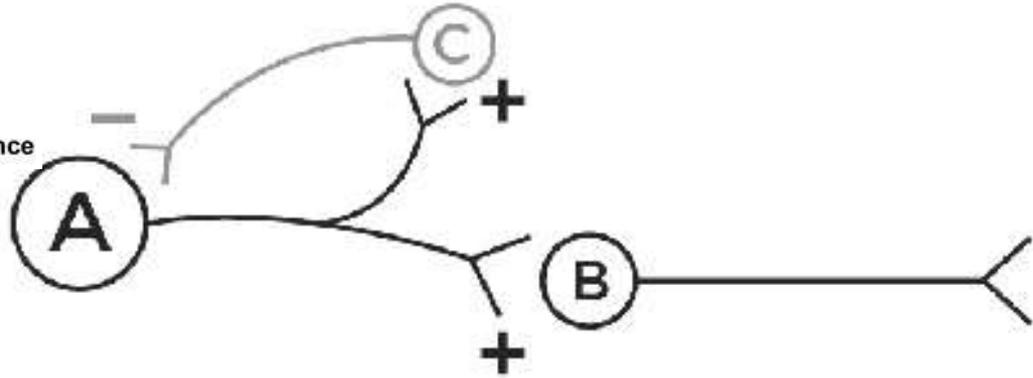
qui regroupent des approches **mathématiques, physiques et informatiques** appliquées à la **compréhension du système nerveux**.

(l'expression date du milieu des années 1980)

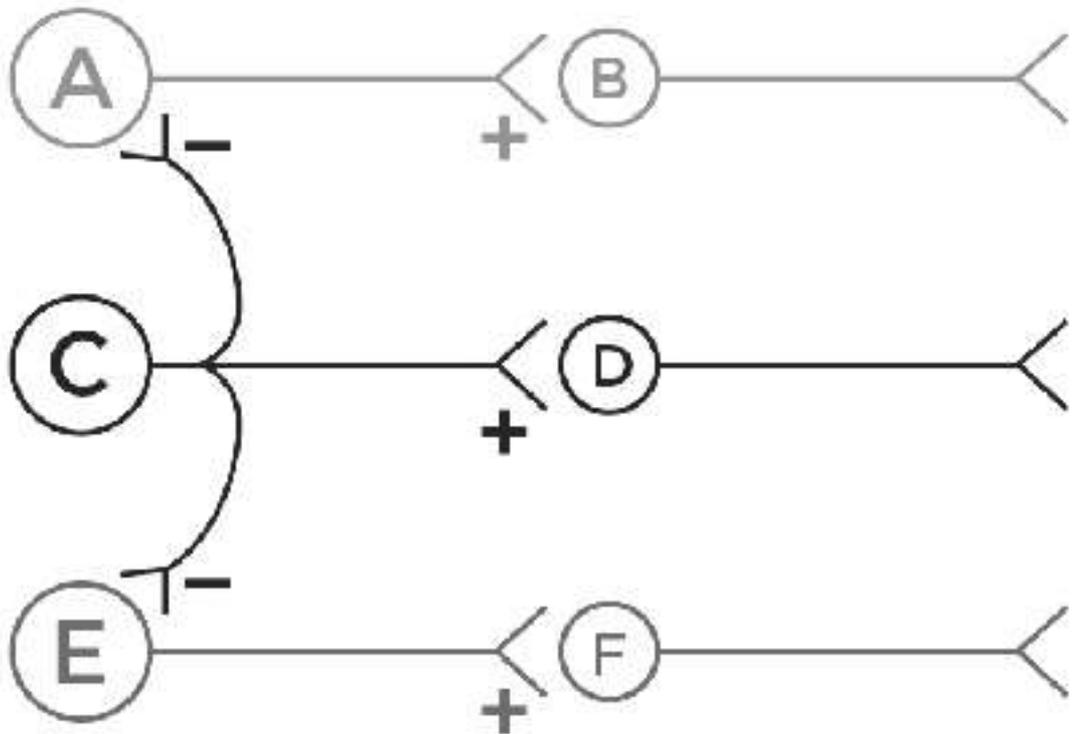




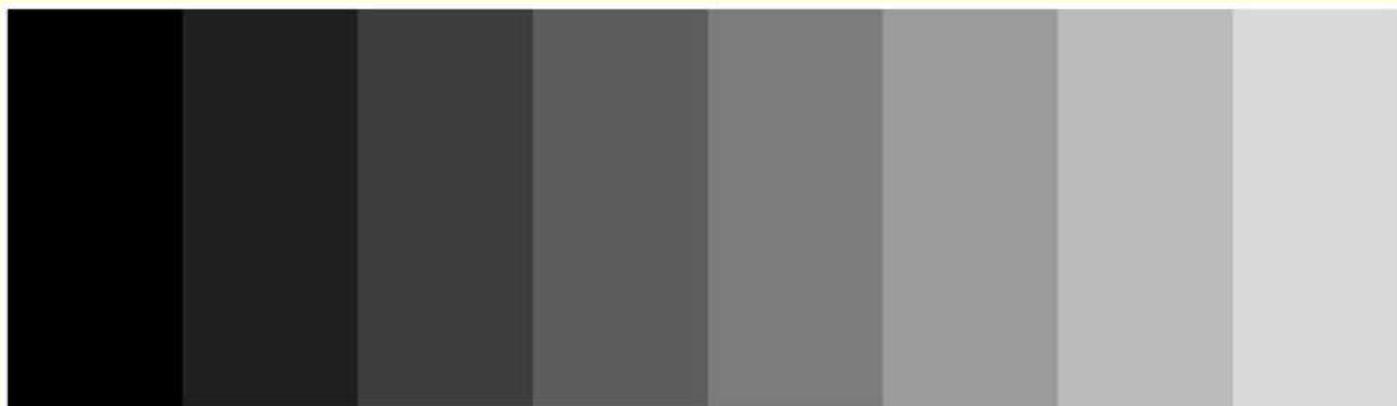
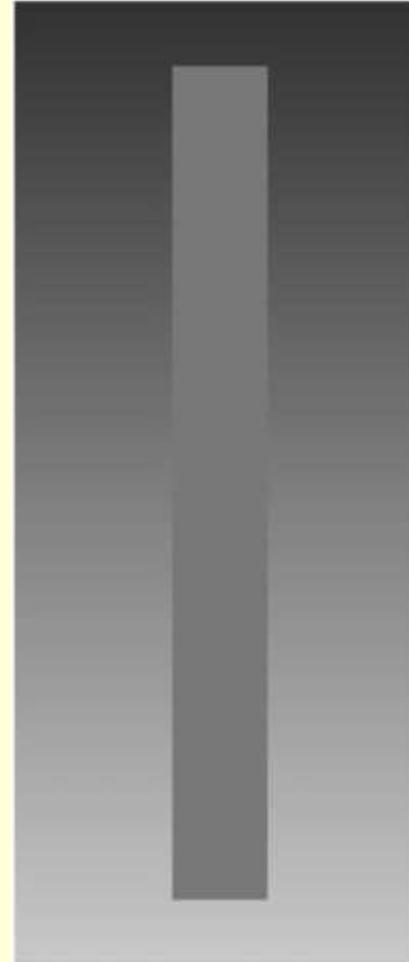
Régulation en constance

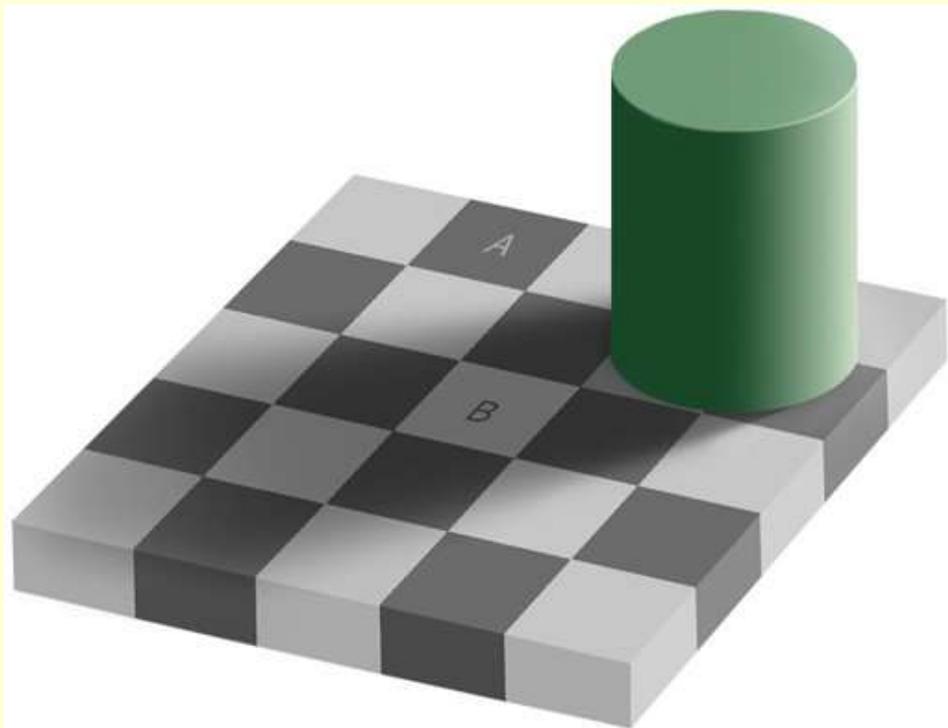


Deux manières d'augmenter le **contraste temporel** (« temporal sharpening »)

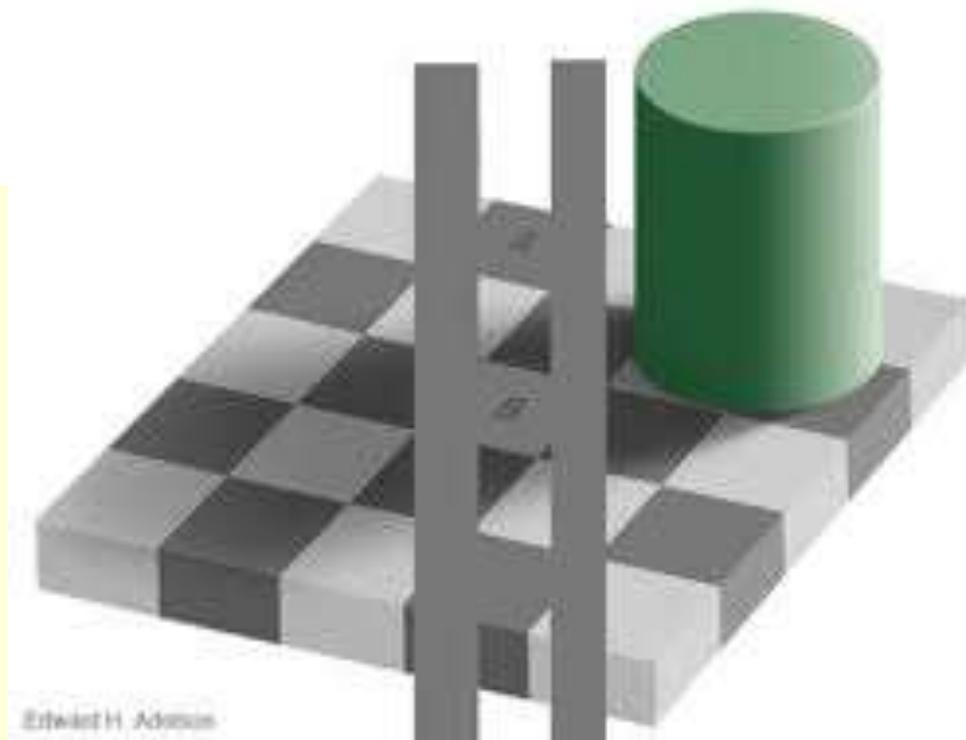


**Inhibition latérale**





Échiquier d'Adelson



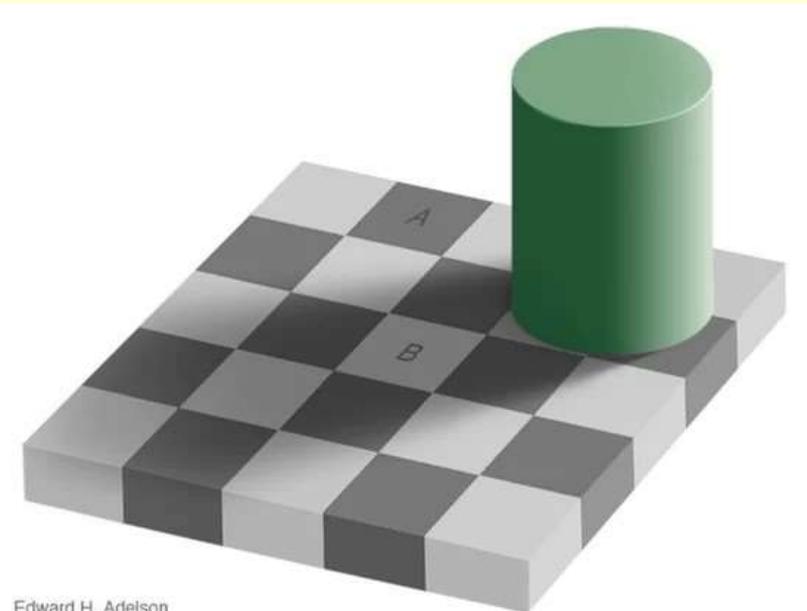
Devant certaines illusions d'optique, on est troublé de constater que « **nos sens peuvent nous tromper** ».

C'est-à-dire que le monde de nos perceptions n'est peut-être pas un « miroir » du monde extérieur

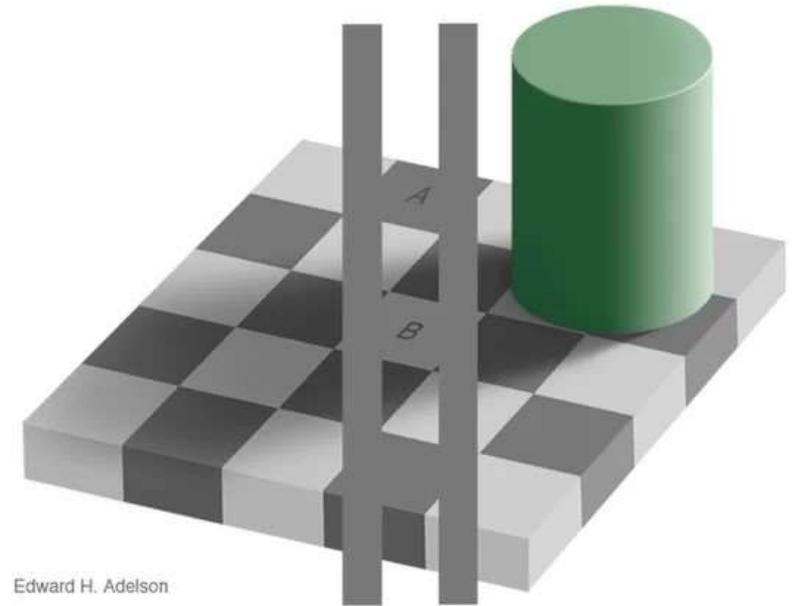
mais bien une **interprétation**, une **construction**, ou une **simulation**, faite par notre système nerveux à partir de ce que nos sens peuvent capter du monde.

Et l'on doit alors reconnaître que **la structure particulière de notre corps** (et en particulier de notre système nerveux) **détermine ce qui pourra être connaissable pour nous.**

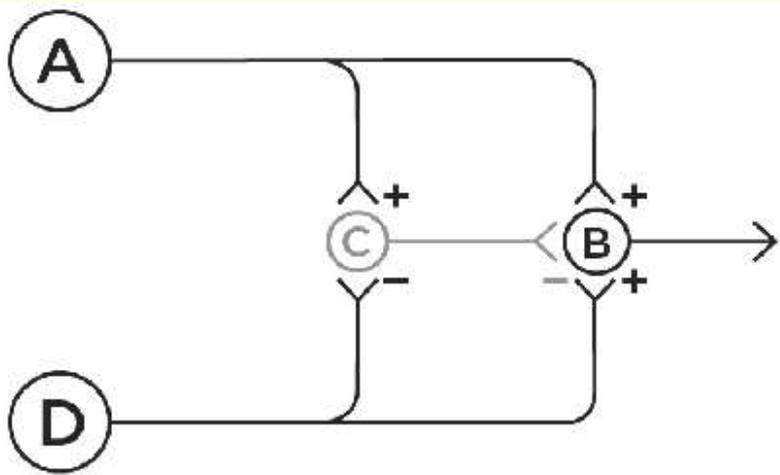
Or cette structure, comme on l'a vu, est le fruit d'une très longue évolution qui a assemblé **des milliers et des millions de neurones** ensemble.



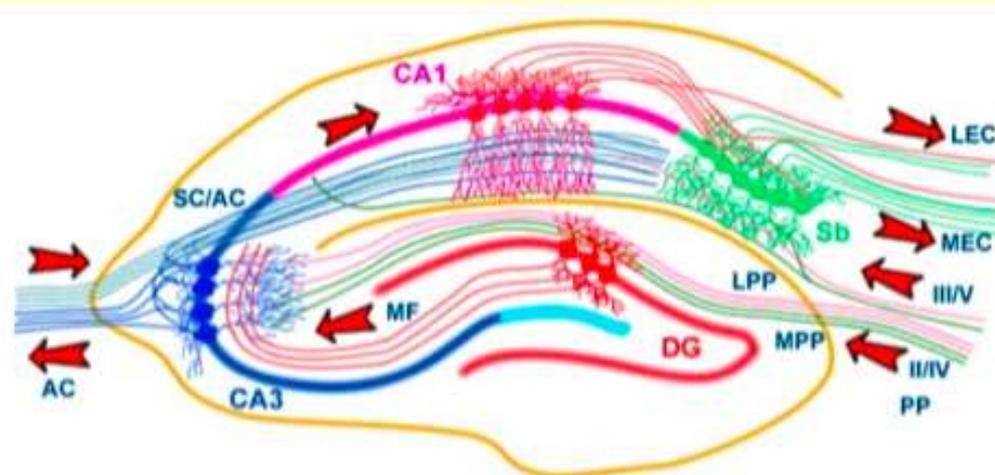
Edward H. Adelson



Edward H. Adelson



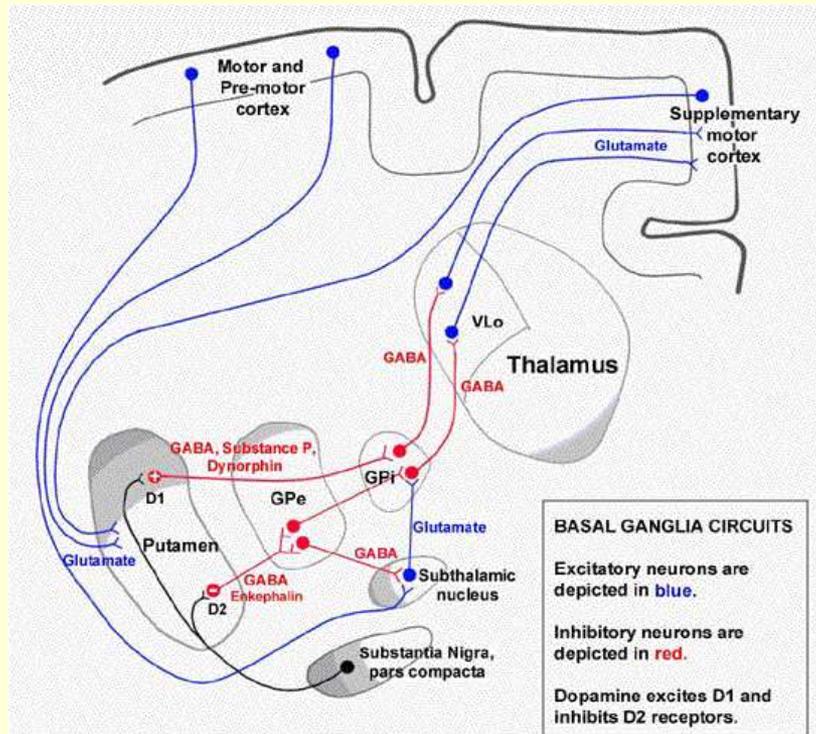
On va passer de quelques neurones...



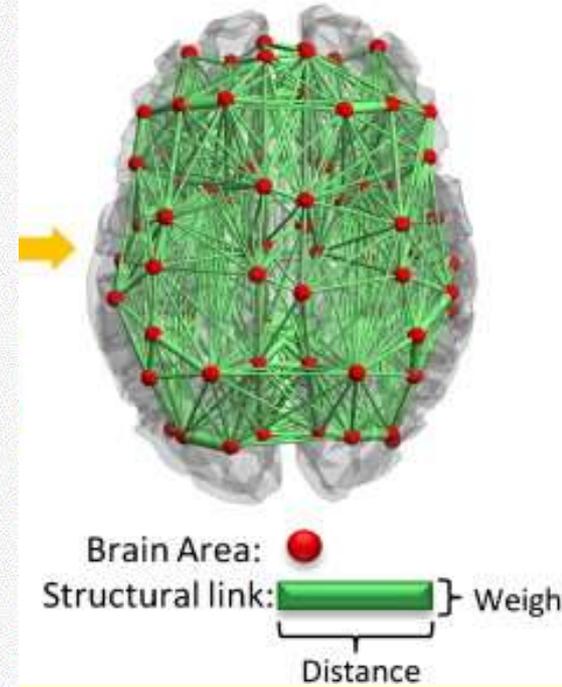
...à des circuits de millions de neurones dans des structures (comme l'hippocampe)

Puis à des structures cérébrales qui vont se connecter en réseaux locaux...

... mais aussi à l'échelle du cerveau entier !



Brain network model



## Cours 1:

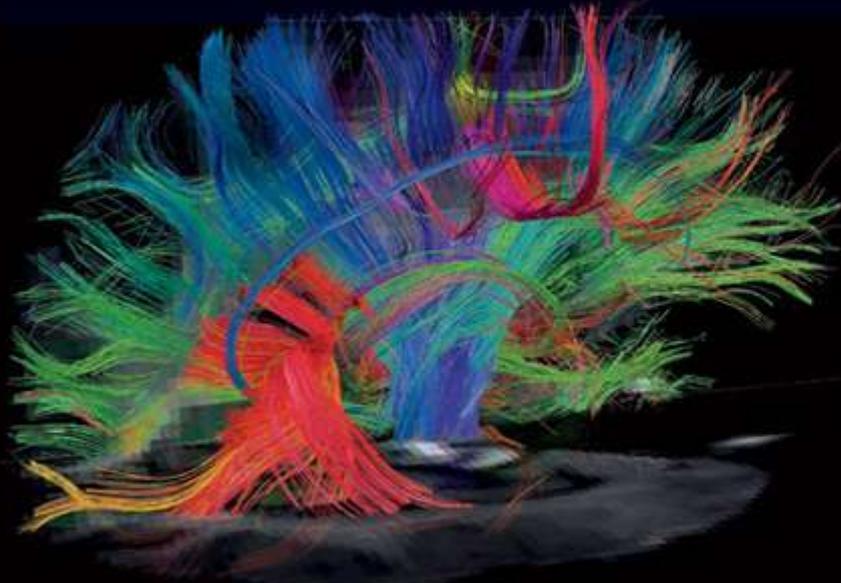
### A- Évolution et émergence des systèmes nerveux



### B- Un neurone, deux neurones : la communication neuronale



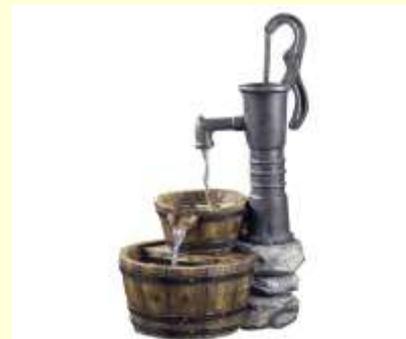
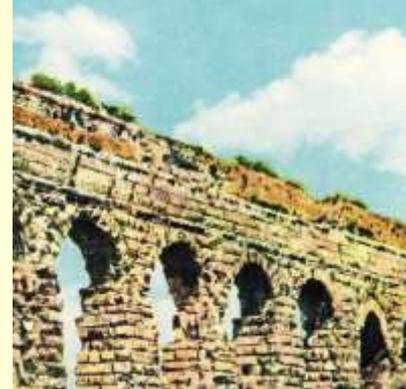
Ceci n'est pas un ordinateur



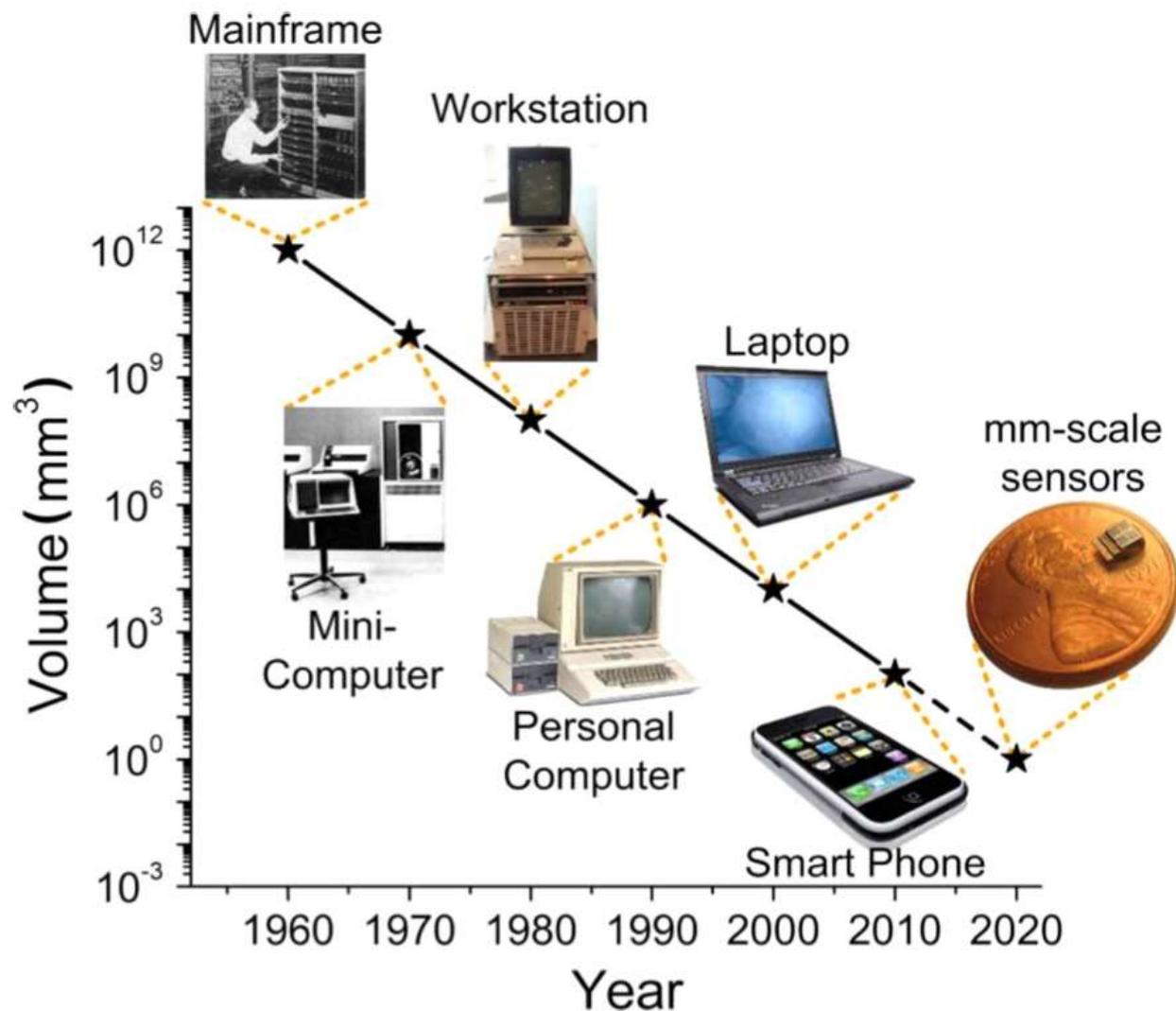
Lorsqu'on a compris que le cerveau était constitué d'éléments isolés capables de se transmettre rapidement de l'information, la fameuse (et mauvaise...) **analogie « cerveau = ordinateur »** est devenue de plus en plus séduisante.

Tout au long de l'Histoire occidentale, les technologies de pointe d'une époque ont toujours influencé les analogies utilisées pour tenter de comprendre l'esprit humain.

- les pompes et les fontaines étaient les métaphores dominantes derrière la conception de l'âme dans la Grèce Antique;
- les engrenages et les ressorts des horloges ont joué un rôle similaire pour la pensée mécanisme durant le siècle des Lumières
- l'hydraulique était à l'honneur avec le concept de libido de Freud;
- les panneaux de contrôle avec fils des téléphonistes ("telephone switchboards") ont été utilisés par les behavioristes pour expliquer les réflexes;
- Etc...



Ce n'est donc pas surprenant que la "révolution cognitive", qui s'est faite en parallèle avec le développement de l'ordinateur, ait naturellement adopté cette métaphore.



Mais peu importe la technologie qui guide nos réflexions sur la cognition humaine,

il y a toujours le **risque que la métaphore puisse être poussées trop loin....**

# Software



Sistema Operativo



MS Word



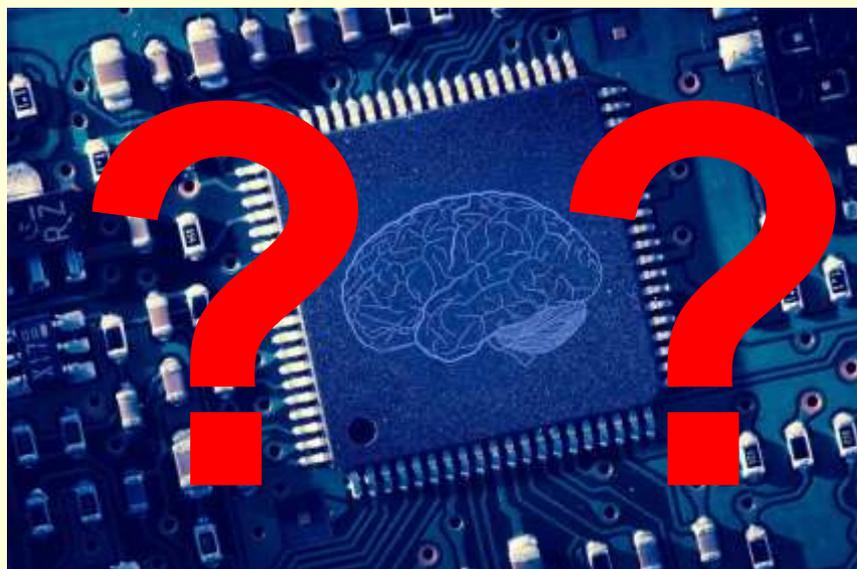
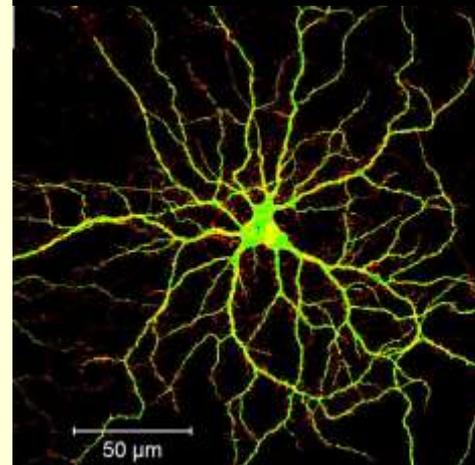
Antivirus

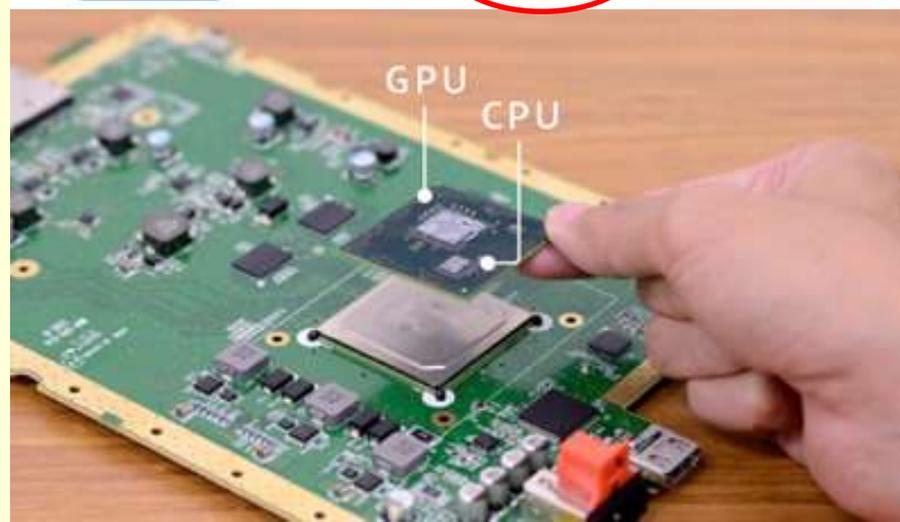
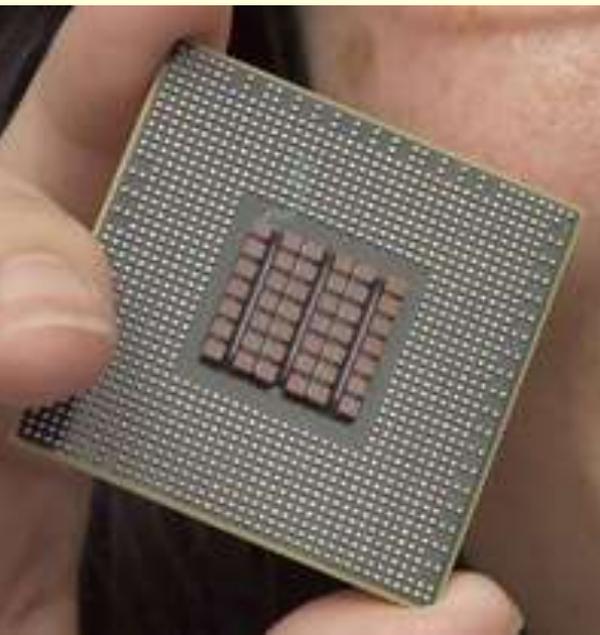
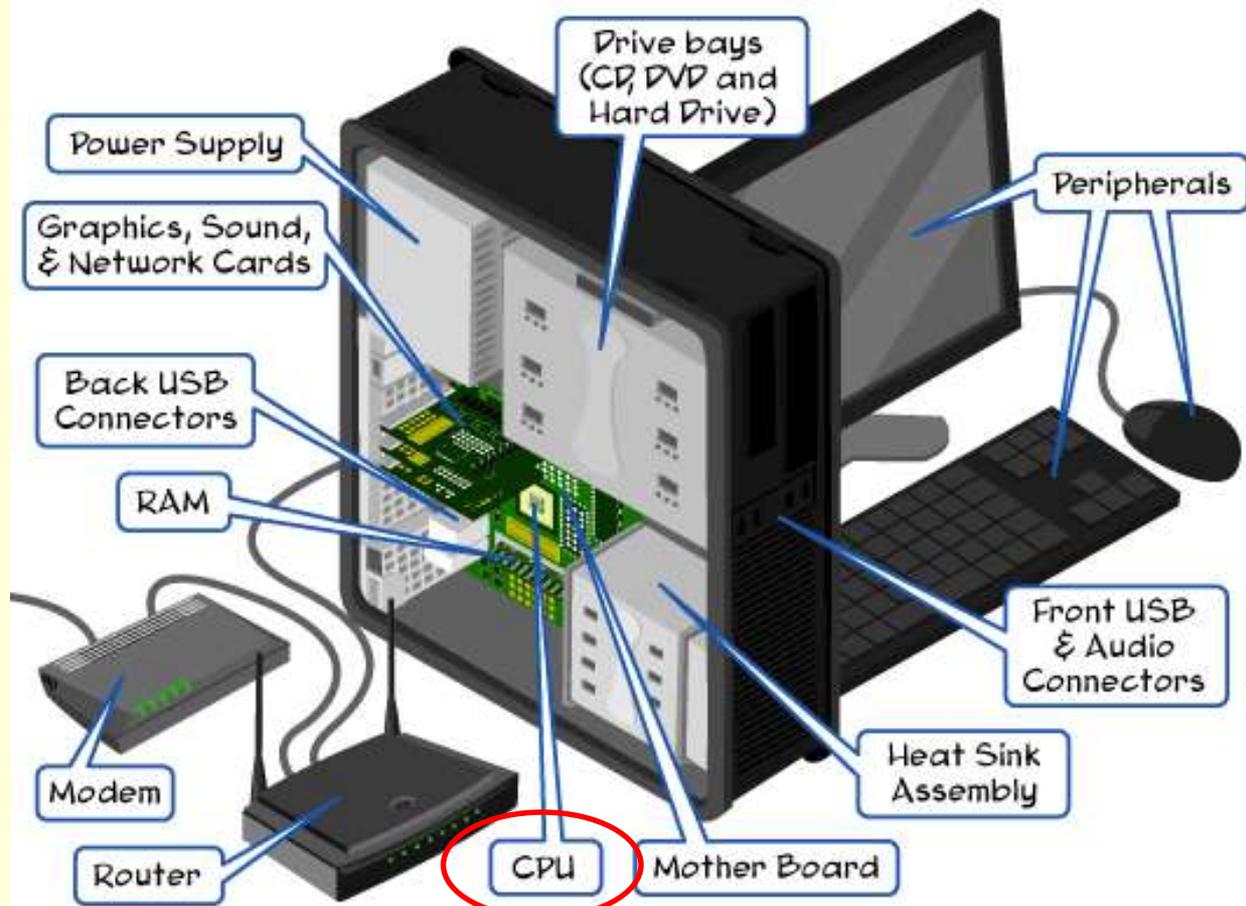
# Hardware



?

=

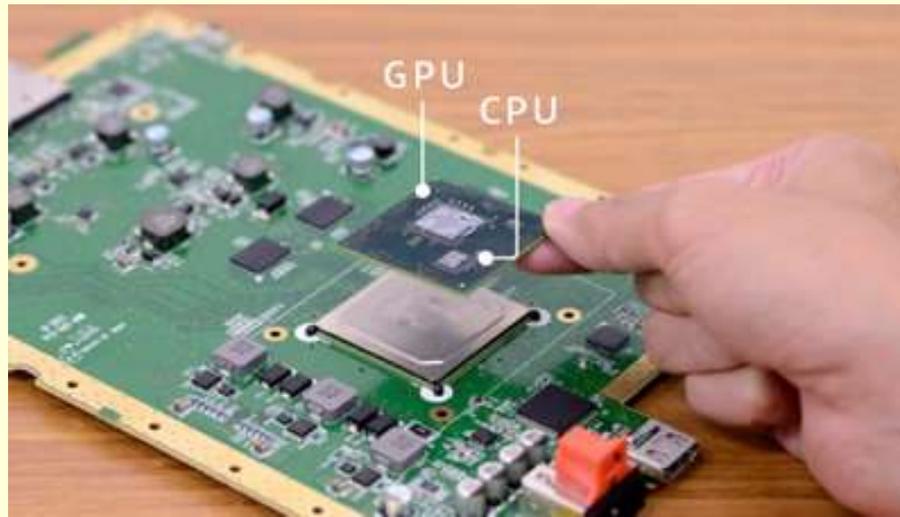
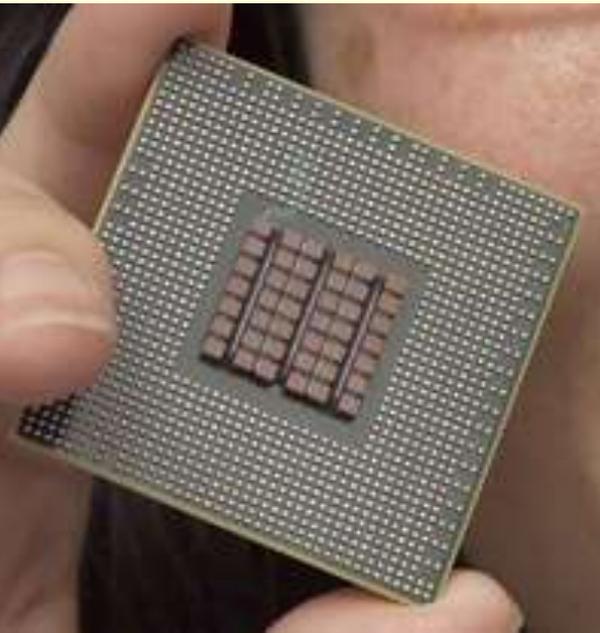




The CPU is often referred to as the brain of the computer.

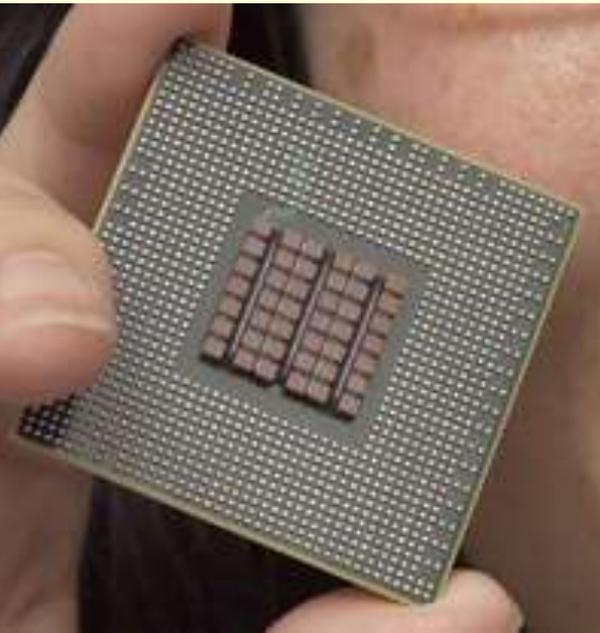
!?!?

<http://www.slideshare.net/DanielAtkinson96/internal-components-of-the-computer>





C'est l'invention du **transistor** en 1948 qui a ouvert la voie à la miniaturisation des composants électroniques



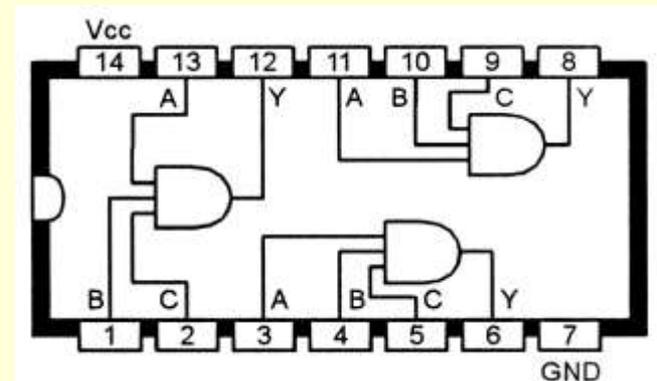
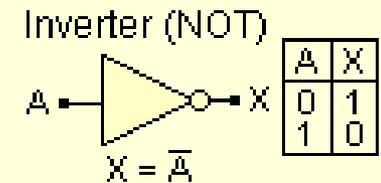
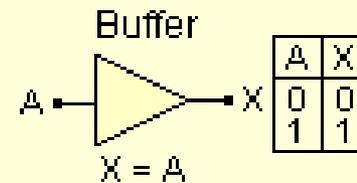
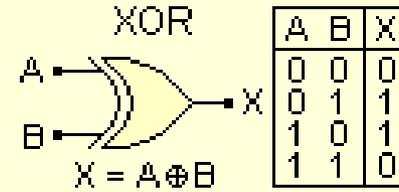
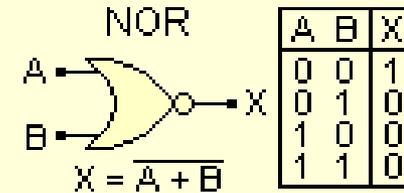
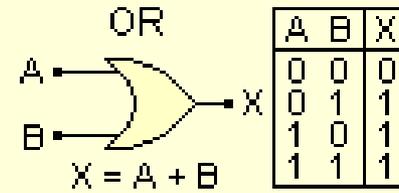
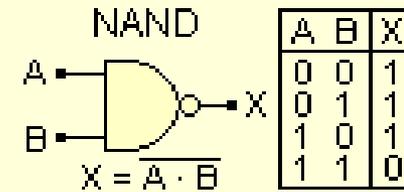
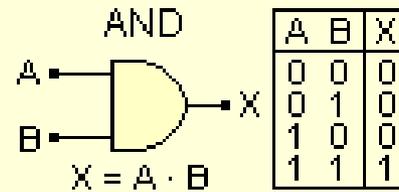
qui ont ensuite évolué jusqu'au **processeurs** ou *central processing unit* (**CPU**) d'aujourd'hui.

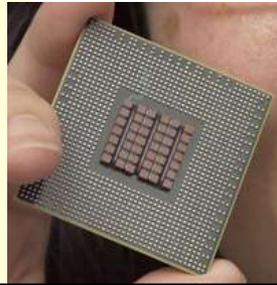
Les transistors fonctionnent de façon **binaire** : soit avec des "0" (absence de courant) ou avec des "1" présence de courant.



Différentes opérations **logiques** ou **mathématiques** peuvent être implémentées sur des transistors.

Et plusieurs de ces groupes de transistors représentant des opérations logiques sont ensuite agencés sur des microprocesseurs (CPU).





## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors

$10^{11}$  Neurones

+ autant de  
Cellules gliales !

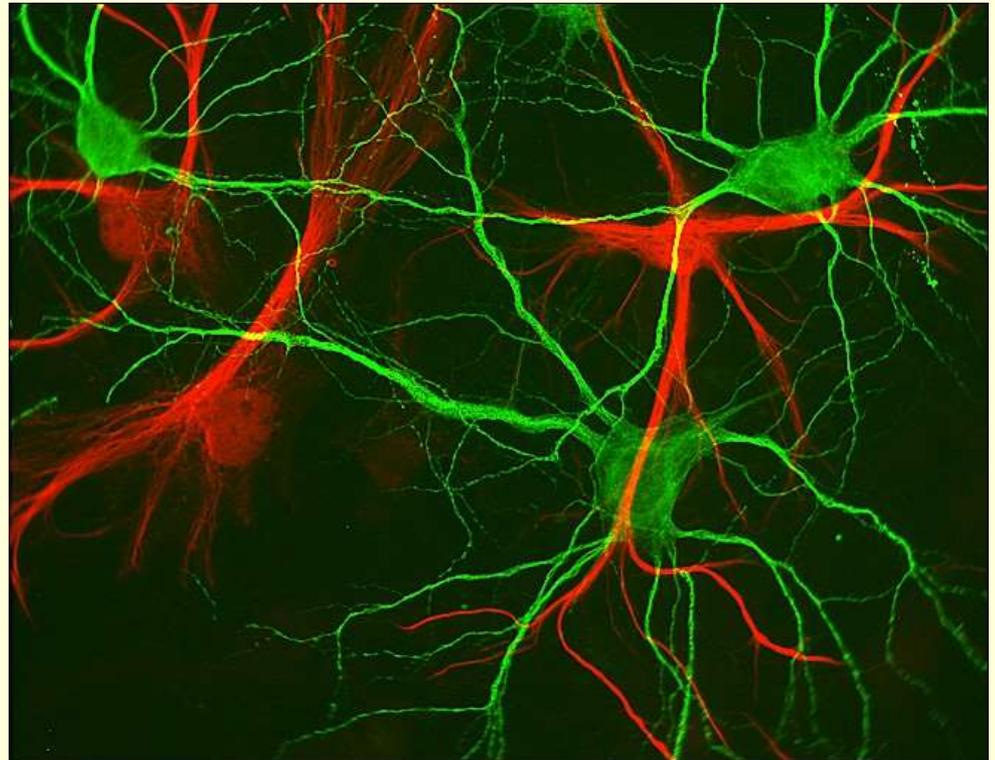
## La théorie du neurone :

1) ~~Le neurone~~ est l'unité structurelle et fonctionnelle de base du système nerveux;

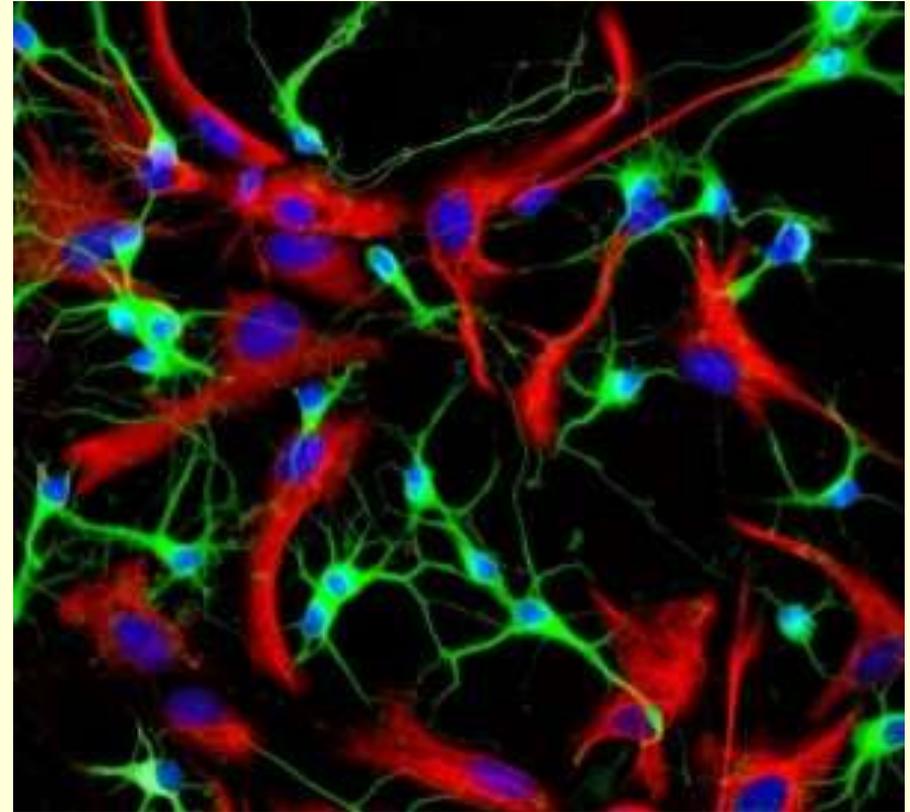
Il y a aussi « l'autre moitié du cerveau » :

**les cellules gliales !**

(en rouge ici,  
et les neurones en vert)



Les cellules gliales, encore en rouge ici



**85 000 000 000**  
**cellules gliales**

Cellules qui  
n'émettent pas  
d'influx nerveux...

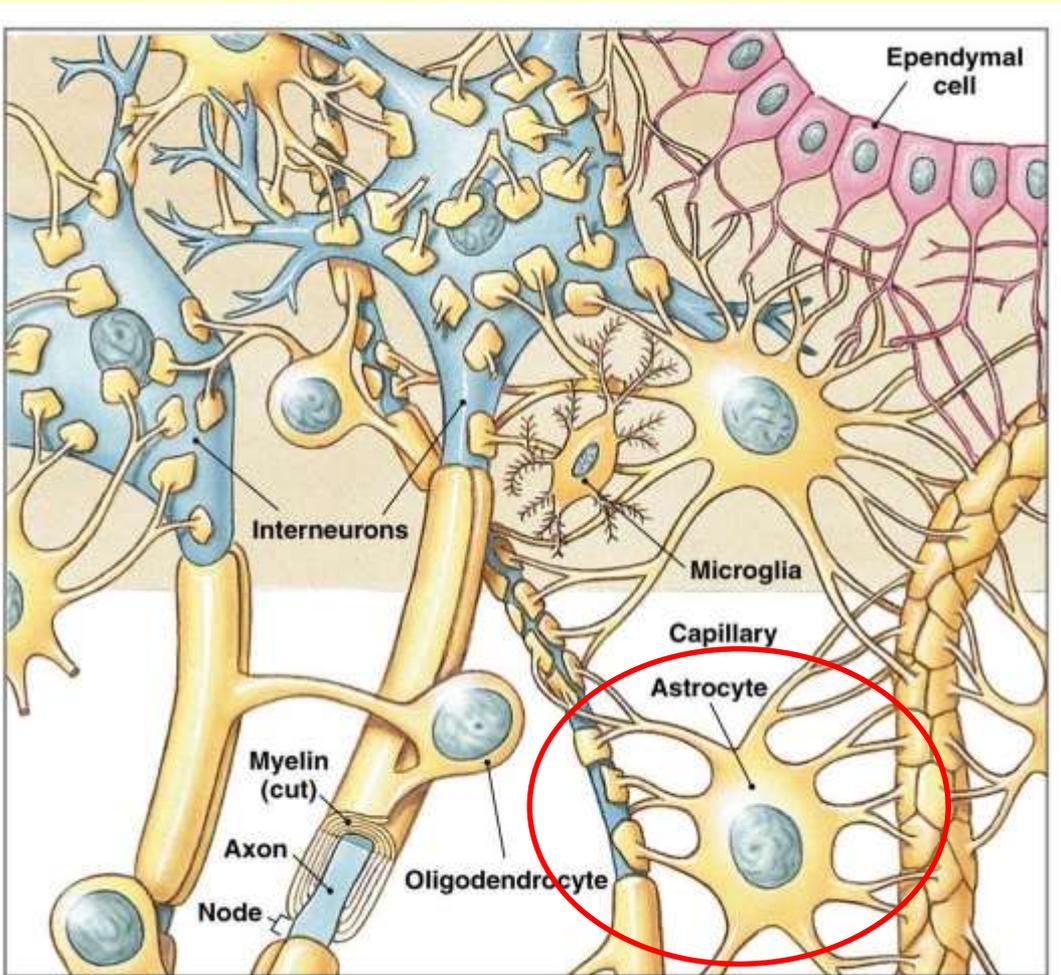


...a-t-on toujours dit  
jusqu'à récemment...

**85 000 000 000**  
**neurones !**



# Différents types de cellules gliales

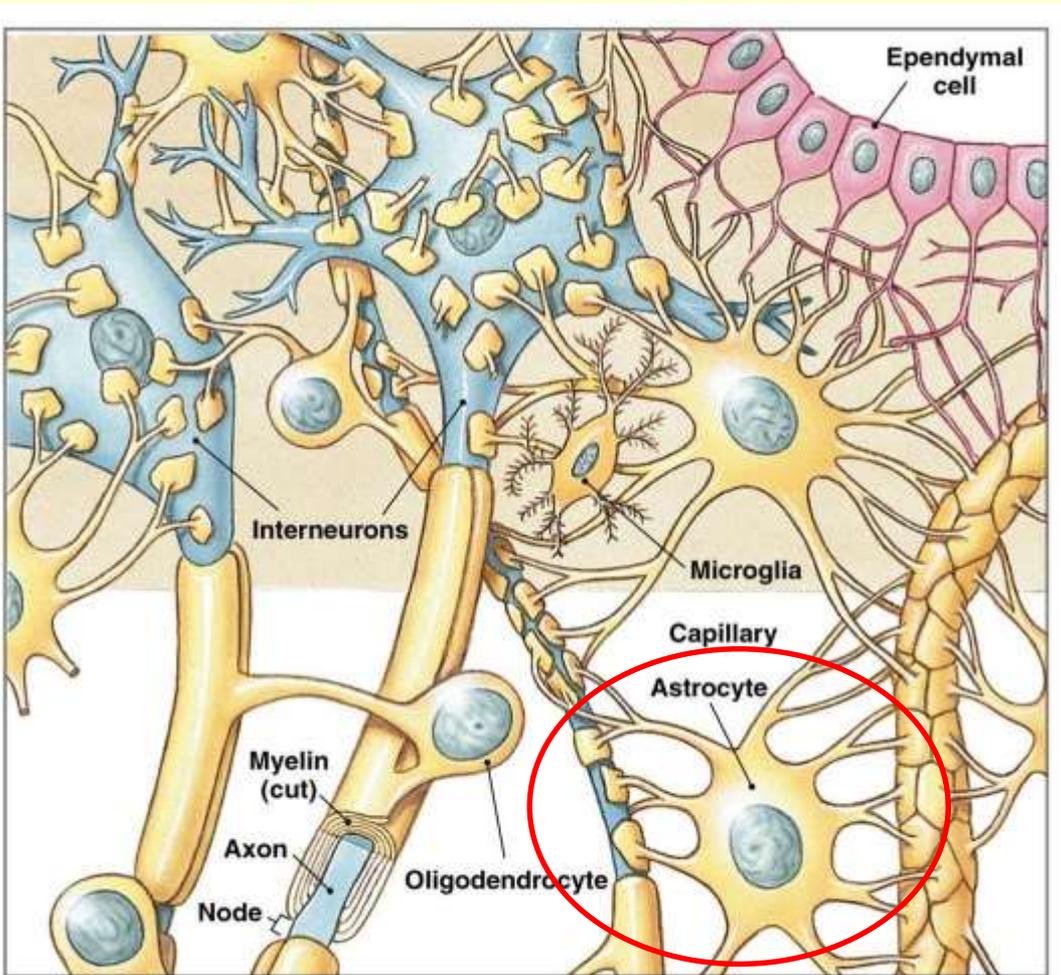


La **microglie** : les macrophages du cerveau.

Les **oligodendrocytes** constituent la gaine de myéline qui entourent les axones de nombreux neurones.

Les **astrocytes** approvisionnent les neurones en nutriments et assurent l'équilibre du milieu extracellulaire.

# Différents types de cellules gliales



Quelques mots sur les astrocytes qui montrent qu'ils n'assurent **définitivement pas** qu'un rôle de soutien ou de nutrition !

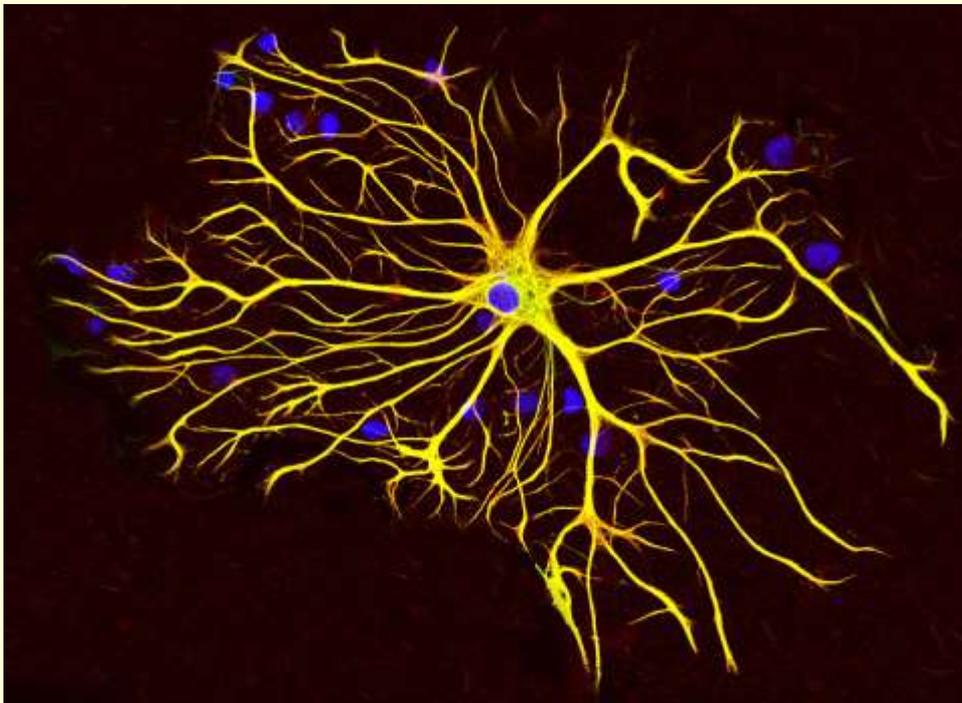
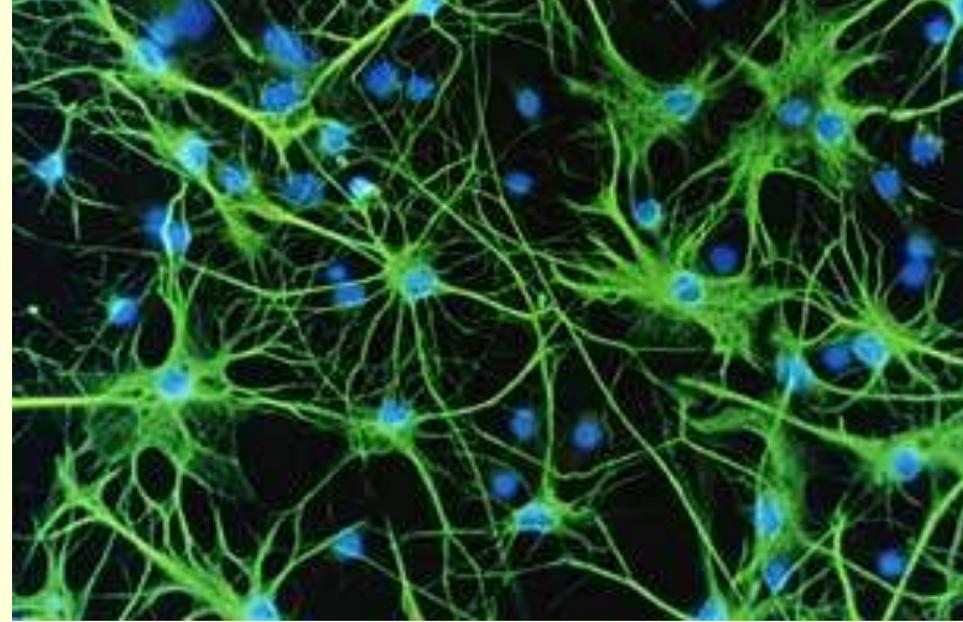
Les **astrocytes** approvisionnent les neurones en nutriments et assurent l'équilibre du milieu extracellulaire.

# Astrocytes

## Fantastic Astrocyte Diversity

August 2, **2015**

[http://jonliefmd.com/blog/fantastic-astrocyte-diversity?utm\\_source=General+Interest&utm\\_campaign=3a0ae2f9c3-RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_471703a831-3a0ae2f9c3-94278693](http://jonliefmd.com/blog/fantastic-astrocyte-diversity?utm_source=General+Interest&utm_campaign=3a0ae2f9c3-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_471703a831-3a0ae2f9c3-94278693)

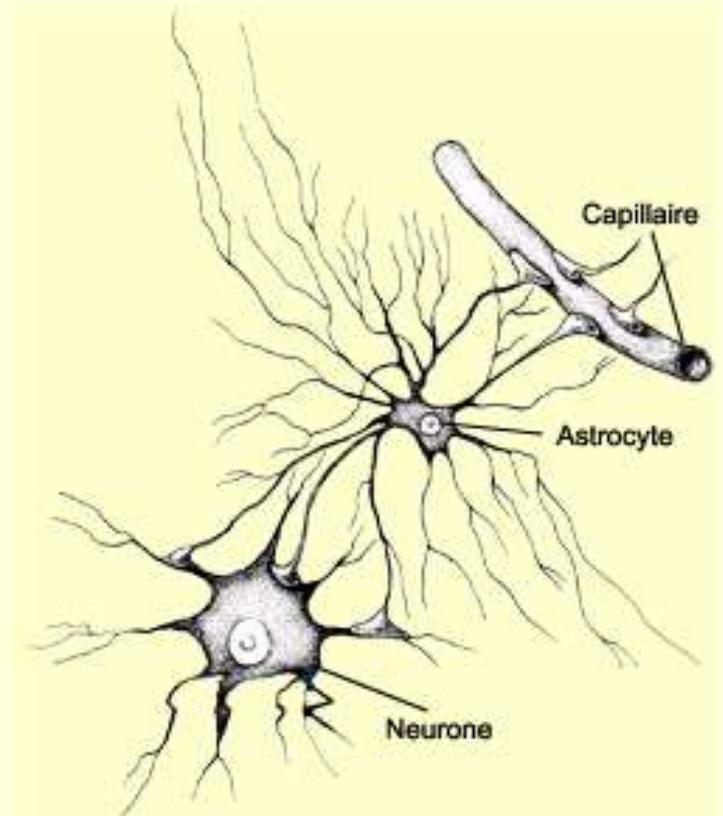
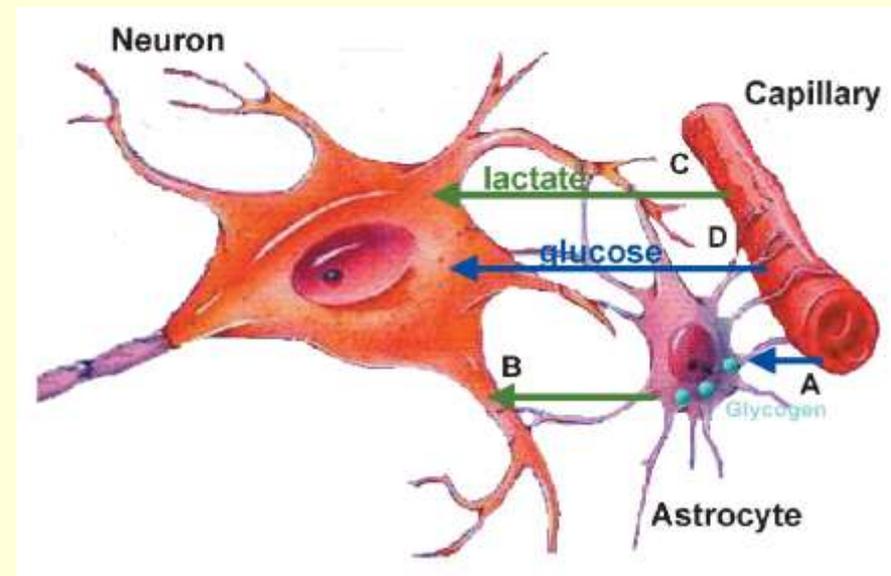


## Astrocytes

On connaît depuis longtemps leur rôle de pourvoyeur du glucose nécessaires à l'activité nerveuse.

Grâce à leurs "pieds" apposés contre la paroi des capillaires sanguins cérébraux, le glucose peut pénétrer dans les astrocytes où il est partiellement métabolisé et retransmis aux neurones.

Et l'on sait qu'une activité neuronale plus intense dans une région du cerveau favorise un apport plus élevé de glucose **en activant le travail des astrocytes.**



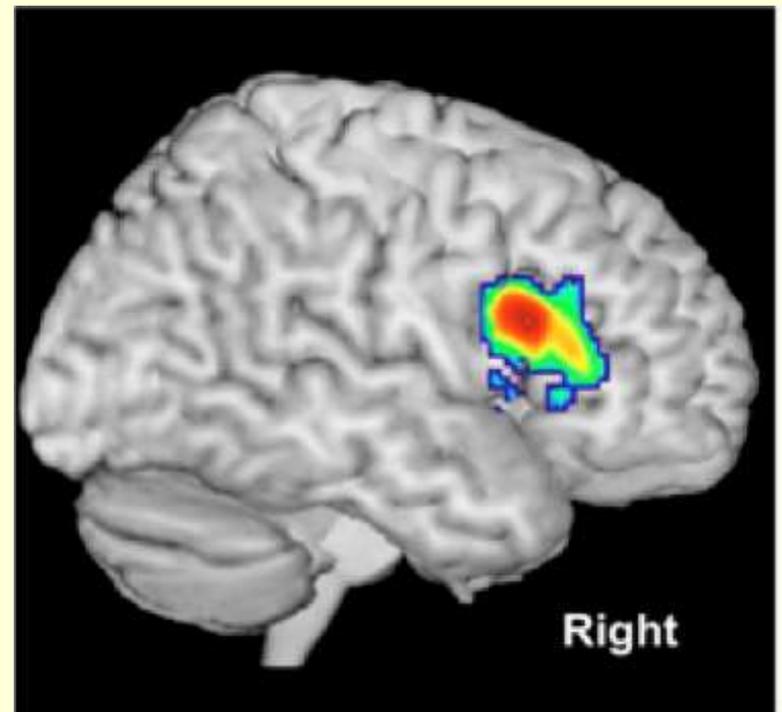
## Astrocytes

On connaît depuis longtemps leur rôle de pourvoyeur du glucose nécessaires à l'activité nerveuse.

Grâce à leurs "pieds" apposés contre la paroi des capillaires sanguins cérébraux, le glucose peut pénétrer dans les astrocytes où il est partiellement métabolisé et retransmis aux neurones.

Et l'on sait qu'une activité neuronale plus intense dans une région du cerveau favorise un apport plus élevé de glucose **en activant le travail des astrocytes.**

C'est d'ailleurs le phénomène exploité par l'imagerie cérébrale...



[cous #3, dans deux semaines]

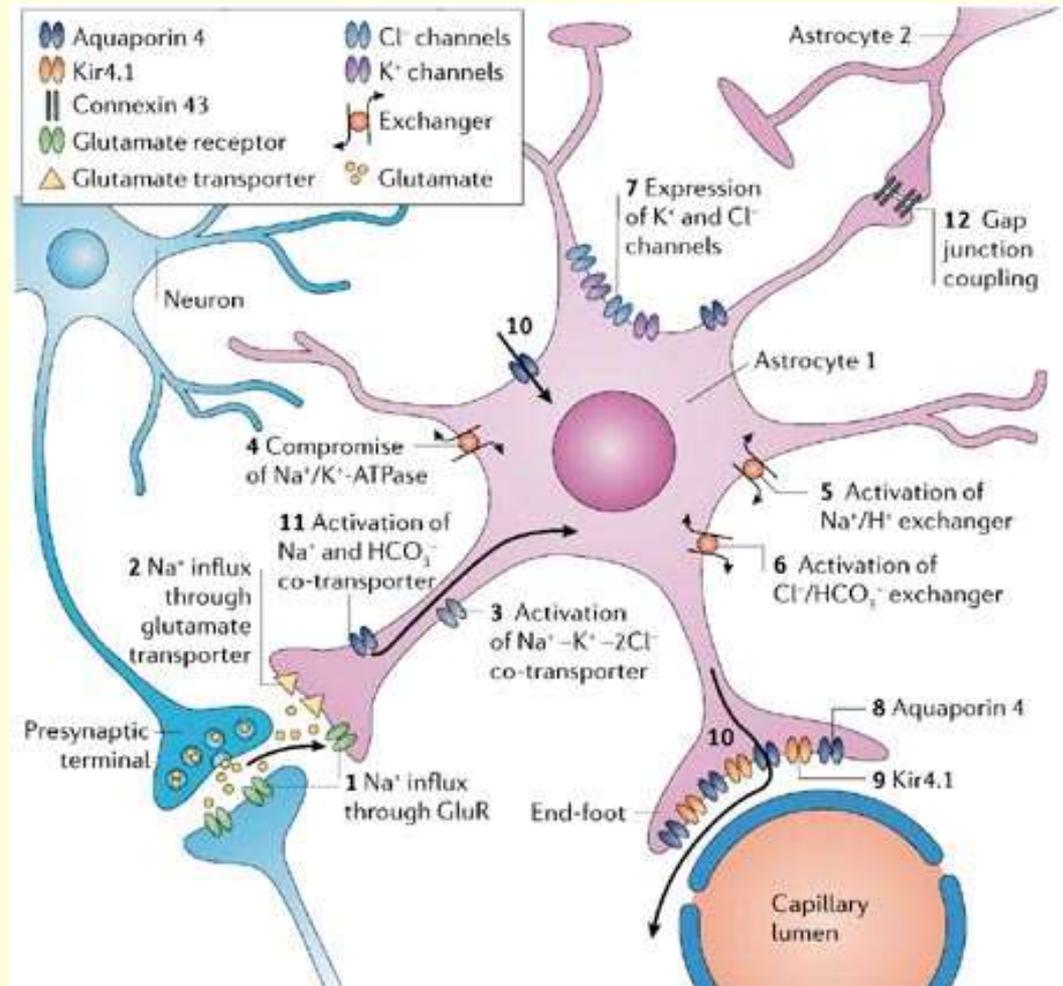
# Glutamate Released from Glial Cells Synchronizes Neuronal Activity in the Hippocampus

María Cecilia Angulo, Andreï S. Kozlov, Serge Charpak, and Etienne Audinat. *The Journal of Neuroscience*,

4 August 2004.

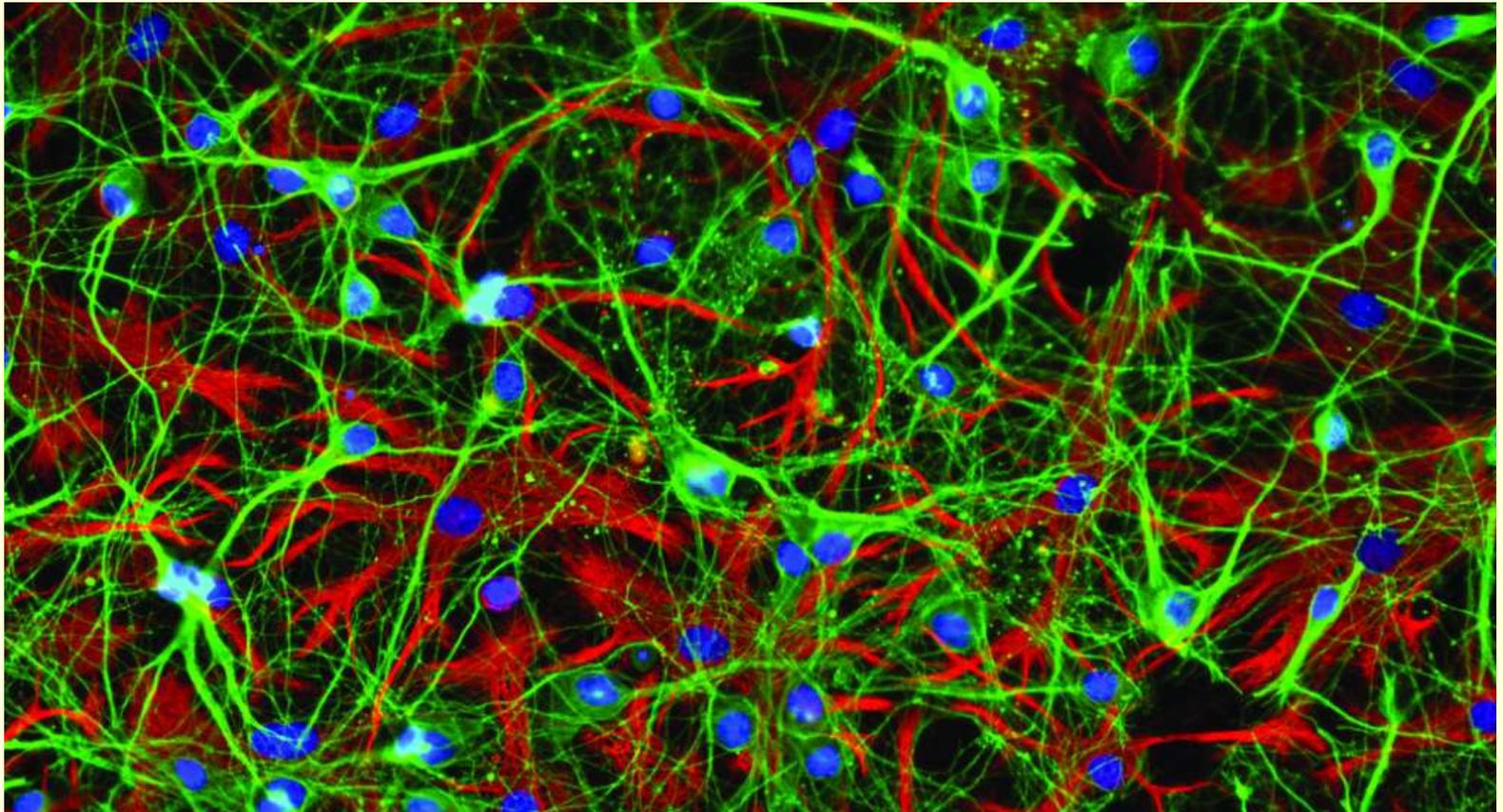
Cet article démontre que du **glutamate** relâché par des cellules gliales génère un courant transitoire

dans les neurones pyramidaux d'hippocampe de rats par l'entremise de **récepteurs NMDA**.



Un astrocyte peut être connecté à des milliers de différents neurones, pouvant ainsi contrôler leur excitabilité.

Le glutamate relâché par les cellules gliales pourrait ainsi contribuer à **synchroniser l'activité neuronale** dans l'hippocampe.



*Neurons and astrocytes isolated from rat hippocampus stained for DNA (blue), neuronal-specific  $\beta$ III-tubulin (green) and **astrocyte-specific GFAP (red)**.*

## **Richesse et complexité structurale du neurone**

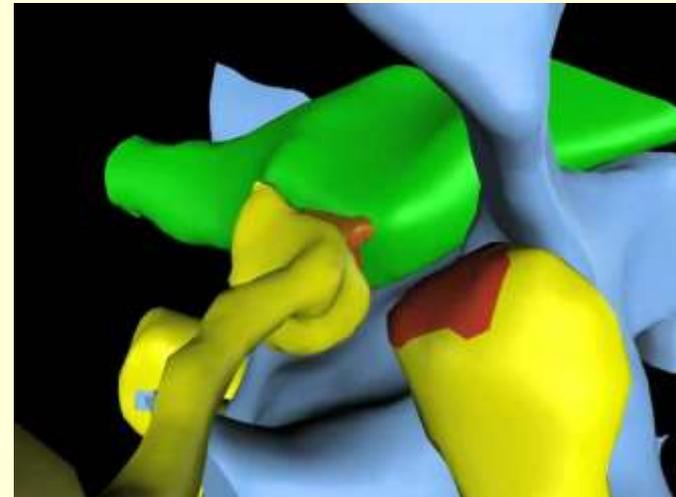
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/03/25/richeesse-et-complexite-structurale-du-neurone/>

### **Waltz through hippocampal neuropil**

Reconstruction of a block of hippocampus from a rat approximately 5 micrometers on a side from serial section transmission electron microscopy in the lab of Kristen Harris at the University of Texas at Austin in collaboration with Terry Sejnowski at the Salk Institute and Mary Kennedy at Caltech.

Voir le court segment du vidéo où l'on ajoute en bleu les **cellules gliales** (0:45 à 2:00):

<http://www.youtube.com/watch?v=FZT6c0V8fW4>



**Ultrastructural Analysis of Hippocampal Neuropil from the Connectomics Perspective**  
**Neuron**, Volume 67, Issue 6, p1009–1020, 23 September **2010**

<http://www.cell.com/neuron/abstract/S0896-6273%2810%2900624-0>

Bref :

“**Most neuroscientists are still extremely** “neuron-centric,” thinking almost exclusively in terms of neuronal activity when explaining brain function, while ignoring glia..”

- Mo Costandi,  
scientific writer

“It's very obvious that we have to redefine our approach to the brain, and to stop dividing it into neurons and glia.”

- Alexei Verkhratsky,  
neurophysiologist,  
University of Manchester

THE  
OTHER BRAIN



From Dementia to Schizophrenia,  
How New Discoveries about the  
Brain Are Revolutionizing Medicine  
and Science

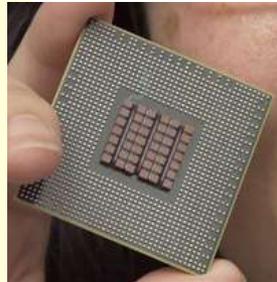
R. DOUGLAS FIELDS, Ph.D.

## No Brain Mapping Without Glia

May 17, **2015**

Jon Lieff

[http://jonlieffmd.com/blog/no-brain-mapping-without-glia?utm\\_source=General+Interest&utm\\_campaign=048f7a464d-RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_471703a831-048f7a464d-94278693](http://jonlieffmd.com/blog/no-brain-mapping-without-glia?utm_source=General+Interest&utm_campaign=048f7a464d-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_471703a831-048f7a464d-94278693)

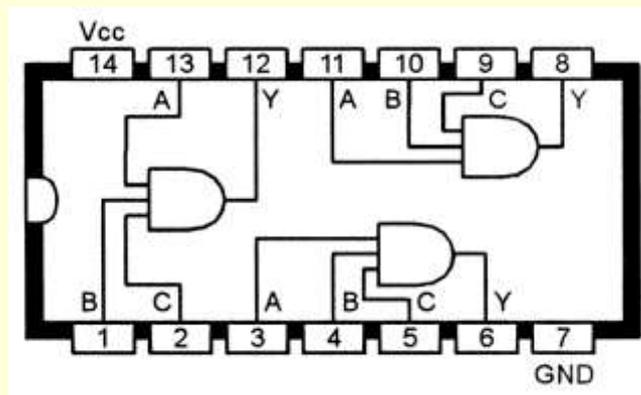
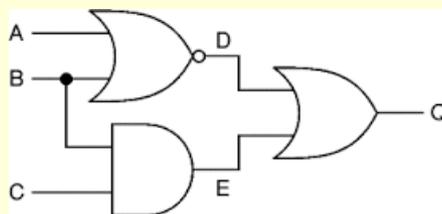


# Hardware

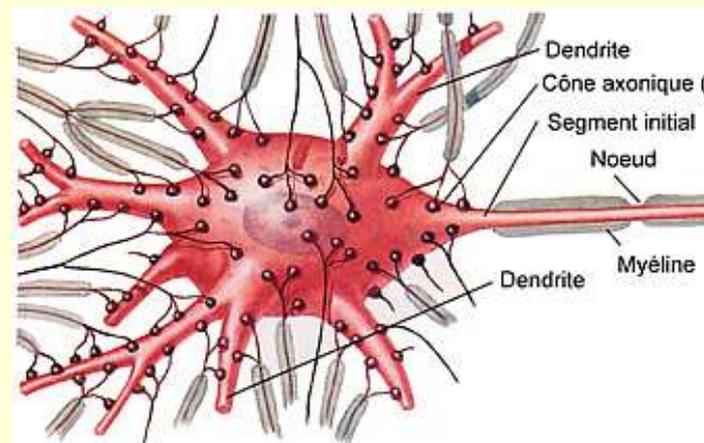


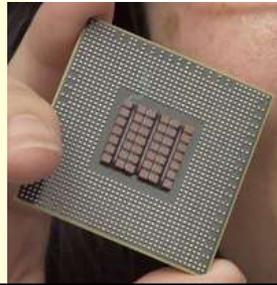
Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés



$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)





## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

Vitesse de  
traitement

Horloge : 10 GHz  
(10 milliardième de sec.)

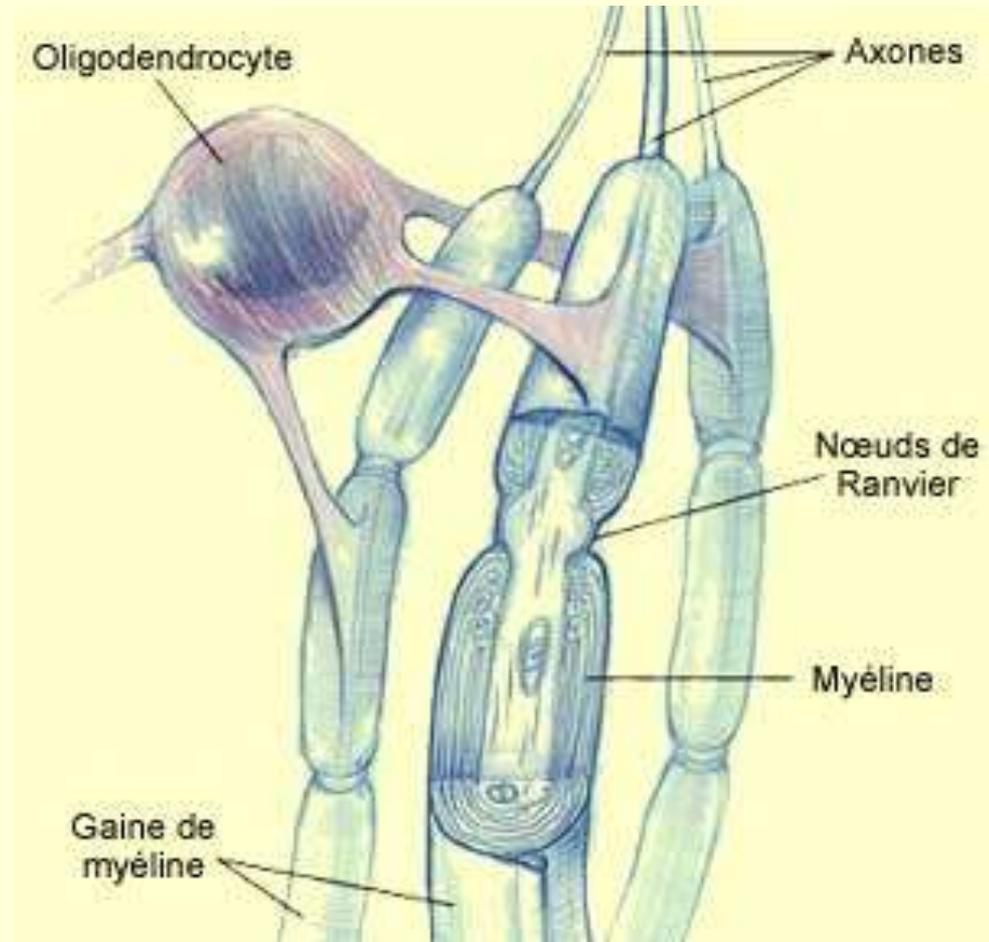
$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)

En biologie, phénomène à  
100 millionième de sec.  
Influx nerveux : 2 millième sec.

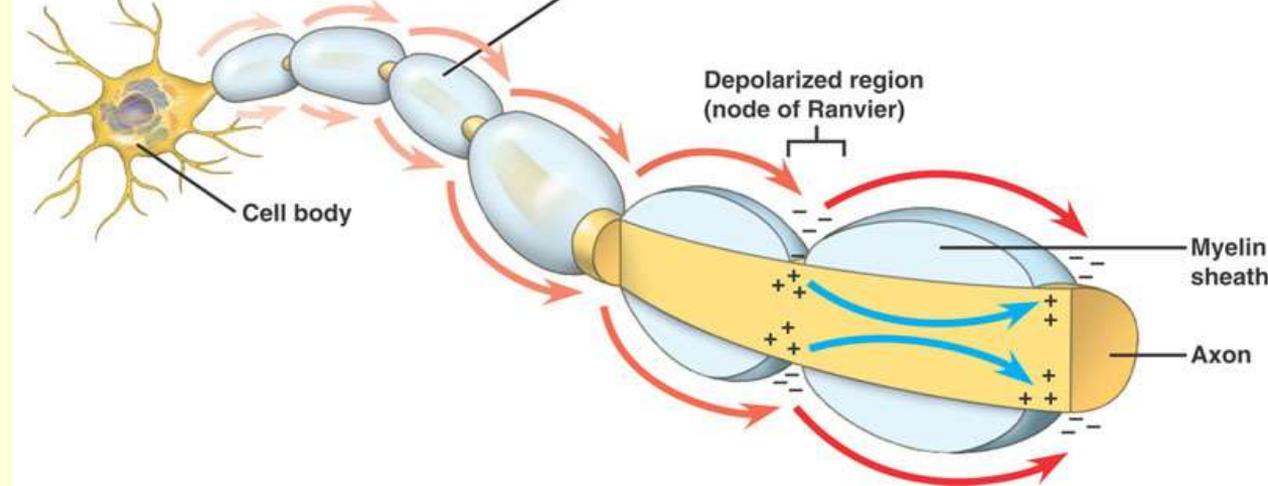
## Oligodendrocyte

Certaines cellules gliales appelées oligodendrocytes s'enroulent autour de l'axone et forment une gaine isolante, un peu comme celle qui recouvrent les fils électriques.

Cette gaine faite d'une substance grasse appelée myéline permet à l'influx nerveux de **voyager plus vite dans l'axone.**

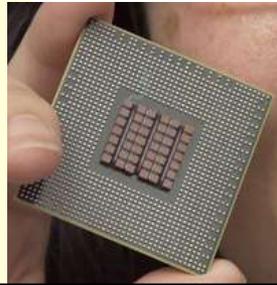


La gaine de myéline ne couvre cependant pas entièrement l'axone et en laisse de petites sections à découvert. Ces petits bouts d'axone exposés s'appellent les **nœuds de Ranvier**.



La gaine de myéline accélère la conduction nerveuse parce que le potentiel d'action **saute** littéralement d'un nœud de Ranvier à l'autre :

ce n'est qu'à cet endroit que les échanges ioniques générant le potentiel d'action peuvent avoir lieu.



## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

Vitesse de  
traitement

Horloge : 10 GHz  
(10 milliardième de sec.)

Type de  
computation

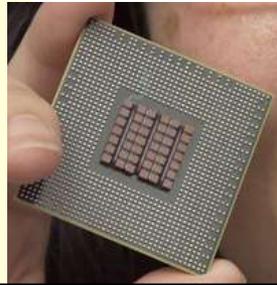
Traitement de l'information  
(surtout) séquentiel via la  
connectivité fixe du CPU

$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)

En biologie, phénomène à  
100 millionième de sec.  
Influx nerveux : 2 millième sec.

Traitement de l'information  
en parallèle via connectivité  
**adaptative (plastique)**

[cours #2  
la semaine prochaine]



## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

Vitesse de  
traitement

Horloge : 10 GHz  
(10 milliardième de sec.)

Type de  
computation

Traitement de l'information  
(surtout) séquentiel via la  
connectivité fixe du CPU  
Digital

$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)

En biologie, phénomène à  
100 millionième de sec.  
Influx nerveux : 2 millième sec.

Traitement de l'information  
en parallèle via connectivité  
adaptative (plastique)  
**Digital ? Analogique ?**  
**Autre ?**

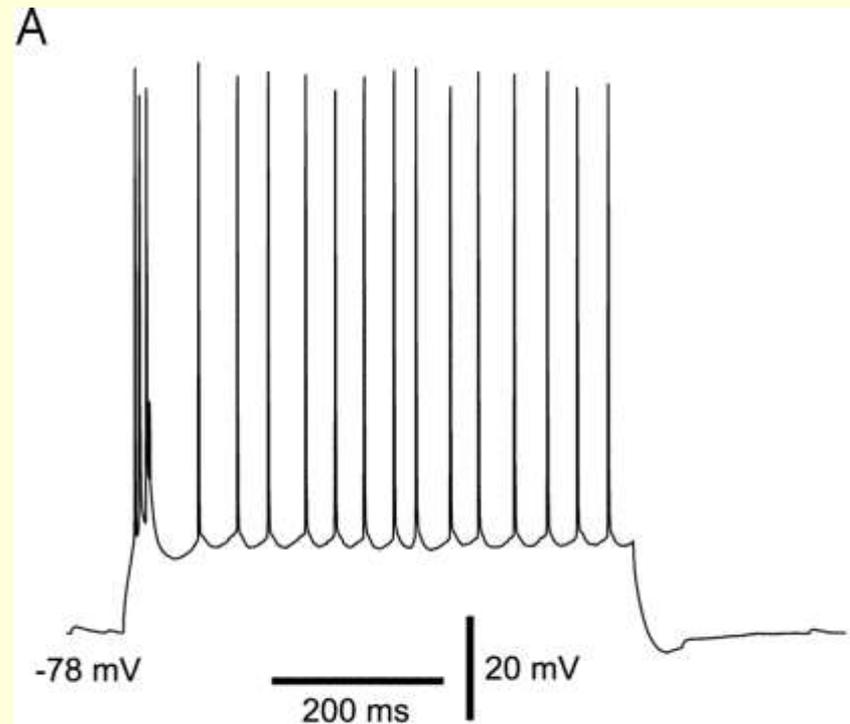
## Quel type de computation ?

La réponse traditionnelle depuis les années 1960 était que le système nerveux effectue des computation **digitales** comme les ordinateurs (potentiel d'action = phénomène tout ou rien...).

## Mais !

Les “véhicules computationnels” primaires du système nerveux, **les trains de potentiels d'action**, sont irrémédiablement graduels dans leur propriétés fonctionnelles. (bien qu'un seul potentiel d'action est un phénomène “tout ou rien”, donc binaire)

Autrement dit, la pertinence fonctionnelle du signal neuronal dépend d'aspects non digitaux du signal comme le taux de **décharge des potentiels d'action** et la **synchronisation de l'activité neuronale**.



## Mais !

Les “véhicules computationnels” primaires du système nerveux, **les trains de potentiels d'action**, sont irrémédiablement graduels dans leur propriétés fonctionnelles. (bien qu'un seul potentiel d'action est un phénomène “tout ou rien”, donc binaire)

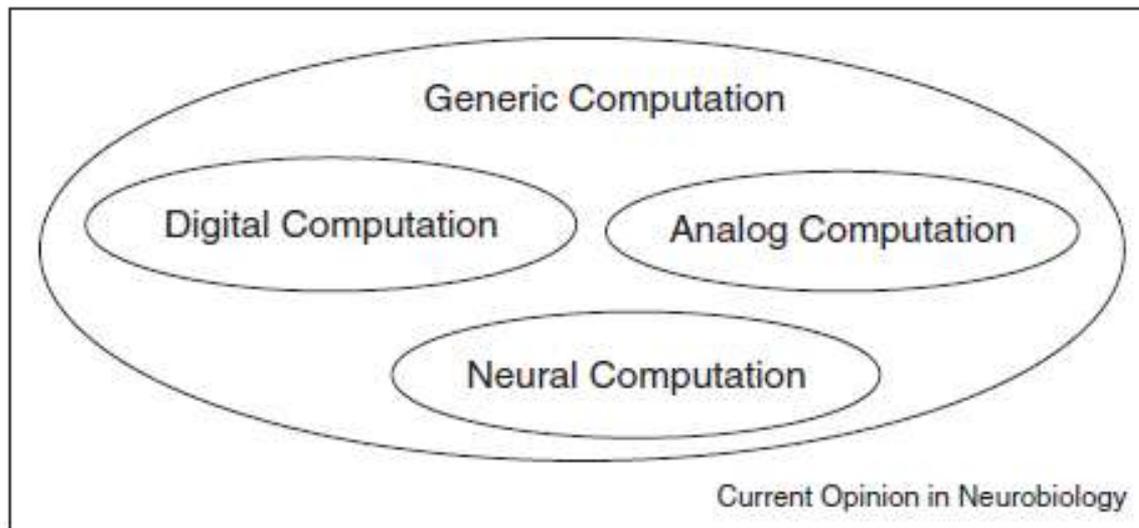
Autrement dit, la pertinence fonctionnelle du signal neuronal dépend d'aspects non digitaux du signal comme le taux de **décharge des potentiels d'action** et la **synchronisation de l'activité neuronale**.

Par conséquent, un signal neuronal typique n'est **pas une suite de “0” ou de “1”** sous quelque forme que ce soit et n'est donc pas une computation digitale.

**Cela ne veut pas dire que la computation neuronale est de type analogique, i.e. qui utilise un signal continu.**

Car, comme on l'a mentionné, le signal nerveux est fait d'unités fonctionnelles discontinues que sont les potentiels d'action.

Par conséquent, les computations neuronales semblent être ni digitales, ni analogues, **mais bien un genre distinct de computation.**



Some types of generic computation. Neural computation may sometimes be either digital or analog in character, but, in the general case, neural computation appears to be a distinct type of computation.

Piccinini, G., Shagrir, O. (2014). **Foundations of computational neuroscience.**

*Current Opinion in Neurobiology*, 25:25–30.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959438813002043>



**$10^{11}$  Neurones +**  
 **$10^{11}$  Cellules gliales**  
**Très connectés**  
**( $10^4$  par neurone)**

En biologie, phénomène à  
100 millionième de sec.  
Influx nerveux : 2 millième sec.

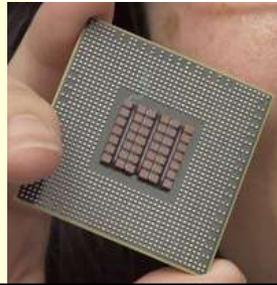
Traitement de l'information en  
parallèle via connectivité  
adaptative (plastique)  
Digital ? Analogique ? Autre ?

Exemple où l'ordinateur a de meilleures performances:  
**le jeu d'échecs**

- Système formel
- Ensemble fini de pièces
- Position de départ
- Ensemble de règles de transition

Meilleures  
performances  
pour

Problèmes logiques,  
mathématiques, traitement  
symbolique, etc.



## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)

Vitesse de  
traitement

Horloge : 10 GHz  
(10 milliardième de sec.)

En biologie, phénomène à  
100 millionième de sec.  
Influx nerveux : 2 millième sec.

Type de  
computation

Traitement de l'information  
(surtout) séquentiel via la  
connectivité fixe du CPU  
Digital

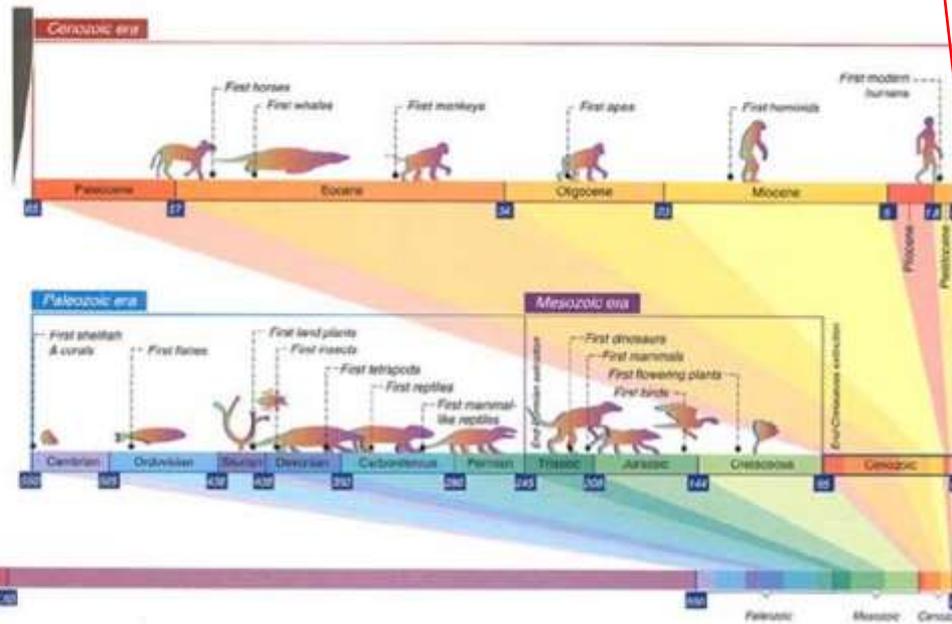
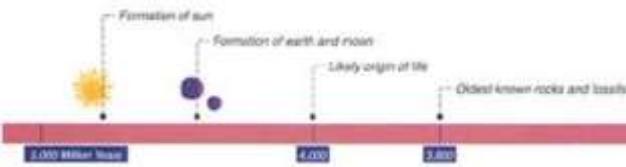
Traitement de l'information en  
parallèle via connectivité  
adaptative (plastique)  
Digital ? Analogique ? Autre ?

Meilleures  
performances  
pour

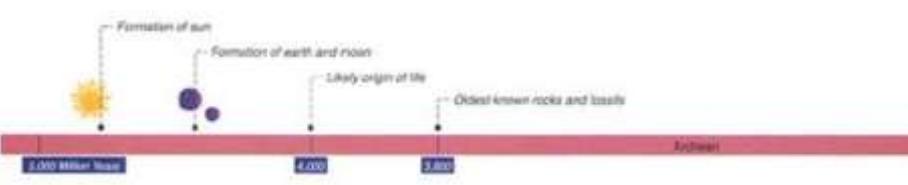
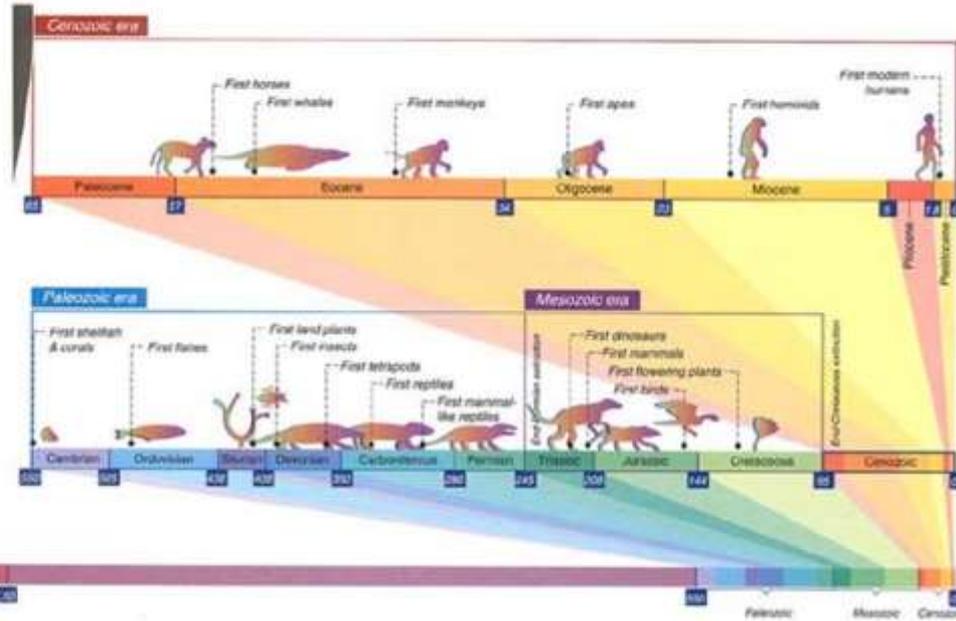
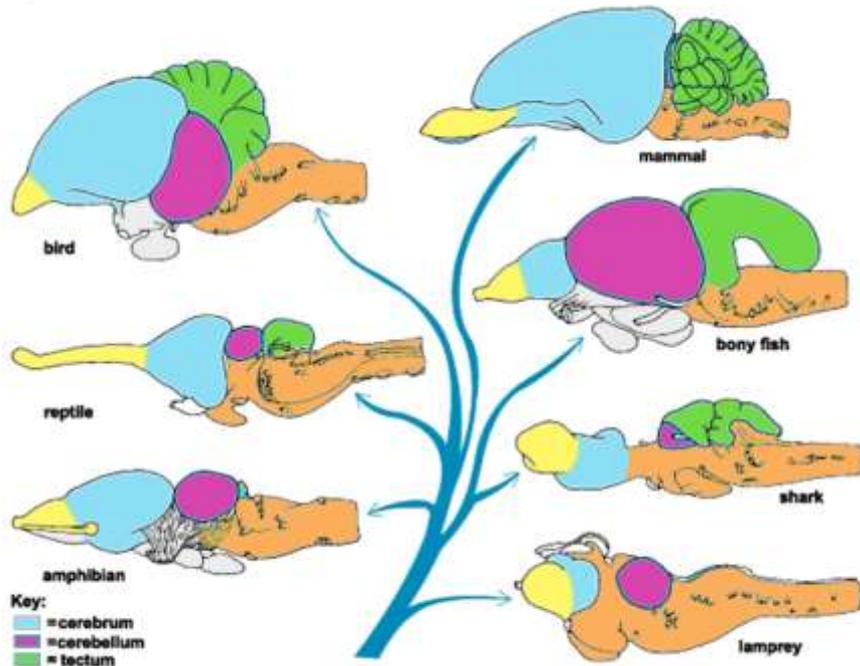
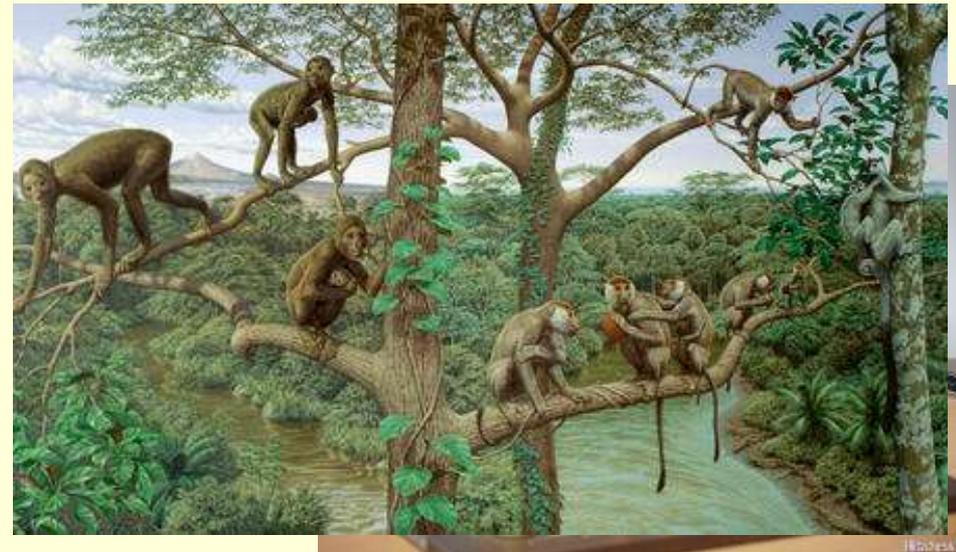
Problèmes logiques,  
mathématiques, traitement  
symbolique, etc.

Problèmes avec cadres plus  
flous (reconnaissance  
visuelle, langage, composante  
émotionnelle, etc...)

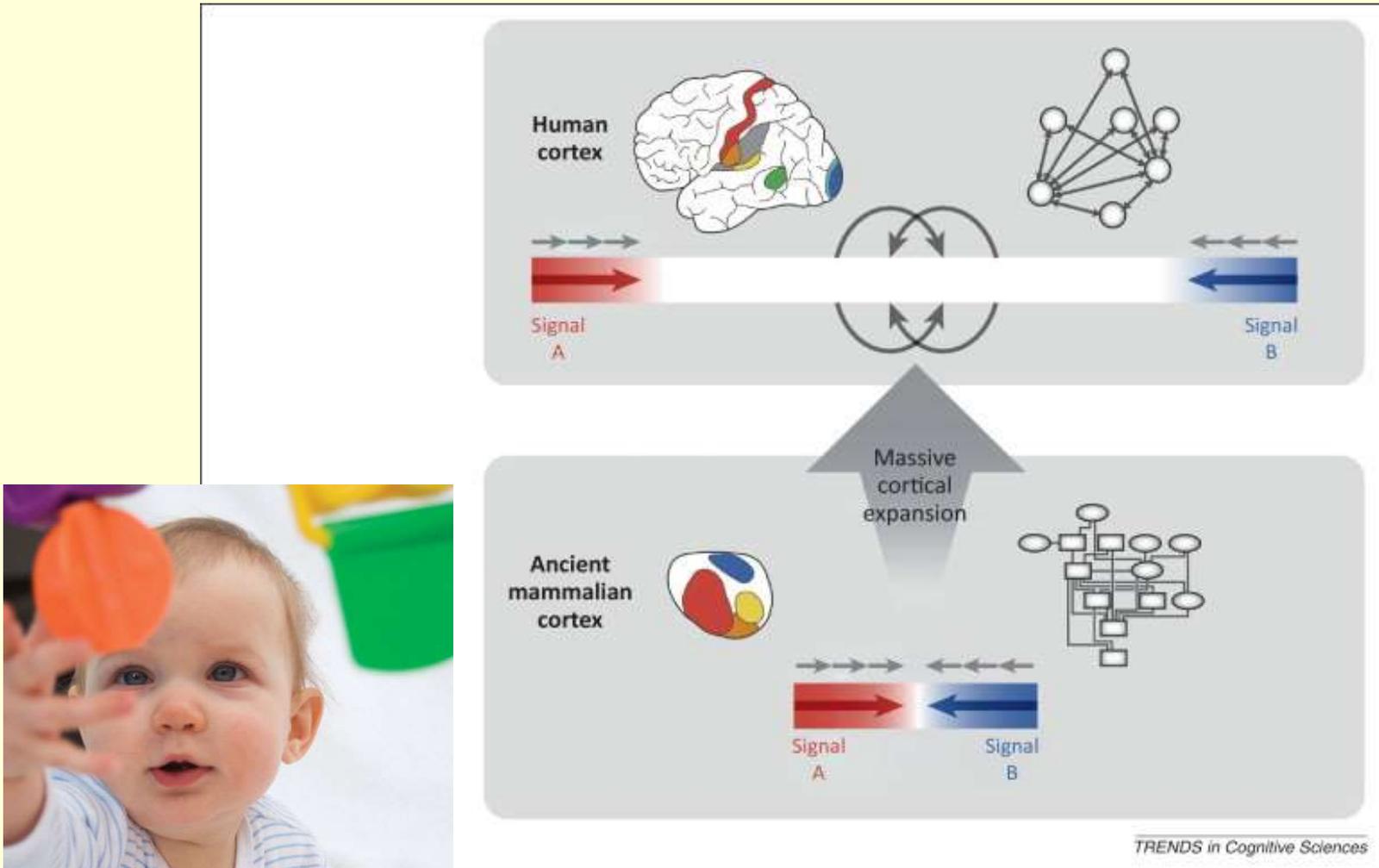
Parce que contrairement à ce que pourrait laisser croire la métaphore de l'ordinateur, notre cerveau n'a pas évolué pour résoudre des problèmes logiques abstraits.



Il a évolué surtout pour ne pas qu'on se casse la gueule en cherchant de quoi manger et des partenaires pour se reproduire !

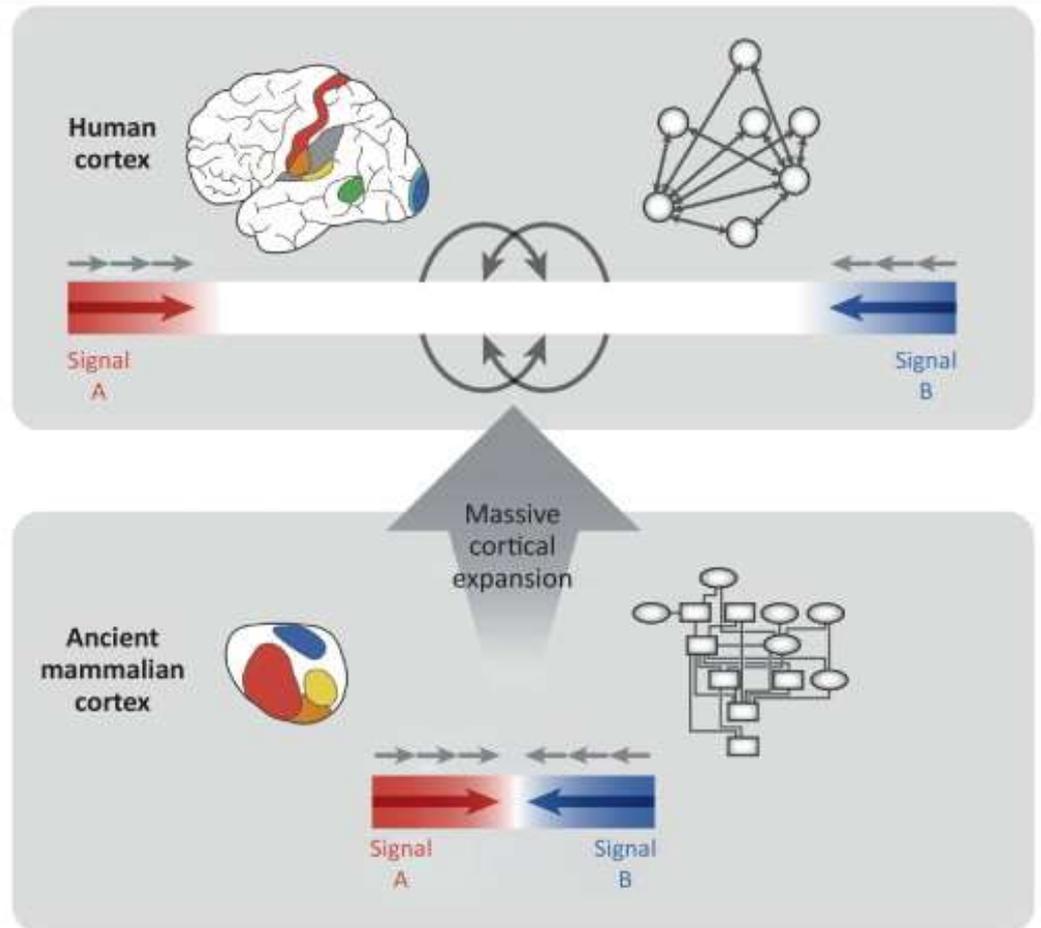


Et il faut garder à l'esprit que durant le développement...



...au début de la vie,  
tout se fait en « **online** »

Et progressivement, on aura l'option supplémentaire de faire du « offline »



...au début de la vie, tout se fait en « **online** »