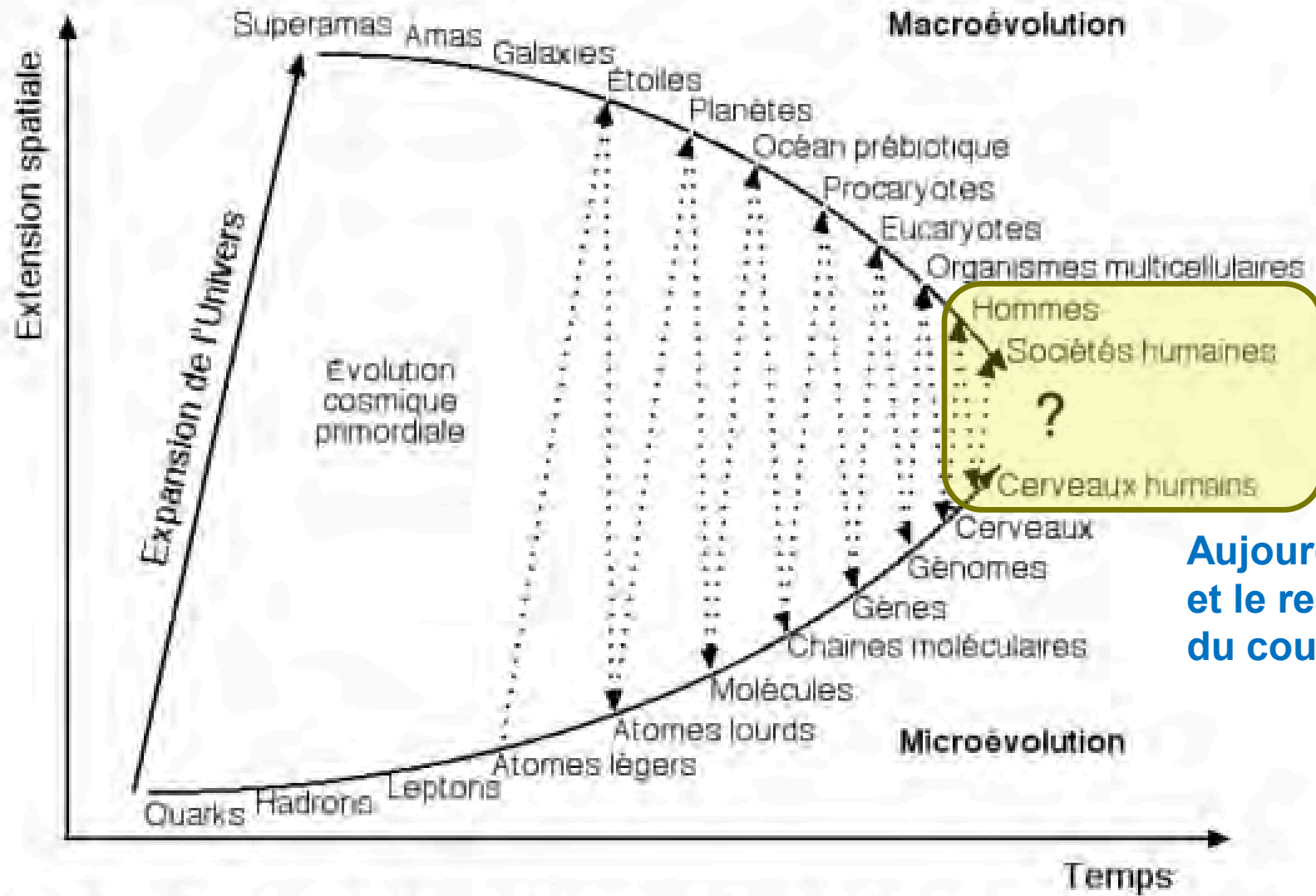


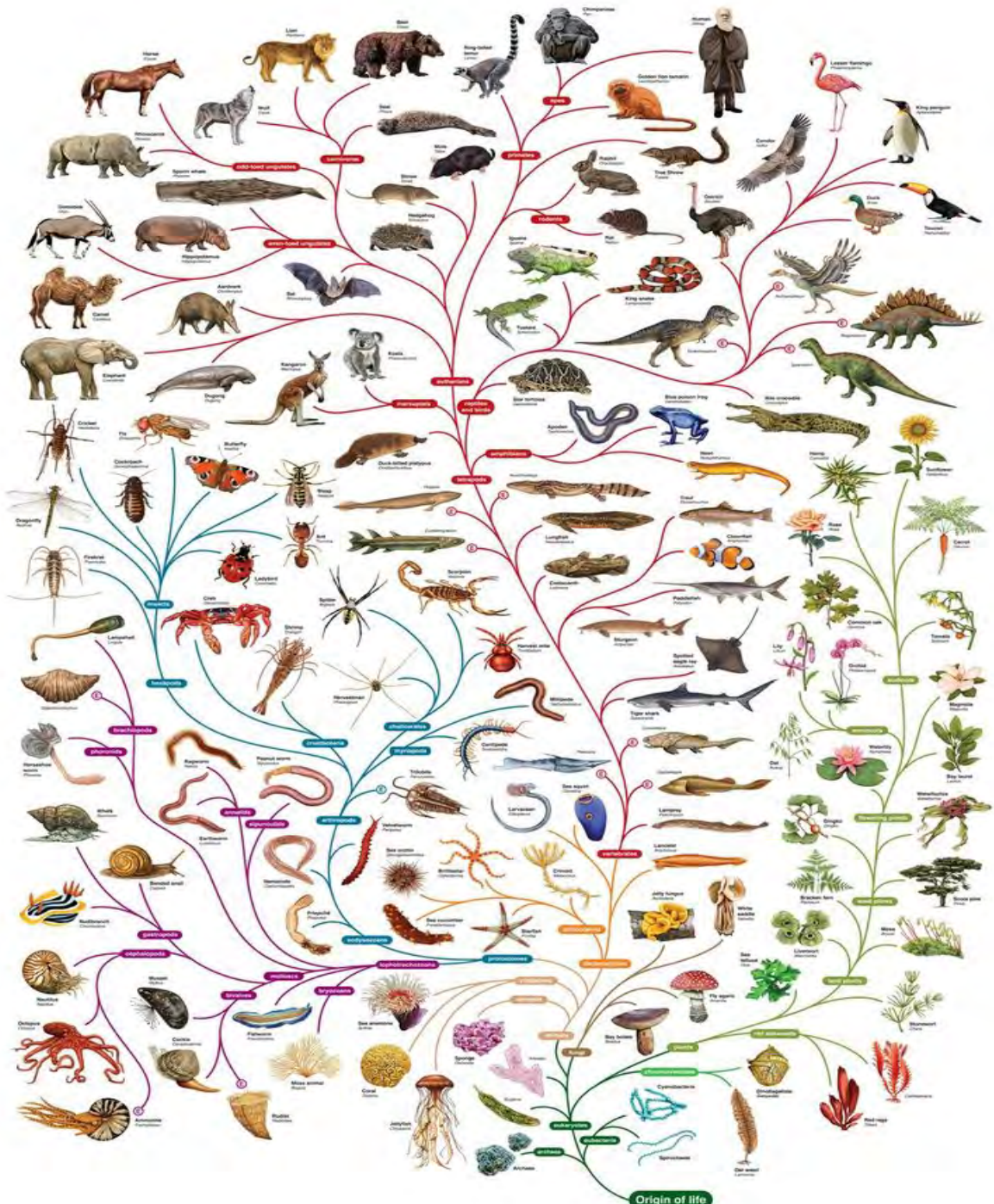
# Plan du cours

- Cours 1:** ~~A- Vue d'ensemble et multidisciplinarité des sciences cognitives~~  
~~B- Du Big Bang aux primates (– 13,7 milliards d'années à – 65 millions d'années)~~
- Cours 2:** A- Des primates aux sociétés humaines (de – 65 millions d'années à 1900)  
B- De la théorie du neurone au piège du « cerveau-ordinateur » (1900-1980)
- Cours 3:** A- Le développement du système nerveux et sa cartographie anatomique (1980 et +)  
B- Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer
- Cours 4 :** A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe  
B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire
- Cours 5 :** A- Des réseaux qui oscillent à l'échelle du cerveau entier  
B- Éveil, sommeil et rêve
- Cours 6 :** A- « Cerveau – Corps » : la cognition incarnée (1990 et +)  
(liens système nerveux, hormonal et immunitaire)  
B- « Cerveau – Corps – Environnement » (cognition située et prise de décision)
- Cours 7 :** A –Les « fonctions supérieures » : l'exemple de la lecture et de l'attention  
B- Les analogies, les concepts et leur représentation cérébrale
- Cours 8 :** A- Quelques grandes questions à la lumière des sciences cognitives modernes  
B- Vers où aller maintenant : plaidoyer pour une pédagogie qui tient compte de tout ça!

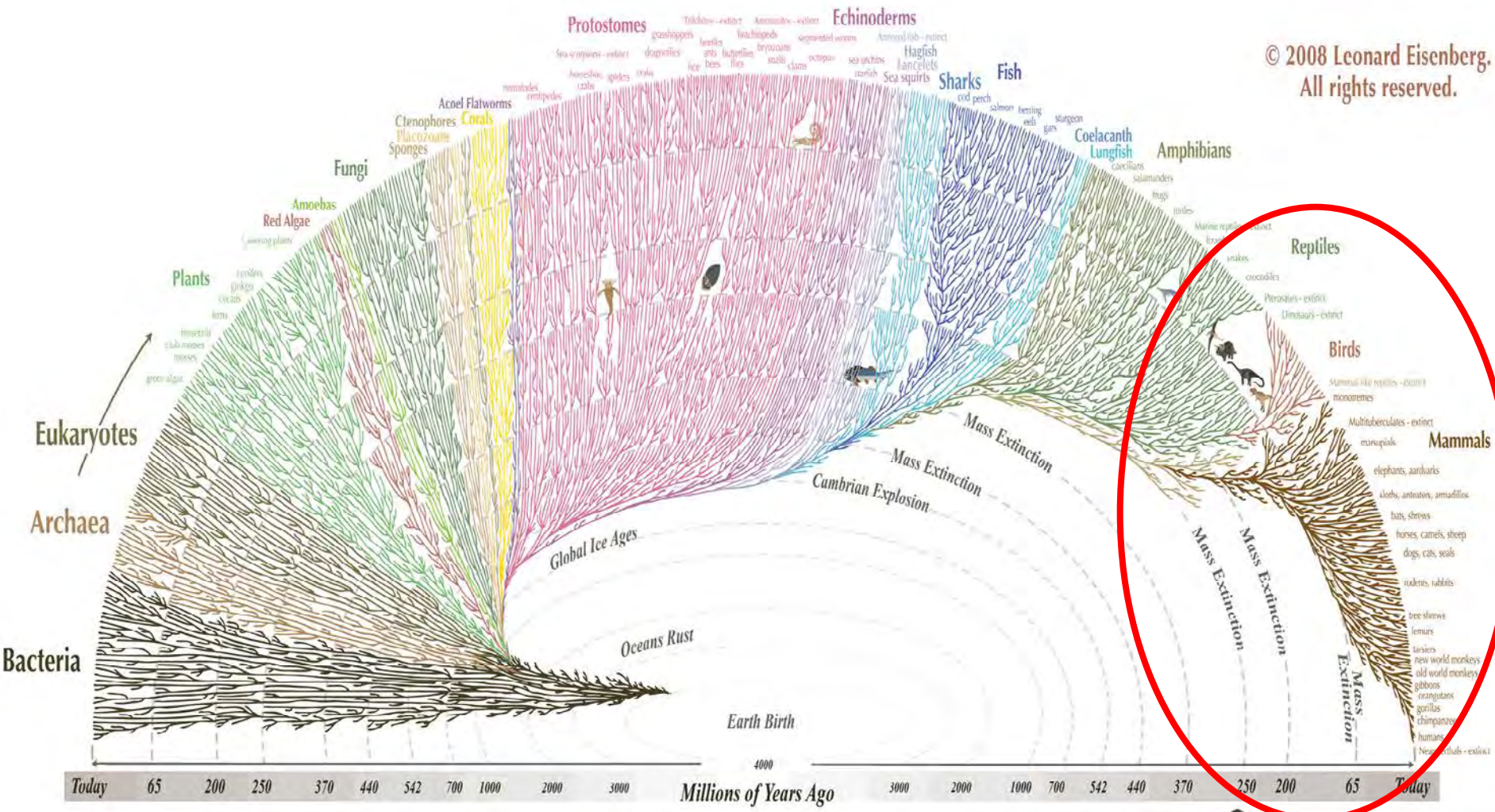


**Aujourd'hui  
et le reste  
du cours !**

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



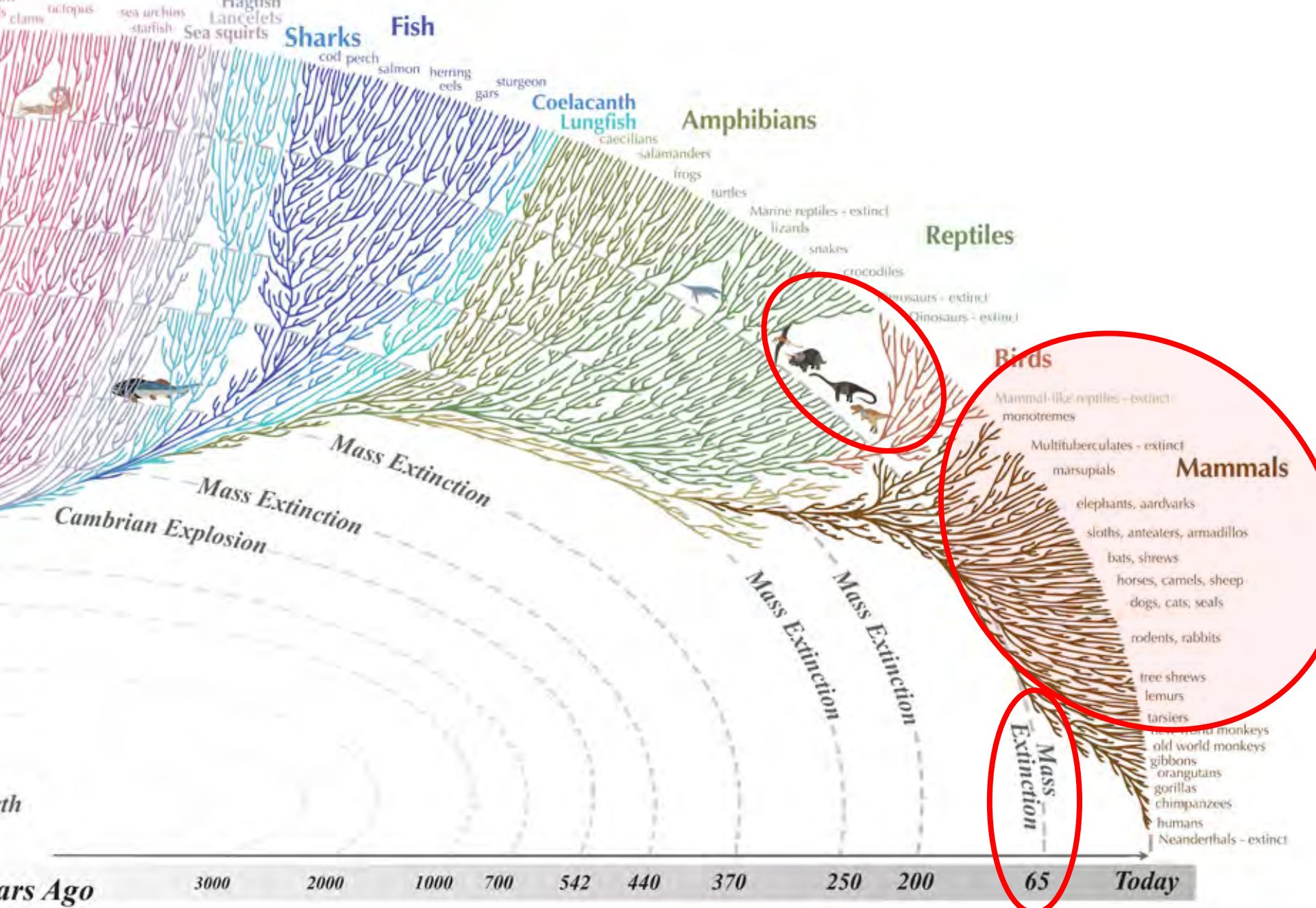
© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved.



All the major and many of the minor living branches of life are shown on this diagram, but only a few of those that have gone extinct are shown. Example: Dinosaurs - extinct

© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved. evogeneo.com

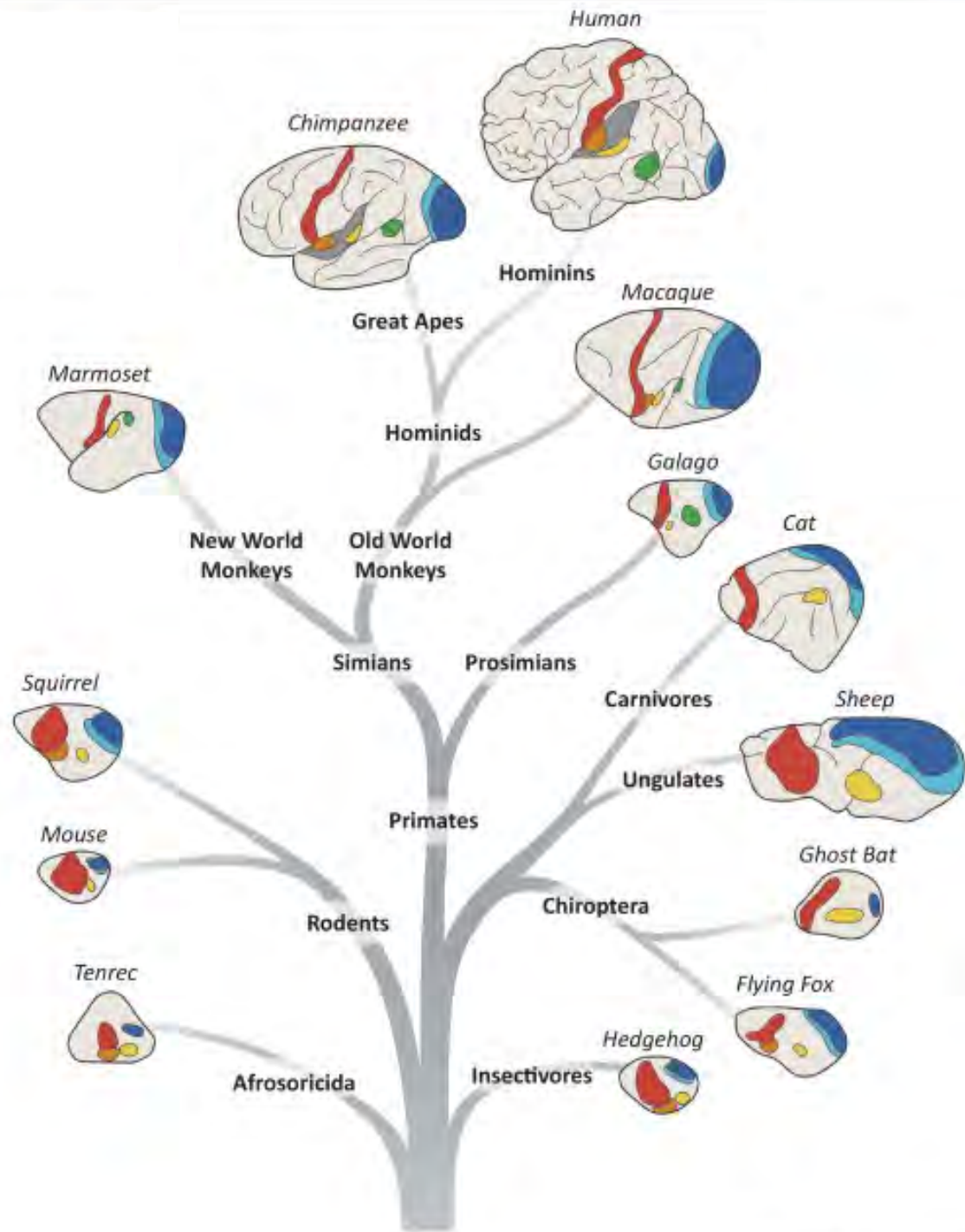
[ligne de temps pas à l'échelle]

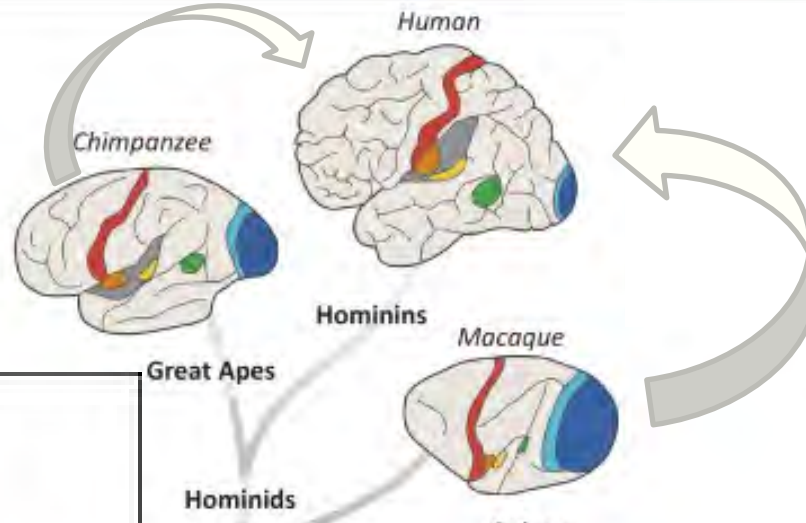


not only a few of those that have gone extinct are shown. Example: Dinosaurs - extinct

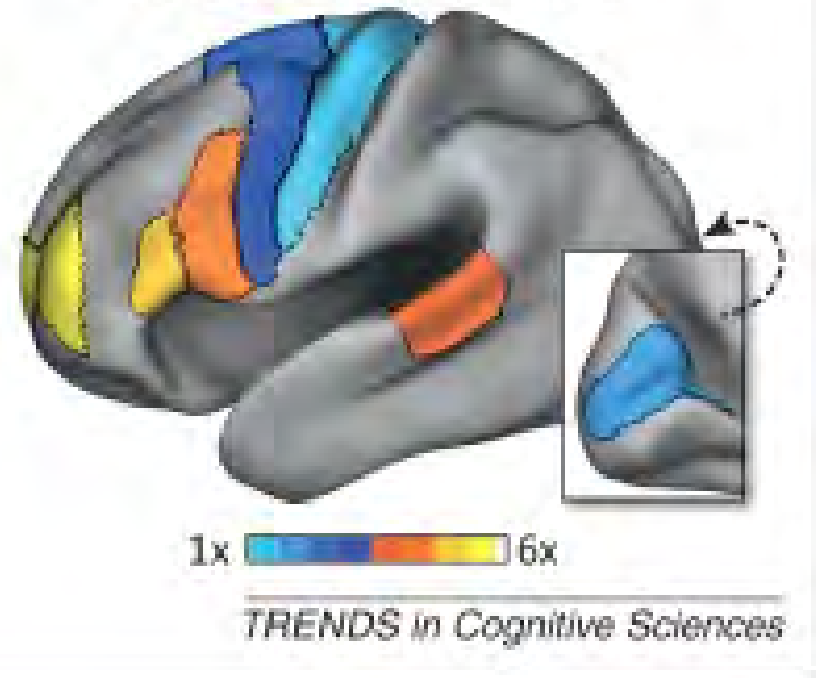


[ligne de temps pas à l'échelle]



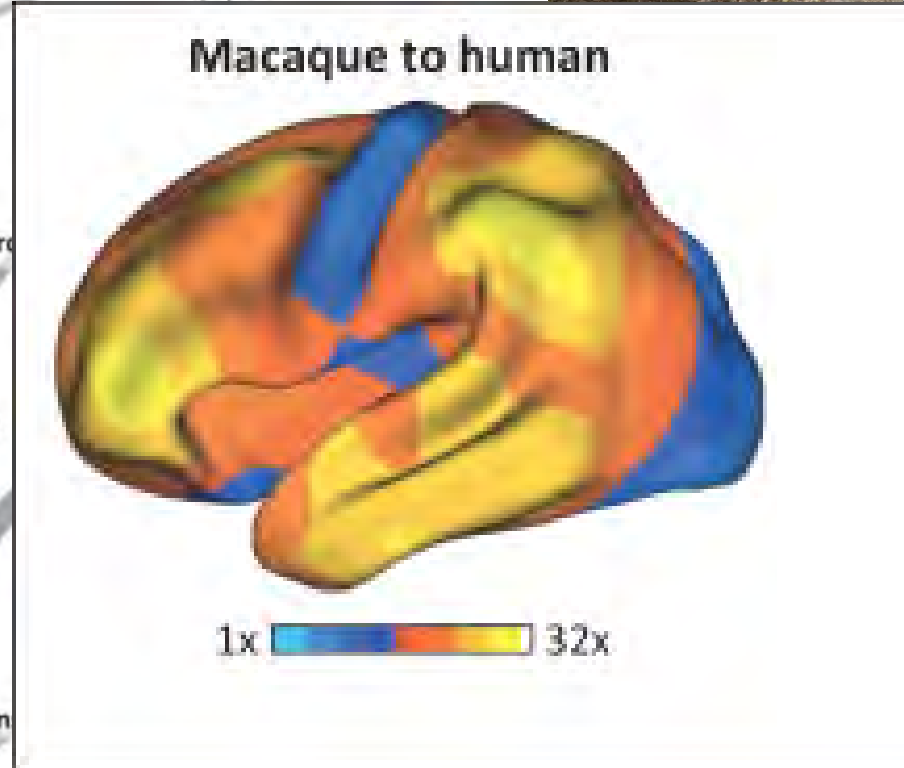


### Chimpanzee to human

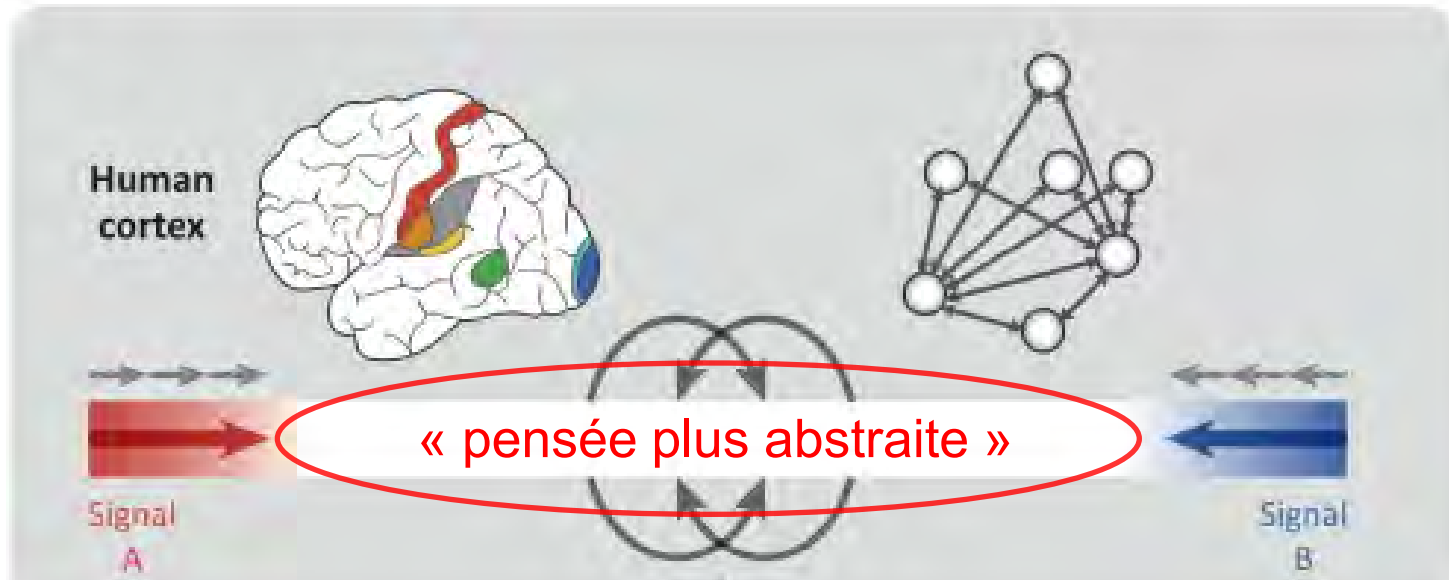


Ancêtre commun :  
environ 6-7 millions d'années

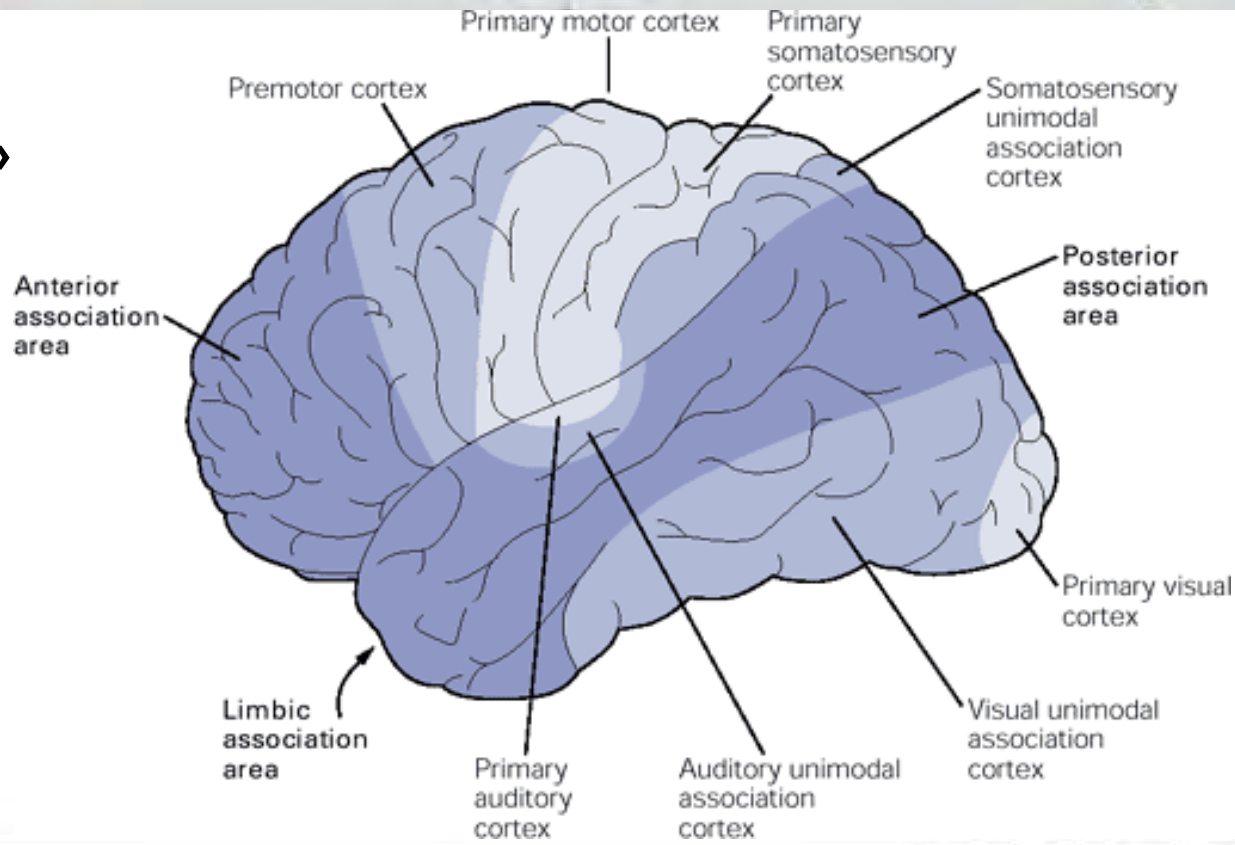
### Macaque to human



Ancêtre commun :  
environ 25 millions d'années



## Cortex « associatif »





# 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



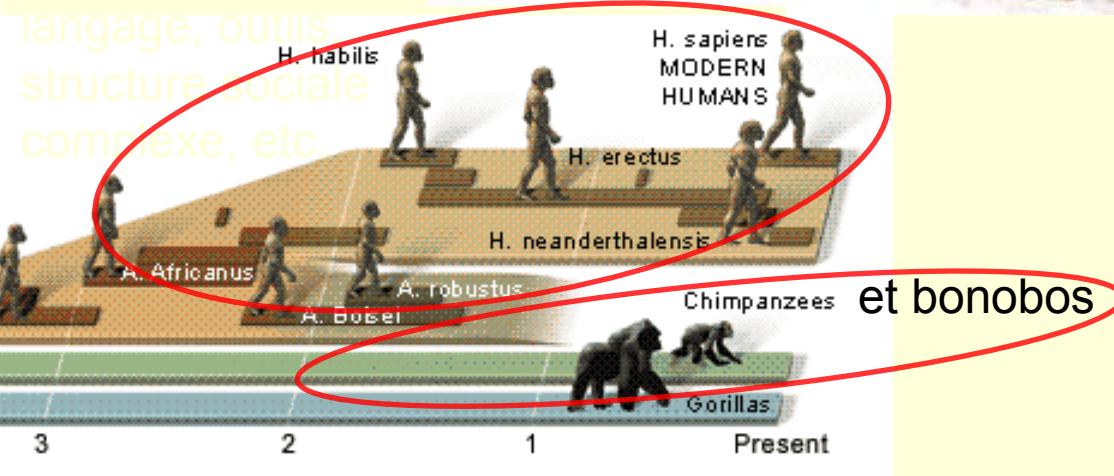
## L'hominisation,

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.



**CHIMPANZEE** vs **BONOBO**

**WHICH TEAM ARE YOU ON?**

War, violence & **MEN** rule

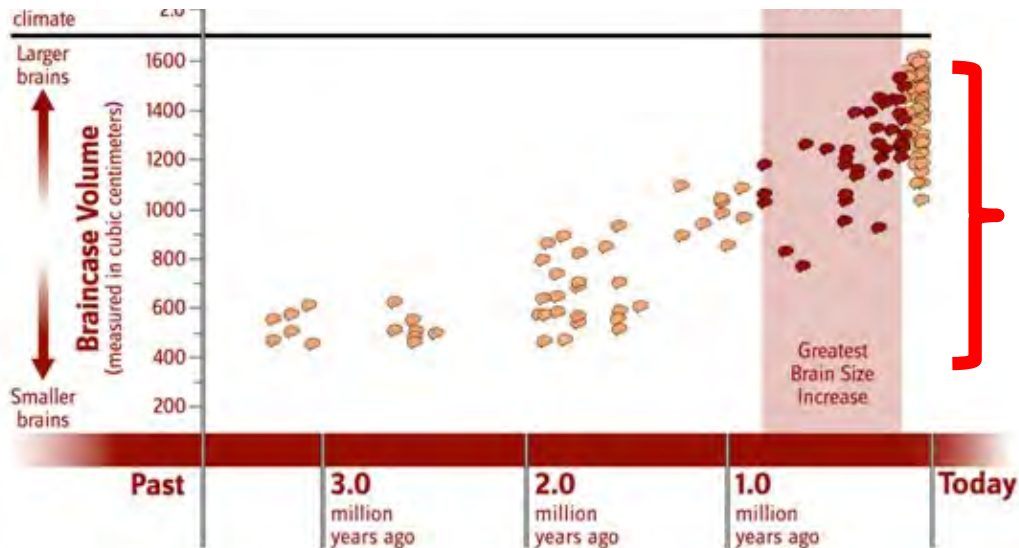
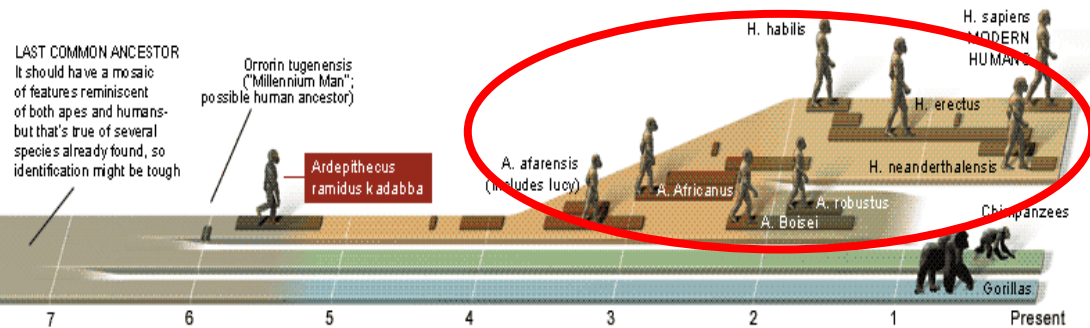
Peace, love & **WOMEN** rule



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

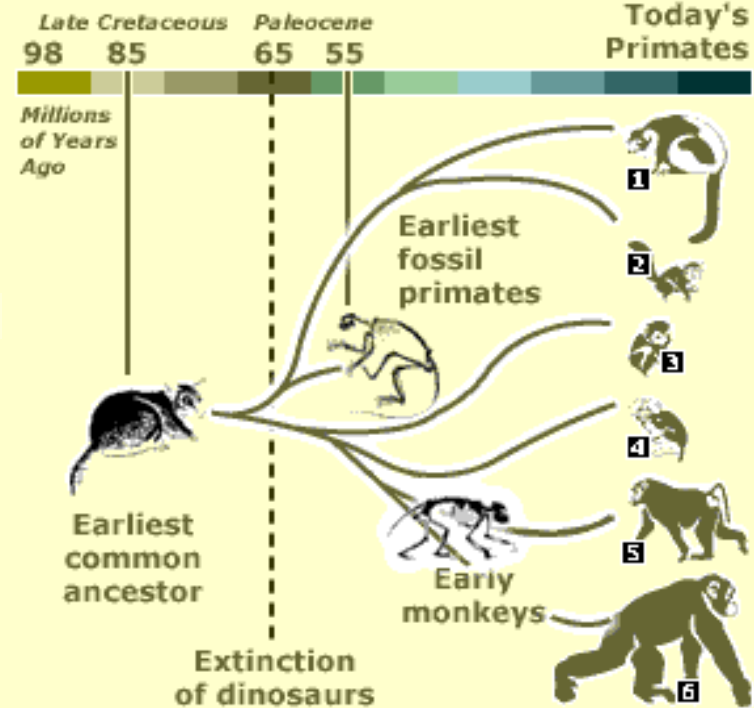
### A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

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 >>](#)



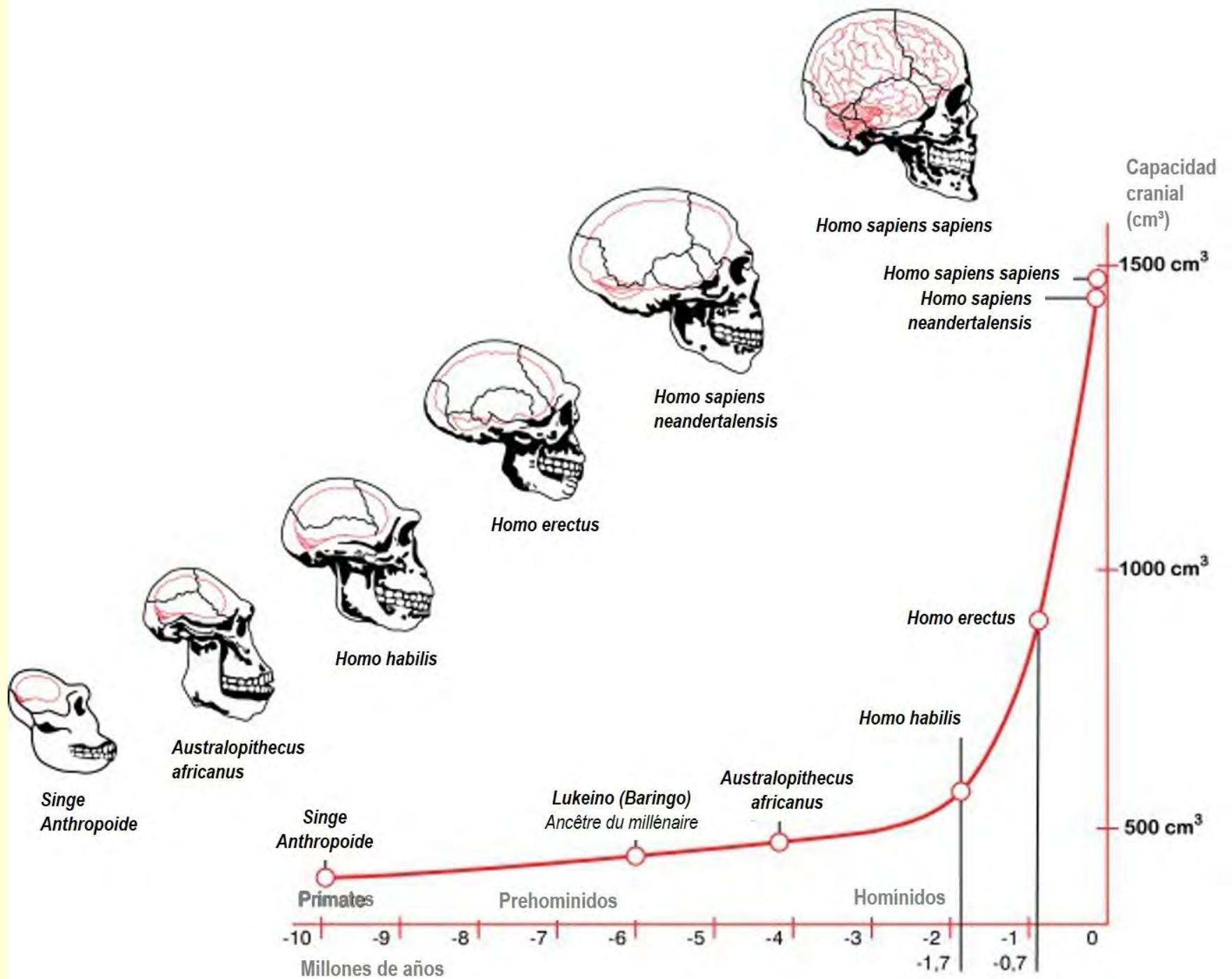
le cerveau des hominidés va **tripler** de volume

### New evolutionary tree for primates



KEY: 1. Lemurs 2. Lorises 3. Tarsiers 4. New World monkeys 5. Old World monkeys 6. Apes & humans

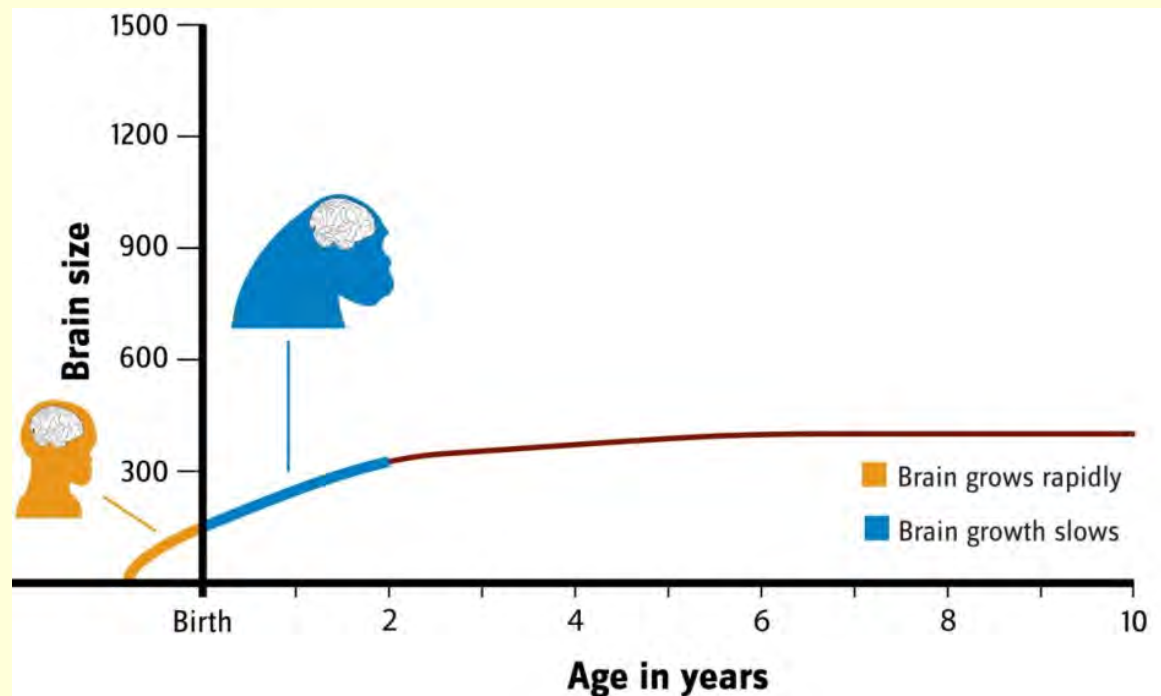
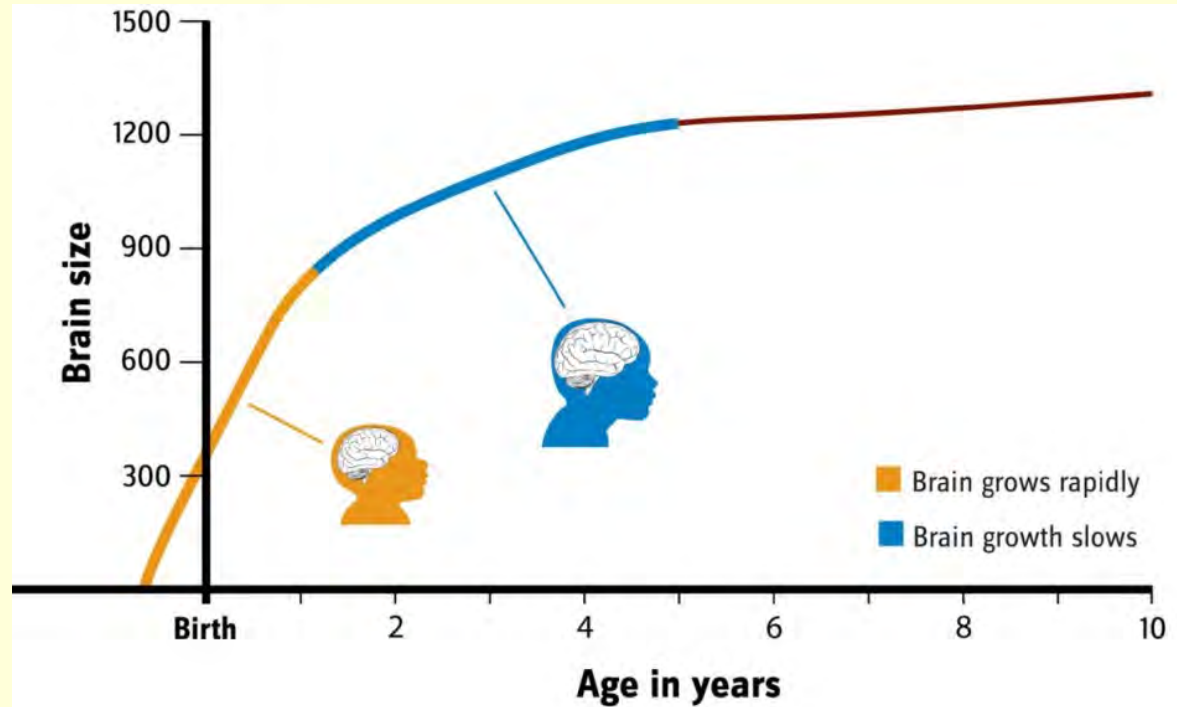
par rapport à celui qu'il avait acquis en **60 millions d'années** d'évolution des primates.



À cause de ce volume cérébral trois fois plus grand, le bébé humain naît à un stade relativement **inachevé** de son développement : il est de loin **le moins précoce de tous les primates** (« néoténie »).

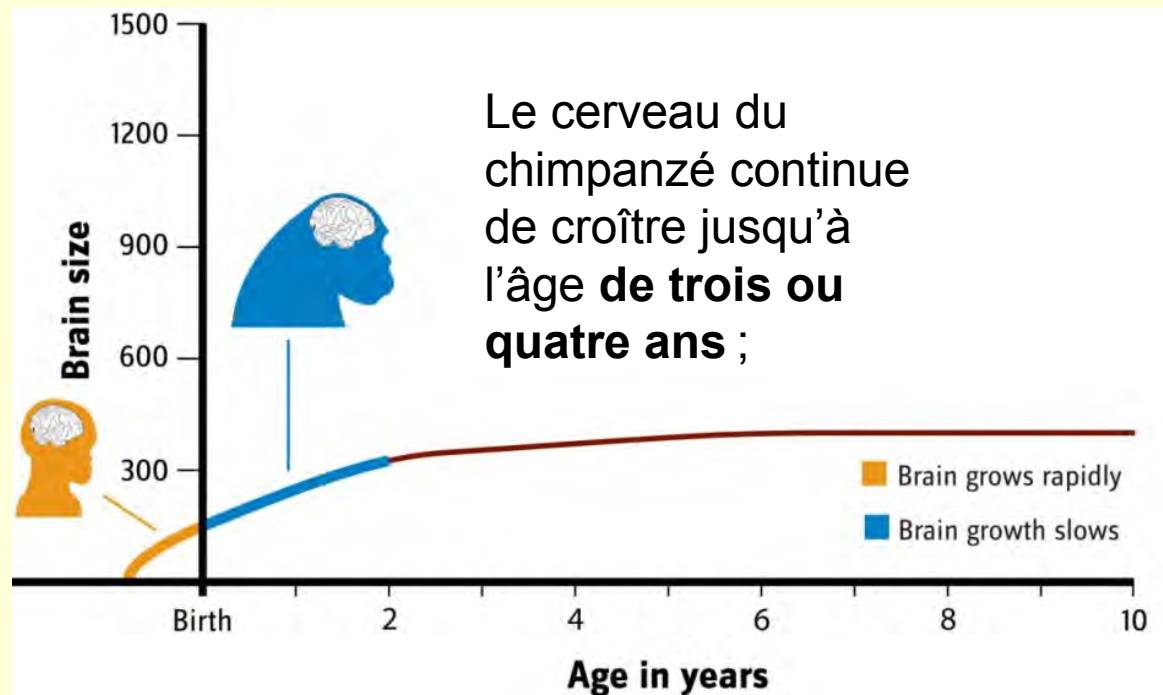
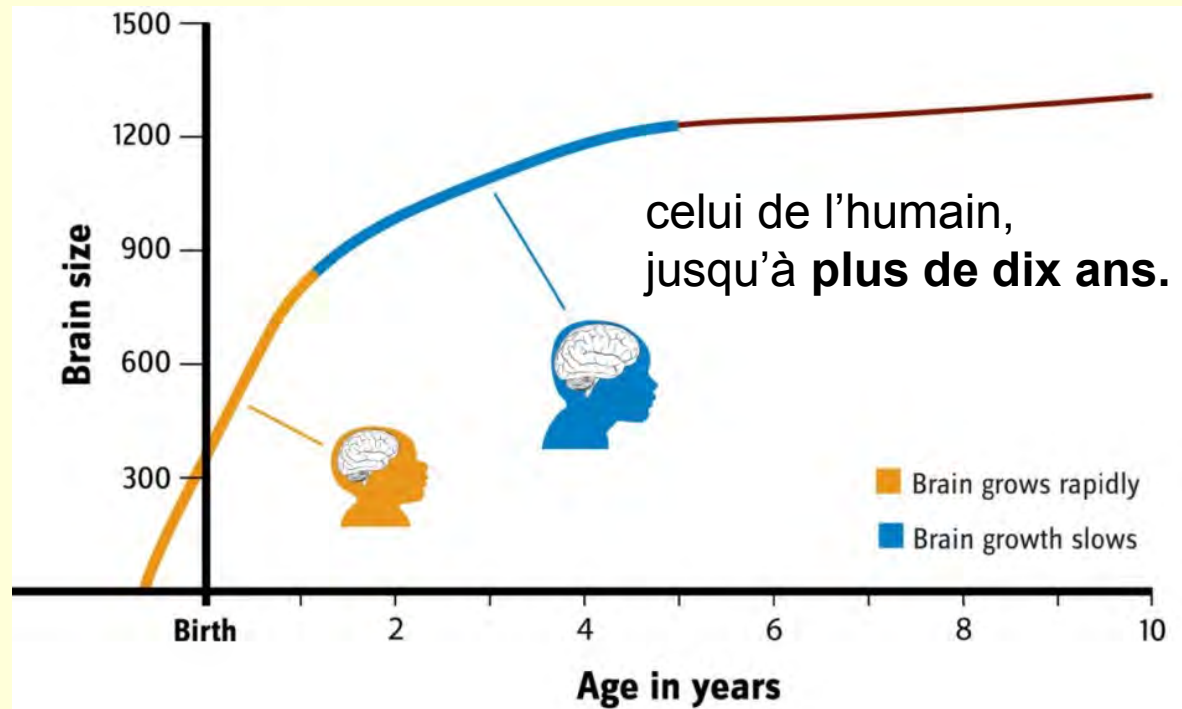
À la naissance, le cerveau humain ne représente que **25 %** du volume qu'il atteindra à l'âge adulte.

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



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

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



À cause de la 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 d'une progéniture à développement lent jusque tard dans l'adolescence, il arrive fréquemment qu'elles élèvent et approvisionnent **plusieurs enfants dépendants simultanément.**

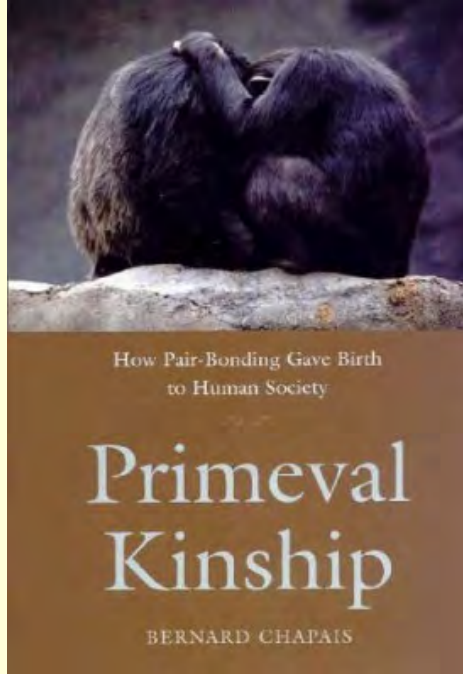


L'approvisionnement des enfants, passé l'âge du sevrage, n'existe pas chez les autres primates.

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

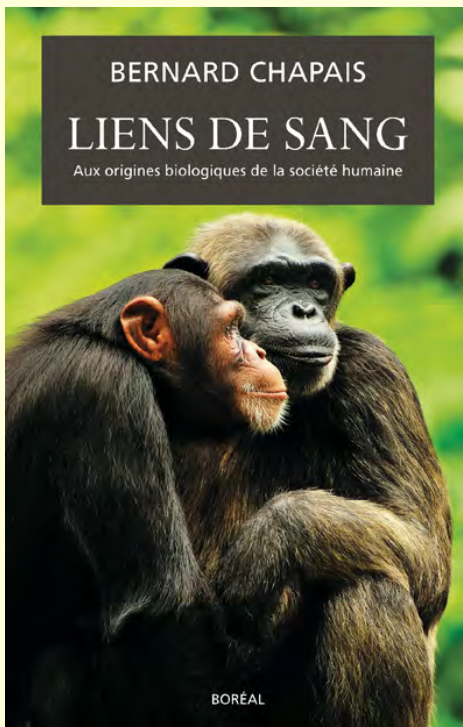
Dans ce contexte, **la contribution du père aux soins parentaux** chez l'humain va prendre tout son sens...





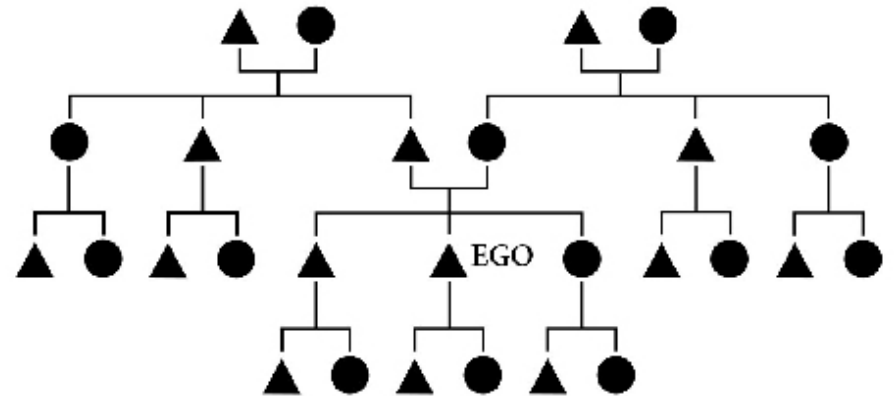
Ce qui précède et ce qui va suivre est tiré des travaux de l'anthropologue et primatologue montréalais **Bernard Chapais** dont vous pouvez lire une synthèse remarquable dans ses livres **Primeval Kinship** (2008) et **Liens de sang** (2015).

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

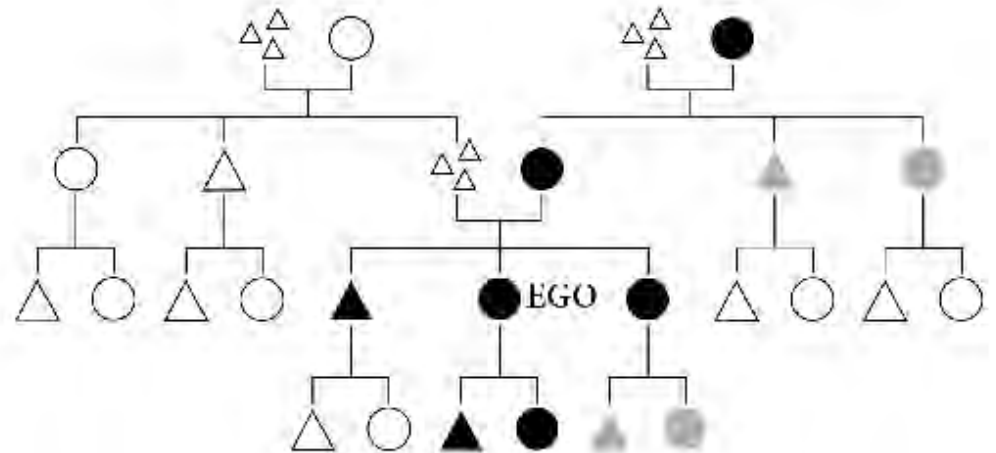


Concrètement, cela a amené la formation d'un **couple monogame stable** durant plusieurs années qui va ainsi distinguer l'espèce humaine de ses plus proches cousins (chimpanzés et bonobos).

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



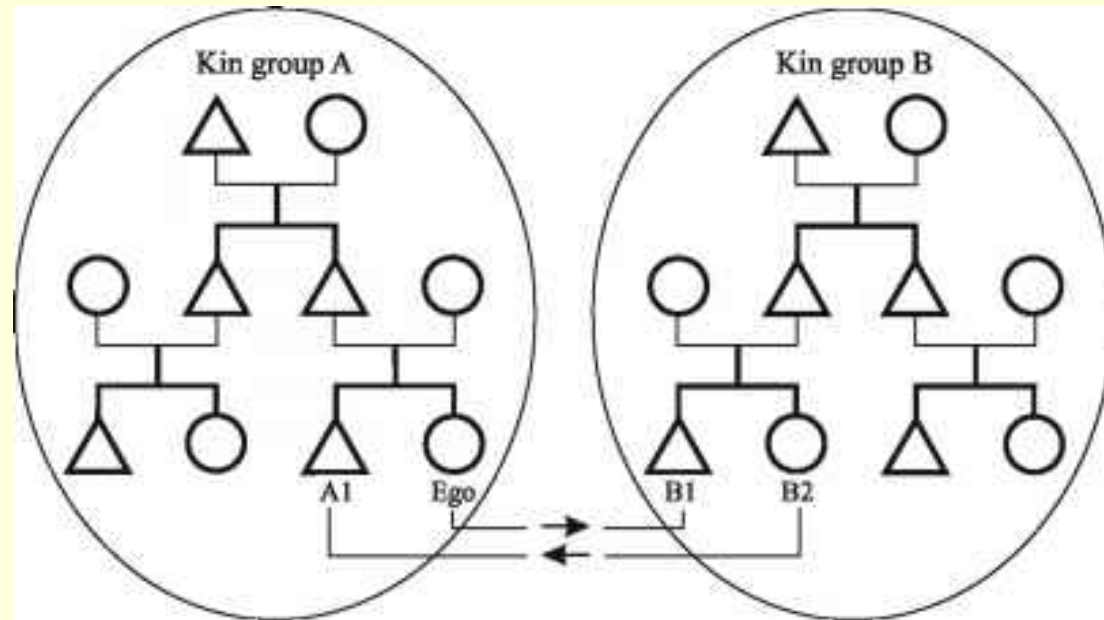
Car cela n'est pas le cas chez les autres primates (les chimpanzés par exemple où la promiscuité sexuelle fait en sorte que les petits, élevés par leur mère, ne savent pas qui est leur père).



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

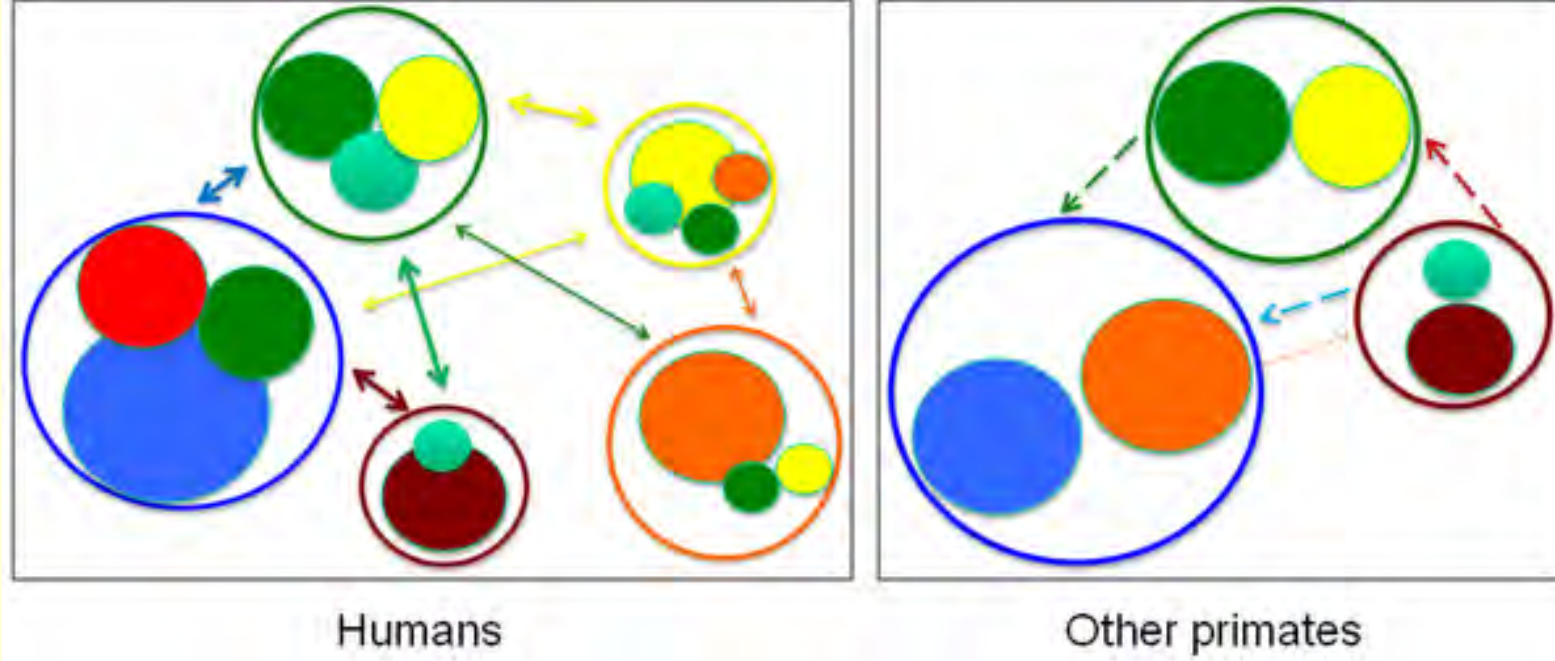
mais qui, dans les groupes humains formés de couples monogames apparentés, va amener **l'exogamie reproductive**,

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).



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

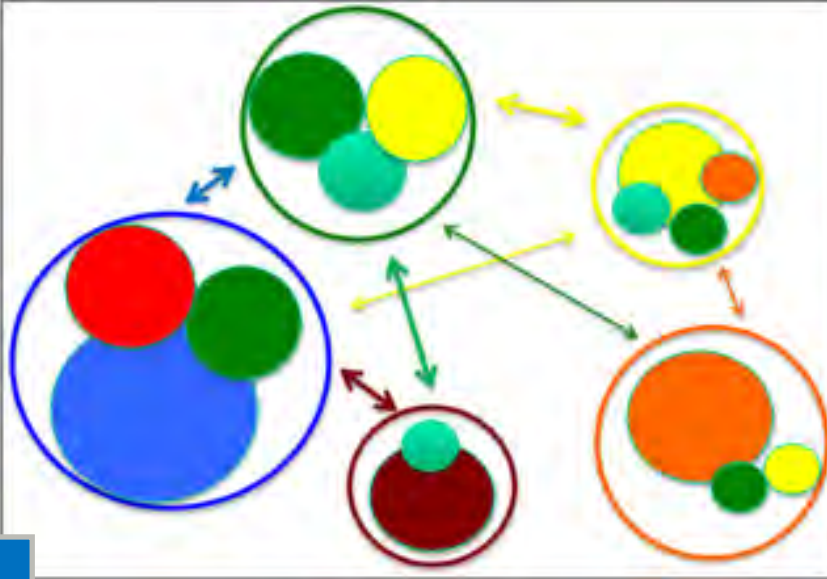
- inclut l'échange de partenaires sexuels, de biens et de services (flèches bi-directionnelles),
- implique de multiples lignées de parenté (cercles pleins) existant souvent dans des communautés résidentielles multiples (cercles ouverts).

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

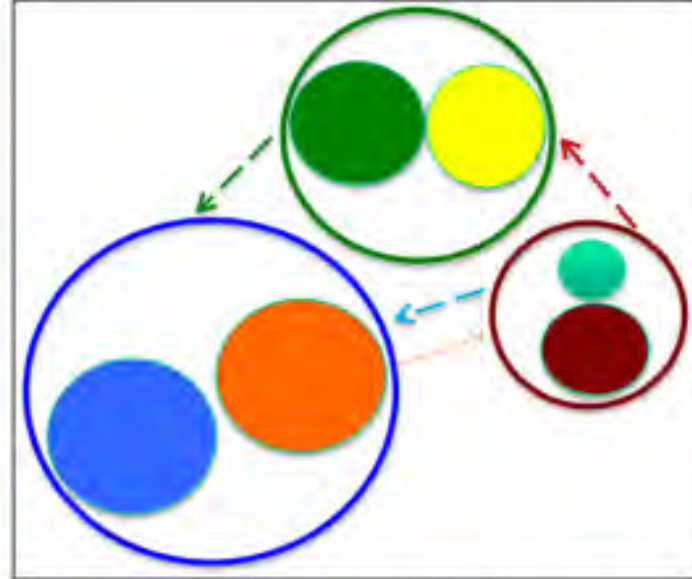
Au contraire, chez les autres primates, mâles ou femelles émigrent (flèches pointillées).

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...



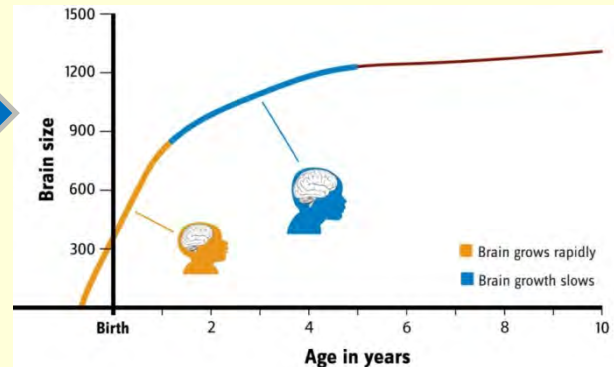
Humans



Other primates

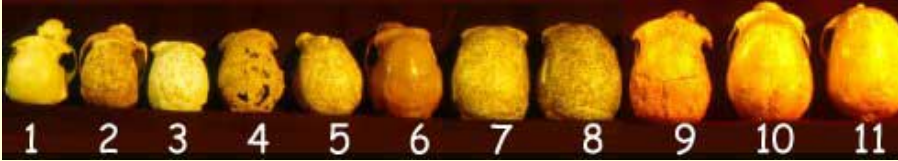


Mais gros cerveau car mature tard...



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

- 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



Plusieurs phénomènes sont probablement agi de concert (et sont encore débattus) pour expliquer l'origine de l'expansion cérébrale spectaculaire chez l'humain :

- les **règles sociales complexes** (un plus gros cerveau aide à assimiler des conduites sociales complexes);
- 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/> )
- le **langage** (plusieurs pensent qu'il s'agit d'une adaptation survenue très tôt chez les hominidés).

## Apparition du langage :

Nouvelles régions ? Agrandissement d'anciennes régions ?

Réutilisation de certaines régions ou parties de réseaux cérébraux ?

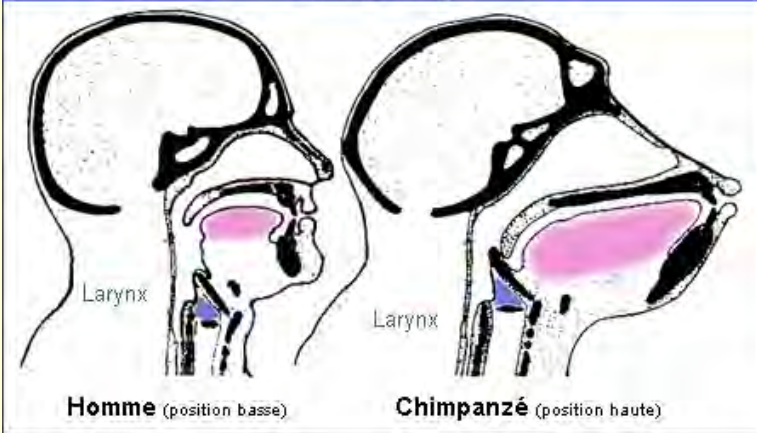


### TALKING THE TALK

Macaques diverged from human ancestors 30 million years ago, and their brains have simple language regions. Chimps split off 7 million years ago and have better speech centers

### TOP OF THE LINE

Nothing drives complex societies like language, and the key to human prolixity is the arcuate fasciculus, which weaves together the various brain regions that govern speech

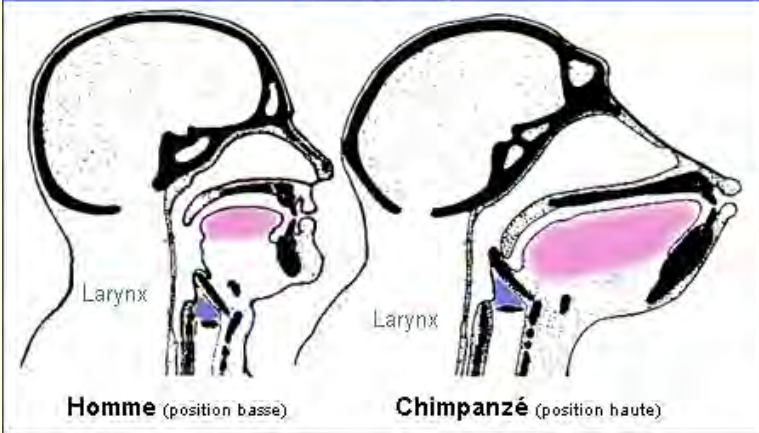


C'est l'***Homo habilis***, il y a plus de deux millions d'années, qui pourrait être le plus ancien préhumain à avoir employé un langage articulé, ce qui ne signifie pas pour autant que son langage était comparable au nôtre.

On suppose aussi la présence d'une proto-langue chez l'homme et la femme de **Néandertal** qui, au niveau actuel des connaissances, ne possédait pas de syntaxe.

Avec **Homo sapiens** apparaît l'aire de Broca sur une circonvolution frontale gauche, et celle de Wernicke sur une circonvolution temporale gauche, suivant la mutation génétique d'un ou de plusieurs gènes (FOXP2 ...), il y a cent à deux cent mille ans, donnant la capacité de passer des mots à la syntaxe.





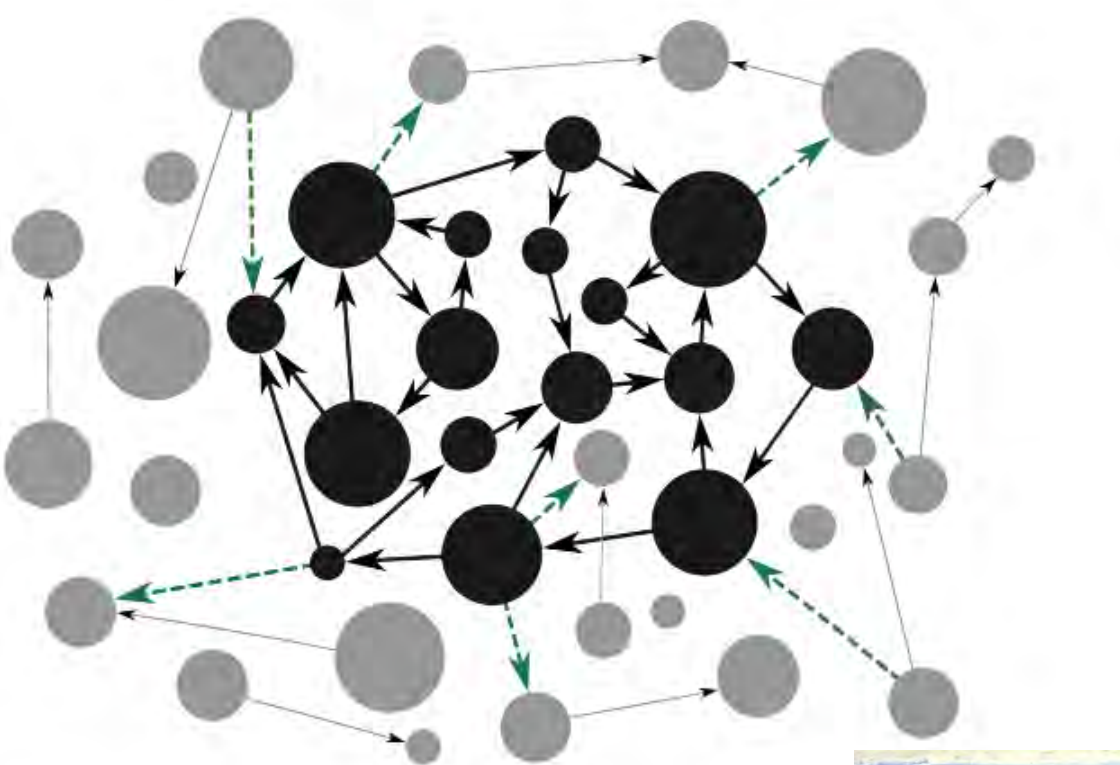
« Les mots [...] sont des indices pour coordonner des actions par le langage. »  
(L'arbre de la connaissance, p.228)

« Ce qui est pertinent est la **coordination d'actions** [que les langues] provoquent



Samuel Veissière Ph.D. (Nov 30, 2016)  
**Vanishing Grandmothers and the Decline of Empathy**  
<https://www.psychologytoday.com/blog/culture-mind-and-brain/201611/vanishing-grandmothers-and-the-decline-empathy>






**En noir** : un groupe social humain

dont les différents individus interagissent préférentiellement entre eux

(mais c'est toujours un « système ouvert » du point de vue thermodynamique)

 Copyright Ezequiel Di Paolo, 2013. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial license. [http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en\\_US](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en_US)

<http://www.gaillard-systemique.com/autopoiese-varela>





Mais le soir, quand la **maîtrise du feu** a permis d'allonger le temps d'éveil, on peut utiliser le langage pour se raconter des histoires...



samedi 18 juillet **2015**

## La glace et le feu

<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-la-glace-et-le-feu-0>

## Argile du passé (2)

<http://www.franceinter.fr/player/reecouter?play=1188741>

...et représenter ces récits par des peintures.



**Anatomiquement**, notre espèce Homo sapiens apparaît il y a au moins **200 000 ans**, mais du point de vue **comportemental**, on parle de **40 000 à 50 000 ans**.



**Les plus anciennes peintures rupestres figuratives** : grottes de l'île de Sulawesi, Indonésie, il y a environ **40 000 ans**

**09/10/2014**

[http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/a/actuelles-plus-anciennes-peintures-rupestres-decouvertes-en-asie-33383.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/actuelles-plus-anciennes-peintures-rupestres-decouvertes-en-asie-33383.php)



**Grotte Chauvet**, en France, il y a plus de **30.000 ans**

**08/05/2012**

<http://www.lefigaro.fr/sciences/2012/05/07/01008-20120507ARTFIG00738-grotte-chauvet-la-plus-ancienne-au-monde.php>

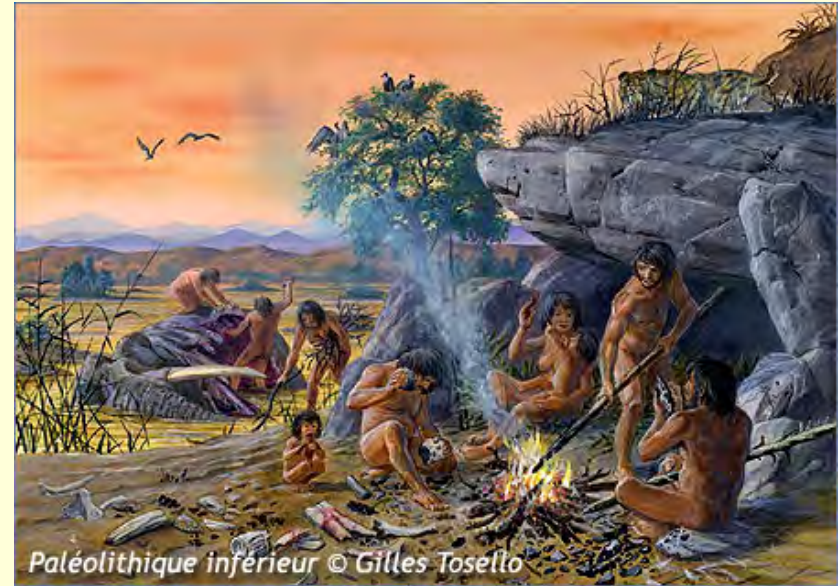


**Grotte de Lascaux** : il y a **17 000 – 18 000 ans**

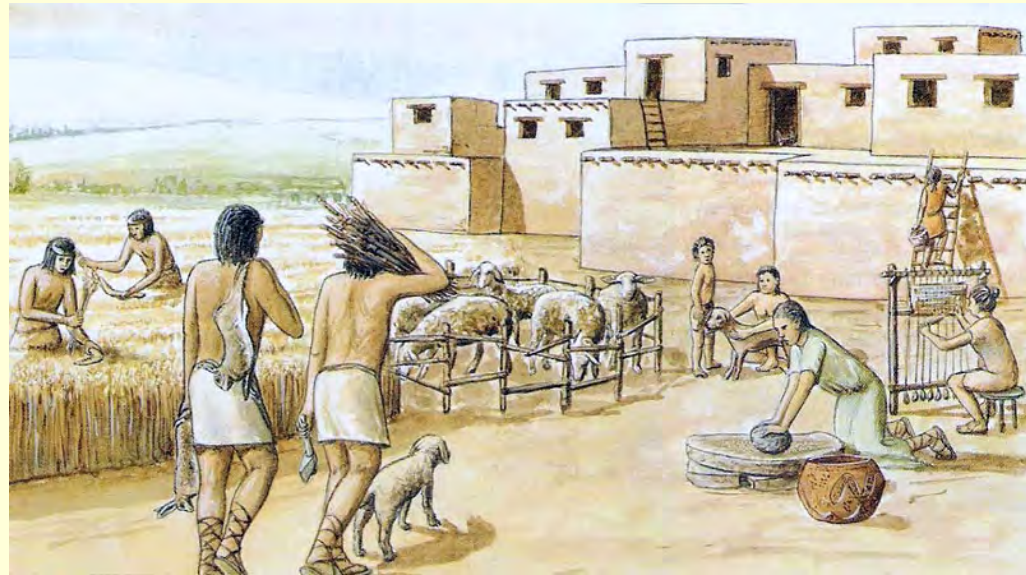
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Grotte\\_de\\_Lascaux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Grotte_de_Lascaux)



Commencé avec l'apparition de la première espèce du genre Homo, *Homo habilis*, il y a environ trois millions d'années, le **paléolithique** s'achève il y a **environ 10 000 ans**.

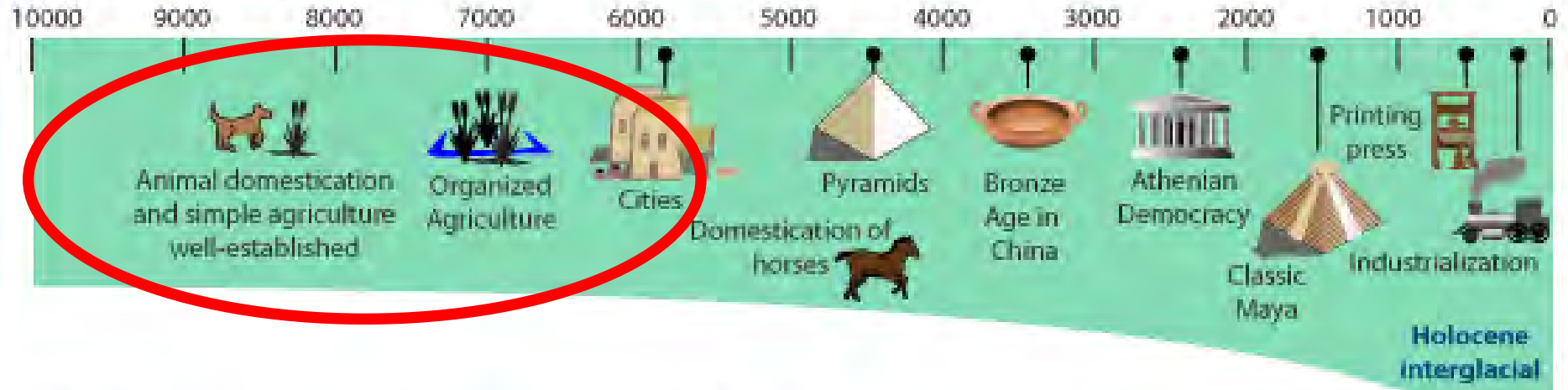


À partir de là débute le **néolithique**, c'est-à-dire la sédentarisation



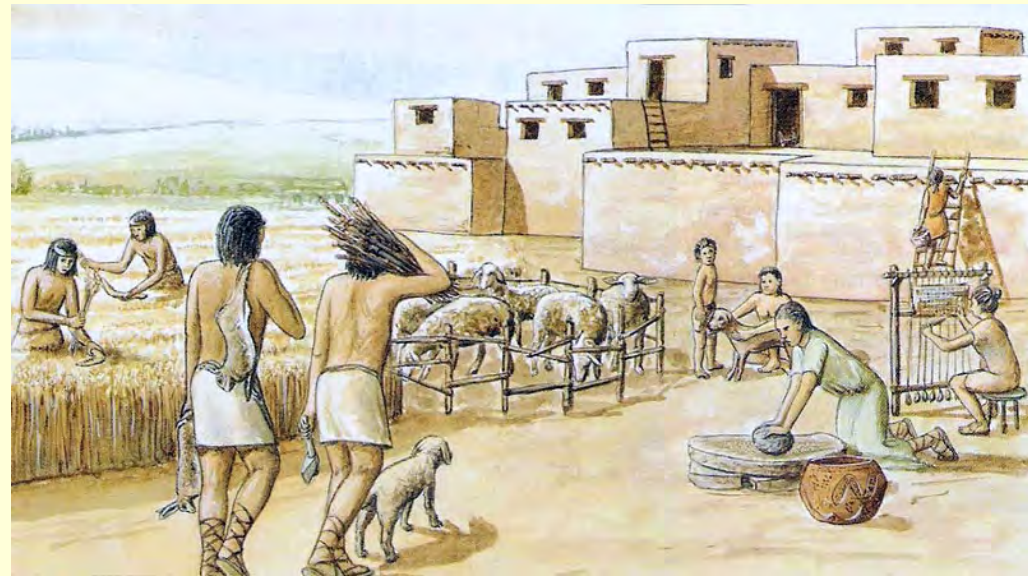
# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



À partir de là débute le **néolithique**,  
c'est-à-dire la sédentarisation

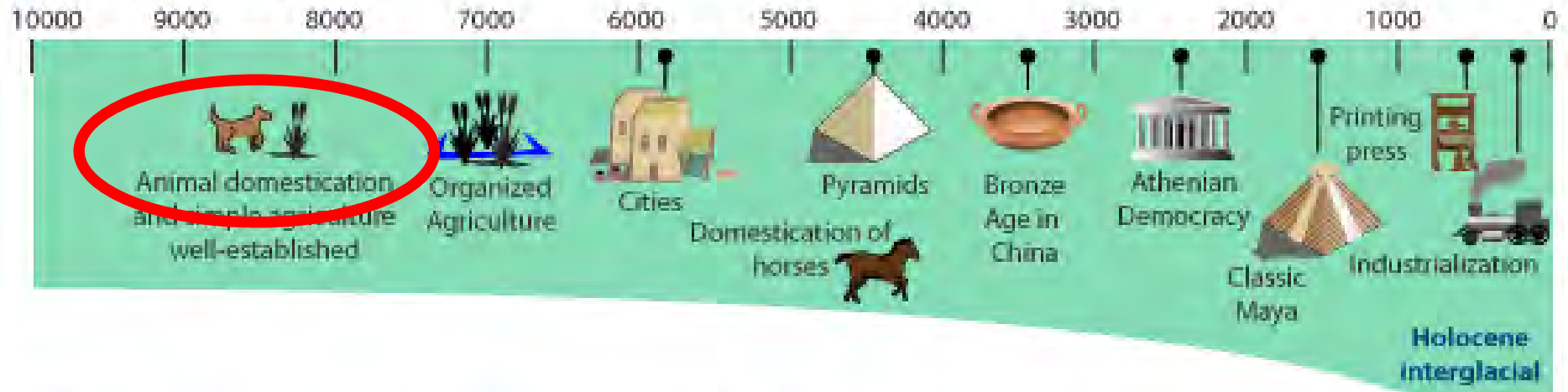
et le début de la **domestication**  
animale et de **l'agriculture**.



Un niveau de complexité supplémentaire va s'ajouter  
avec le phénomène de **co-évolution gène-culture**

# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



Exemple classique : la pratique culturellement transmise de **l'élevage** qui a favorisé la transmission d'allèles de gènes pour la **tolérance au lactose** dans certaines populations humaines.

par Jean-Claude Ameisen  
le samedi de 11h05 à 12h

**inter** **sur les épaules de Darwin**

accueil  
écoutez le direct  
programmes  
émissions  
chroniques

**A la découverte de Neandertal en nous...**  
<http://www.franceinter.fr/player/reecouter?play=879632>

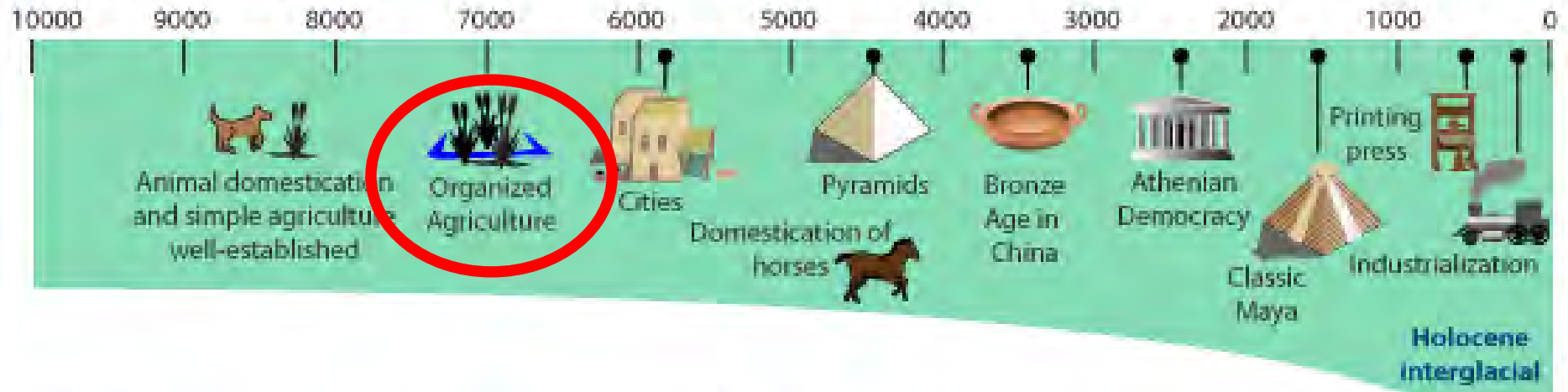
**Apprivoiser la nature**  
<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-apprivoiser-la-nature>

**Aux origines de l'agriculture**  
<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-aux-origines-de-lagriculture>

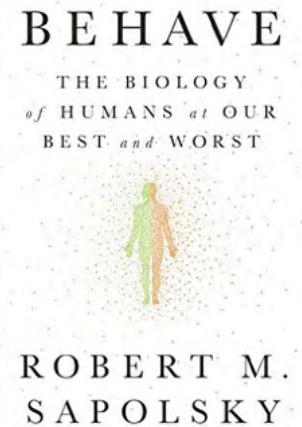


# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



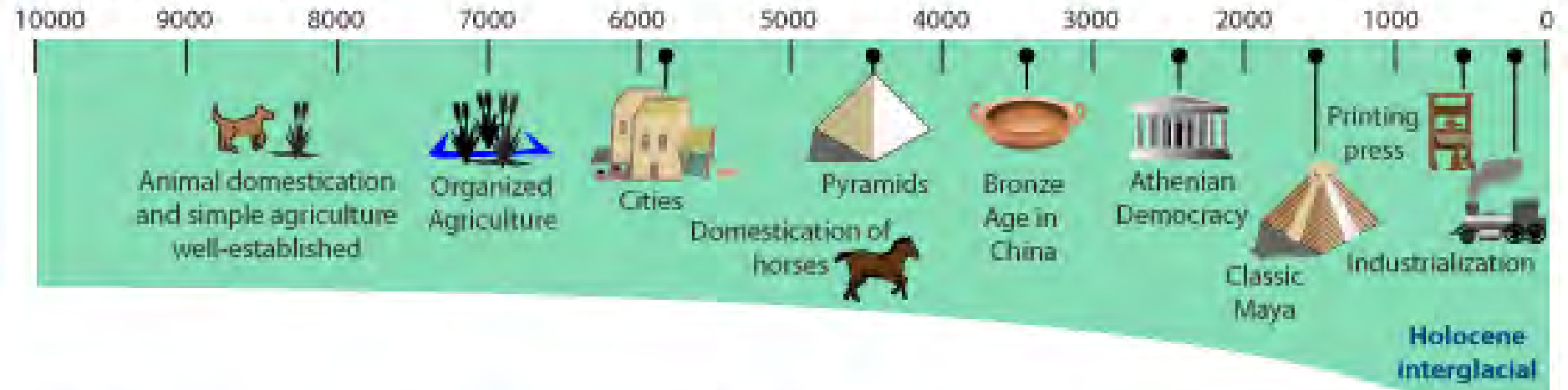
Exemple classique : la pratique culturellement transmise de **l'élevage** qui a favorisé la transmission d'allèles de gènes pour la **tolérance au lactose** dans certaines populations humaines.



Autre exemple : la culture du riz en Asie nécessite des efforts collectifs. Une pression sélective semble avoir joué contre le gène de type 7R du récepteur à la dopamine, qui est une **variante connue pour favoriser l'impulsivité** que l'on retrouve beaucoup **moins** dans les cultures **collectivistes** asiatiques.

# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



Des centaines de gènes humains **évoluent probablement encore** en réponse à une pression sélective venant de pratiques culturelles...

# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



Le néolithique s'achève il y a environ 5 – 6 000 ans avec l'invention de **l'écriture**...

...et qui inaugure ce qu'on appelle **l'Histoire**.





Et nous voilà donc aujourd'hui avec 7,5 milliards d'Homo sapiens partout sur la Terre avec des milliers de **cultures** différentes.





Et nous voilà donc aujourd'hui avec 7,5 milliards d'Homo sapiens partout sur la Terre avec des **milliers de cultures différentes.**

« Culture is how we do and think about things, transmitted by nongenetic means. »

- Frans de Waal

Deux choses sont alors évidentes : les **similarités** et les **différences...**

# D'abord les similarités :

## extrait de la liste des universaux humains de Donald Brown (1991)

conflict, consultation to deal with	dream interpretation	future, attempts to predict	language employed to manipulate others	marriage	onomatopoeia
conflict, means of dealing with	economic inequalities	generosity admired	language employed to misinform or mislead	materialism	overestimating objectivity of thought
conflict, mediation of	economic inequalities, consciousness of	gestures	language is translatable	meal times	pain
conjectural reasoning	emotions	gift giving	language not a simple reflection of reality	meaning, most units of are non-universal	past/present/future
containers	empathy	good and bad distinguished	language, prestige from proficient use of	measuring	person, concept of
continua (ordering as cognitive pattern)	entification (treating patients and relations as things)	gossip	law (rights and obligations)	medicine	personal names
contrasting marked and nonmarked sememes (meaningful elements in language)	environment, adjustments to	government	law (rules of membership)	melody	phonemes
cooking	envy	grammar	leaders	memory	phonemes defined by sets of minimally contrasting features
cooperation	envy, symbolic means of coping with	group living	lever	metaphor	phonemes, merging of phonemes, range from 10 to 70 in number
cooperative labor	ethnocentrism	groups that are not based on family	linguistic redundancy	metonym	phonemic change, inevitability of
copulation normally conducted in privacy	etiquette	hairstyles	logical notions	mood- or consciousness-altering techniques and/or substances	phonemic change, inevitability of
corporate (perpetual) statuses	explanation	hand (word for)	logical notion of "and"	morphemes	phonemic change, rules of phonemic system
coyness display	face (word for)	healing the sick (or attempting to)	logical notion of "equivalent"	mother normally has consort during child-rearing years	planning
crying	facial communication	hospitality	logical notion of "general/particular"	murder proscribed	planning for future
cultural variability	facial expression of anger	hygienic care	logical notion of "not"	music	play
culture	facial expression of contempt	identity, collective	logical notion of "opposite"	music, children's	play to perfect skills
culture/nature distinction	facial expression of disgust	incest between mother and son unthinkable or tabooed	logical notion of "part/whole"	music related in part to dance	poetry/rhetoric
customary greetings	facial expression of fear	incest, prevention or avoidance	logical notion of "same"	music related in part to religious activity	poetic line, uniform length range
daily routines	facial expression of happiness	in-group distinguished from out-group(s)	magic	music seen as art (a creation)	poetic lines characterized by repetition and variation
dance	facial expression of sadness	in-group, biases in favor of	magic to increase life	music, vocal	poetic lines demarcated by pauses
death rituals	facial expression of surprise	inheritance rules	magic to sustain life	music, vocal, includes speech forms	polysemy (one word has several related meanings)
decision making	facial expressions, masking/modifying of	insulting	magic to win love	musical redundancy	possessive, intimate
decision making, collective	family (or household)	intention	male and female and adult and child seen as having different natures	musical repetition	possessive, loose
directions, giving of	father and mother, separate kin terms for	interest in bioforms (living things or things that resemble them)	males dominate public/political realm	musical variation	practice to improve skills
discrepancies between speech, thought, and action	fears	interpreting behavior	males more aggressive	myths	preference for own children and close kin (nepotism)
dispersed groups	fears, ability to overcome some	intertwining (e.g., weaving)	males more prone to lethal violence	narrative	prestige inequalities
distinguishing right and wrong	feasting	jokes	males more prone to theft	nomenclature (perhaps the same as classification)	private inner life
diurnality	females do more direct childcare	kin, close distinguished from distant	manipulate social relations	nonbodily decorative art	promise
divination	figurative speech	kin groups	marking at phonemic, syntactic, and lexical levels	normal distinguished from abnormal states	pronouns
division of labor	fire	kin terms translatable by basic relations of procreation		nouns	pronouns, minimum two numbers
division of labor by age	folklore	kinship statuses		numerals (counting)	pronouns, minimum three persons
division of labor by sex	food preferences	language		Oedipus complex	
dreams	food sharing			oligarchy (de facto)	
				one (numeral)	



Car derrière la  
très grande  
**diversité**  
**des cultures**  
humaines, on  
peut mettre en  
évidence des  
« **universaux**  
**humains** »





Tout comme derrière les différentes **enluminures** ou les différents **verniss culturels...**







B



...il y a des structures profondes communes.

Et en offrant un cadre de référence extérieur (i.e. les autres espèces de primates), la **primatologie** nous aide à discerner les universaux typiquement humains voilés par les différents **verniss culturels**.



A

B

C

Et en offrant un cadre de référence extérieur (i.e. les autres espèces de primates), la **primatologie** nous aide à discerner les universaux typiquement humains voilés par les différents **verniss culturels**.



Un comportement humain complexe peut donc être compris comme quelque chose qui émerge d'une **combinaison de comportements plus élémentaires** présents chez d'autres espèces de primates (à laquelle s'ajoute parfois des **traits spécifiques à l'humain**).

Un trait comportemental humain a donc toujours une base biologique composite mais qui va toujours se manifester avec un **enrobage culturel particulier** pour une société donnée.

Prenons l'exemple d'un comportement dont nous faisons usage quotidiennement : notre capacité d'influencer les autres avec des mots (ce que les experts appellent le « **contrôle instructionnel d'autrui** »).

→ Ce que j'essaie de faire en ce moment, ce qu'on fait avec nos enfants, ce que l'éducation essaie de faire en général, ce que les politicien.nes font, etc.

Pour pouvoir orienter ou déterminer le comportement de quelqu'un d'autre en émettant des souhaits, des directives ou des instructions spécifiques, il faut :

1) bien sûr la capacité de formuler des désirs, des ordres ou des instructions grâce au langage. Cette caractéristique est proprement humaine.

La faculté symbolique embryonnaire du chimpanzé ne lui permet pas de formuler des directives.

2) la faculté de connaître les intentions, les pensées et les croyances des autres, et donc de tenter d'influencer celles-ci.

Cette faculté, appelée **théorie de l'esprit**, est présente mais moins développée chez les autres primates.

3) et un facteur facilitant est l'existence d'asymétries de pouvoir entre individus, quelle que soit la source du pouvoir. Présent à divers degrés chez tous les primates (puissance physique, contrôle des ressources, autorité morale, etc.).

Il faut rappeler ici que pour ceux qui étudient les comportements sociaux des animaux en général, **les autres ne sont souvent qu'un moyen d'obtenir des ressources...**

Chez les primates non humains donc, un individu dominant peut permettre à un subordonné de faire quelque chose ou l'en empêcher, **mais il ne peut pas l'inciter à faire quelque chose de précis.** Il va, par exemple, simplement manger avant lui.

Mais une fois le langage et la théorie de l'esprit bien en place chez les hominins, tout individu est devenu capable d'orienter les pensées, les croyances et les comportements d'individus moins puissants ou plus dépendants que lui, toujours de manière à satisfaire ses propres intérêts...

Les relations sociales venaient d'accomplir un bond prodigieux sur le plan de la complexité !

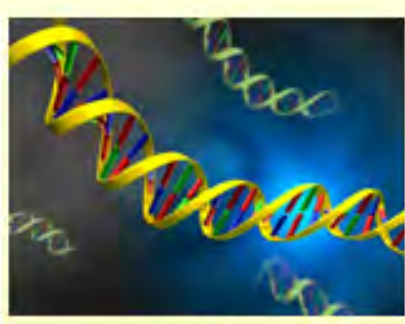
Et l'une des catégories de relations sociales qui se sont sans doute le mieux prêtées au contrôle d'autrui est justement **la relation parent-enfant**

(entre autres à cause de la différence d'âge marquée entre les parents et leurs enfants, du degré élevé de dépendance affective et économique des enfants envers leurs parents et de la durée prolongée de cette dépendance).

Dorénavant, les parents pouvaient **verbalement** amener leurs enfants à accomplir diverses tâches domestiques, à s'occuper de leurs frères et de leurs sœurs plus jeunes, à participer aux activités de subsistance, etc.

Ils pouvaient surtout leur offrir **conseils et enseignements** dans divers domaines de compétences, leur **transmettre des croyances multiples**, s'opposer à ce qu'ils épousent un partenaire en particulier, et ainsi de suite.

La **transmission culturelle** pouvait prendre son essor...



Les humains partagent tous une même psychologie unitaire, propre à l'espèce, qui comprend de nombreuses **capacités cognitives et systèmes motivationnels et émotionnels.**



Au sein des différentes sociétés, les humains font face aux mêmes défis socioécologiques (élever leurs enfants, évaluer leur fiancé.e, angoisse devant la mort, etc.)



D'où l'émergence d'un **répertoire comportemental universel** de l'espèce humaine.

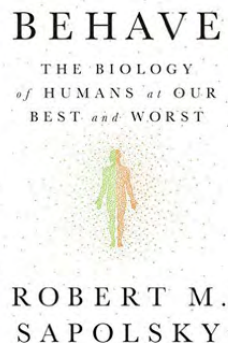
Mais il y a aussi de grande **différences** entre les cultures





- Une femme née à Monaco a une espérance de vie de 93 ans; celles nées en Angola seulement de 39 ans;
- Latvia (entre la Lituanie et l'Estonie) a un taux d'alphabétisation de 99.9%; au Niger c'est 19%;
- Plus de 10% des enfants nés en Afghanistan meurent durant leur première année; seulement 0,2 en Islande;
- Quelqu'un au Honduras est 450 fois plus à risque d'être assassiné que quelqu'un de Singapour.
- 65% des femmes en Afrique centrale subissent des violences conjugales; en Asie de l'est c'est 16%;
- Un enfant en Roumanie, Bulgarie ou Ukraine a environ 10 fois plus de probabilités de subir de l'intimidation à l'école qu'un enfant de Suède, Danemark ou Islande;
- Aux Philippines 93 % des gens se disent heureux et aimé, contre seulement 29% des arméniens;
- Etc...

Bref, votre vie serait immensément **différente** si vous étiez né dans une **autre culture**...



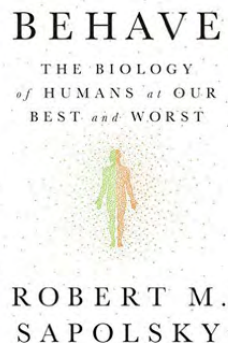
Exemple :

## Cultures **individualistes** (américaines...)

- Autonomie
  - Réalisation personnelle
  - Unicité
  - Besoins et droits individuels
- « Je suis professeur... je suis bon pour enseigner les maths... J'ai commencé à m'intéresser aux maths l'été de mes 14 ans... »

## versus **collectivistes** (est asiatiques...)

- Harmonie
  - Interdépendance
  - Conformité
  - Les besoins du groupe guident les comportements
- « Je suis le fils de Hao... J'ai été recruté comme prof parce que j'étais stagiaire au bon moment... Un peu avant l'été où nous sommes devenus amis... »



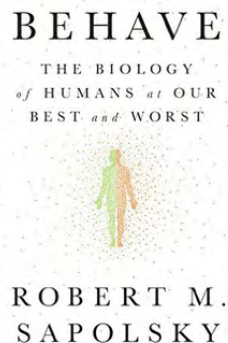
## Exemple : effets physiologiques

### Cultures **individualistes** (américaines...)

- Sécrètent glucocorticoïdes (hormone de stress) lorsque forcés de parler de quelqu'un qui les a aidé et influencé
- Sécrètent de la dopamine dans le système mésolimbique (associé à la quête de bien-être) lorsqu'ils voient un visage exprimer de l'excitation

### versus **collectivistes** (est asiatiques...)

- Sécrètent glucocorticoïdes (hormone de stress) lorsque forcés de parler de l'influence qu'ils ont eu sur quelqu'un
- Sécrètent de la dopamine dans le système mésolimbique (associé à la quête de bien-être) lorsqu'ils voient un visage calme



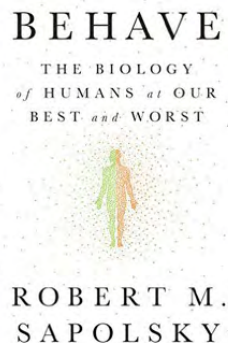
Exemple : effets cognitifs

Cultures **individualistes** (américaines...)

- - moins de « in-group biais »
- Lesquels « vont ensemble » entre : un singe, un ours et une banane ? Réponse par catégorie des occidentaux, donc singe et ours.
- Regarde d'abord le centre d'une image et cortex frontal travaille plus fort si on les force à regarder l'ensemble

versus **collectivistes** (est asiatiques...)

- Plus de de « in-group biais »
- Lesquels « vont ensemble » entre : un singe, un ours et une banane ? Réponse relationnelle des orientaux, donc singe et banane
- Regarde d'abord l'ensemble d'une image et cortex frontal travaille plus fort si on les force à regarder le centre



Les valeurs culturelles sont inculquées quand on est très jeune.

Elles orientent nos attitudes sur des choses comme le succès, la moralité, le bonheur, l'amour, etc.

Elles influencent même où nos yeux se posent sur une image et comment on catégorise le monde qui nous entoure...

Évidemment, tout cela est...

- « en moyenne »... grandes variations à l'intérieur d'une culture
- le fait de cultures qui sont dynamiques, donc changent avec le temps
- Beaucoup relatif à l'éducation, un asiatique naissant aux USA devenant plutôt individualiste...
- Mais il y a aussi des différences dans la fréquence de certains allèles de certains gènes...

Exemple : différences dans les origines des populations (et différences génétiques)

Cultures **individualistes** (américaines...)

Qui étaient les immigrants qui ont colonisé l'Amérique ? Des insatisfaits, des hérétiques, des moutons noirs, des hyperactifs, des misanthropes, des marginaux, des épris de liberté, des aspirants à la richesse, des fuyant leur vie monotone, etc.

La variante 7R du récepteur à la dopamine répond moins bien à ce neurotransmetteur dans le cortex et est associé à une plus grande recherche de nouveauté, de l'extroversion et de l'impulsivité. On retrouve cette variante 7R chez 23% des occidentaux (qui ont fait les plus grandes migrations de l'Histoire... et seulement 1% chez les asiatiques ! (peu importe la cause, sélection « contre » cette variante ici...)

versus **collectivistes** (est asiatiques...)

Qui étaient les ancêtres des est asiatiques actuels ? Des paysans qui cultivaient le riz. Et cultiver le riz requiert énormément de travail en commun. Pas seulement pour planter et récolter le riz. Mais aussi pour transformer tout l'écosystème en rizières, i.e. construire des systèmes complexes d'irrigation et de contrôle des niveaux d'eau dans les différentes terrasses. Et cela demande énormément de coopération. Et l'interdépendance sociale va générer une pensée holistique.

Autres exemples de grands facteurs culturels :

**« Nomadic pastoralists and southerners »**

Cultures nomades pastorales des déserts, steppes et toundras

qui sont souvent beaucoup militaristes, avec une culture de l'honneur et de religion monothéiste

Autres exemples de grands facteurs culturels :

### « **Stratified versus egalitarian cultures** »

Les groupes de chasseurs-cueilleurs ont été et sont typiquement égalitaires.

Les inégalités émergent quand les choses « accumulables » et les surplus apparaissent avec l'agriculture et la domestication animale.

Plus il y a de sophistication technologique et de spécialisation, plus il y aura d'inégalités potentielles.

Et le phénomène d'héritage familial va venir encore accentuer les inégalités.

Aussi : les cultures avec le plus d'inégalités sociales ont le moins de confiances et de réciprocité au sein de leur communauté.

Et les gens des sociétés les plus inégalitaires sont aussi les moins en santé (surtout les pauvres, évidemment... (sentiment d'impuissance, stress, etc.))



On voit pourquoi le vieux débat « nature / culture », n'a plus sa raison d'être car nos comportements sont :

100%

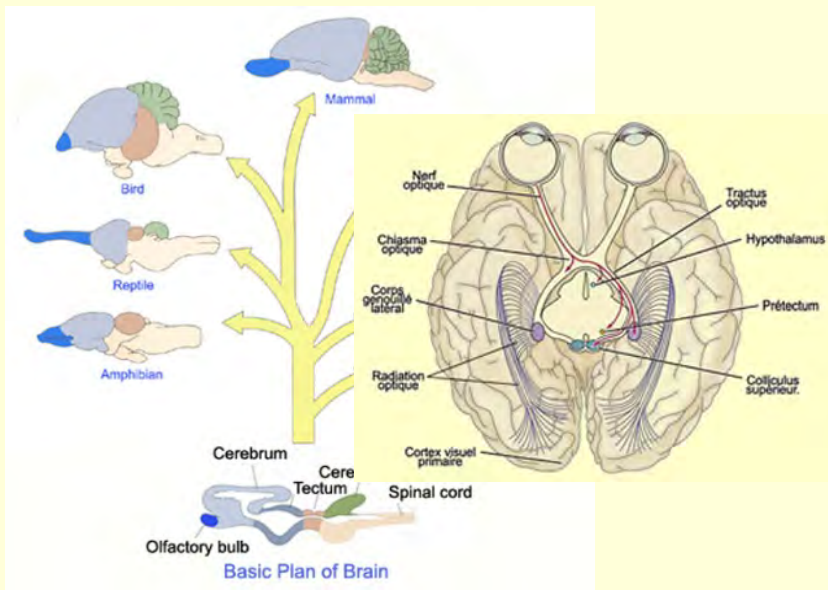
Inné

Car la mémoire de notre espèce emmagasinée dans nos gènes, résultat d'une longue évolution, **confère à notre cerveau ses capacités cognitives et émotionnelles spécifiques.**

100%

Acquis

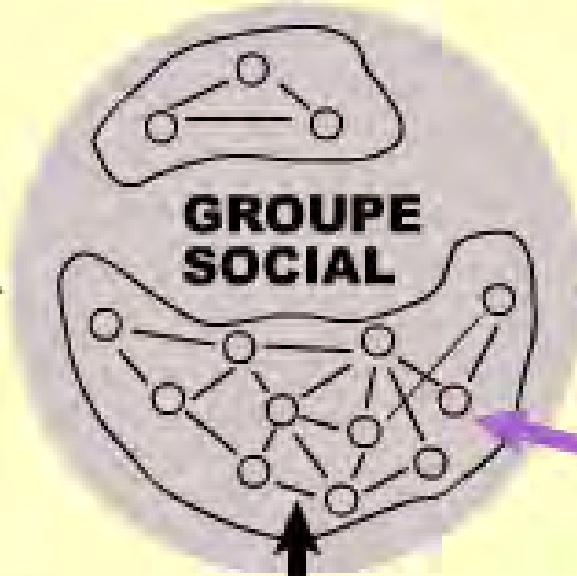
Ces capacités s'expriment **toujours** dans un **contexte socioécologique particulier** qui, couplé à la grande **plasticité** de notre cerveau, va faire émerger une façon de faire particulière (une tradition culturelle).



**ENVIRONNEMENT**

Milieu écologique  
Habitat

**CULTURE**



**GROUPE SOCIAL**

**ÉVOLUTION SOCIALE**

**RELATIONS INTERPERSONNELLES**

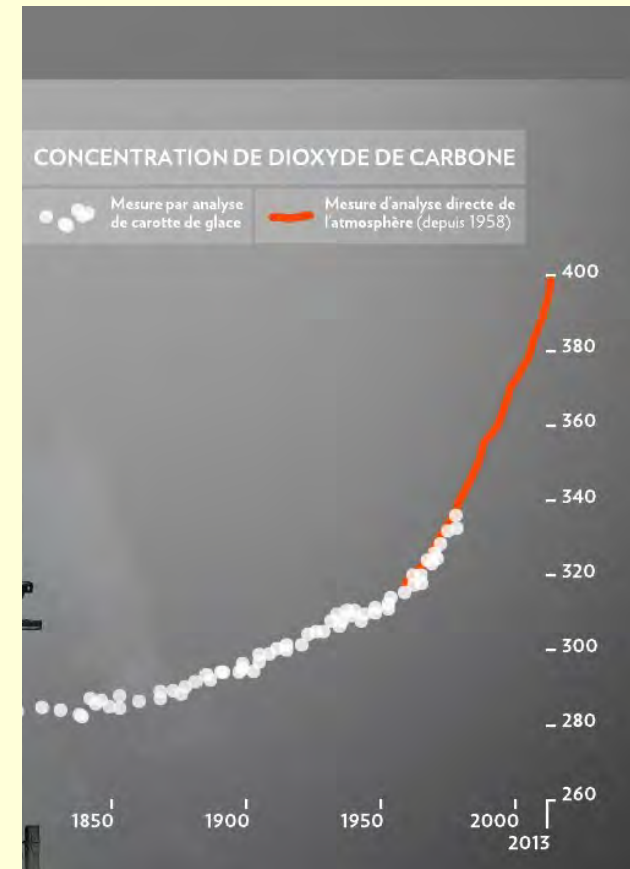
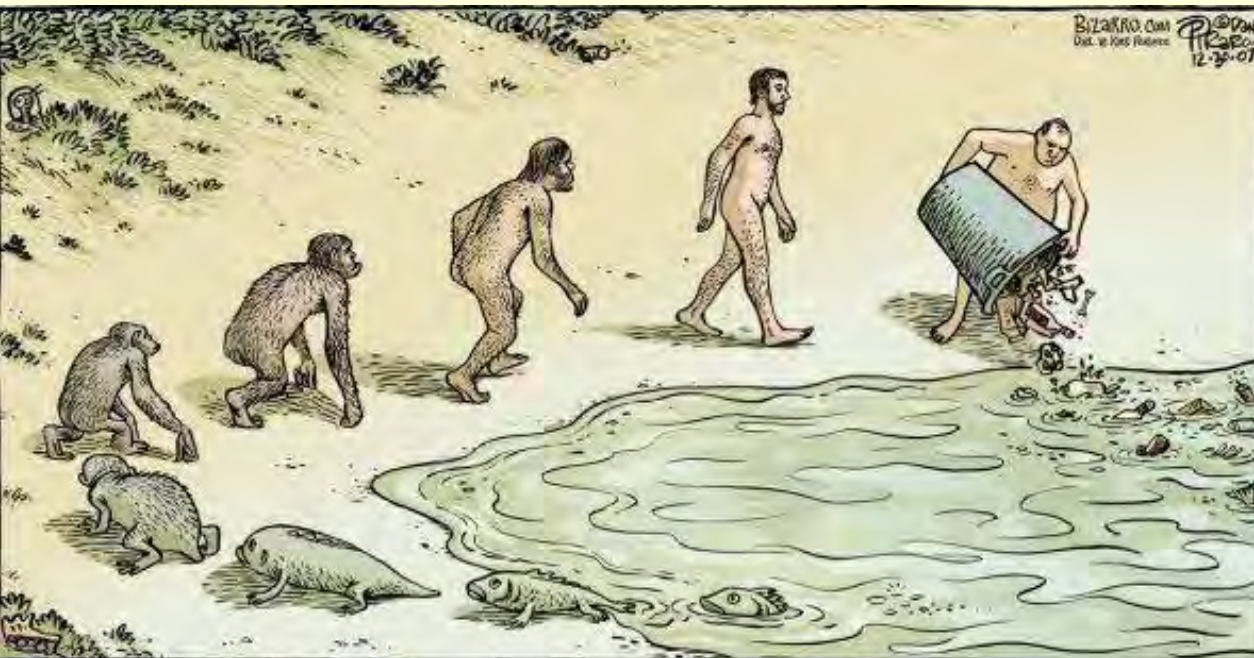
Familiales  
Éducatives  
Professionnelles  
Intimes  
Occasionnelles

Individu avec son cerveau unique à l'origine de tous ses comportements



La question est peut-être de savoir si cette évolution sociale  
va continuer de croître

ou si elle va s'arrêter avec le « summum de l'intelligence »  
qu'elle semble avoir atteint...



C'est ce qui est à la base  
du meilleur et du pire des comportements humains  
**le cerveau humain et ses neurones,**  
que l'on va maintenant commencer à explorer !

## Cours 2 :

~~A- Des primates aux sociétés humaines  
(de – 65 millions d'années à 1900)~~

B- De la théorie du neurone  
au piège du « cerveau-ordinateur » (1900-1975)

Reprenons notre  
histoire à la fin du

PARIS LE 15 MARS 1889

# XIX<sup>e</sup> SIÈCLE

JOURNAL ILLUSTRÉ

LES ÉVÉNEMENTS DE LA SEMAINE

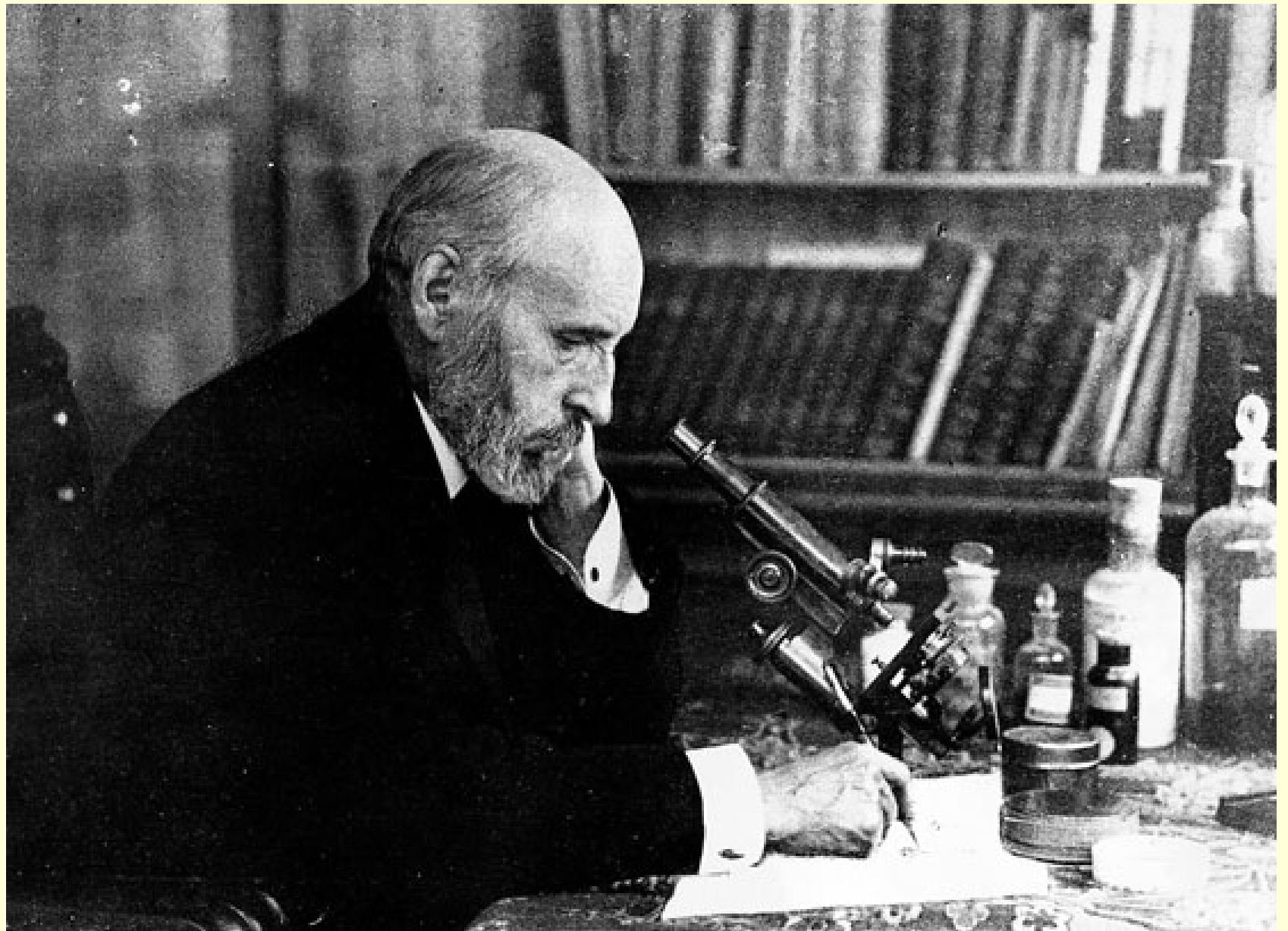
LES ÉVÉNEMENTS DE LA SEMAINE

LES ÉVÉNEMENTS DE LA SEMAINE

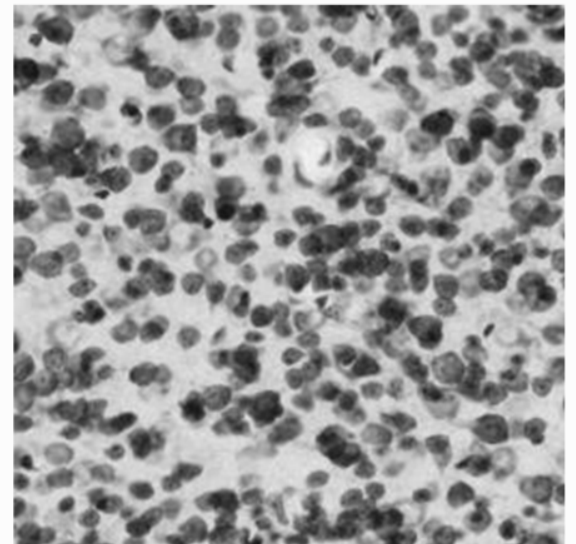
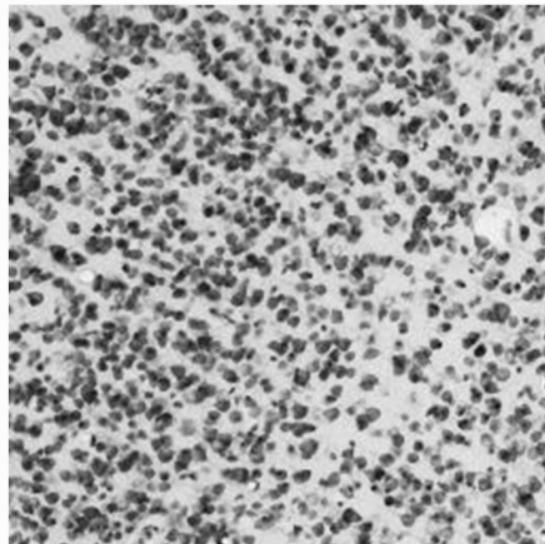
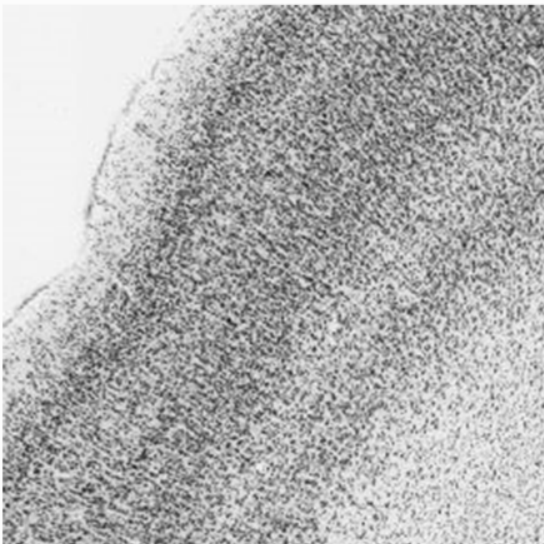
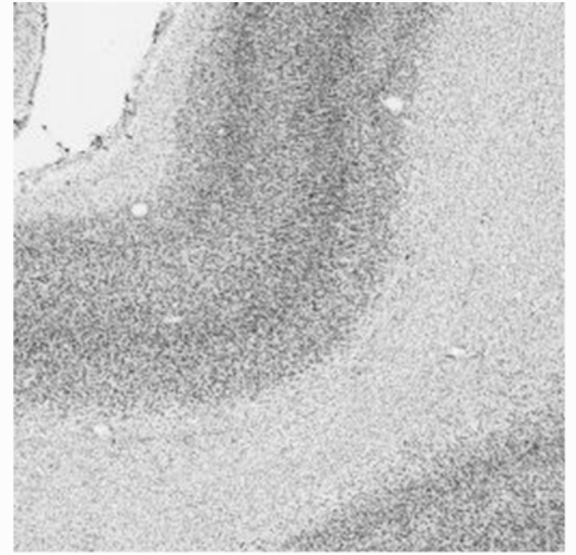
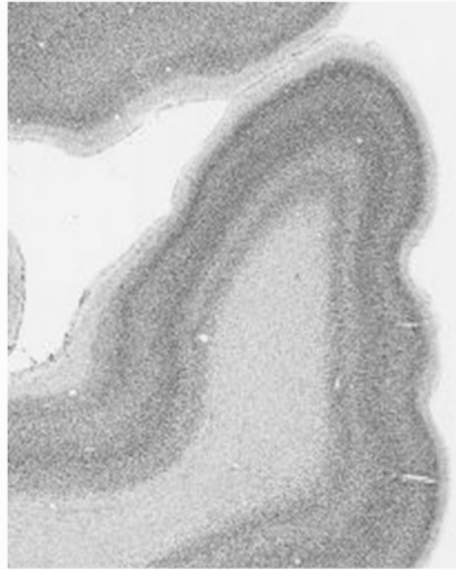
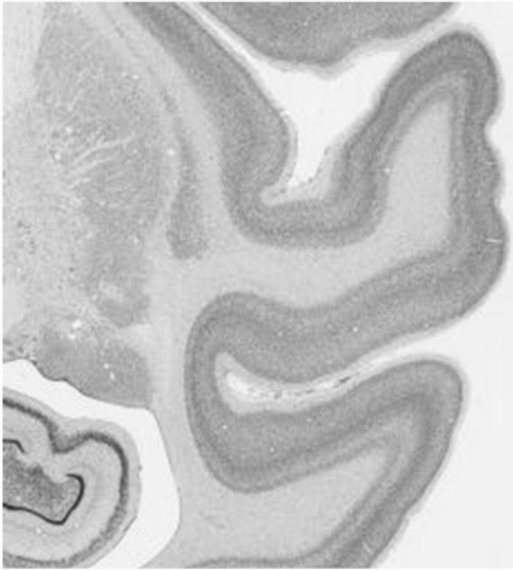
LES ÉVÉNEMENTS DE LA SEMAINE





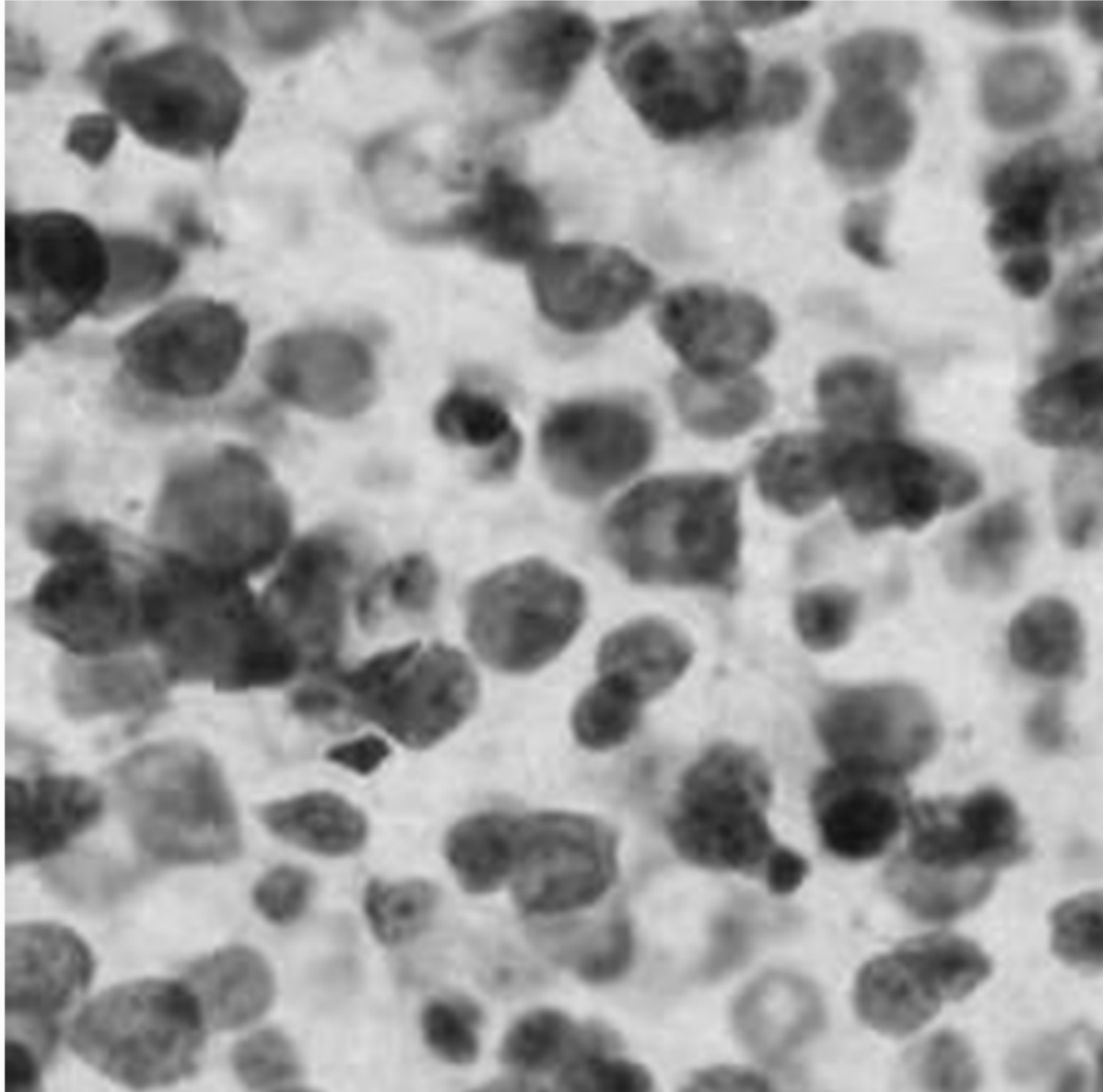


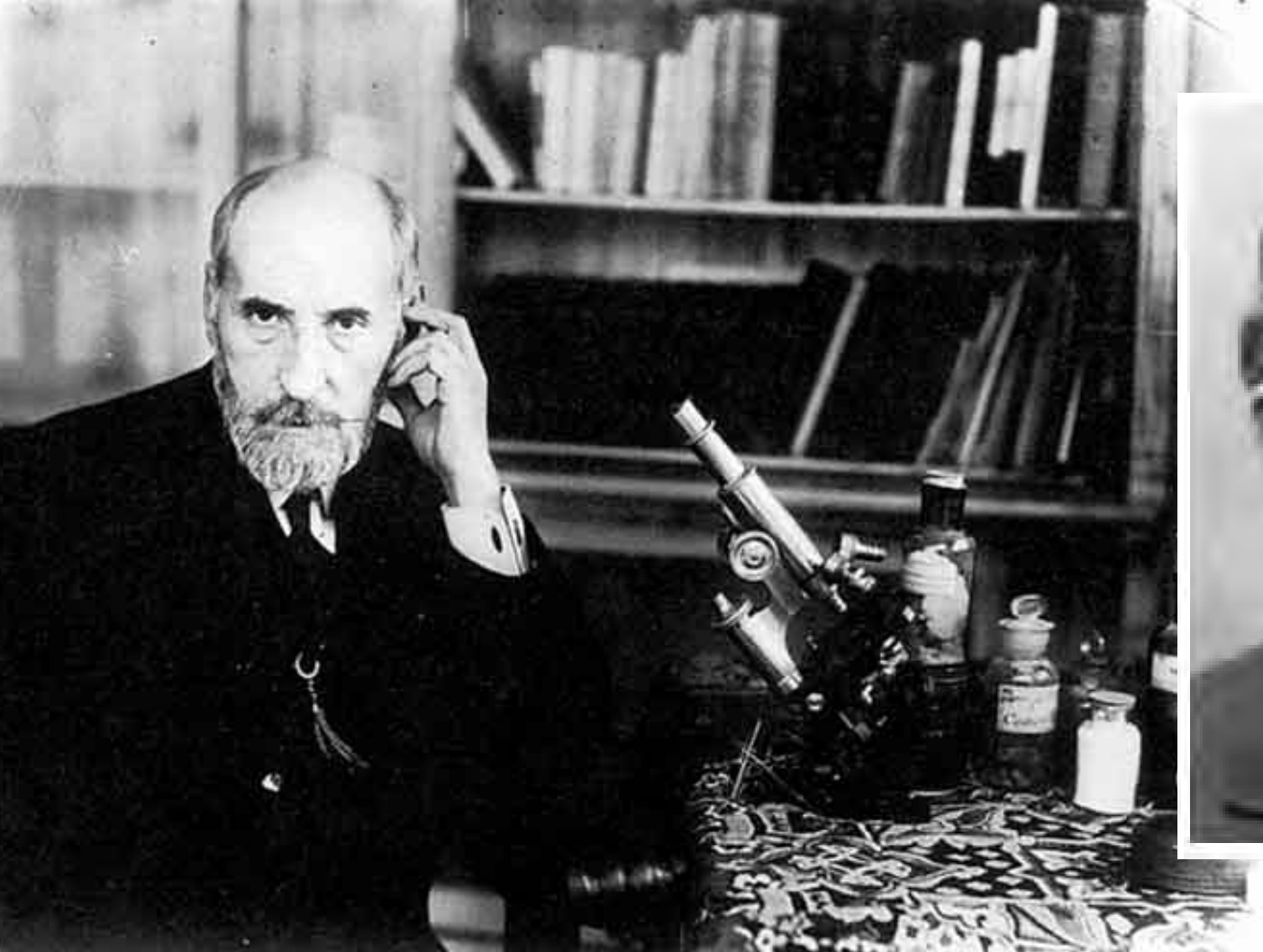
zoom in sur sa région foncée, aussi appelée matière grise...





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

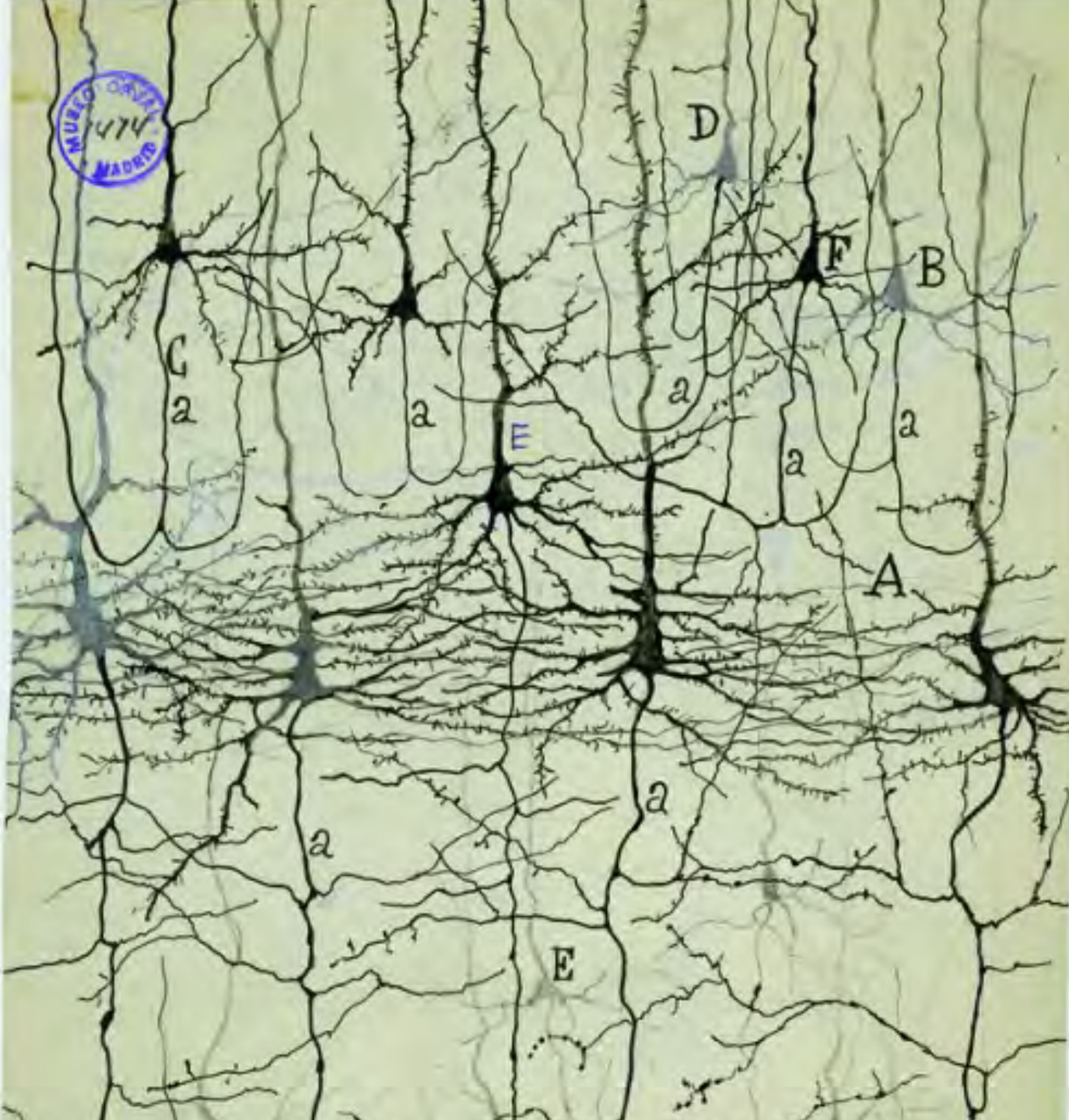




Santiago Ramon y Cajal



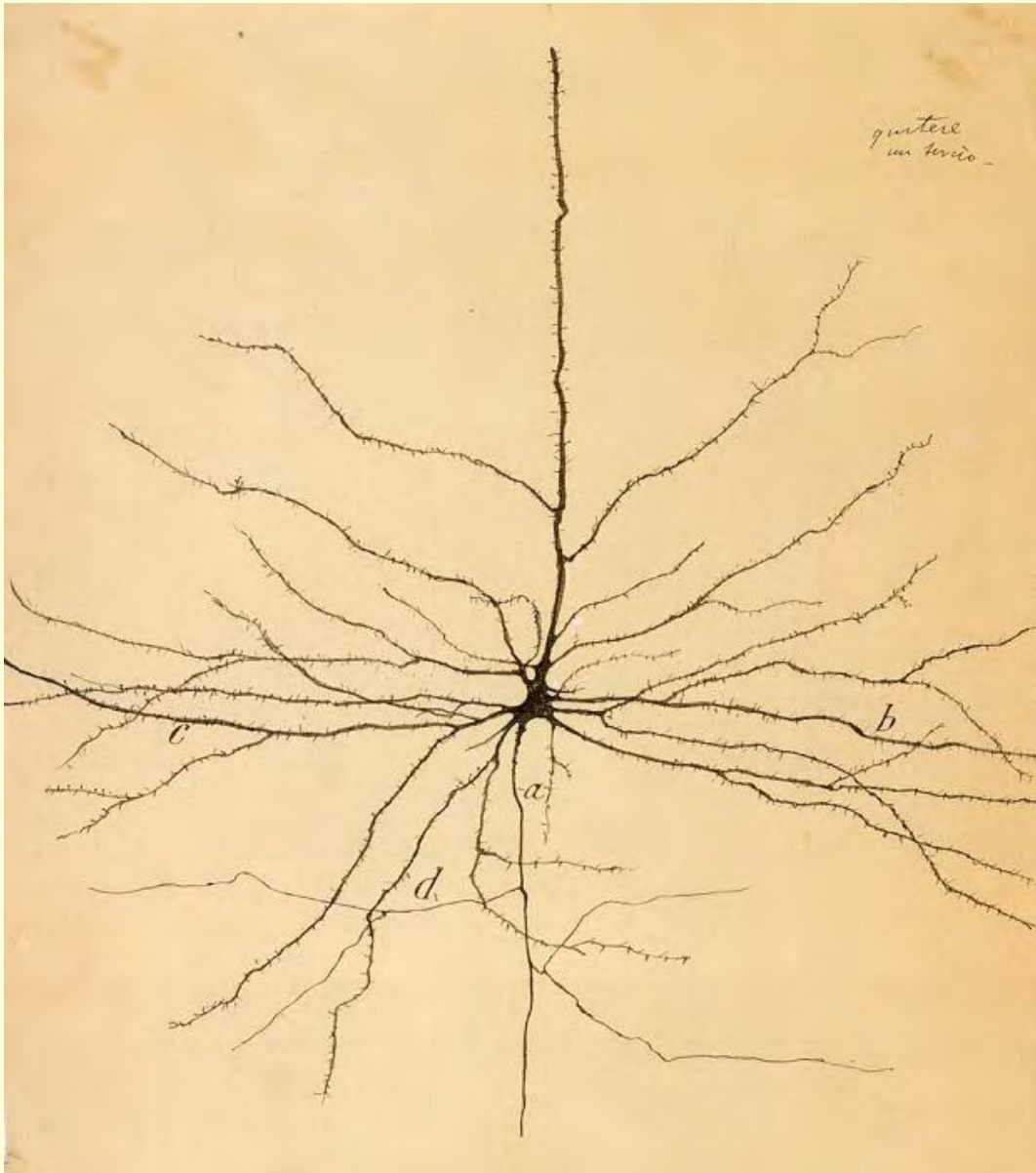
Camillo Golgi



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.

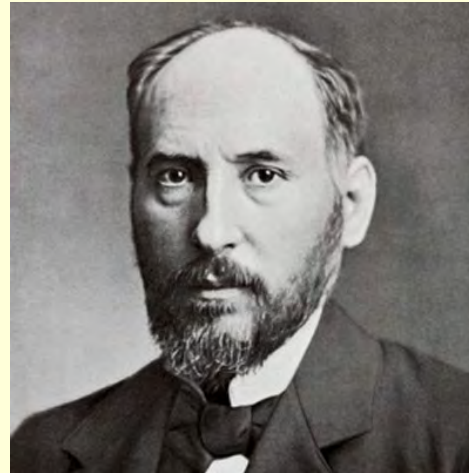


Neurone pyramidal du cortex moteur

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

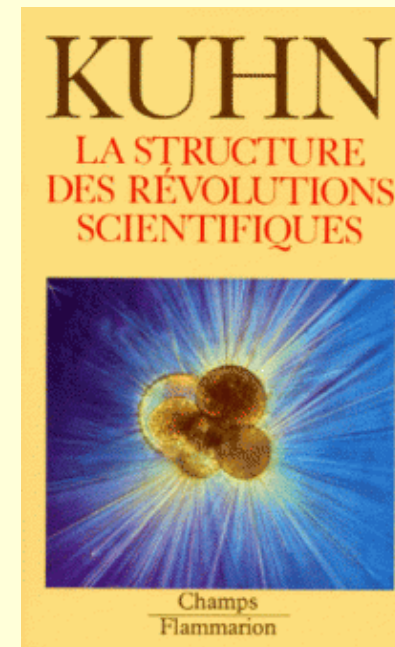


Dans son discours de réception du prix, Golgi défendit la **théorie réticulaire**.



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.

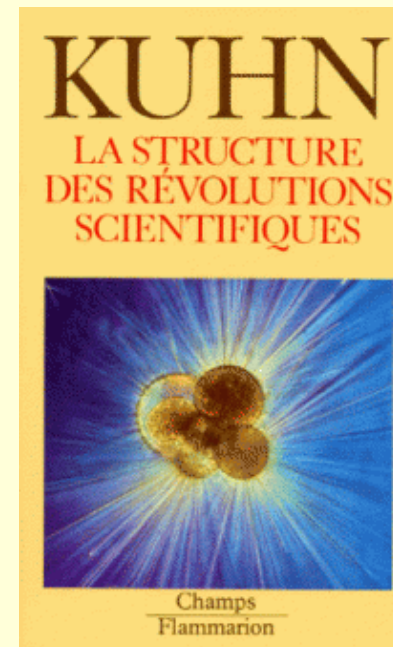
C'est l'idée qu'il y a, à une époque donnée,  
« **UNE** » **théorie plus largement acceptée** au sein de  
la communauté scientifique dans un domaine particulier.

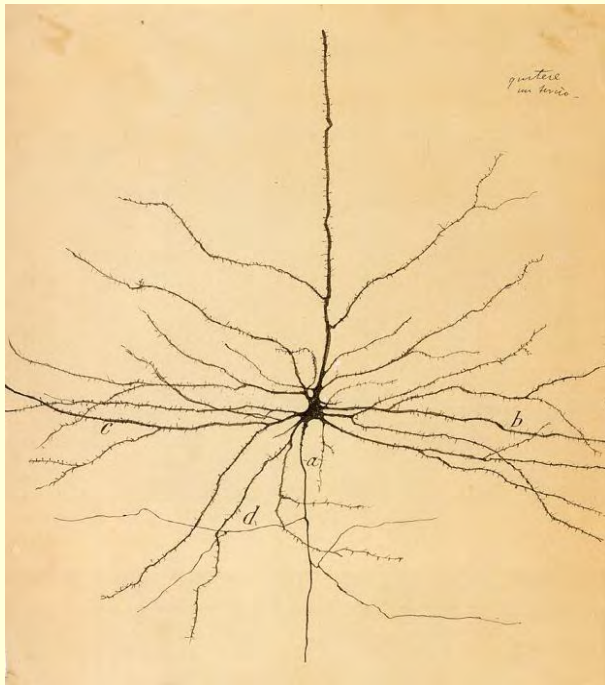
Ce que Kuhn appelle aussi la « science normale ».

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.





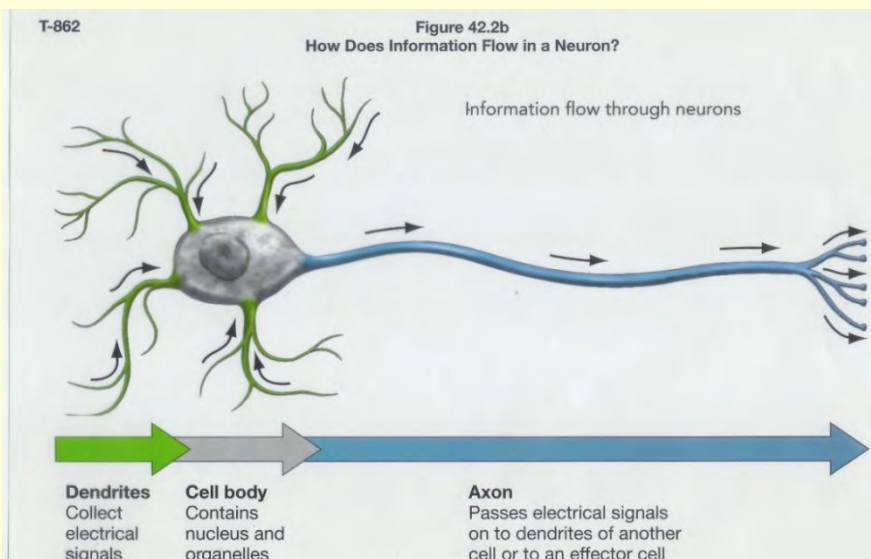
Neurone pyramidal du cortex moteur

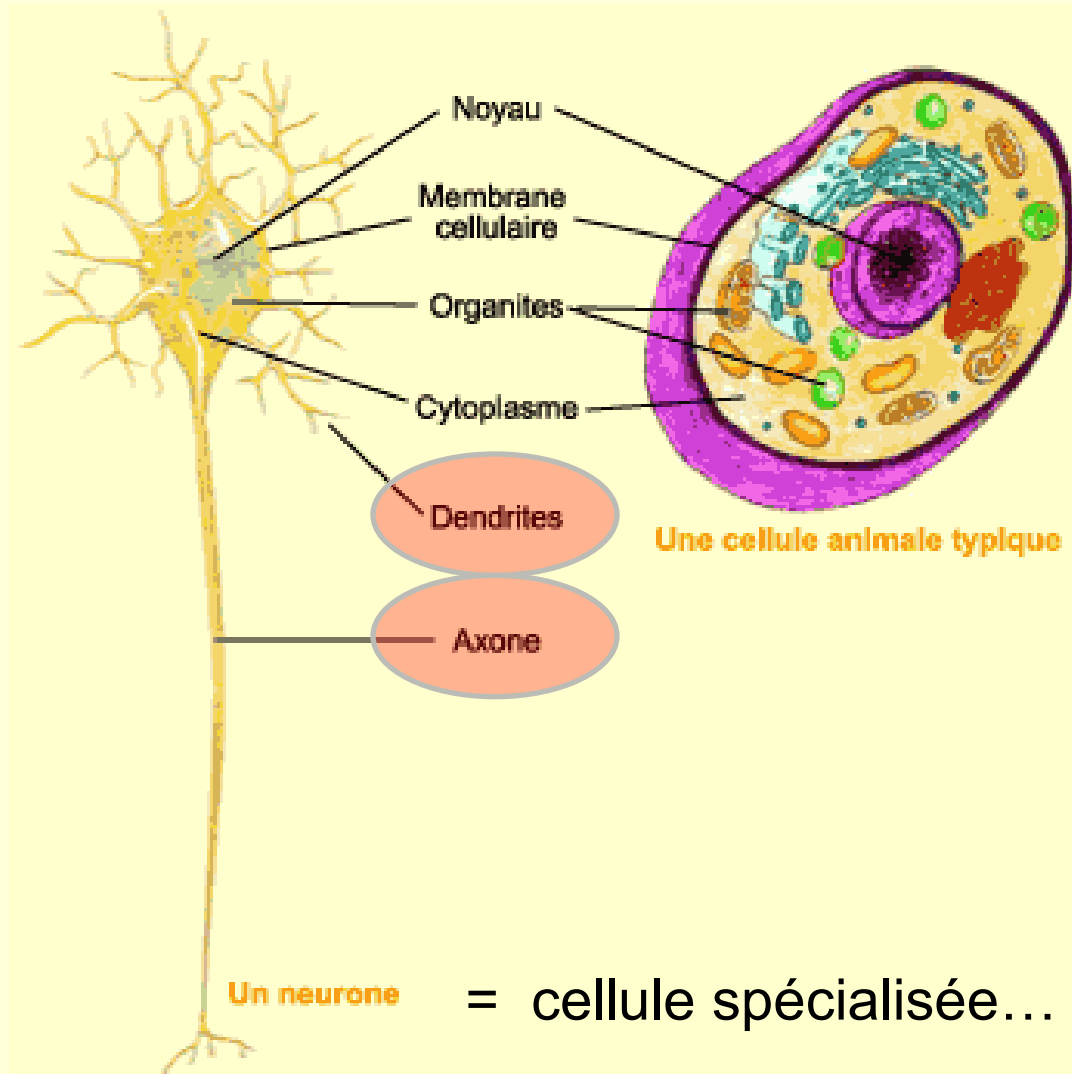
## La théorie (ou doctrine) du neurone :

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

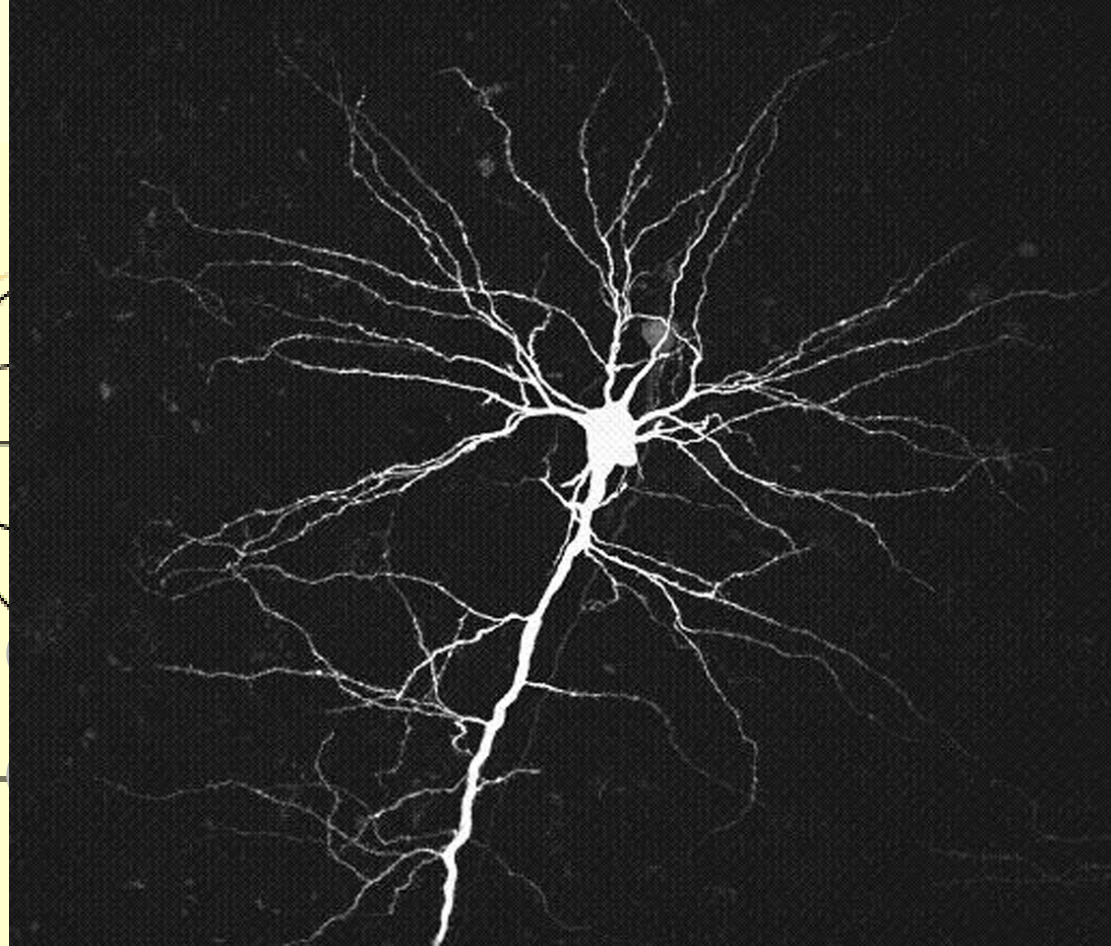
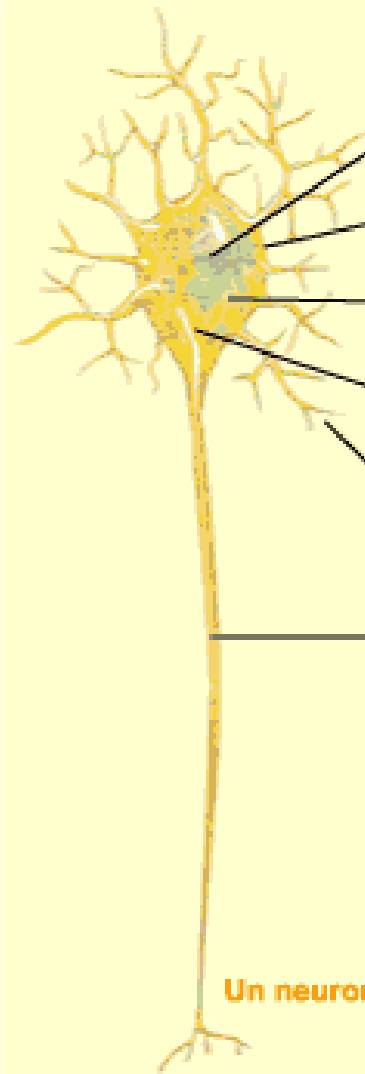
2) Les neurones sont des cellules discrètes qui ne sont **pas reliées en continu entre elles**;

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

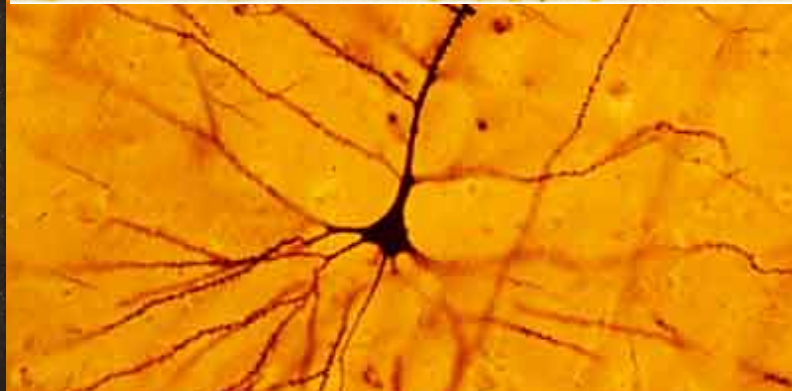
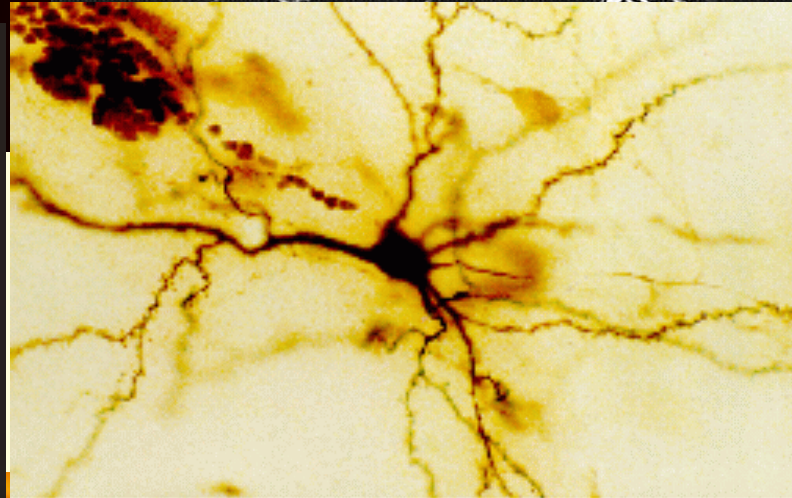
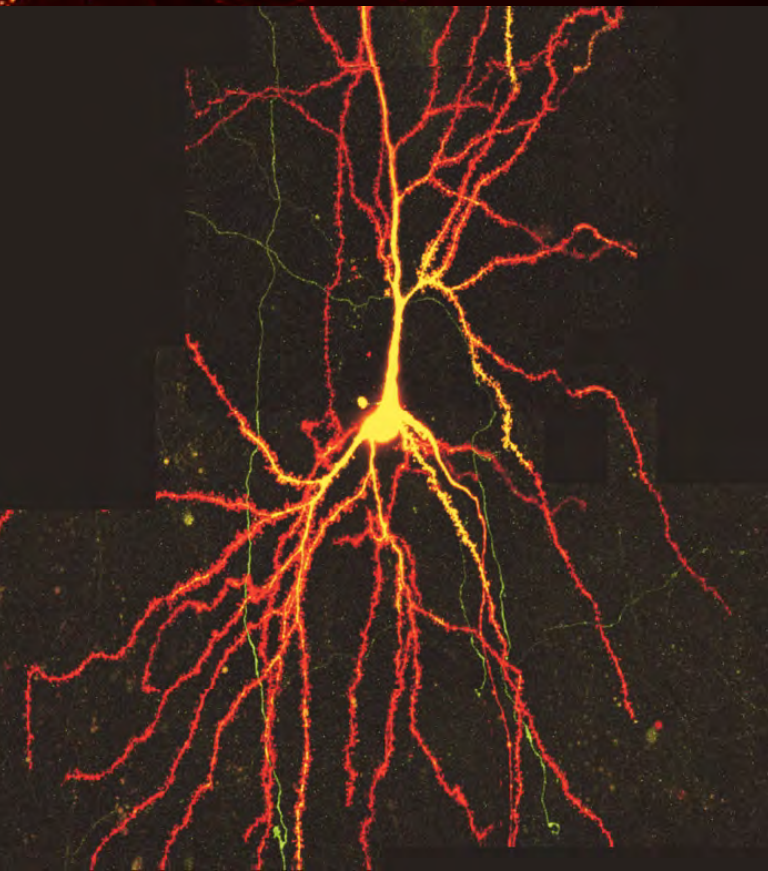
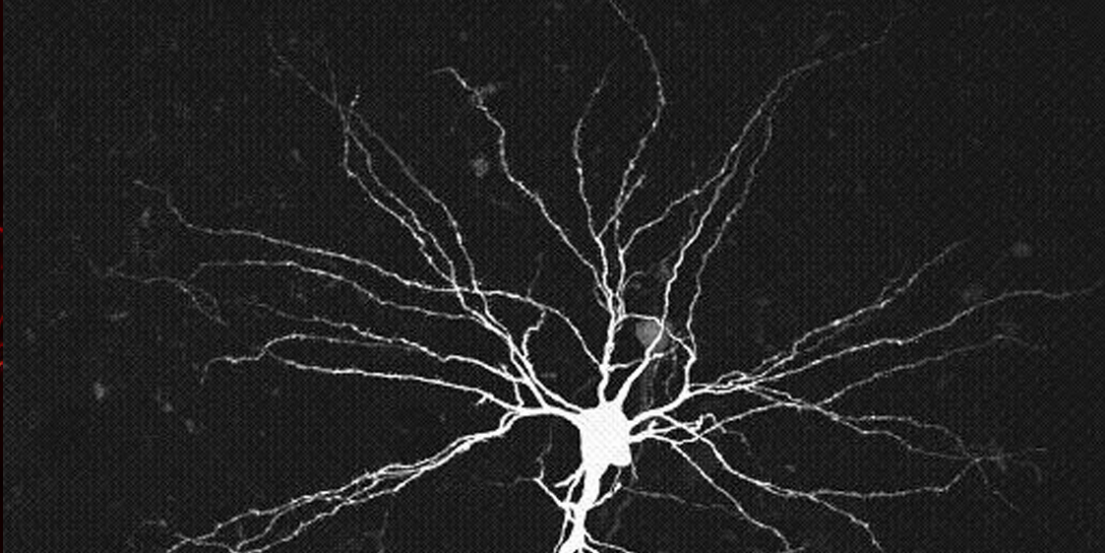
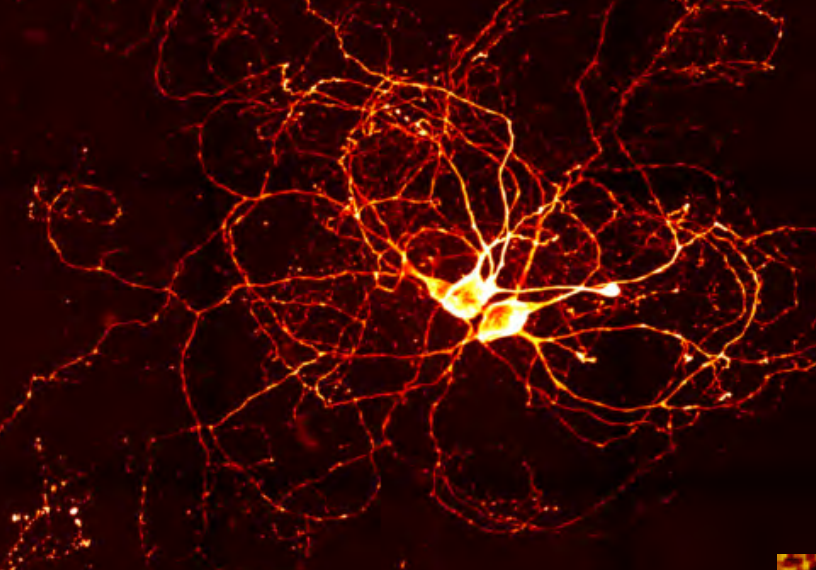








Un neurone = cellule spécialisée...

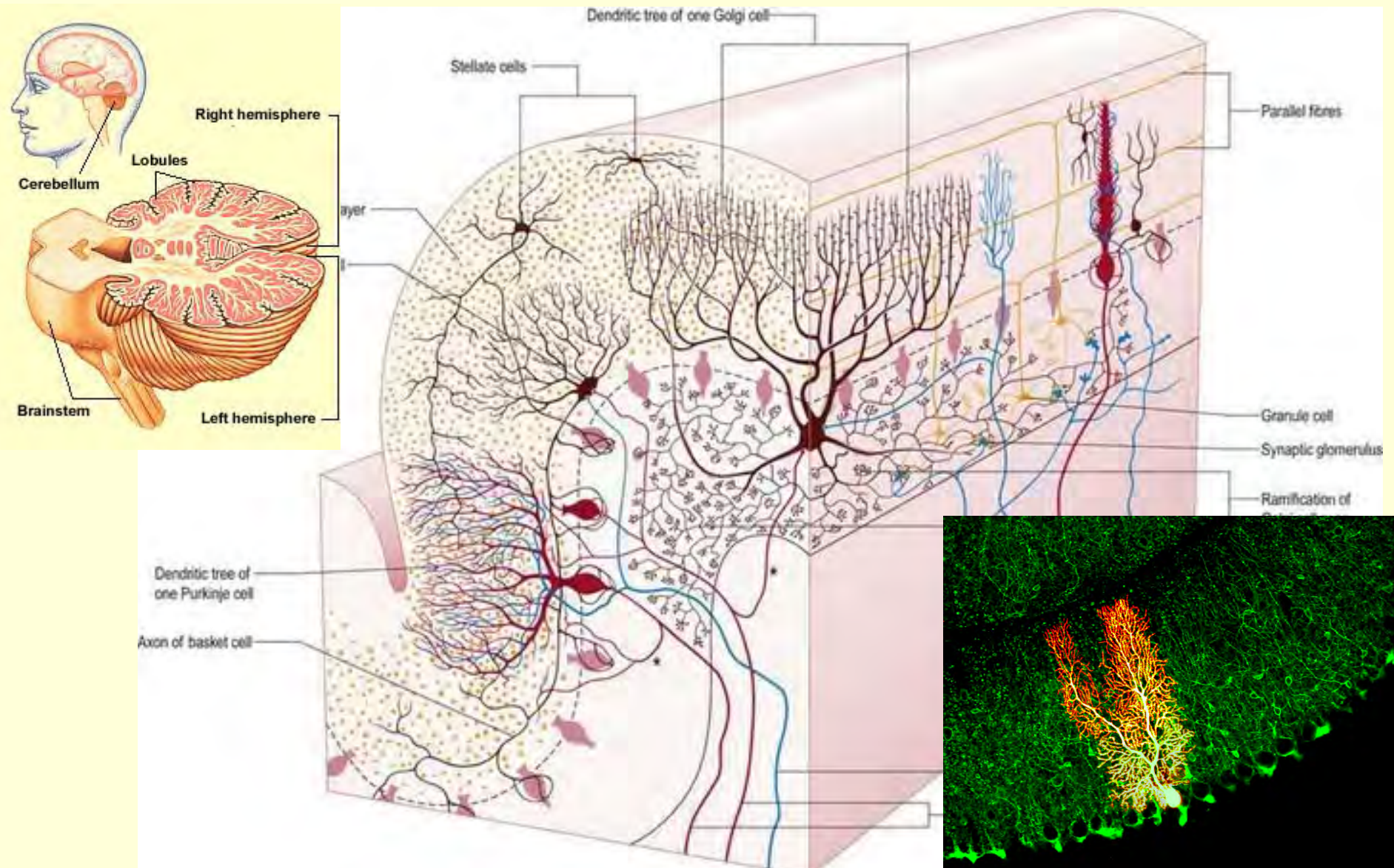


Très grand nombre de types de neurones différents

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

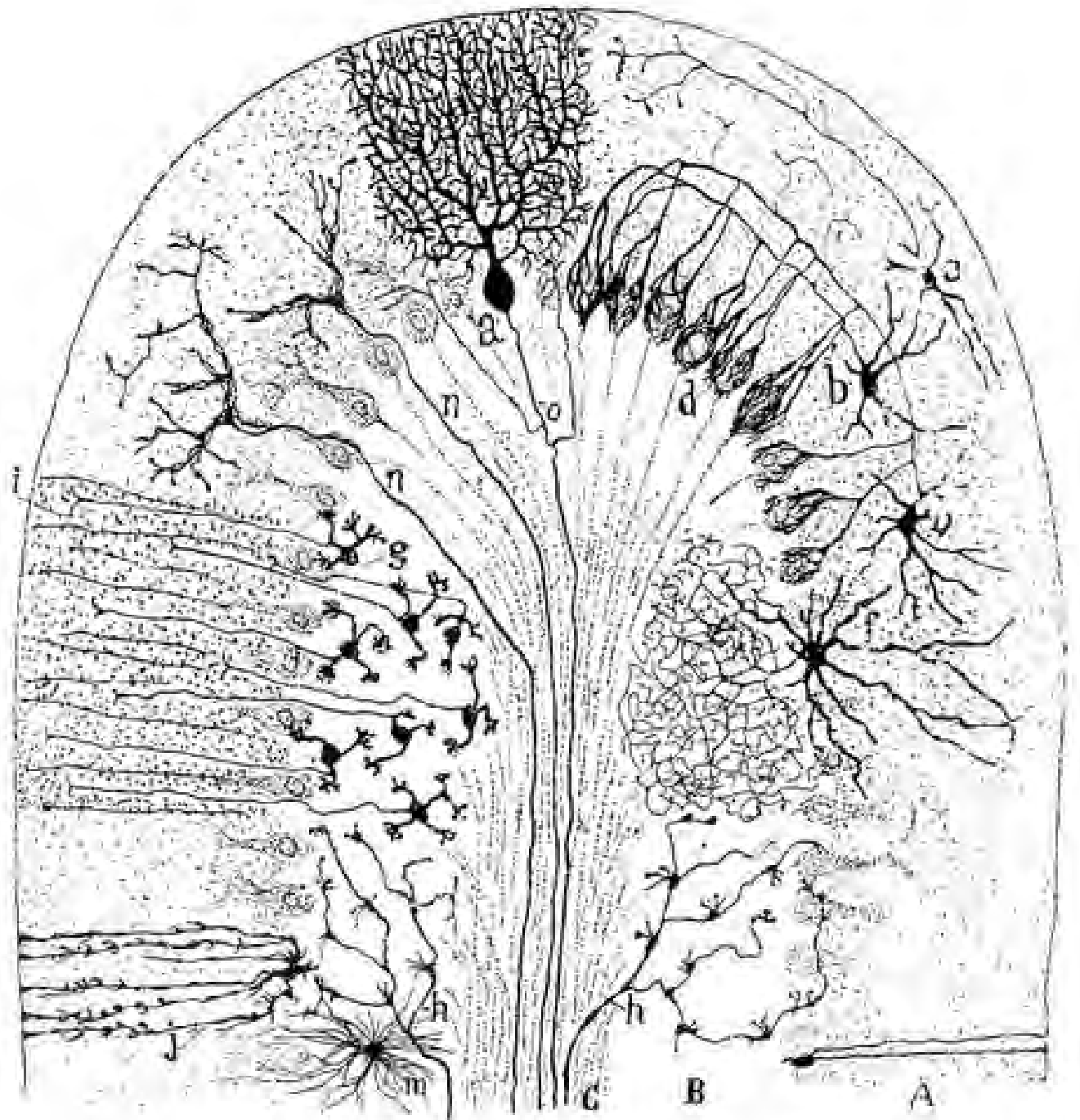
<http://jonlieffmd.com/blog/how-many-different-kinds-of-neurons-are-there>

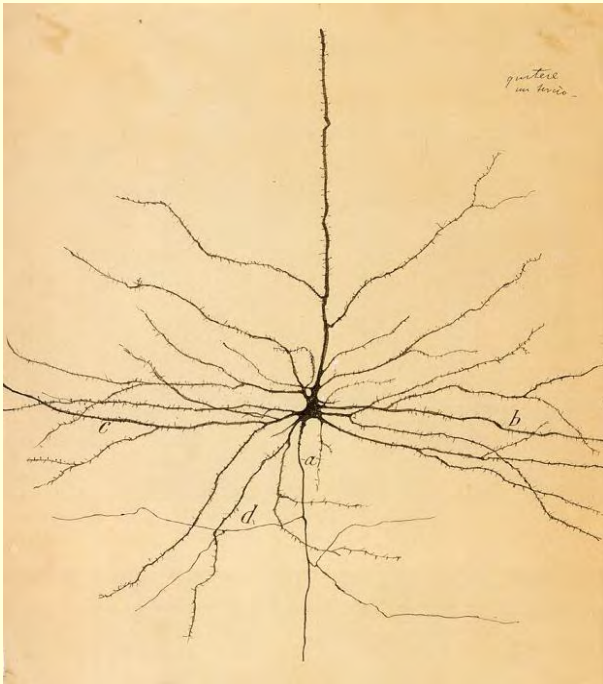
Grande variabilité de forme des neurones qui s'explique par leur pattern de connectivité avec les autres neurones, qui lui-même dépend de la fonction de ce circuit nerveux.



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

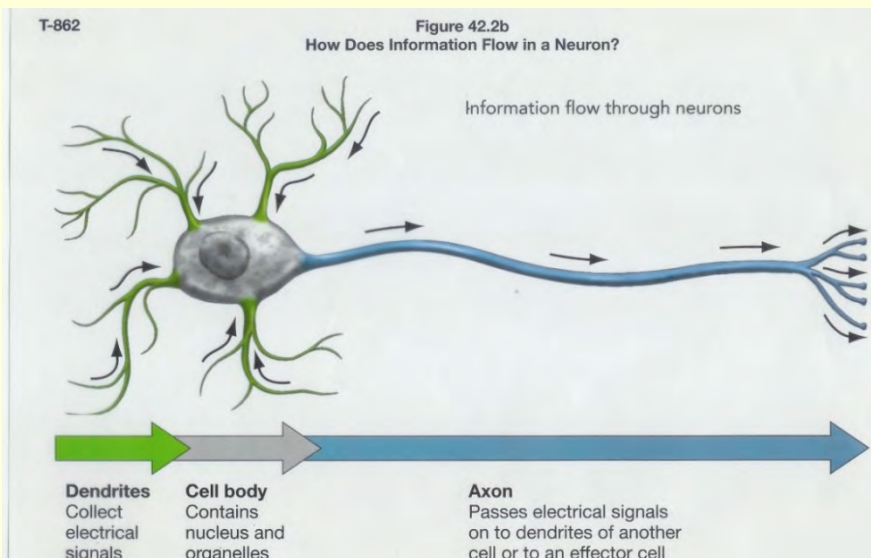
## La théorie (ou doctrine) du neurone :

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**;

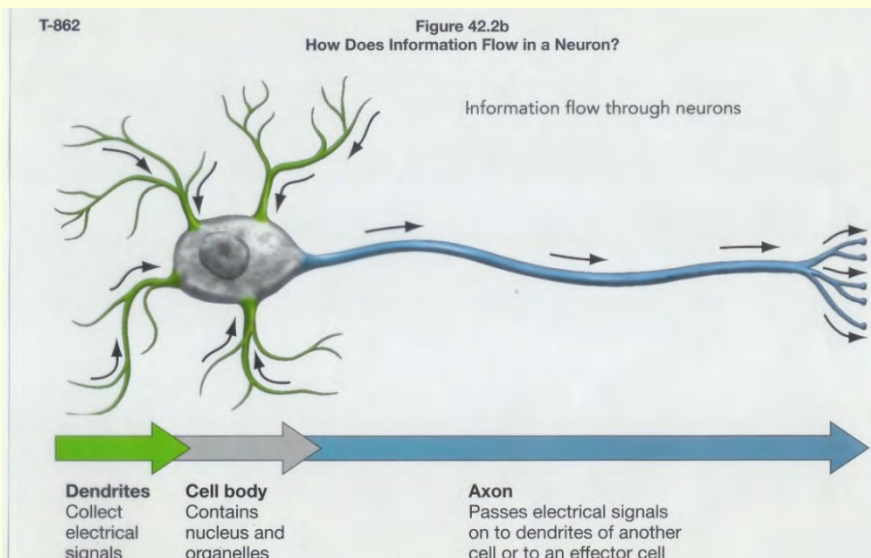
3) Un neurone est composé de 3 parties : les **dendrites, le corps cellulaire et l'axone**;

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



Il va falloir attendre le milieu du XXe siècle pour comprendre ce qu'est l'influx nerveux, comment il est généré, et comment il se propage.

Nous allons y arriver dans un instant.



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

Mais avant, jetons un coup d'œil sur ce qui se passe en cette fin du XIXe – début du XXe siècle à un niveau d'organisation beaucoup plus élevé : **le niveau psychologique...**

XIX<sup>e</sup> et début du XX<sup>e</sup> siècle :

La tradition du **structuralisme** en psychologie

qui utilise l'introspection pour tenter de décrire les composantes élémentaires de l'esprit humain.



Le groupe de recherche de Wilhelm Wundt en 1880.

Cette approche fut critiquée pour la difficulté de vérifier expérimentalement ces démarches introspectives qui était très variables d'un laboratoire à l'autre.



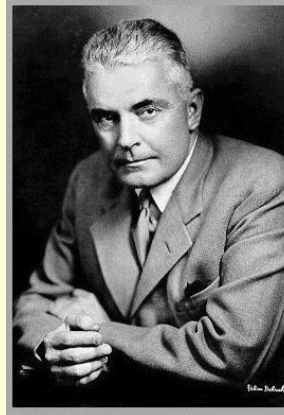


1920's

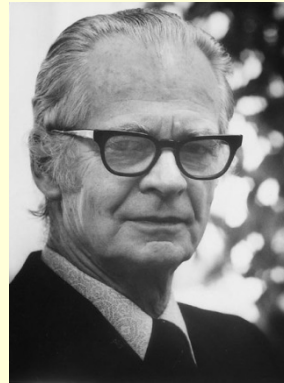
## Behaviorisme

À partir des années 1920...

Pour ses pionniers, on **ne pouvait pas** bâtir une approche scientifique de la psychologie sur des états subjectifs de nature **privée** ou sur des jugements individuels basé sur des « états d'âme ».



J. B. Watson



B.F. Skinner

## Behaviorisme



Cerveau = "boîte noire" = ce qui s'y passe est, par nature, méthodologiquement inaccessible et inobservable.

On s'intéresse donc seulement aux **stimuli** qui s'exercent sur l'organisme et les **réponses** que donne cet organisme.

Centré sur l'influence de l'environnement sur nos processus mentaux.

# Conditionnement classique



Ivan Pavlov

Par conséquent, un de leur **champ de recherche favori** était **l'apprentissage associatif**.

# Conditionnement classique

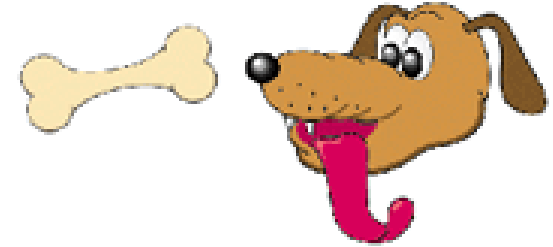


Ivan Pavlov

Avant le conditionnement

**Os**

**Salivation**



**Cloche**

**Aucune  
réponse**



Pendant le conditionnement

**Cloche  
+  
Os**

**Salivation**



Après le conditionnement

**Cloche**

**Salivation**



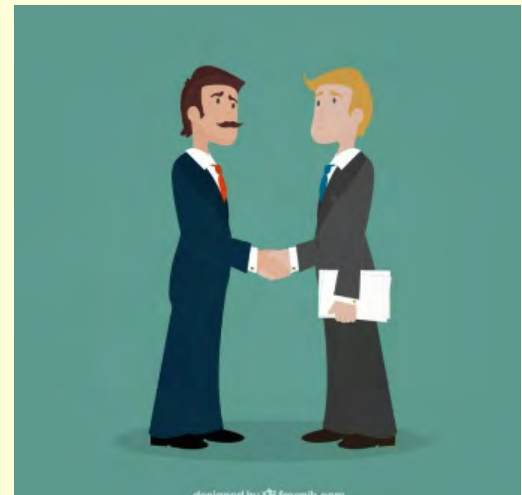
[ on va en reparler au cours 4... ]

Bref, les behavioristes refusèrent toute spéculation sur des états mentaux et bannirent des sujets d'étude comme **la pensée, l'esprit, la conscience ou l'imagination**, et des constructions hypothétiques comme **les symboles, les idées ou les schémas**.

Ça fait beaucoup dans la poubelle...

D'où cette blague de ses détracteurs qui faisaient remarquer qu'un behavioriste qui en rencontre un autre n'aurait pas d'autres choix que de lui dire :

« Vous semblez aller bien aujourd'hui !  
Et moi, comment vais-je ? »...



# THE 1940s



Peu de temps après la fin de la seconde Guerre mondiale, on assiste à la naissance aux États-Unis des **conférences Macy**.

Elles vont réunir, à intervalles réguliers **entre 1946 et 1953**, un petit groupe de **chercheurs de différentes disciplines**.



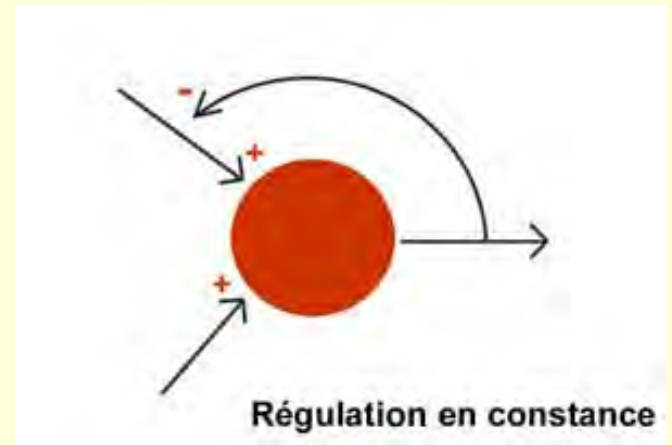
Parmi les plus célèbres figure on trouve les mathématiciens **Norbert Wiener**, **John von Neumann**, **Claude Shannon**, le physiologiste et physicien **Arturo Rosenblueth**, le neurophysiologiste **Warren McCulloch**, mais aussi des chercheurs des sciences humaines comme les anthropologue **Gregory Bateson** et **Margaret Mead**, le sociologue **Paul F. Lazarsfeld**, les psychologue **Walter Pitts** et **Kurt Lewin**, etc.



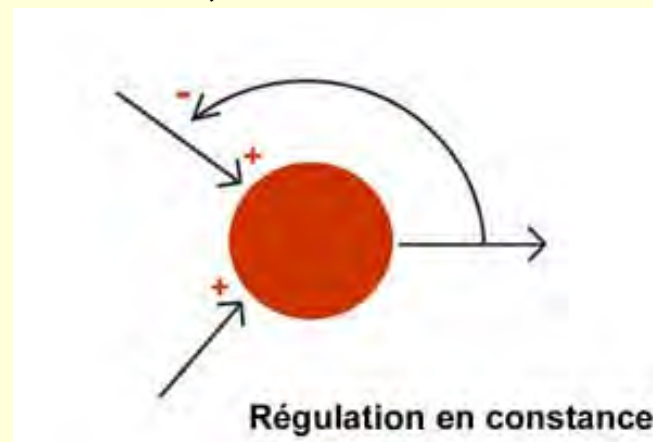
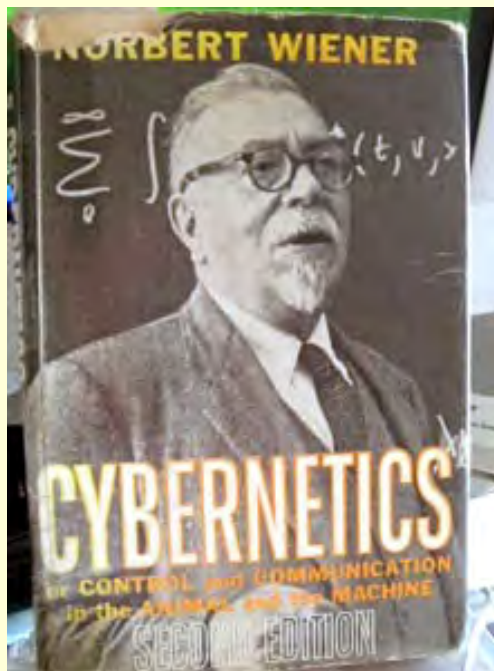
Une quantité impressionnante de thèmes y sont abordés,  
dont l'idée **de pilotage par rétroaction**  
ou « **d'action finalisée** »

En anglais, on parle de :

**feedback,**  
**closed loop,**  
**control mechanism**



Une quantité impressionnante de thèmes y sont abordés, dont l'idée de pilotage par rétroaction ou « **d'action finalisée** »



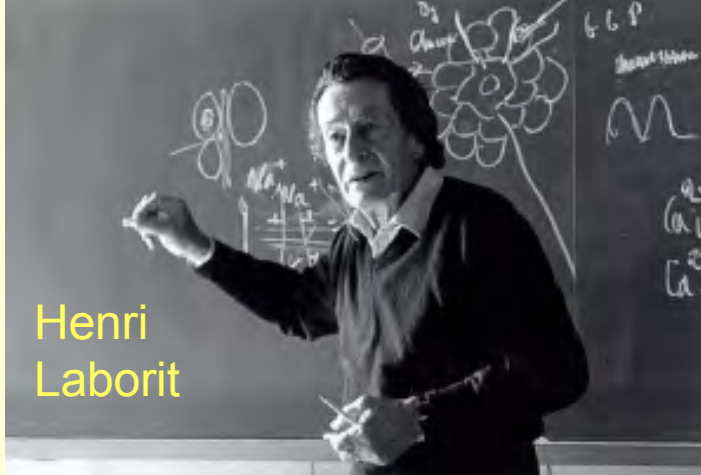
L'influence vient ici surtout de **Norbert Wiener** qui avait travaillé pour l'armée américaine sur des dispositifs de pilotage automatique des avions (dotés d'un mécanisme de *feed-back* qui leur permet de maintenir un cap).

Il était convaincu que ce système **d'autorégulation automatique est un dispositif très général** que l'on trouve dans d'autres systèmes : organismes vivants, cerveaux, sociétés...

## Cours 6 :

### A- « Cerveau – Corps » : la cognition incarnée

(liens système nerveux,  
hormonal et immunitaire)

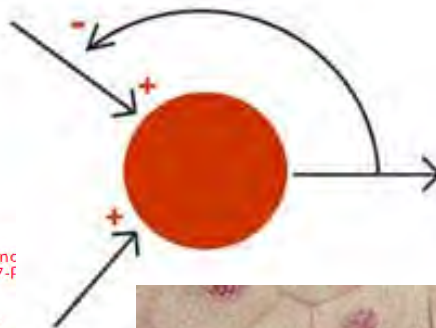


Henri  
Laborit

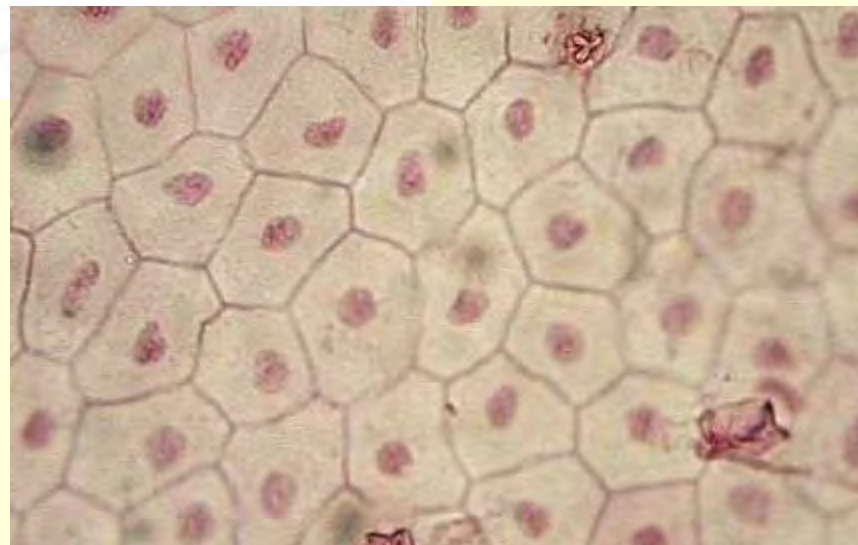
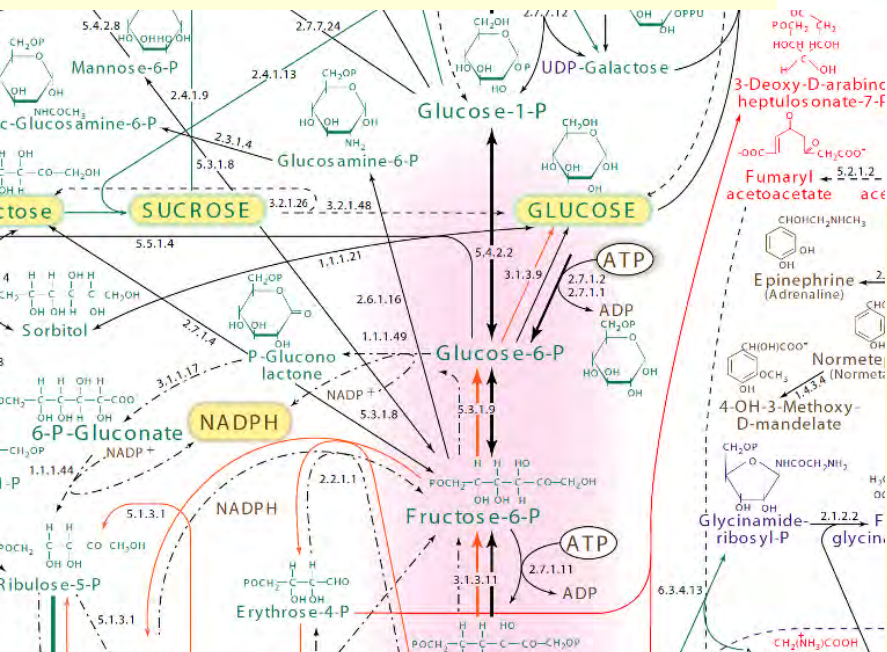


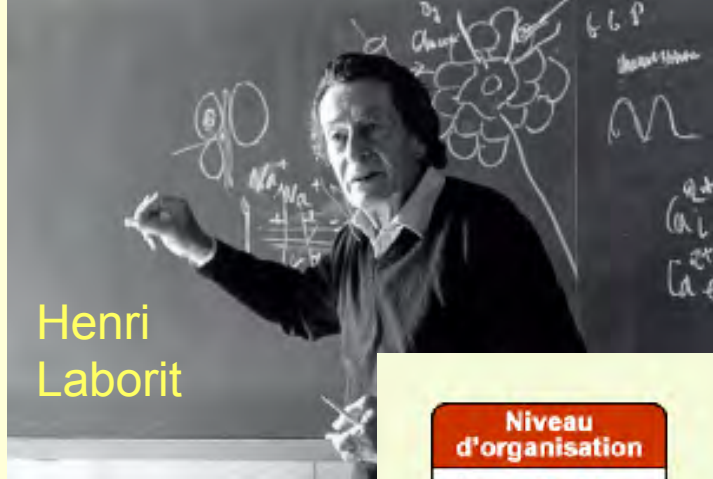
Hans  
Selye

Des biologistes mettent alors en effet  
en évidence des systèmes régulés  
par boucle de rétroaction tant  
dans les voies métaboliques...

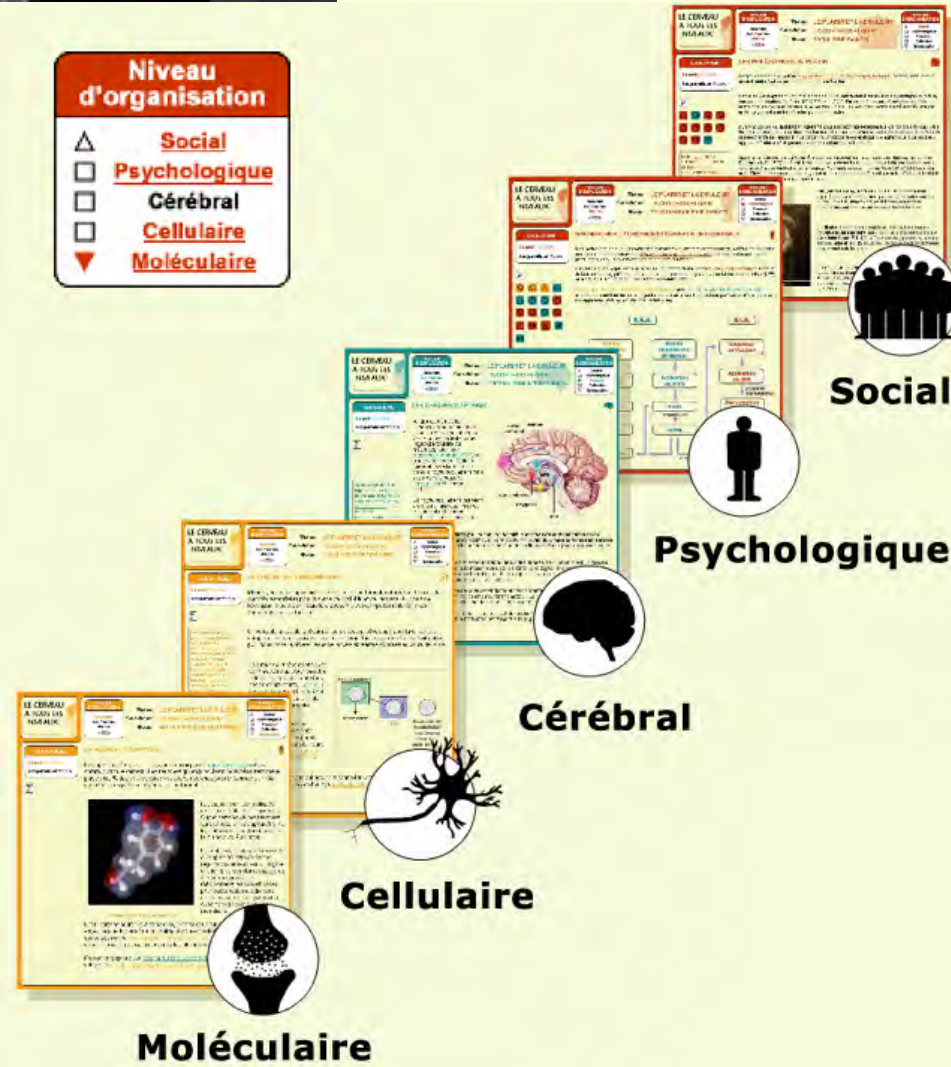


...qu'entre les  
cellules d'un  
organe.





Henri Laborit



Social



Psychologique



Cérébral

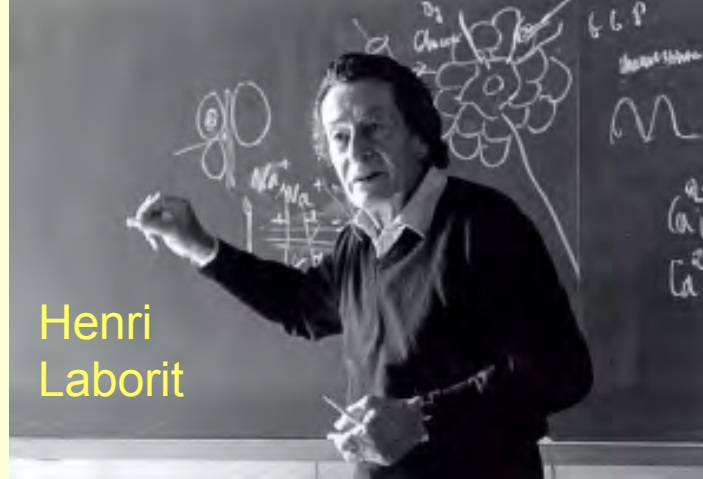


Cellulaire



Moléculaire

Henri Laborit



# Éloge de la suite

À PROPOS  
DU FILM

autour d'Henri Laborit et d'autres parcours  
qui l'ont croisé

POURQUOI CE  
FILM ?

FINANCEMENT

PERSONNAGES

BANDE-  
ANNONCE

POURQUOI CE SITE ?

BIOGRAPHIES

LIVRES

ARTICLES

AUDIO

VIDÉO

PHOTOS

CITATIONS

CONTACT

LA SUITE... (INFLUENCES DEPUIS SON DÉCÈS EN 1995, ET PROJETS EN COURS)



LE FILM !

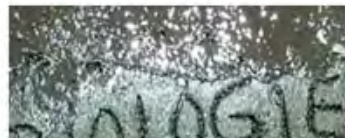
Découvrez le film « Sur les  
traces d'Henri Laborit »  
associé à ce site !

Publié le 21 novembre 2014 - Laisser un commentaire

Consultez les sections du menu en haut à droite de la page pour tout

DERNIÈRES PUBLICATIONS SUR LE SITE :

OÙ ÊTES-VOUS ?



LA SUITE... LE FILM !

Sur les traces d'Henri  
Laborit – Partie 2 :  
Biologie

Vous êtes sur un site web qui tente de rassembler le plus de documents possible autour de l'œuvre d'Henri Laborit dans le but d'en faire profiter gratuitement le plus grand nombre. Un film en préparation sur des parcours qui ont croisé Laborit utilise également ce site comme vitrine.



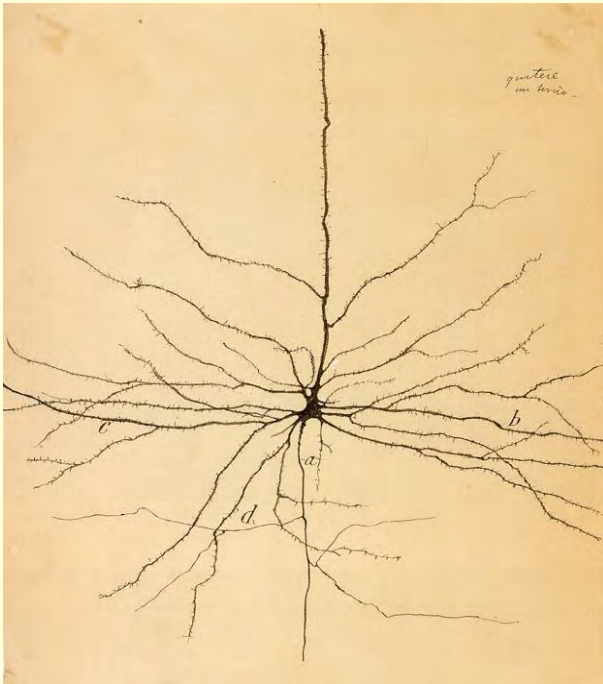
*"Tant qu'on n'aura pas diffusé très largement à travers les Hommes de cette planète la façon dont fonctionne leur cerveau, la façon dont ils l'utilisent et tant que l'on n'aura pas dit que jusqu'ici cela a toujours été pour dominer l'autre, il y a peu de chance qu'il y ait quoi que ce soit qui change."*

- Henri Laborit,  
dernière phrase  
du film *Mon oncle  
d'Amérique* (1980)



Né en 1914,  
Henri Laborit  
fut d'abord  
chirurgien de  
la marine  
française où  
il bouscula  
plusieurs  
concepts de  
la médecine.





Neurone pyramidal du cortex moteur

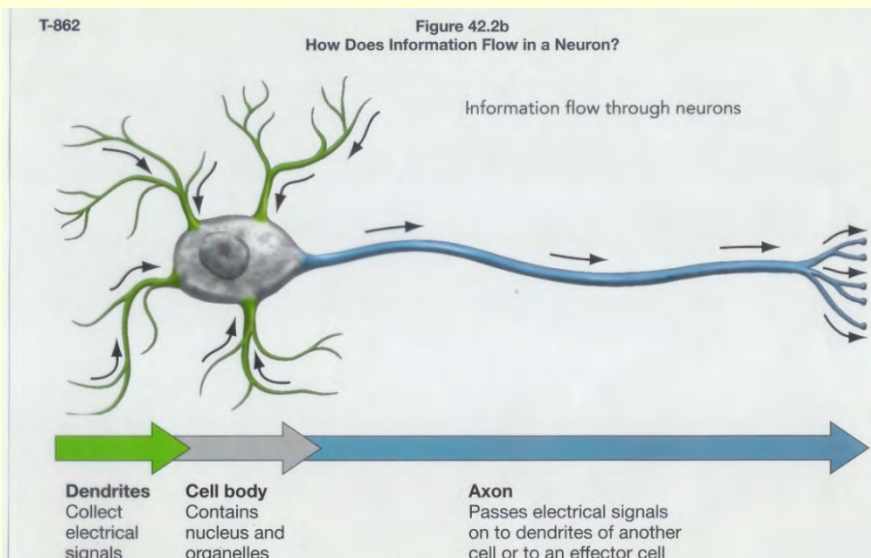
On revient à  
la théorie (ou doctrine)  
du neurone :

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

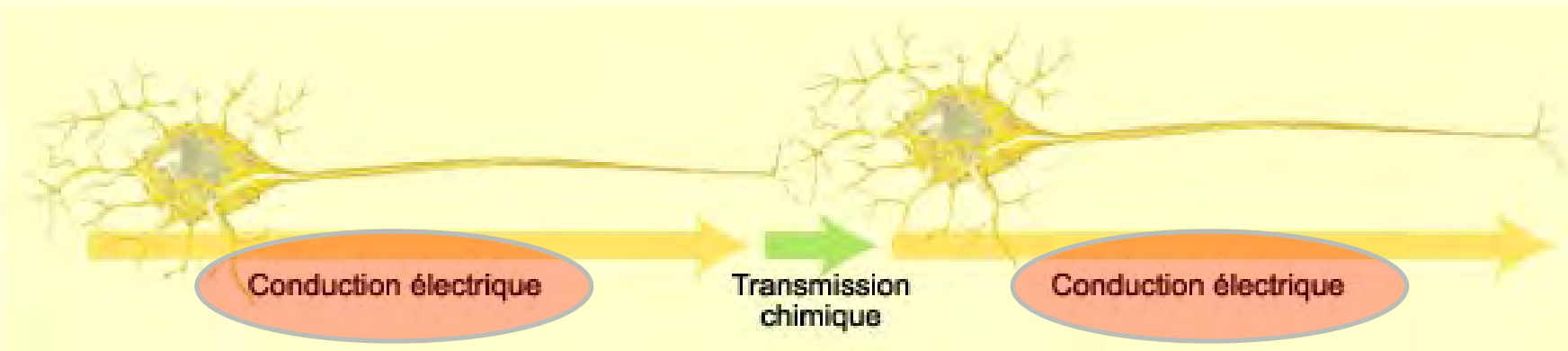
2) ~~Les neurones~~ sont des cellules discrètes qui ne sont **pas reliées en continu entre elles;**

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).

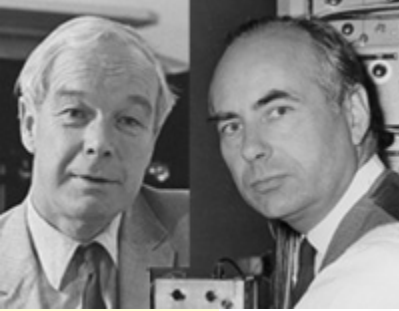


Car les neurones ont des dendrites et des axones pour communiquer **rapidement** avec d'autres neurones



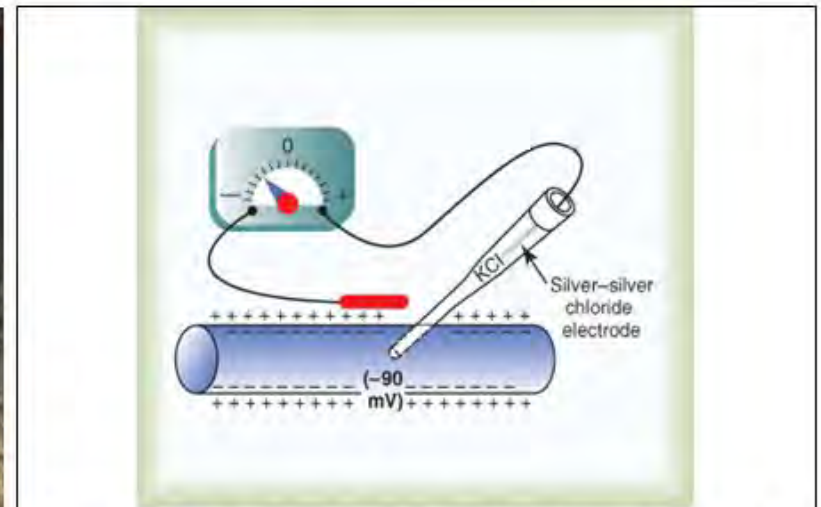
grâce à ce qu'on appelle les **influx nerveux** (ou **potentiels d'action**) dont on ignorait le mécanisme jusqu'au milieu du XXe siècle.





# Hodgkin-Huxley Expts, 1952

## Squid Giant Axon



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

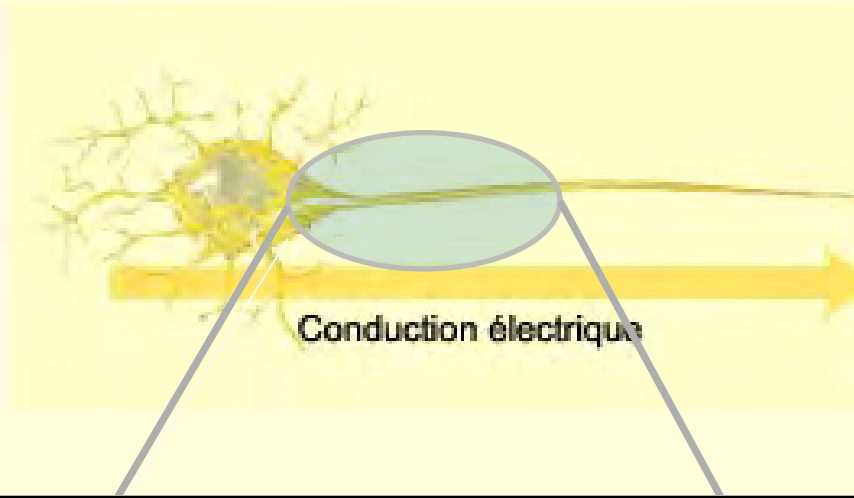
Few neurons, large diameter

Large enough to insert microelectrodes

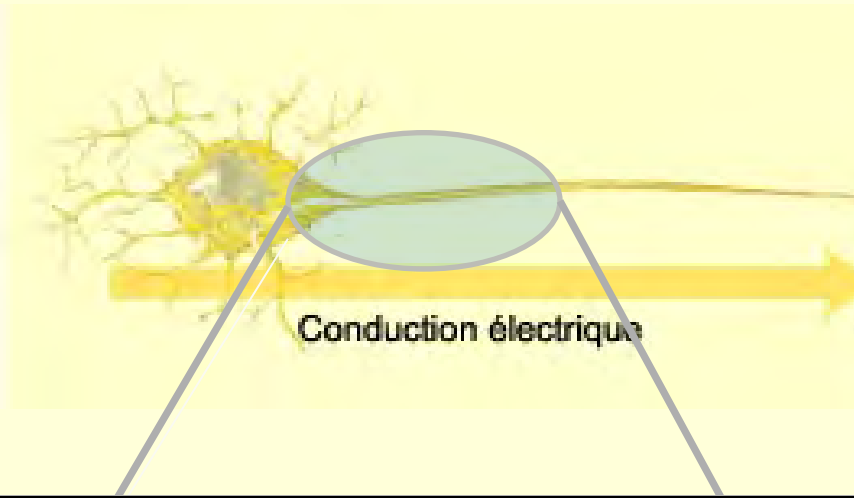
Stimulating microelectrodes (inject current) to disturb cell with electrical stimuli

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

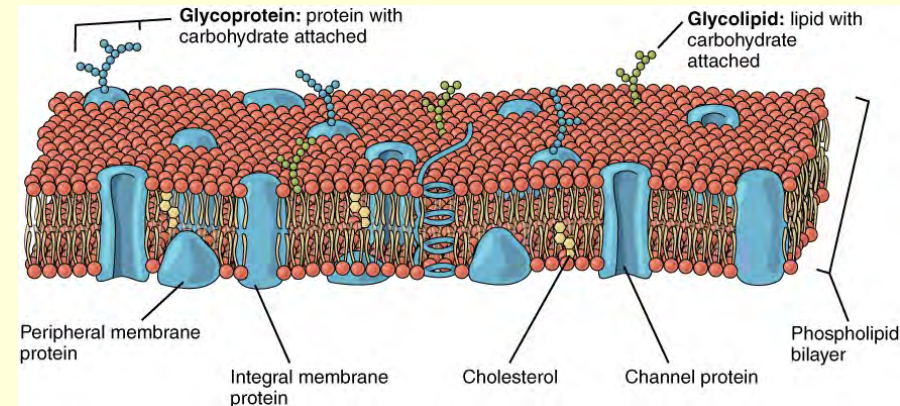
<http://www.science.smith.edu/departments/NeuroSci/courses/bio330/squid.html>



- Les neurones baignent dans du liquide physiologique
- De nombreuses substances se dissocient en ions chargés dans ce liquide (Ex.: NaCl en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ )
- 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

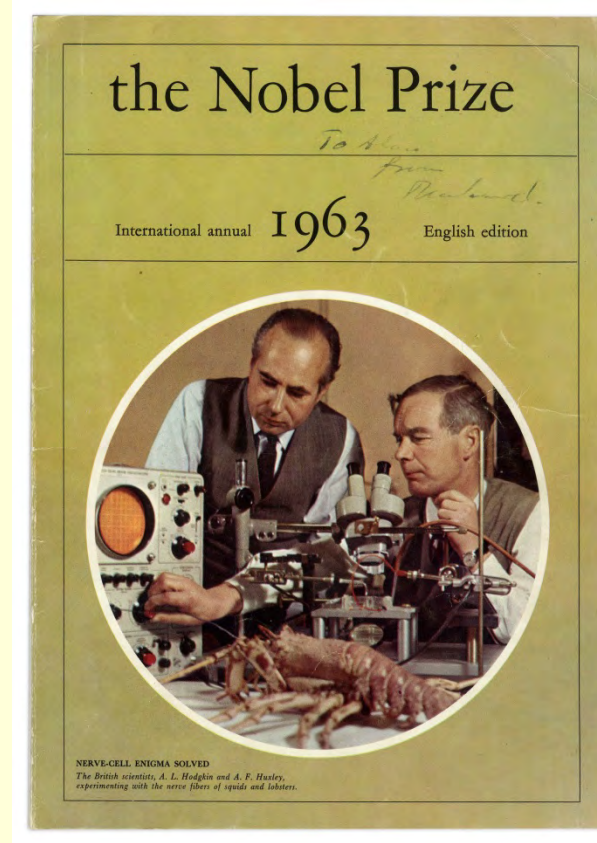
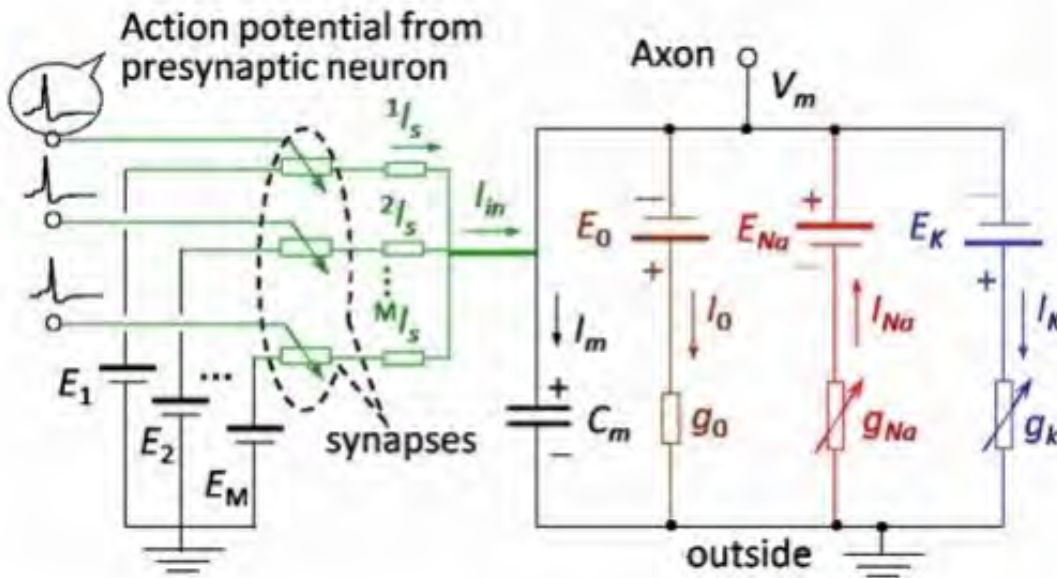


Plus tard, on démontrera que les pores de la membrane semi-perméable sont des protéines transmembranaires avec en leur centre un canal sélectif à certains ions.



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





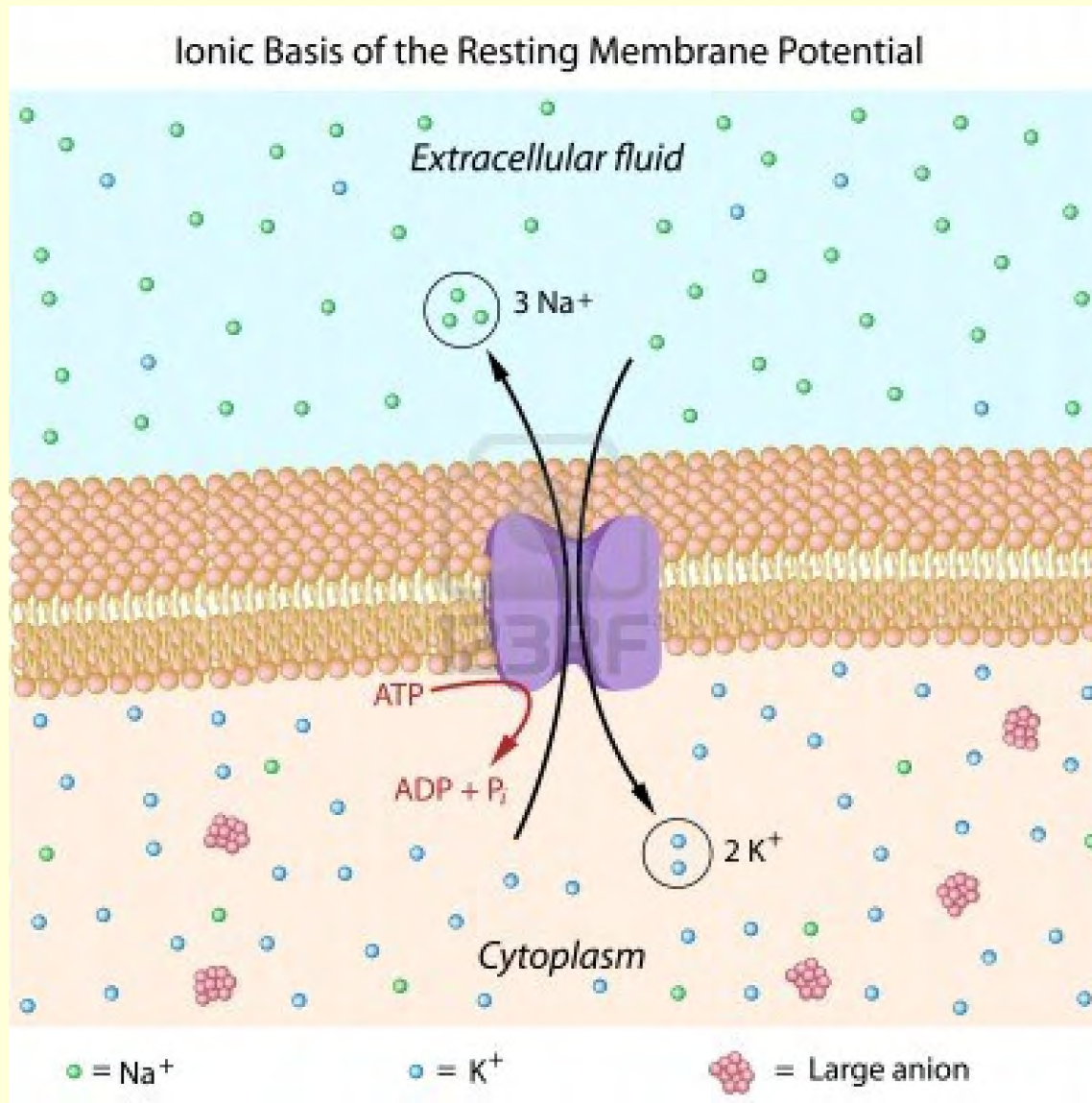
→ en élaborant un modèle mathématique de la conduction de l'influx nerveux, Hodgkin et Huxley avaient saisi certaines propriétés des protéines-canaux bien avant leur caractérisation.

[J Physiol](#). 2012 Jun 1  
**A brief historical perspective:  
 Hodgkin and Huxley**  
 Christof J Schwiening

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3424716/>

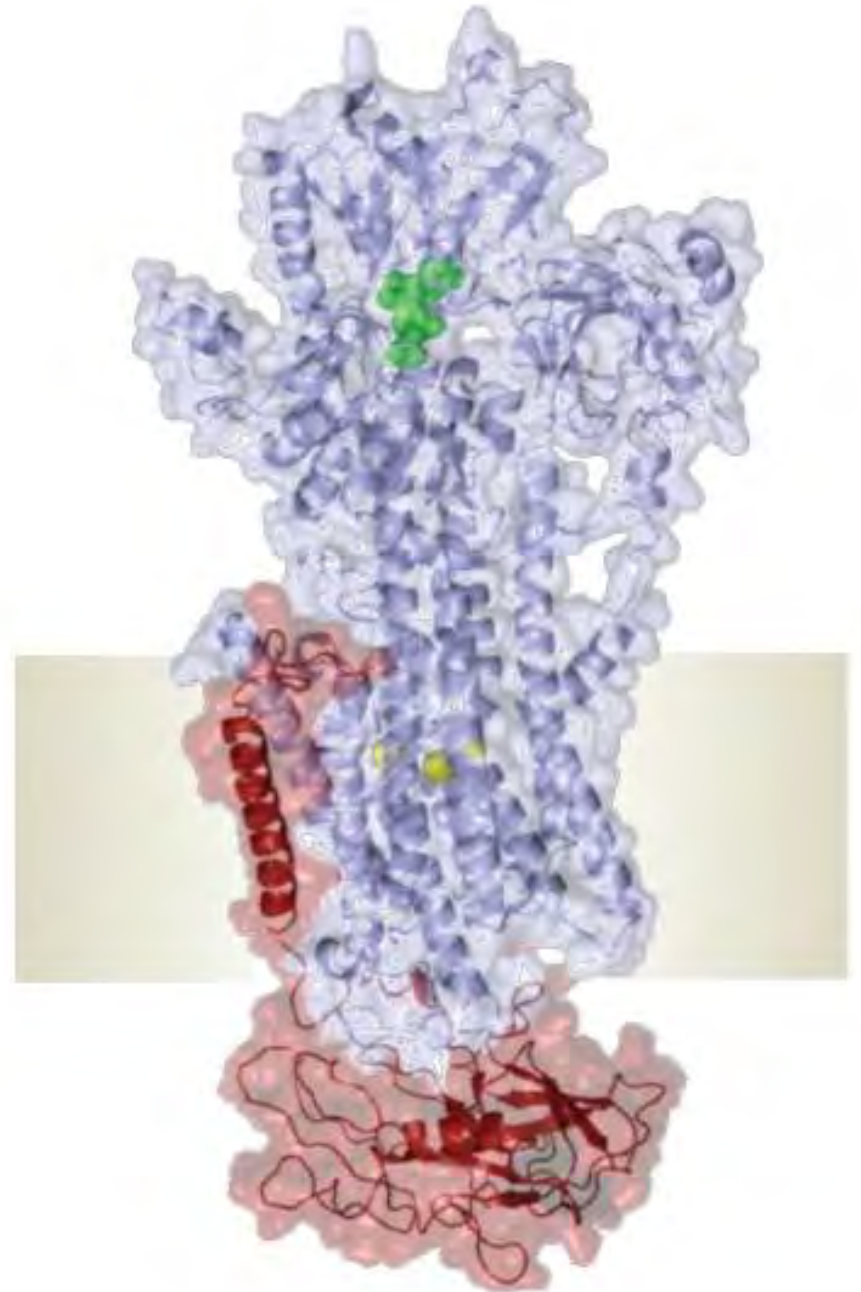
Dans le même ordre d'idée, petite parenthèse sur  
la **pompe au sodium/potassium** :

l'une des nombreuses protéines qui rend possible l'influx nerveux



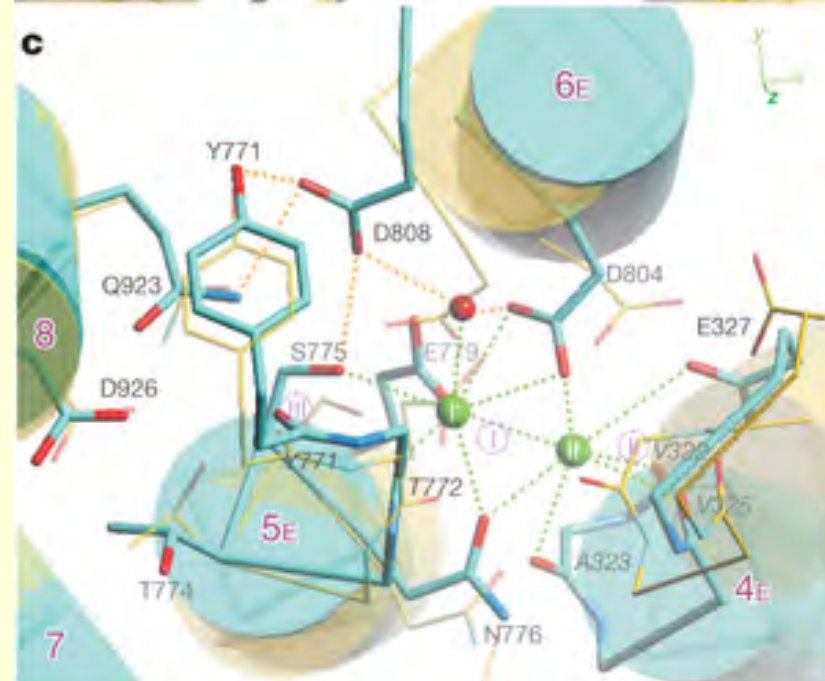
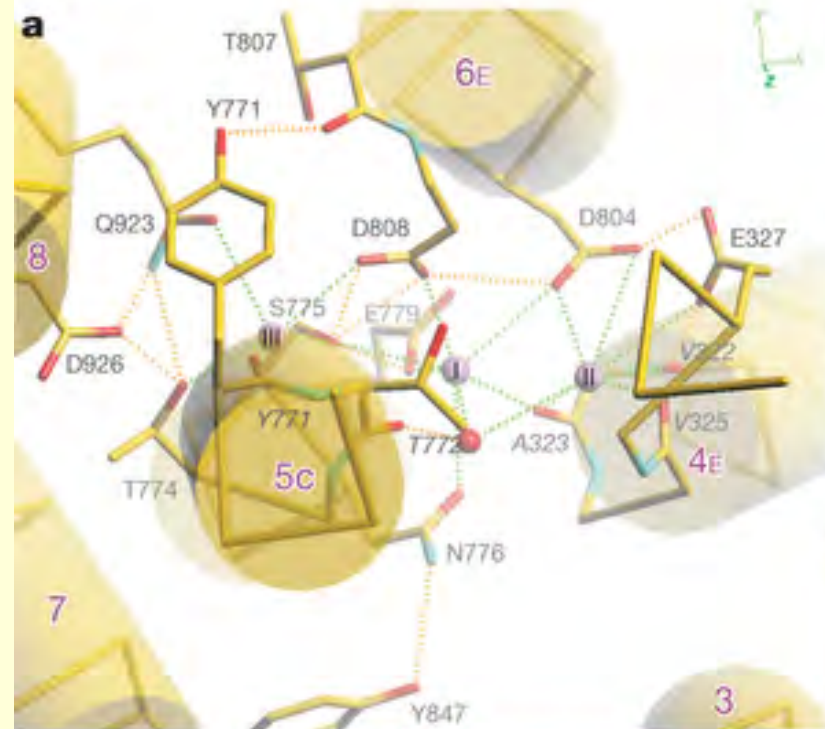
C'est seulement en **2009**,  
que sa structure globale  
a pu être observée.

Mais on s'était toujours  
demandé comment la pompe  
faisait pour prendre des ions  
sodium dans la première  
phase de son travail, et des  
ions potassium dans la  
deuxième, **sans se tromper.**



Ce n'est qu'en octobre **2013**, dans un articles publié dans ***Nature***, que Kanai *et al.* ont pu démontrer que la clé réside dans le fait que

la pompe **change de conformation** entre ces deux étapes.





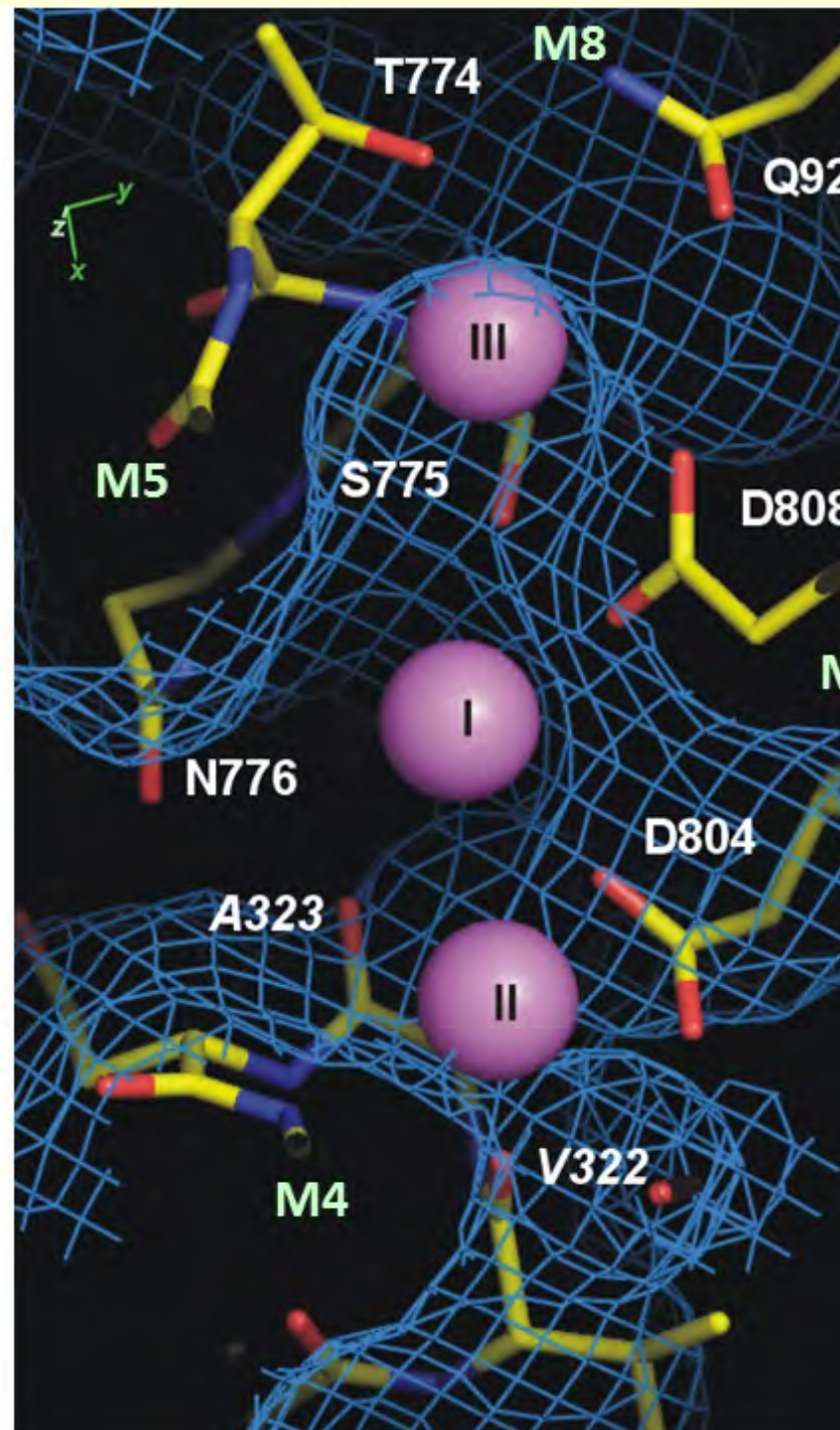
Par exemple, dans la première conformation, elle possède une cavité comportant **trois logements** qui ont exactement la taille d'ions sodium.

Mais ces logements sont **trop petits** pour accepter des ions potassium.

Ce réglage très précis permet à la pompe de **discriminer** entre les deux sortes d'ions.

Et de créer ainsi le potentiel de repos qui rendra possible les potentiel d'action.

**Et à partir de là, le cerveau pourra commencer à penser...**



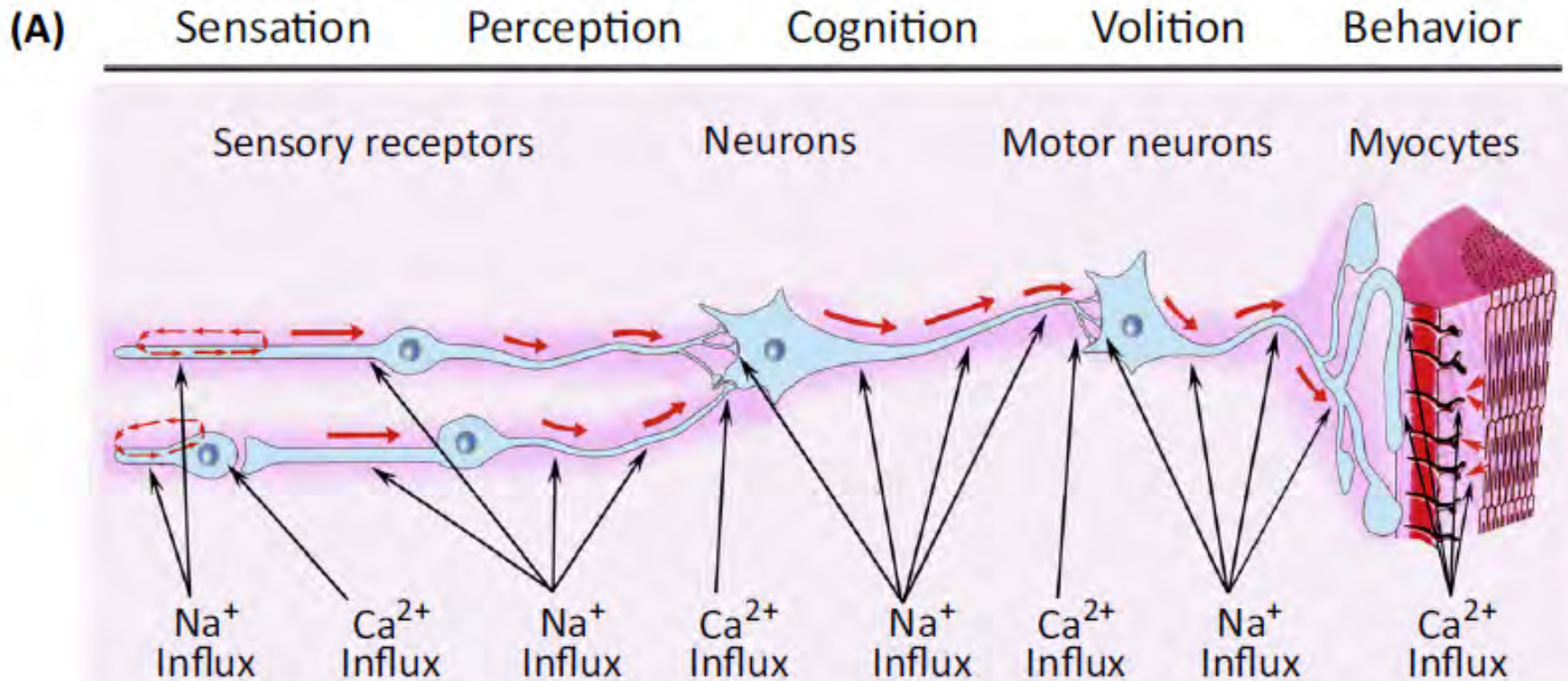
# From membrane excitability to metazoan psychology

Trends in Neuroscience, Volume 37, Issue 12, p698–705, **December 2014**

<http://www.cell.com/trends/neurosciences/abstract/S0166-2236%2814%2900128-3?cc=y>

Et <http://www.blog-lecerveau.org/blog/2014/12/08/de-lexcitabilite-membranaire-a-la-conscience-subjective/>

- l'événement « premier » qui alerte en quelque sorte la cellule qu'il se passe « quelque chose » qui la concerne dans l'environnement seraient ces ions positifs qui entrent dans les neurones et se transmettent au suivant.
- et c'est à partir de là que s'élaborerait toute la psychologie animale jusqu'à la conscience humaine...





**Sir Bernard Katz**  
(1911-2003)

the quantal / vesicle hypothesis  
of neurotransmitter release



nobel prize, 1970

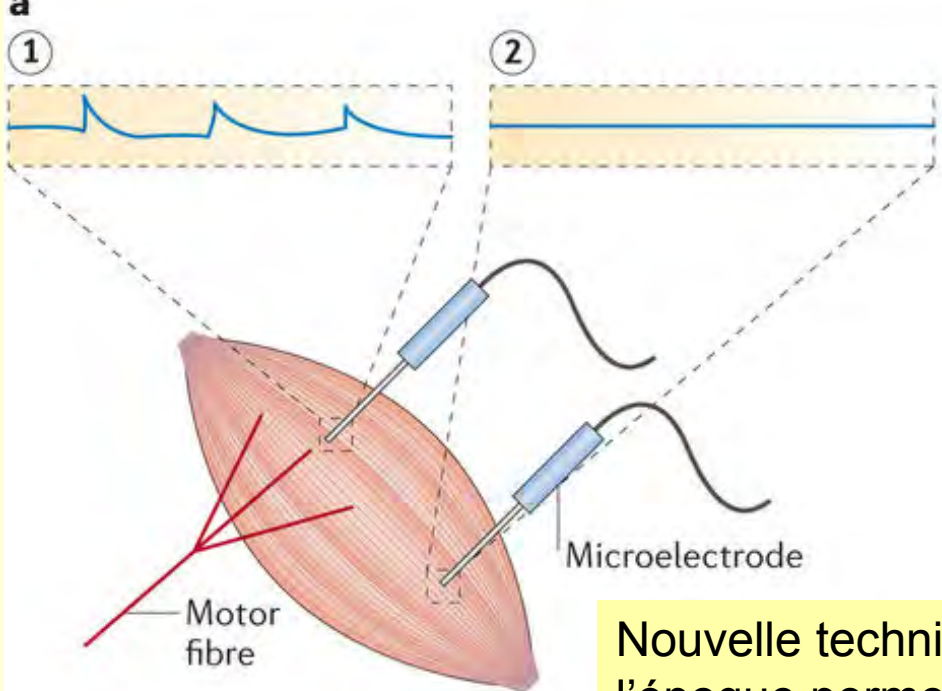
Fatt & Katz, 1952  
del Castillo and Katz, 1955

J Physiol. 2007 Feb 1;

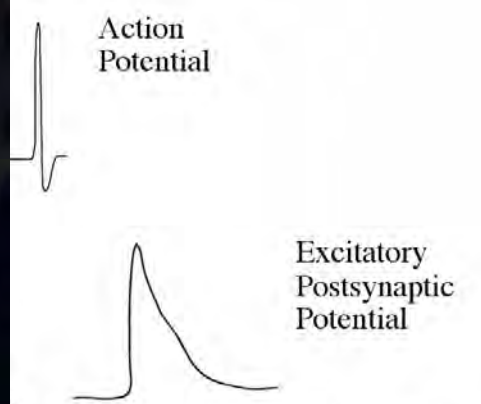
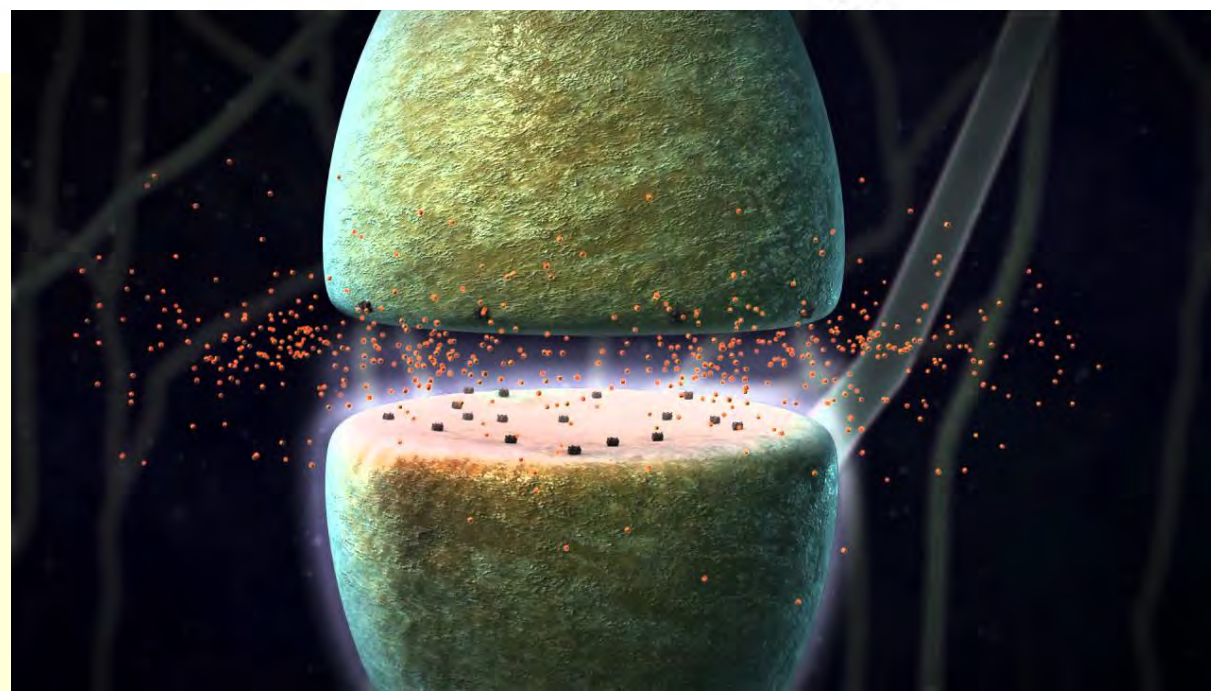
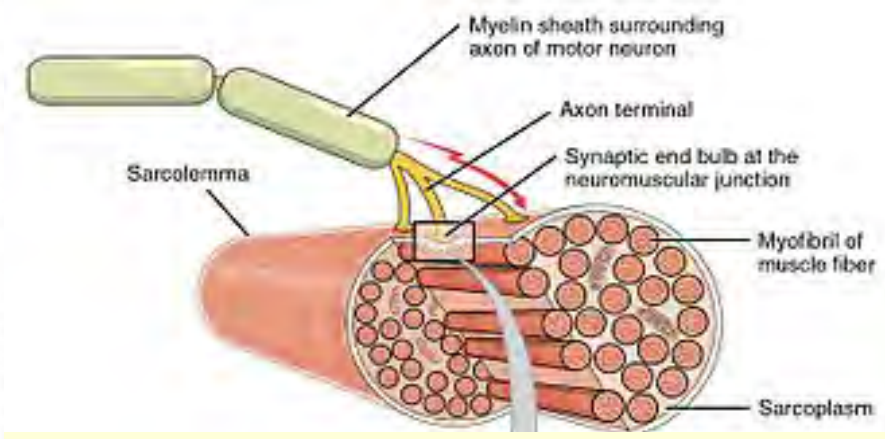
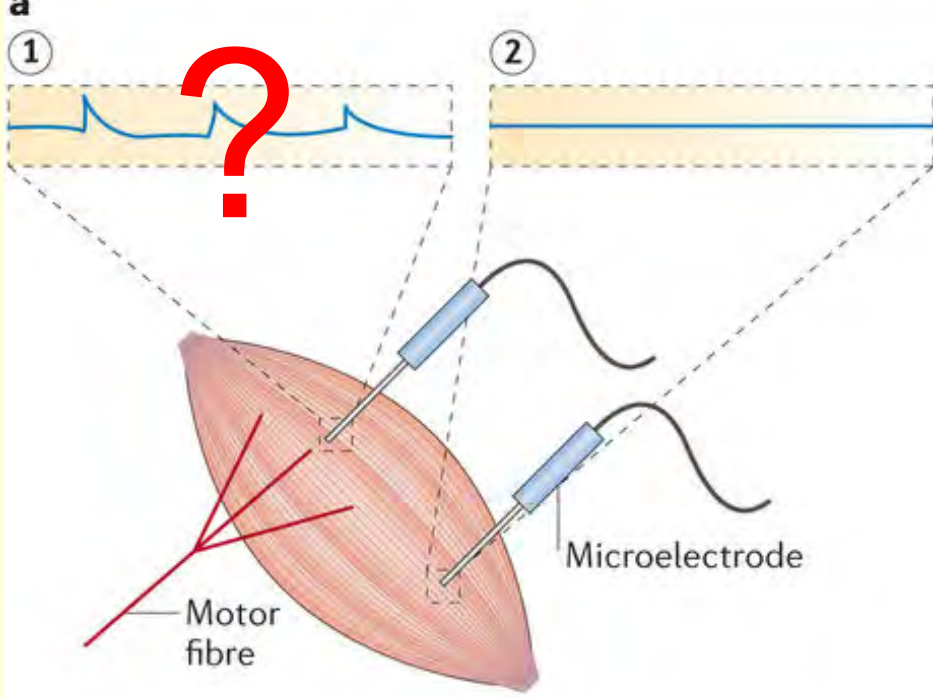
## Bernard Katz, quantal **transmitter release** and the foundations of **presynaptic physiology**

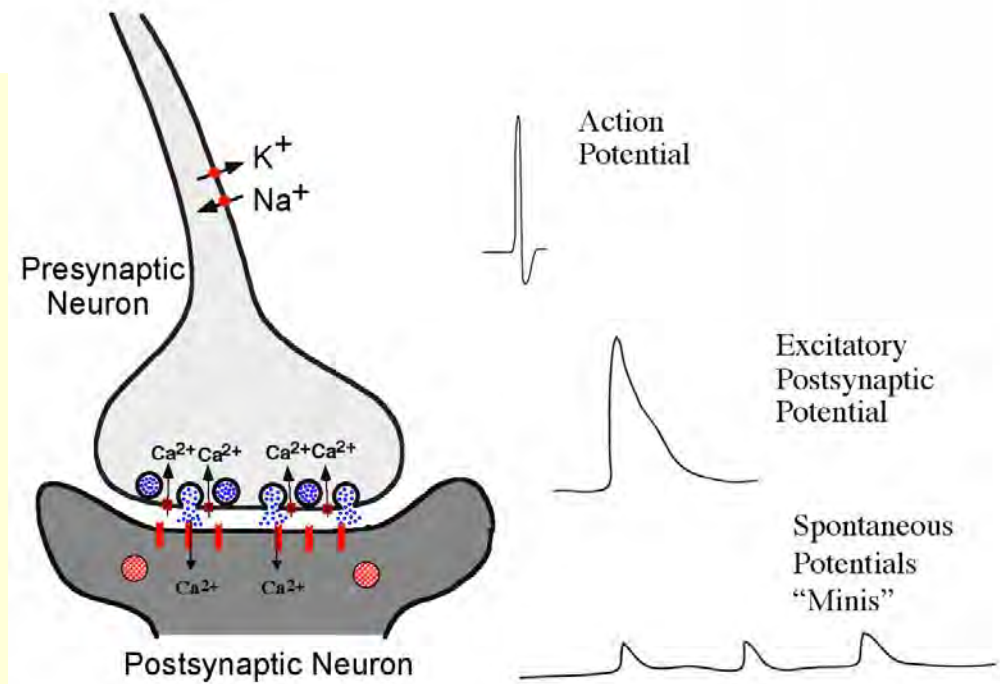
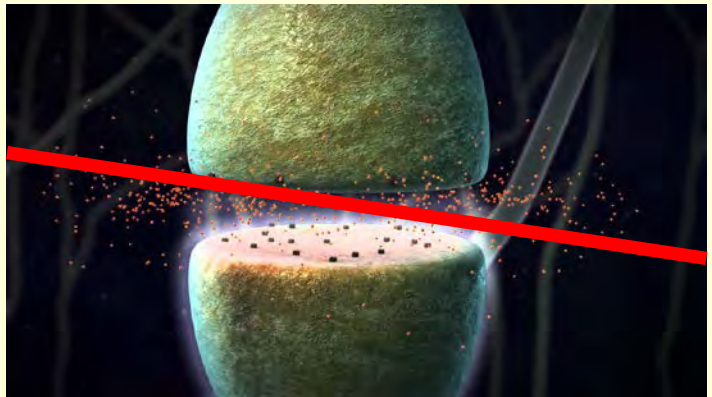
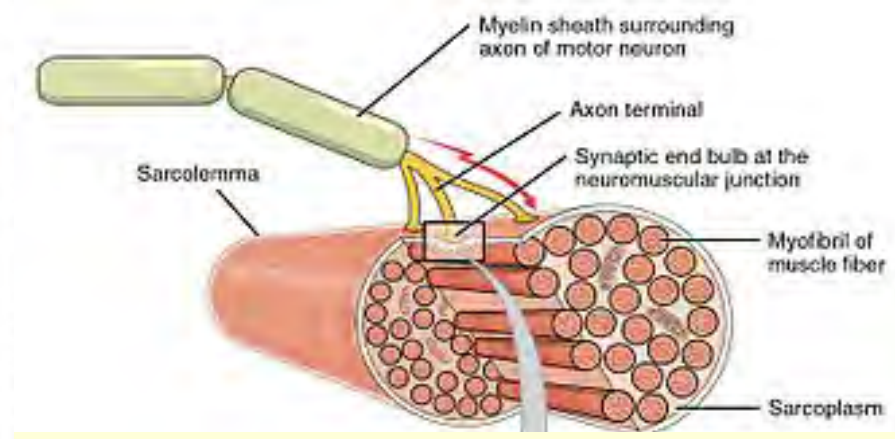
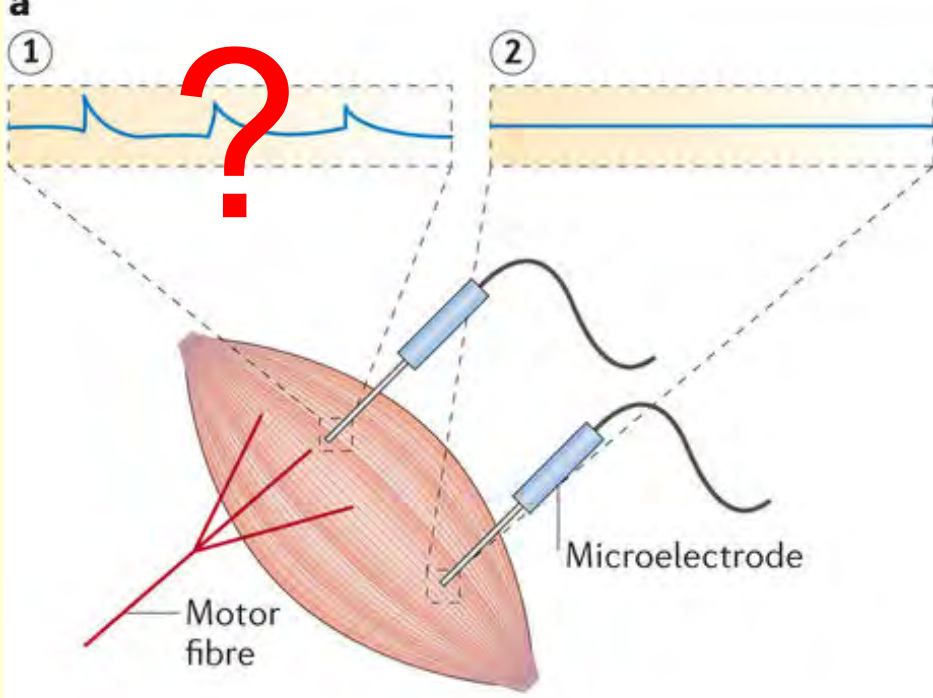
George J Augustine and Haruo Kasai

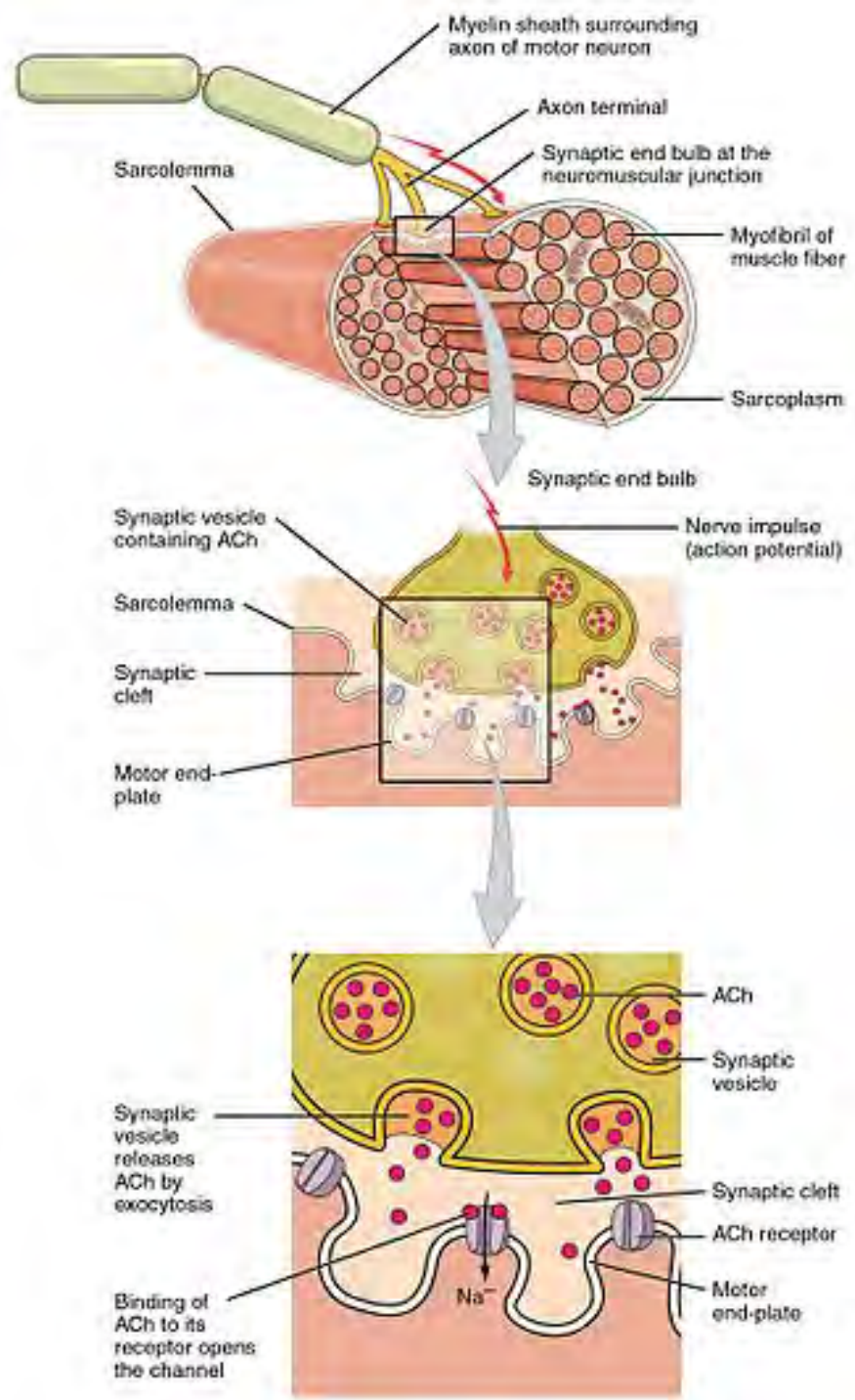
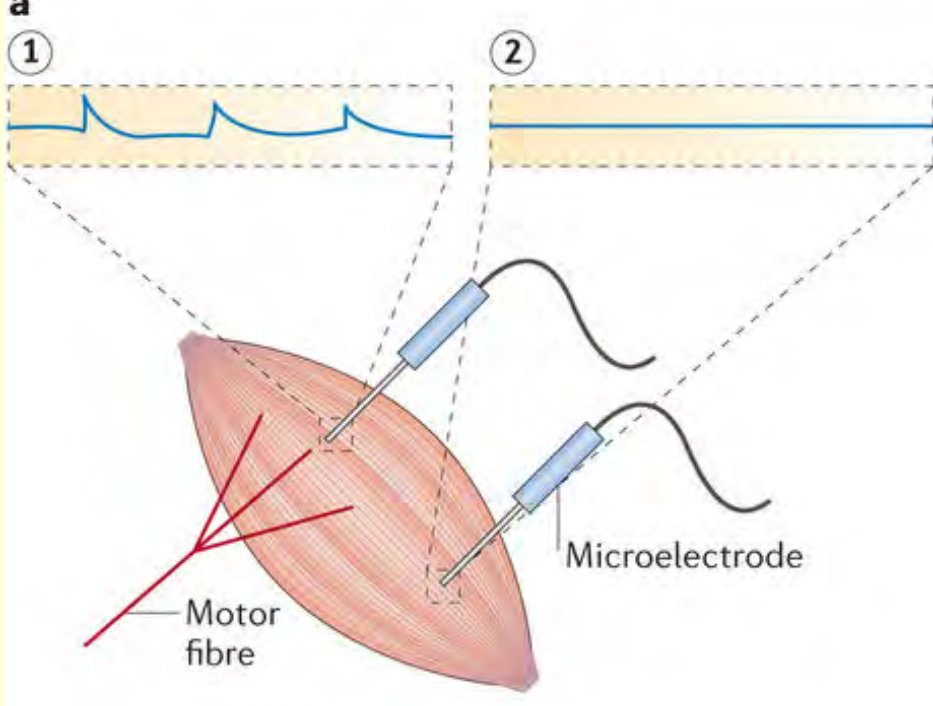
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2151334/>

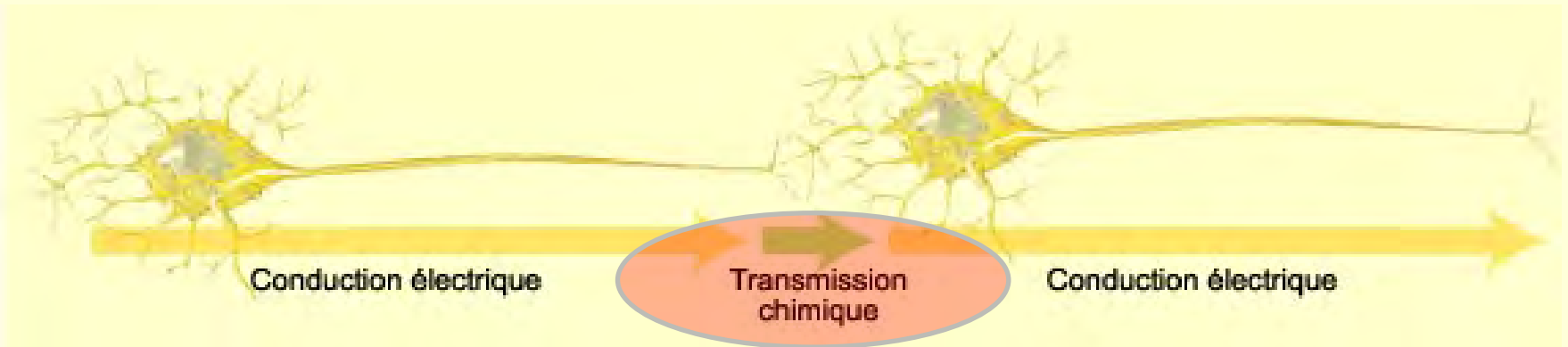


Nouvelle technique à l'époque permettant d'enregistrer les fluctuations électrique de part et d'autre de la membrane cellulaire



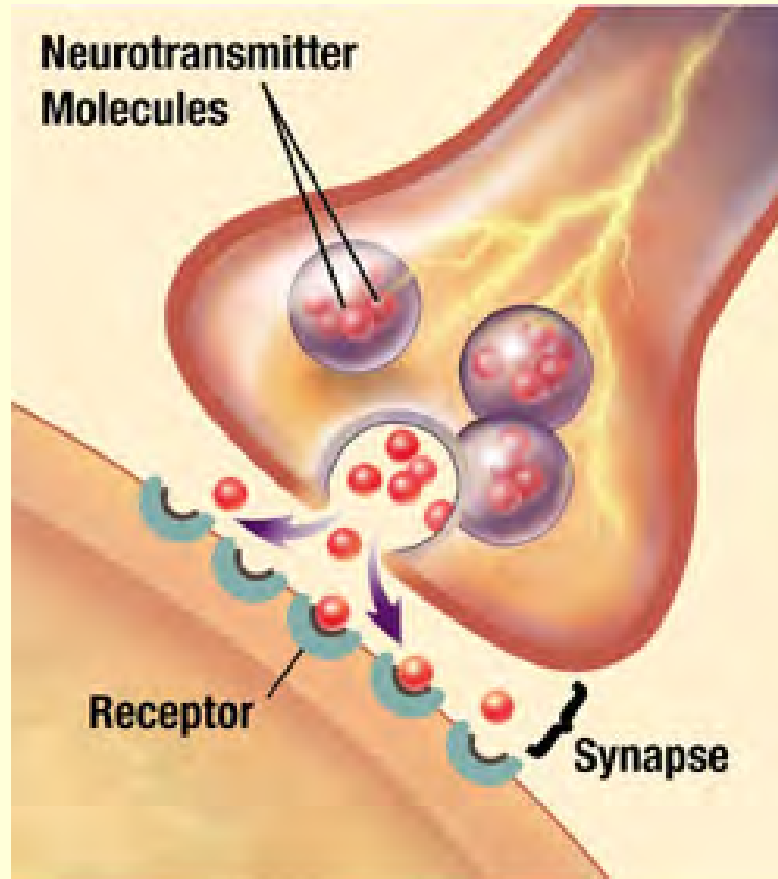




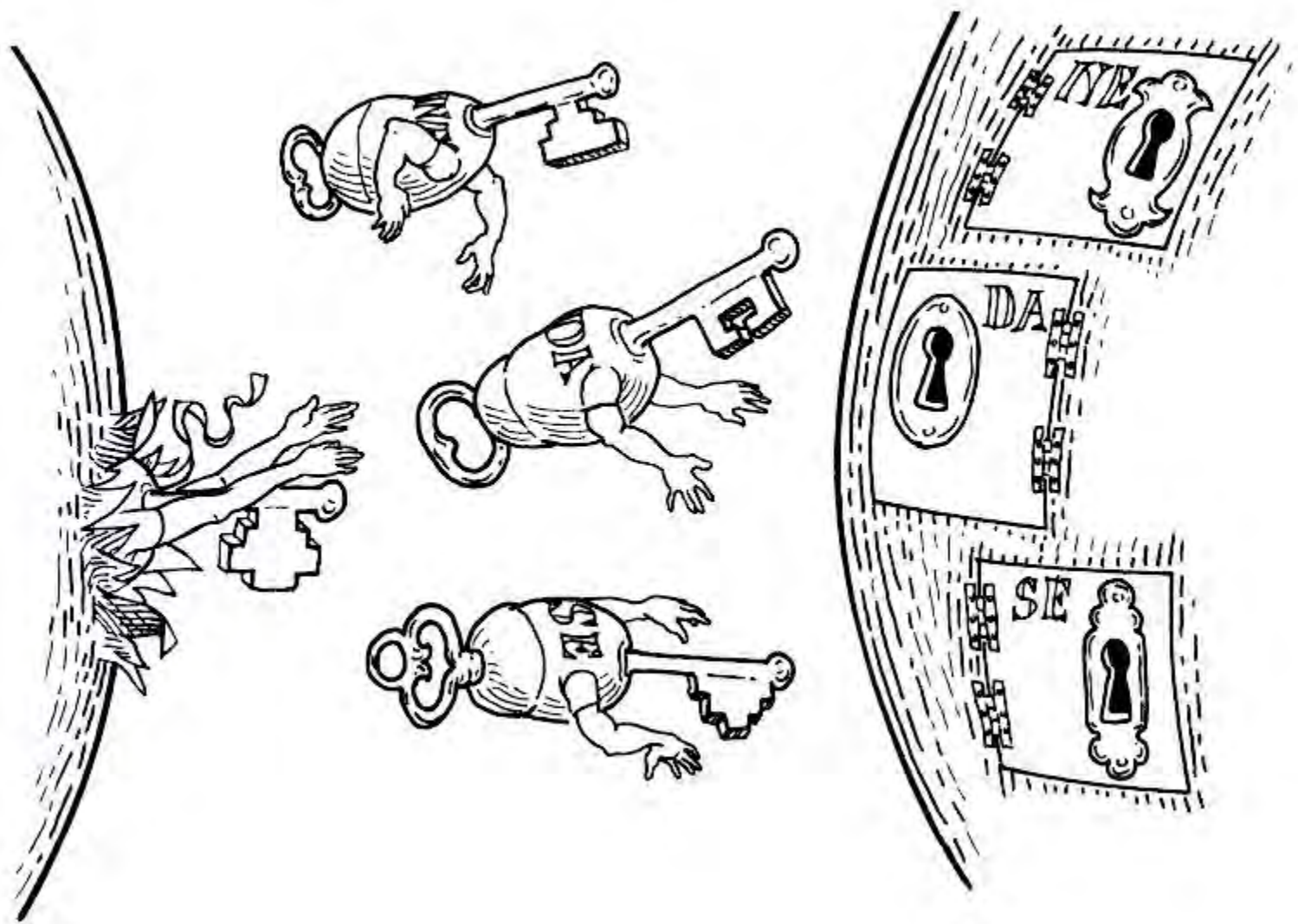


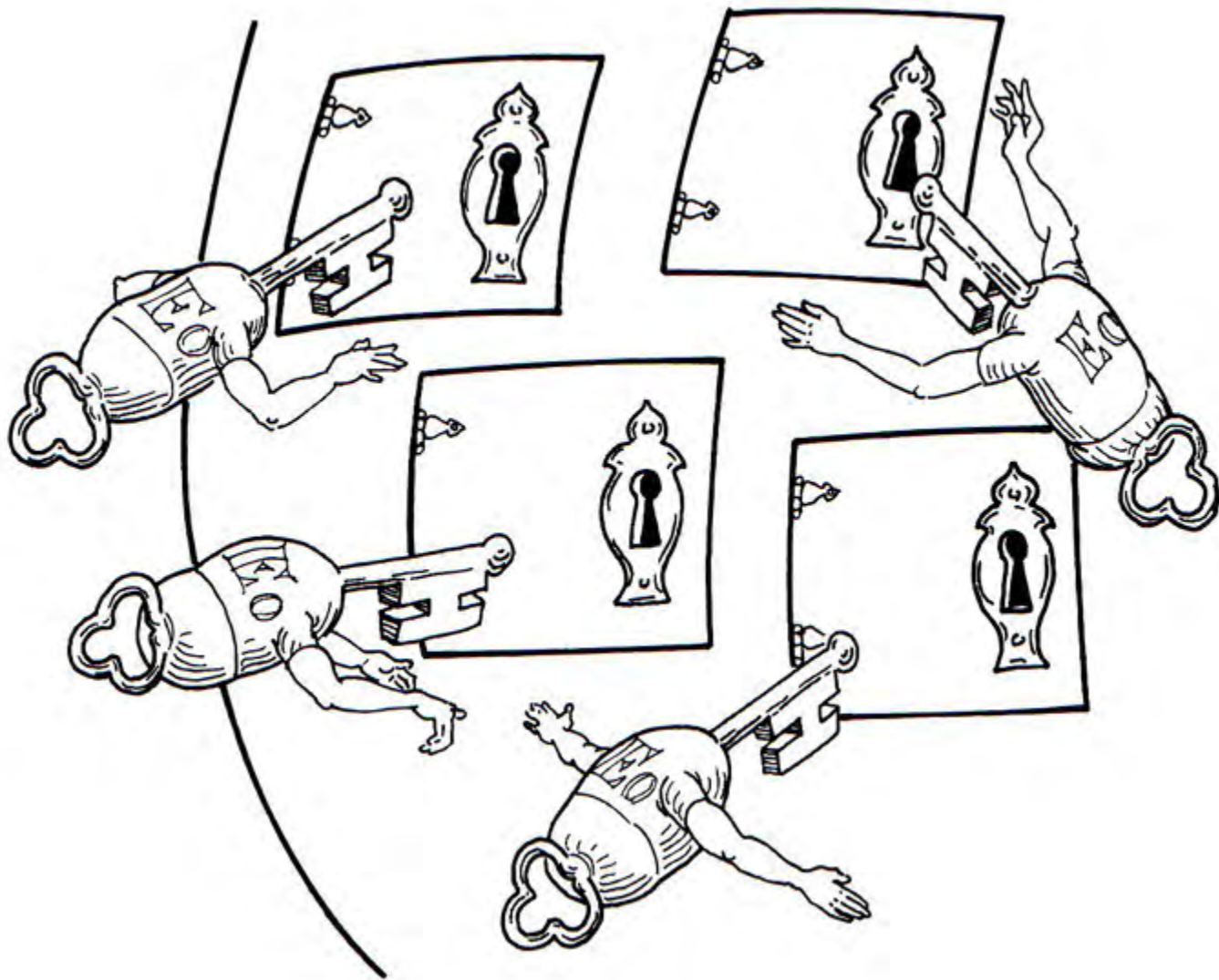
Donc les neurones qui font des connexions ne se touchent pas :

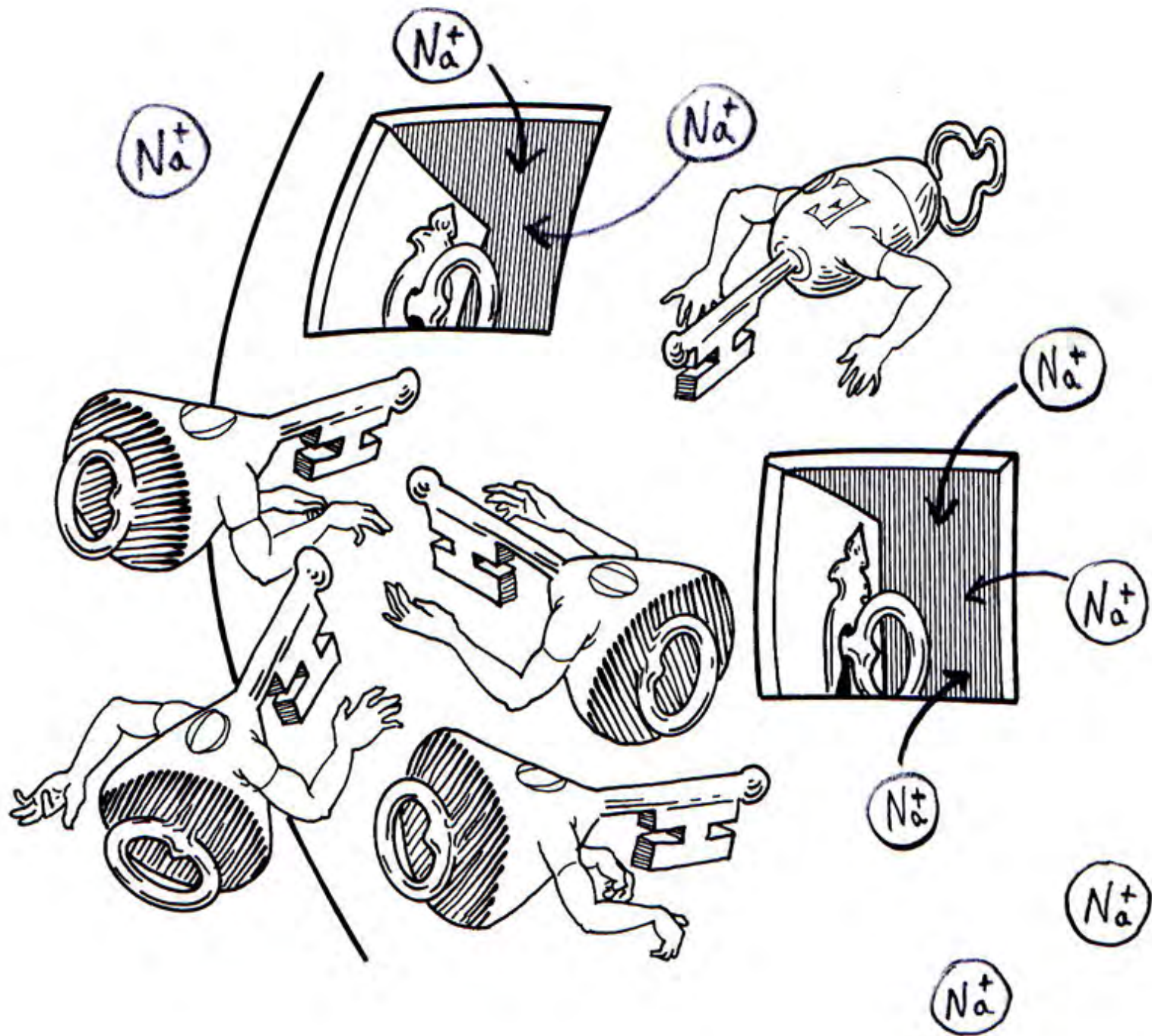
l'influx est recréé dans le neurone suivant grâce à la diffusion et à la fixation des neurotransmetteurs.







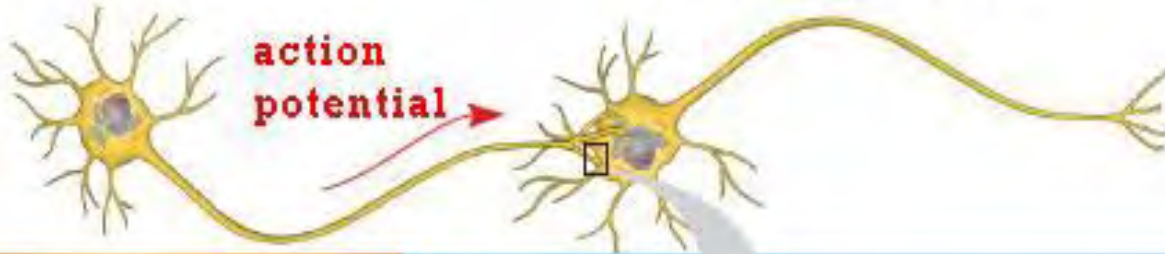




Presynaptic cell

Postsynaptic cell

action potential



Synaptic vesicles containing neurotransmitter

Presynaptic membrane

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

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

Synaptic cleft

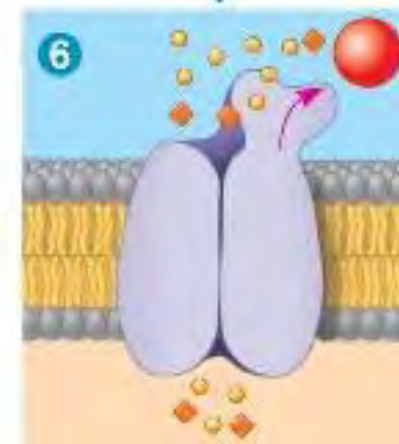
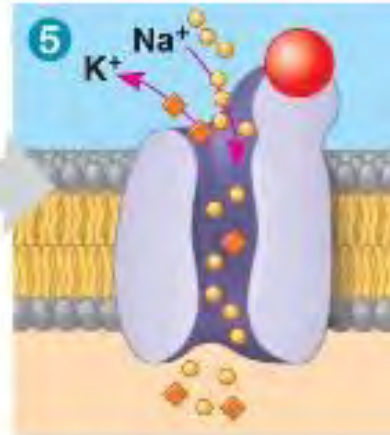
2

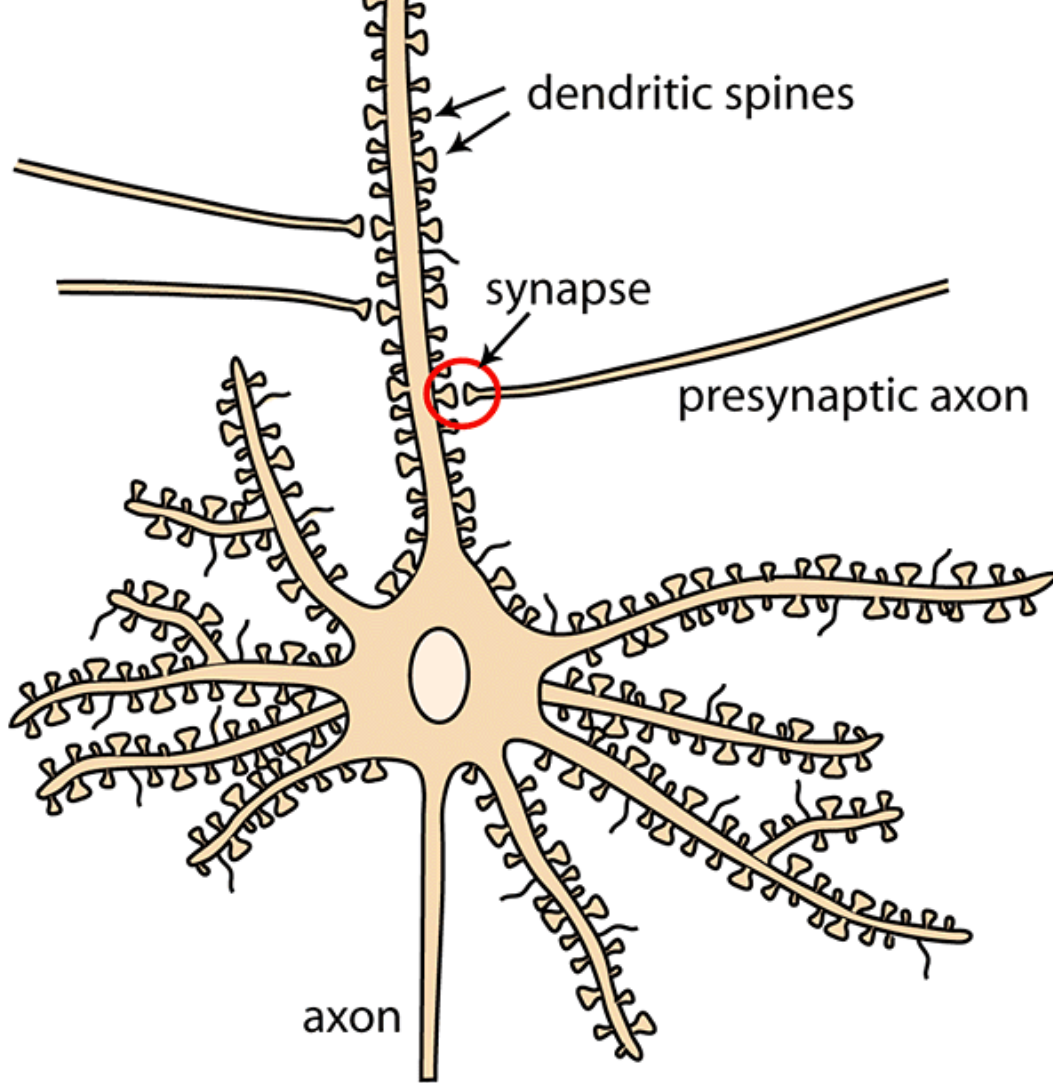
3

4

Ligand-gated ion channels

Postsynaptic membrane



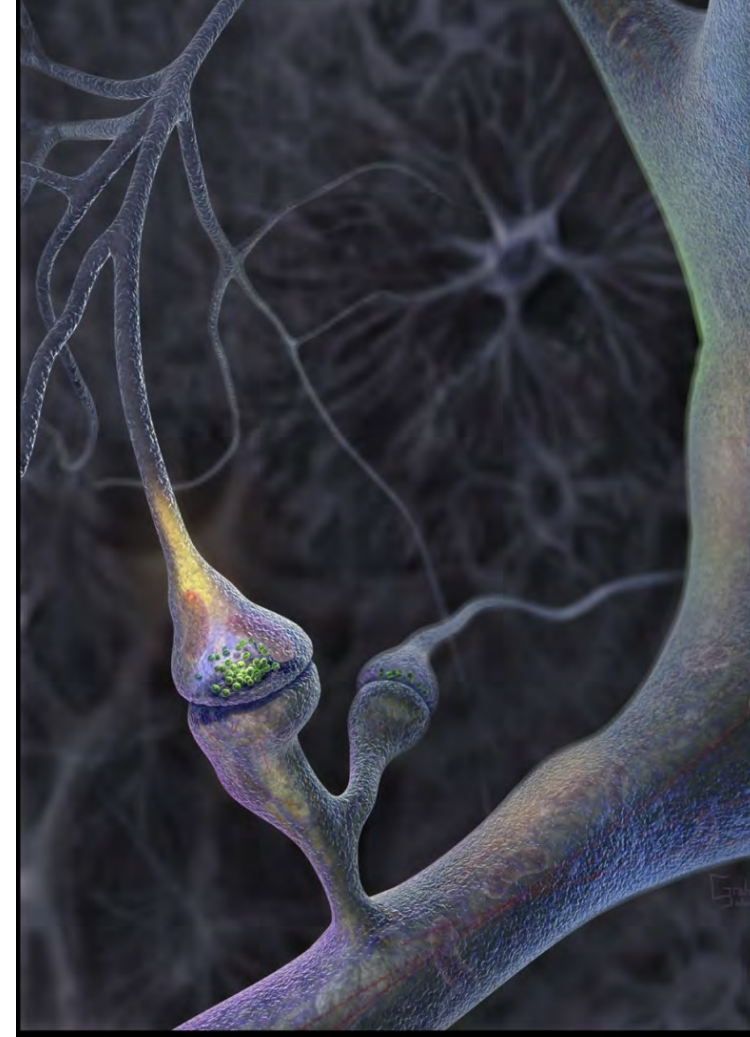
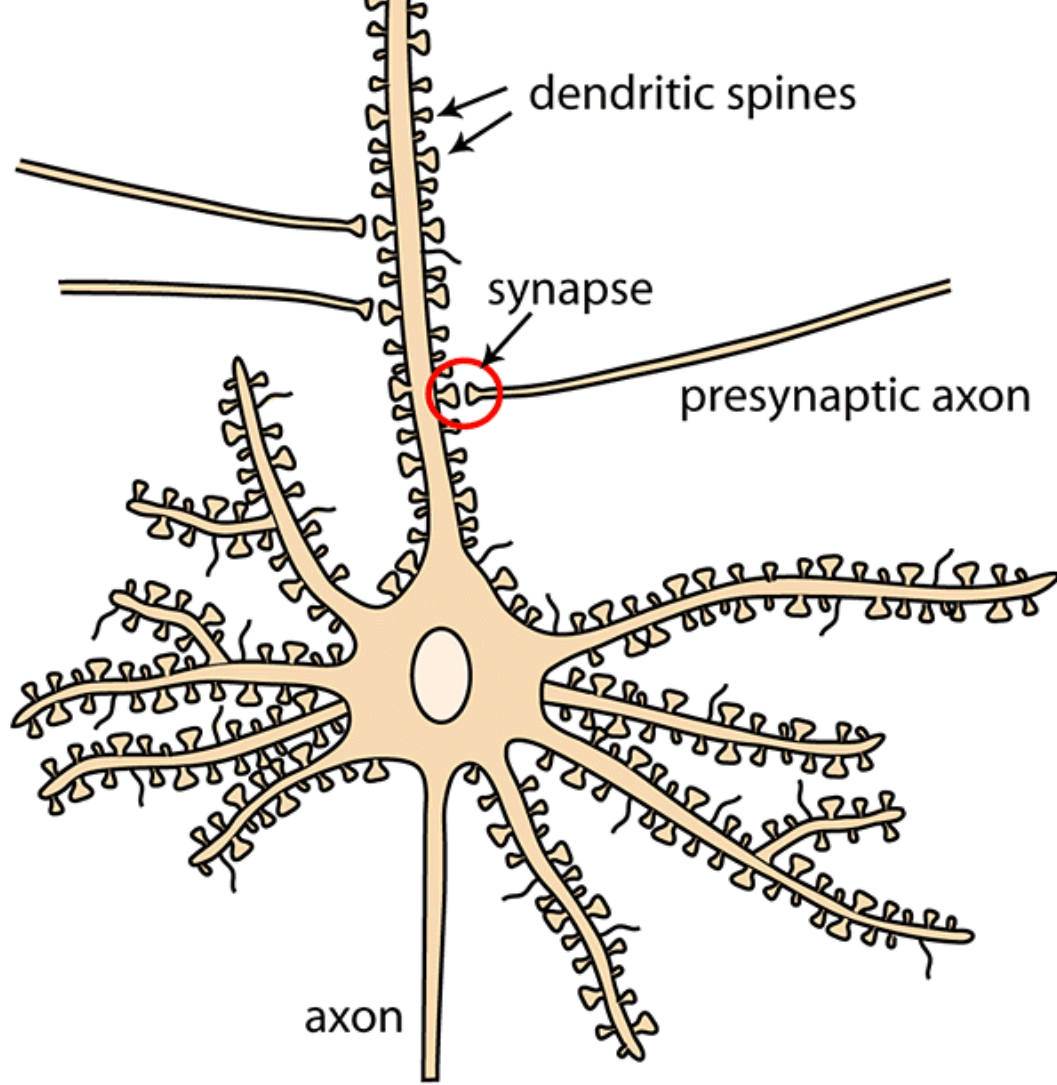


Smrt & Zhao. Frontiers

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.

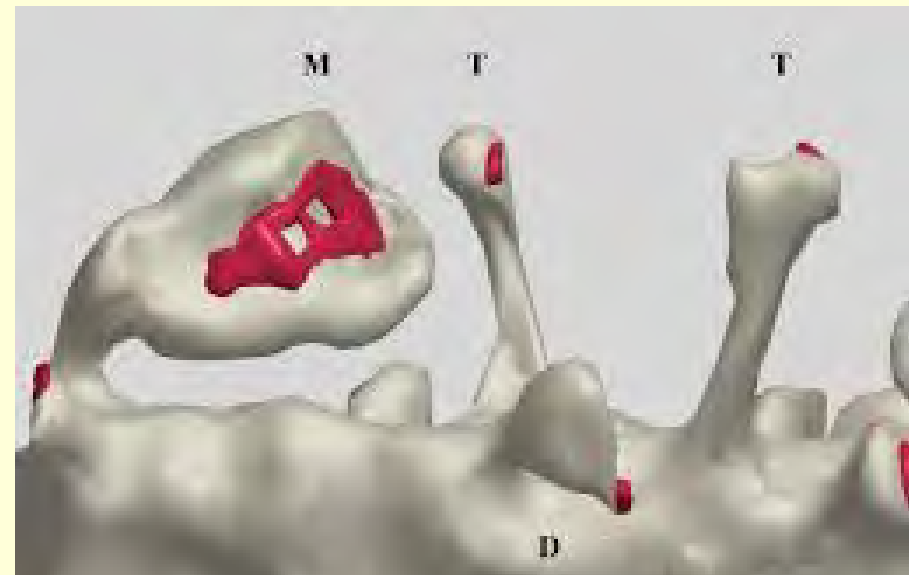
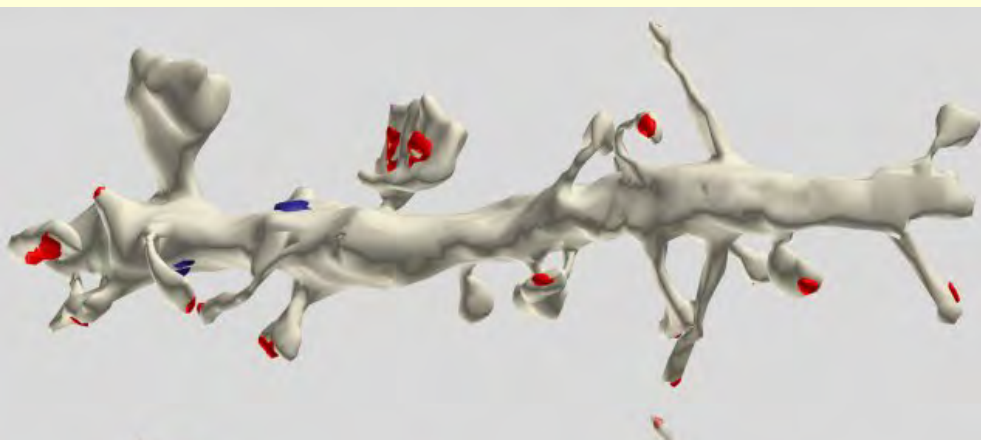
Les deux forment ce qu'on appelle la **synapse**.

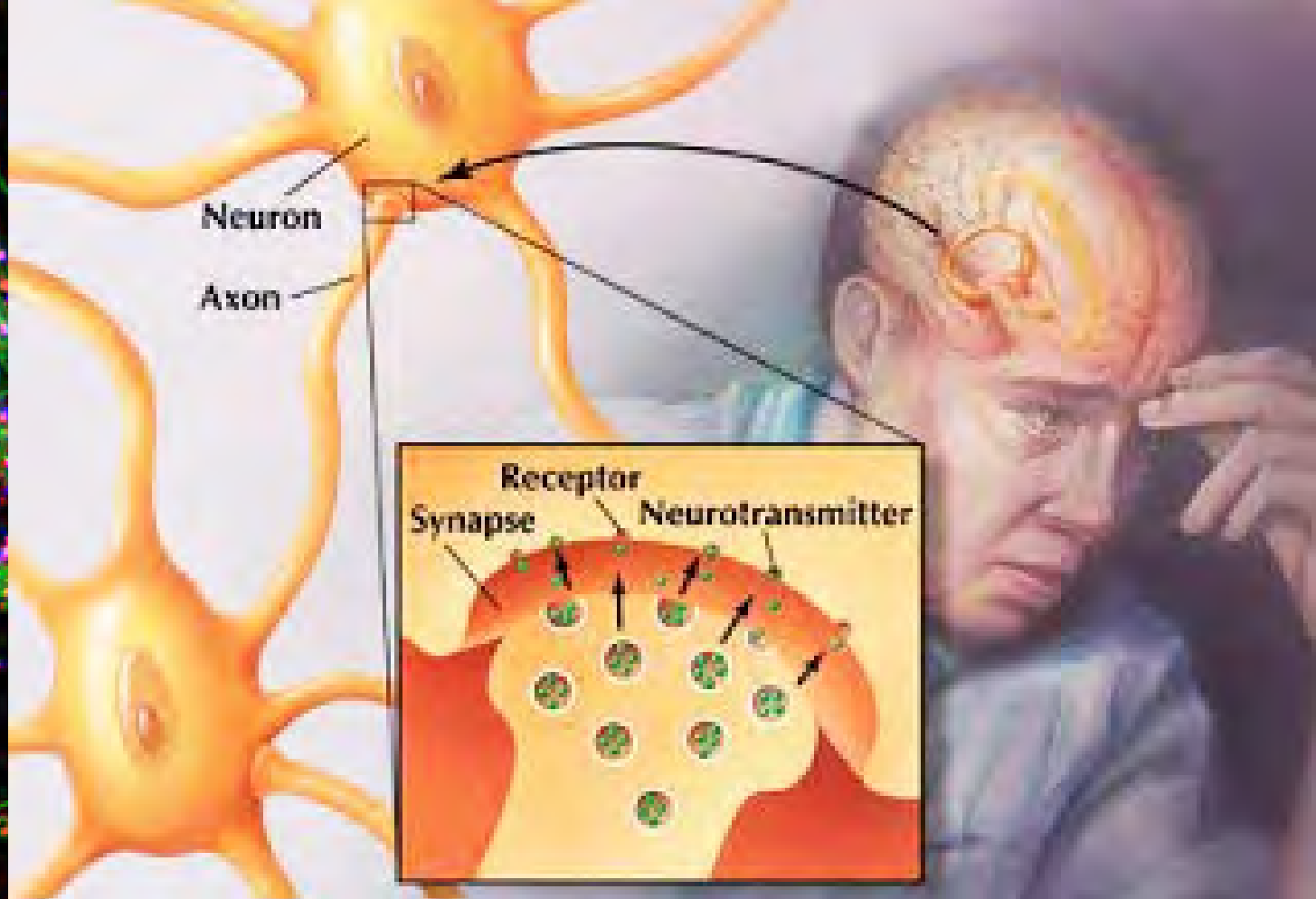


Smrt & Zhao. Frontiers in Biology 2010



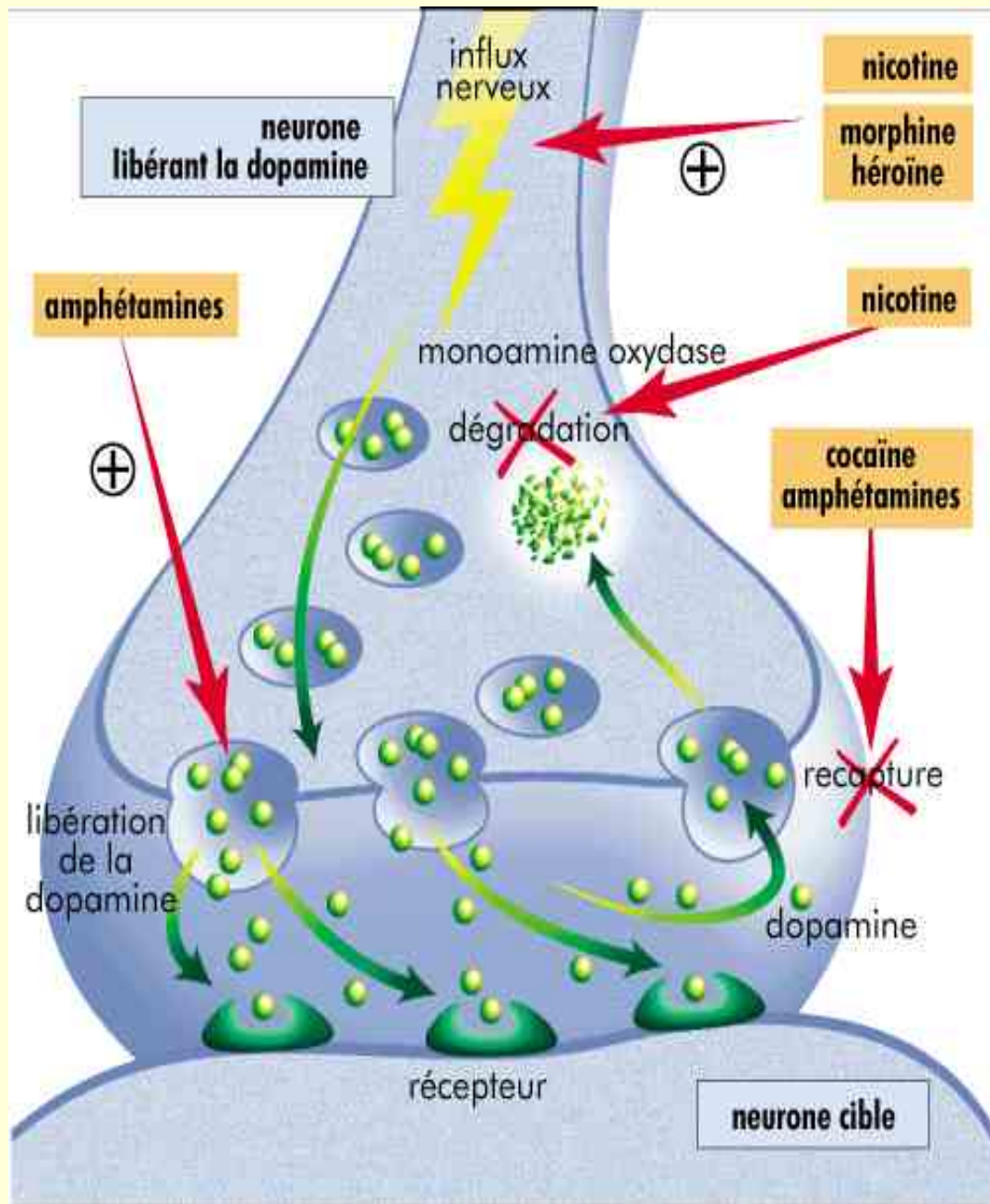
De plus, la taille et la forme de ces épines dendritiques ne sont **pas fixes** mais peuvent être au contraire **très plastiques** comme on le verra un peu plus loin...



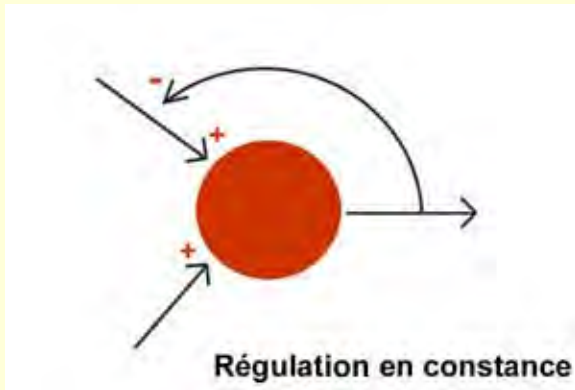


C'est à la synapse qu'agissent  
la grande majorité des  
**médicaments** et  
des **drogues**

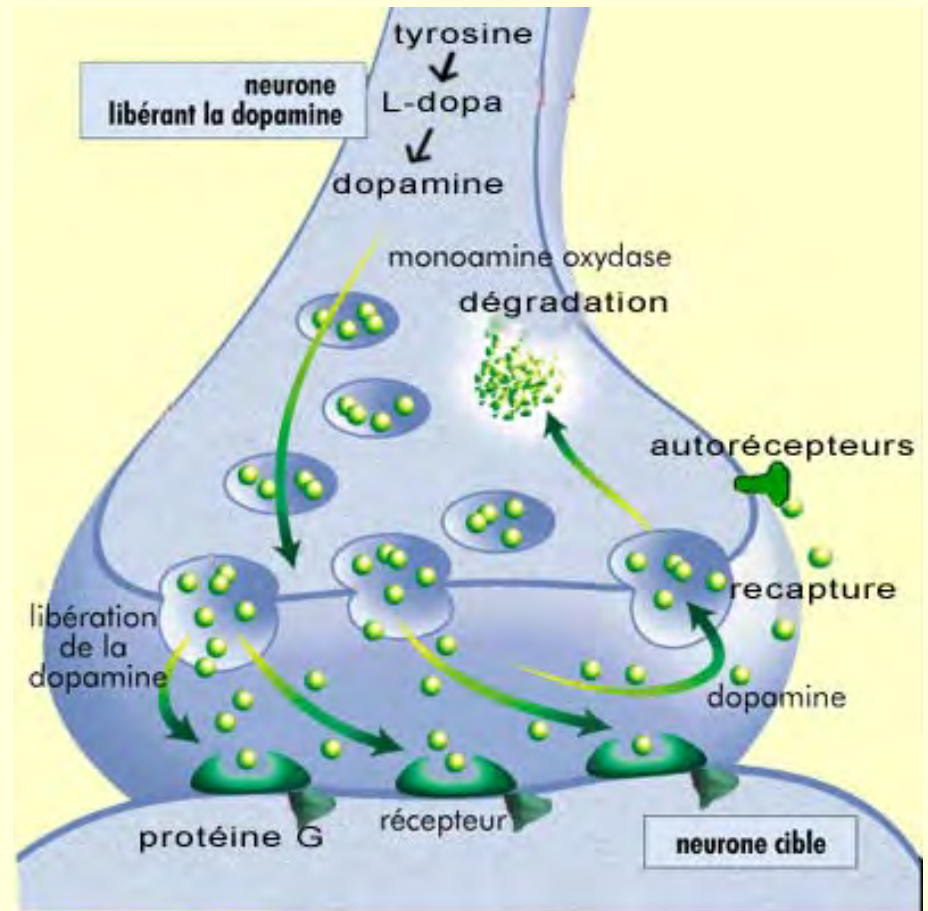




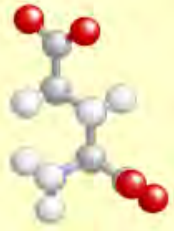
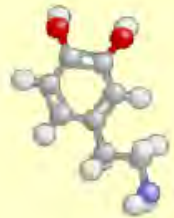
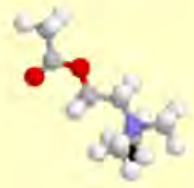
On constate que **l'augmentation artificielle d'un neurotransmetteur exerce une rétroaction négative sur l'enzyme chargée de le fabriquer.**



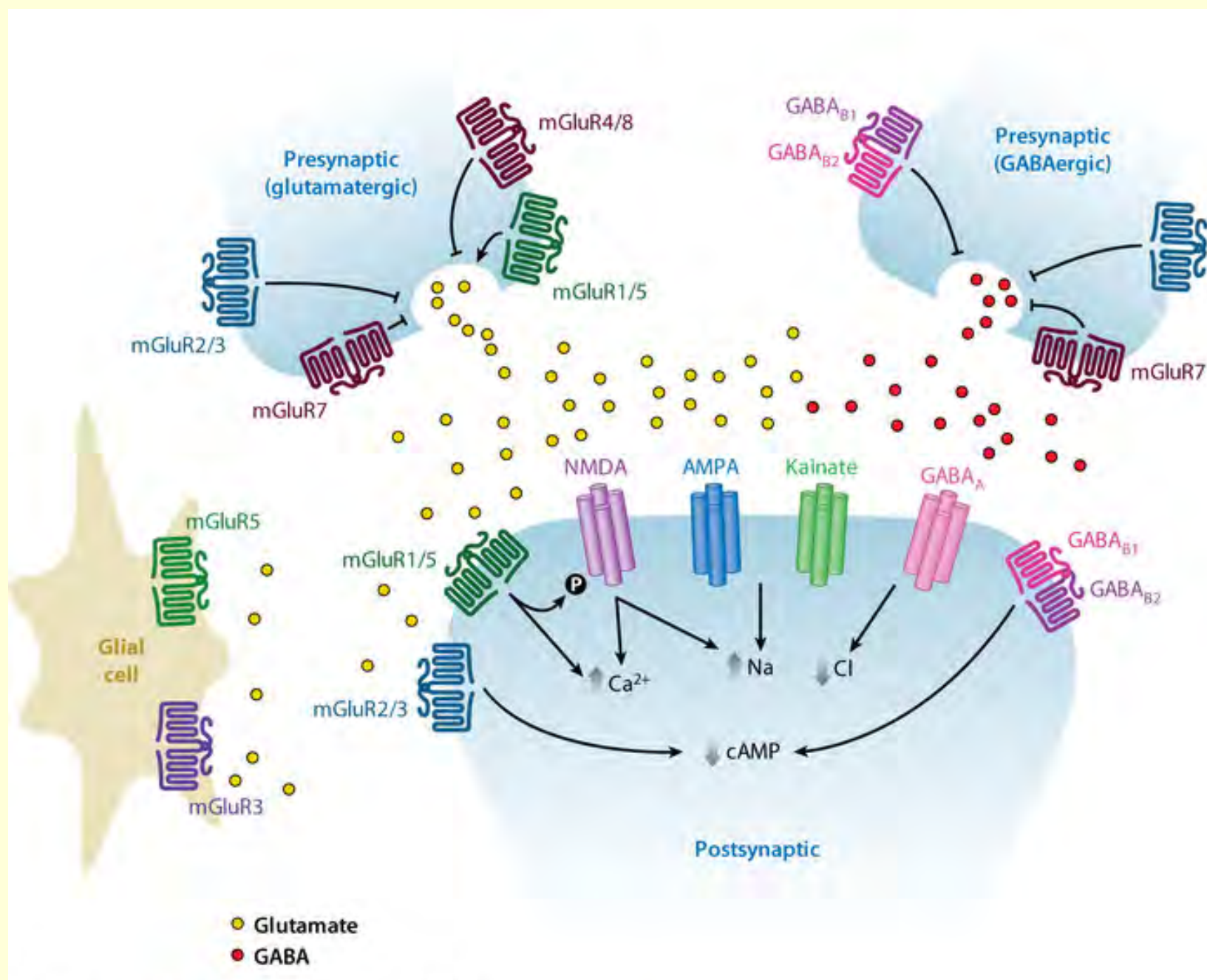
Résultat : quand cesse l'apport extérieur de la drogue, l'excès se traduit en manque.



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...

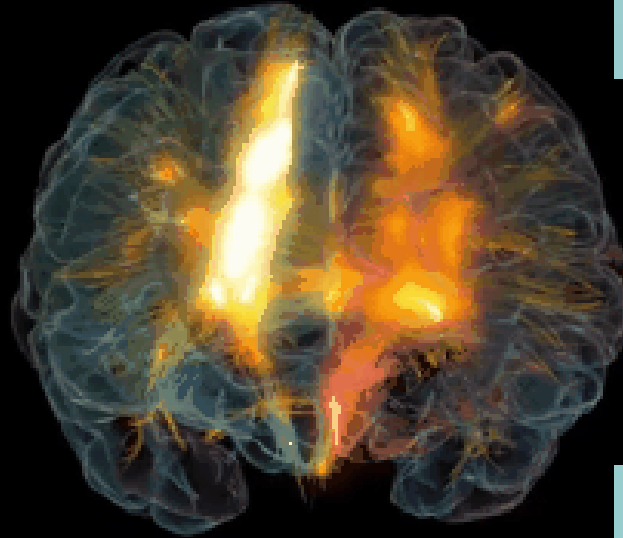
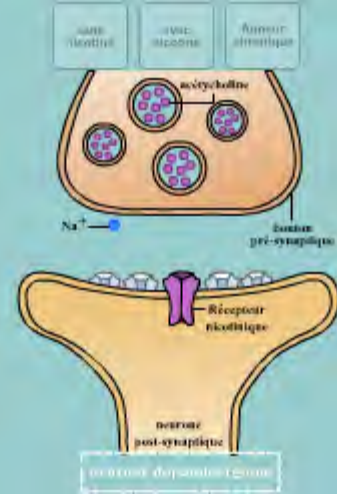
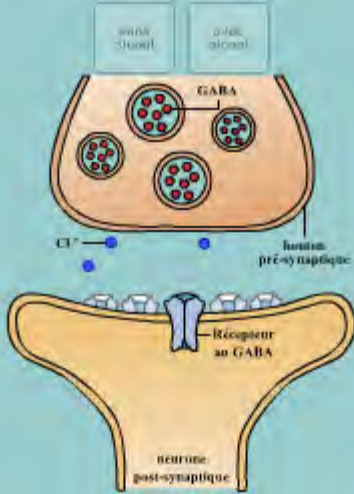


Etc, etc...



# Nicotine

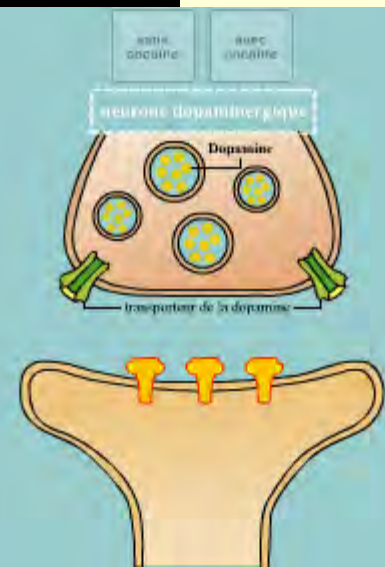
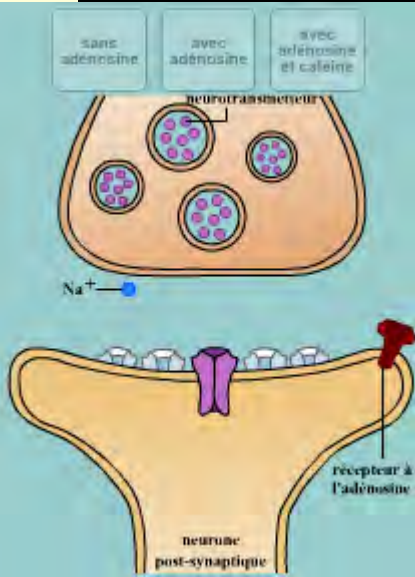
## Alcool



[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)

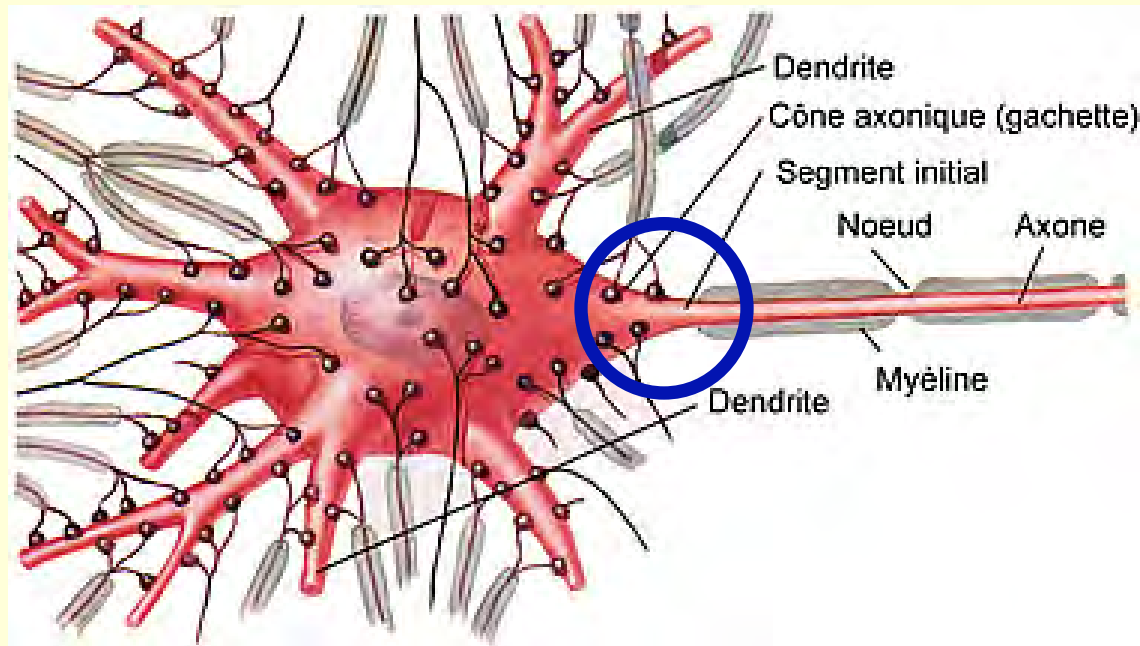
# Cocaïne

## Caféine





Phénomènes de plasticité, à la base de l'apprentissage que l'on verra  
au **cours 4** : A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe



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**.

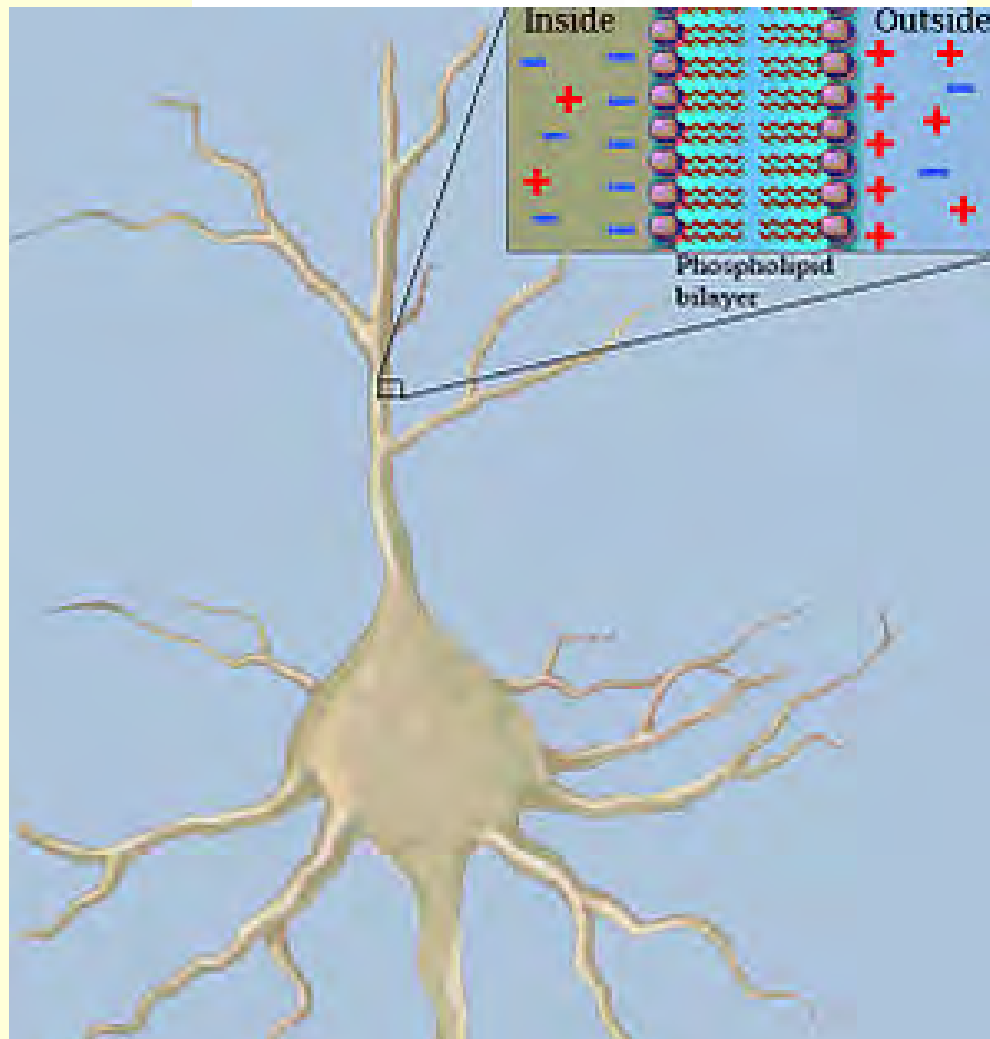
Et plus la dépolarisation sera grande près de la **zone gâchette du début de l'axone**, plus cette dépolarisation sera susceptible d'engendrer un potentiel d'action.

C'est vers la fin des années 1950 qu'on a compris comment calculer les courants électriques qui diffusent passivement dans les dendrites grâce à la **théorie des câbles de Wilfrid Rall**.

(Cable theory [https://en.wikipedia.org/wiki/Cable\\_theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Cable_theory)

+ <https://www.coursera.org/learn/synapses/lecture/2ne8e/rall-cable-theory-fo>

+ [http://www.scholarpedia.org/article/Rall\\_model](http://www.scholarpedia.org/article/Rall_model) )



**“Cable theory”**  
(Rall 1957, 1959, 1960)

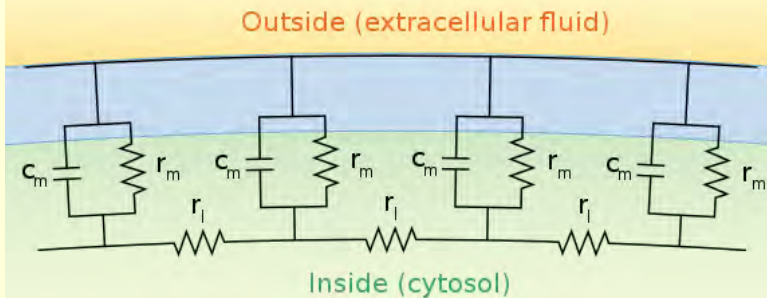
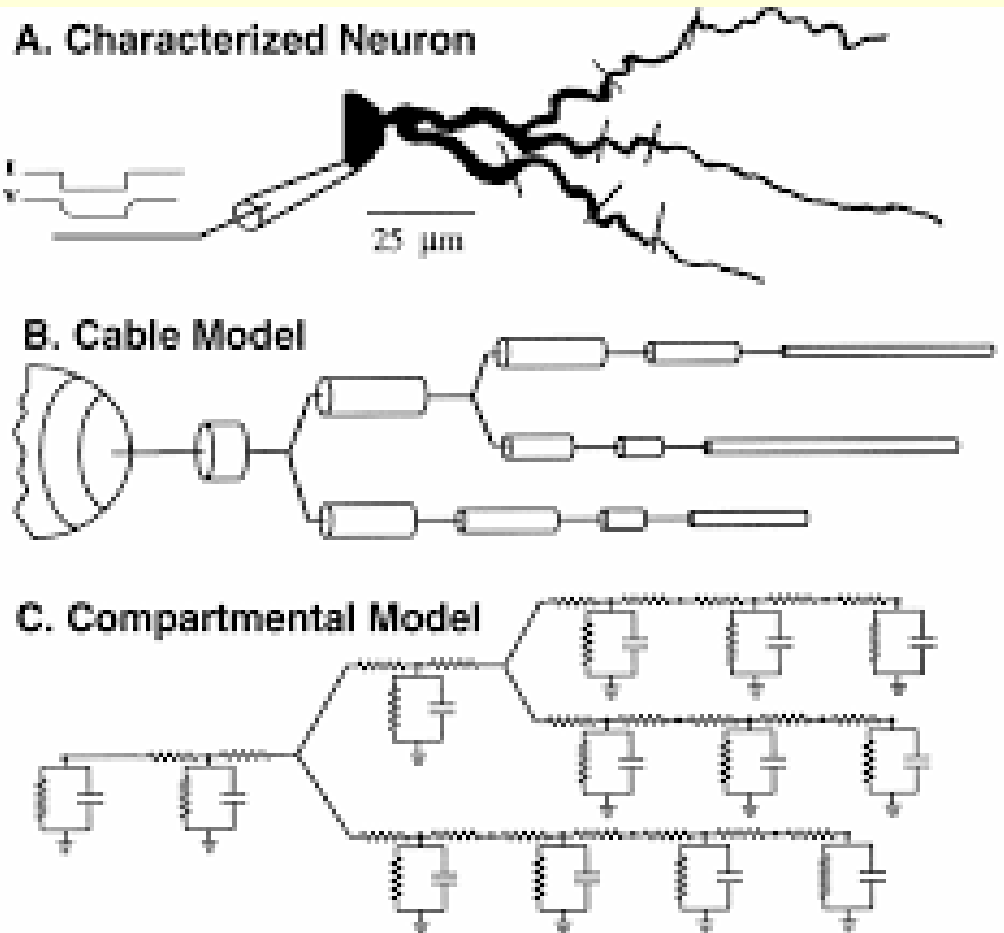




Wilfrid Rall

Les estimations sont faites en modélisant les dendrites comme des cylindres de différents diamètres

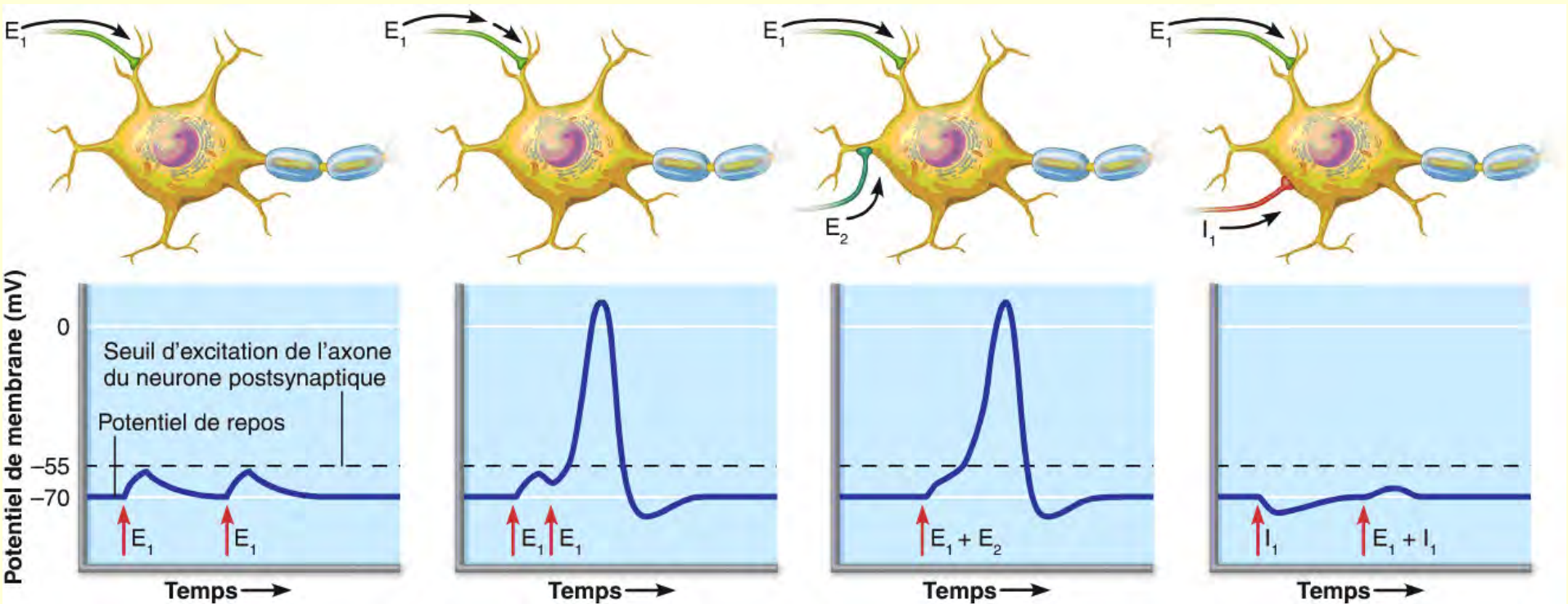
avec une **résistance** (due au cytoplasme)

et une **capacitance** associée (due à la membrane).



-  Capacitance
-  Resistance
- $r_m$ : Membrane resistance
- $r_i$ : Longitudinal resistance
- $c_m$ : Capacitance due to electrostatic forces





**(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.

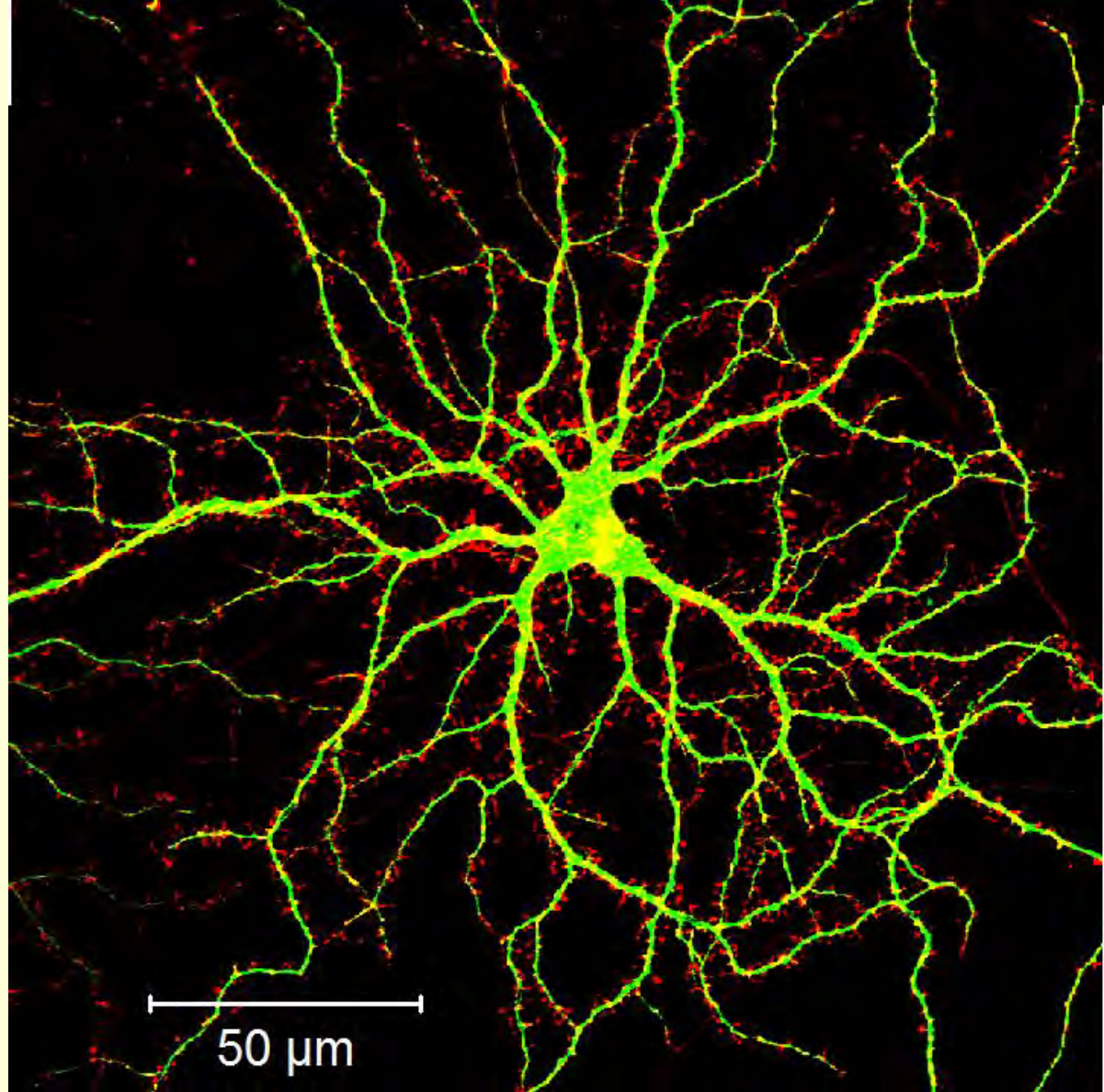
**(c) Sommation spatiale:** Sommation des PPSE lorsque deux stimulus se produisent simultanément.

**(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

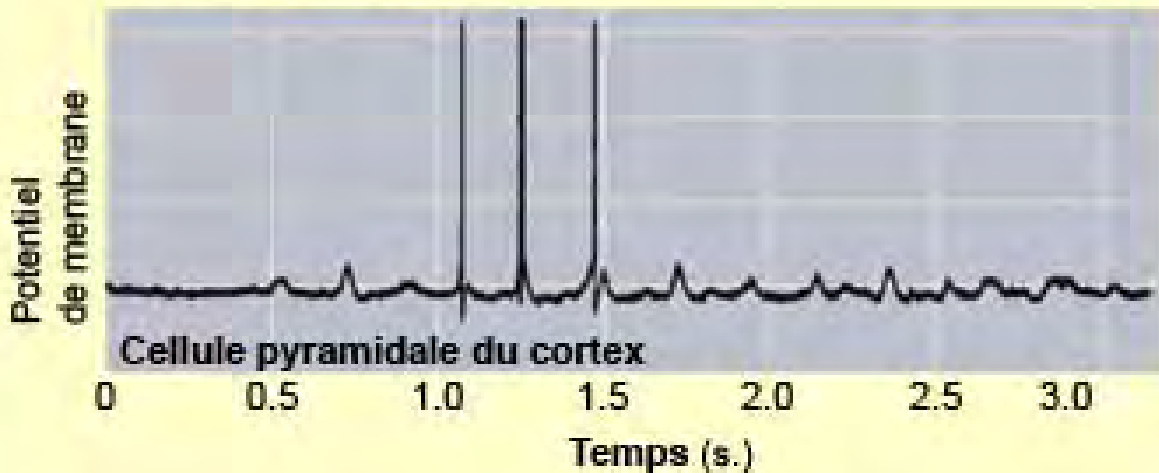
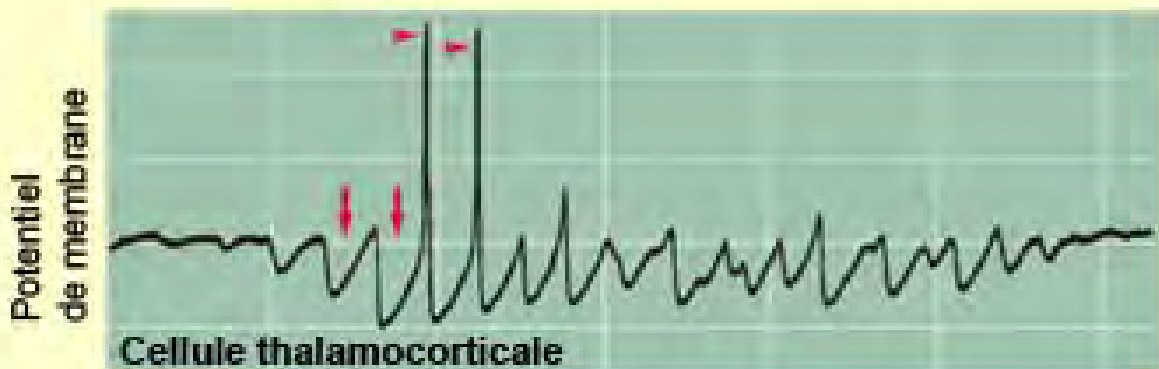
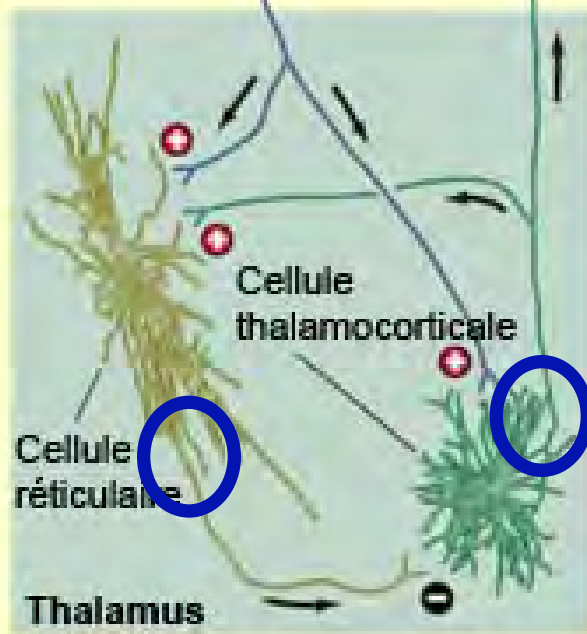
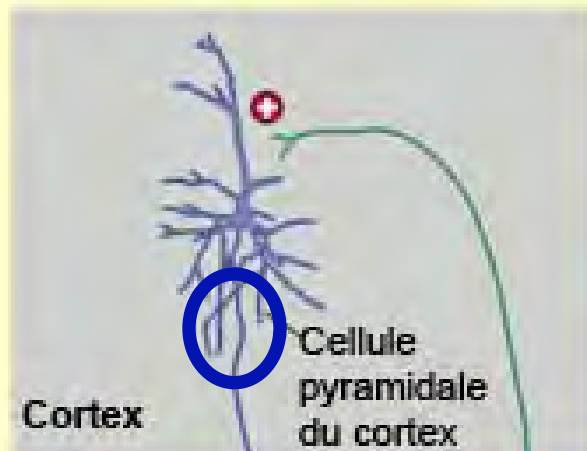
est un exploit remarquable de l'évolution. »



<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)

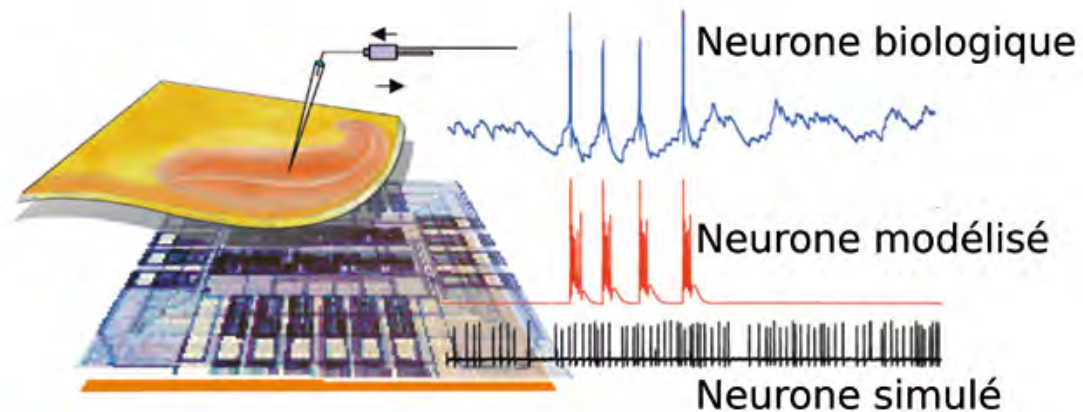




## Vers les « neurosciences computationnelles »

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

(l'expression date du milieu des années 1980)

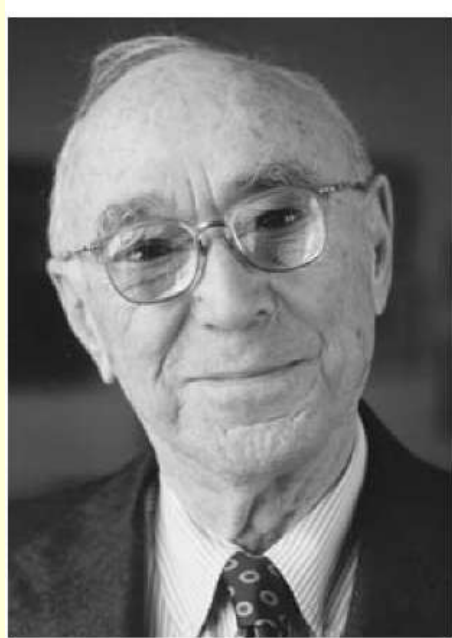


Toujours dans les années 1950 se développe la **linguistique**, discipline scientifique consacré à l'une de nos capacités mentales les plus sophistiquées, **le langage**.

Une des critiques les plus sévères du béhaviorisme va venir du linguiste **Noam Chomsky** qui, en **1959**, affirme que « vouloir étendre le modèle béhavioriste de l'apprentissage à la linguistique est **sans espoir**. »

Pour lui, nos compétences linguistiques ne peuvent être expliquées sans admettre que les êtres humains possèdent un répertoire important de **structures cognitives complexes** qui président à l'usage du langage.





## RIP Jerome Bruner (1915 - 2016)

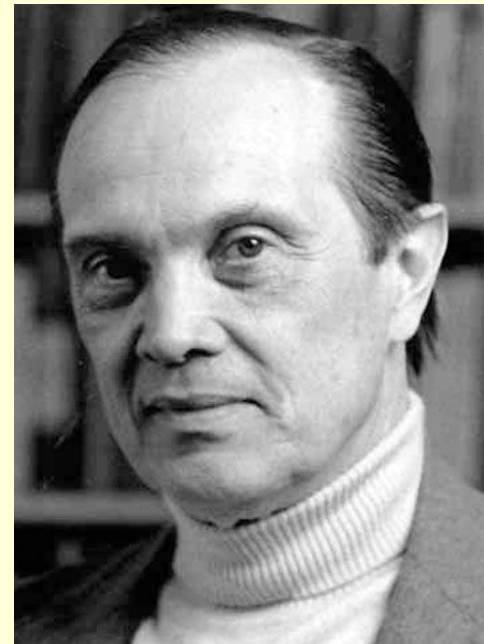
<http://psychology.fas.harvard.edu/people/jerome-bruner>

Bruner postule que des représentations internes peuvent être combinées pour produire différents types de pensées.

## George A. Miller

"The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information" (1956)

« I date the moment of **conception of cognitive science** as 11 September, **1956**, the second day of a symposium organized by the 'Special Interest Group in Information Theory' at the Massachusetts Institute of Technology. »







George A. Miller

## The cognitive revolution: a historical perspective

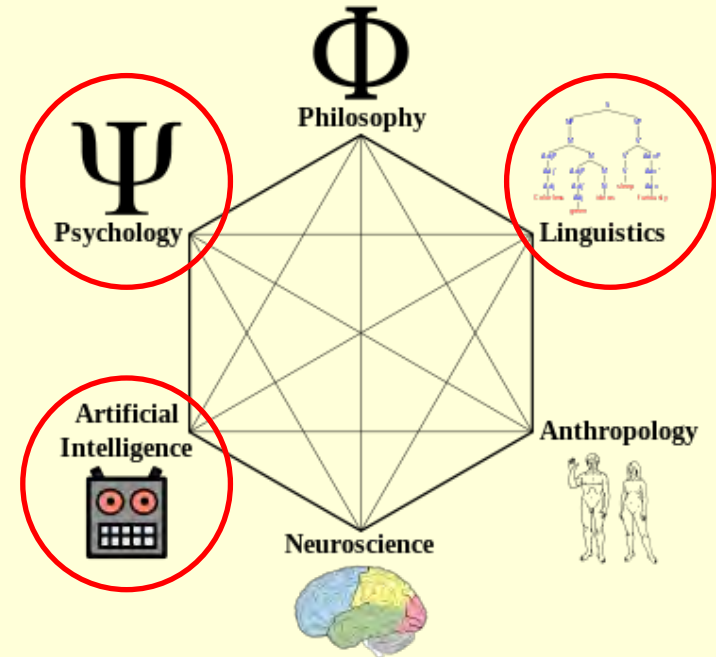
Review TRENDS in Cognitive Sciences Vol.7 No.3 March 2003

“**By 1960** it was clear that something interdisciplinary was happening.

I argued that at least **six disciplines** were involved:

psychology, linguistics, neuroscience, computer science, anthropology and philosophy.

I saw psychology, linguistics and computer science **as central**, the other three as peripheral. »



## **Le premier programme de ces sciences cognitives** (the « core program »)

- La compréhension des phénomènes cognitifs exige l'existence de **représentations** et de **computations**.
- On doit développer des **explications mécanistes** pour en rendre compte.
- Les « **lois** » du **comportement** que l'on avait jusque-là sont (ne sont que) la **manifestation** de *capacités* humaines (se souvenir d'événements, voir en trois dimensions, etc.).
- Il faut maintenant **expliquer** ces capacités.

## Cognitivism

Domine les sciences cognitives du milieu des années 1950 aux années 1980.



Considère à nouveau l'esprit qu'il compare à un ordinateur.

Ici, la cognition c'est le traitement de l'information :

la **manipulation de symbole** à partir de règles.

Autrement dit, ce qui fonde plus ou moins explicitement le cognitivisme, c'est encore le **vieux schéma cartésien** « perception → esprit → action ».

À la différence près que, comme l'esprit n'a plus la cote depuis le behaviorisme c'est la « cognition » qui l'a remplacé dans le même schéma...

## Behaviorism



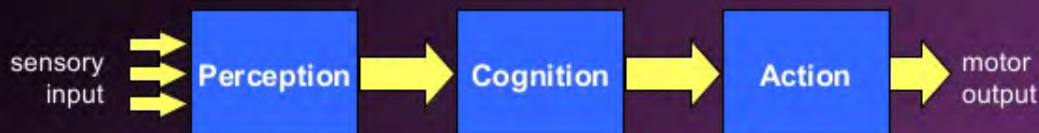
– Stop this metaphysical nonsense...



“the classical sandwich **model** of the mind”

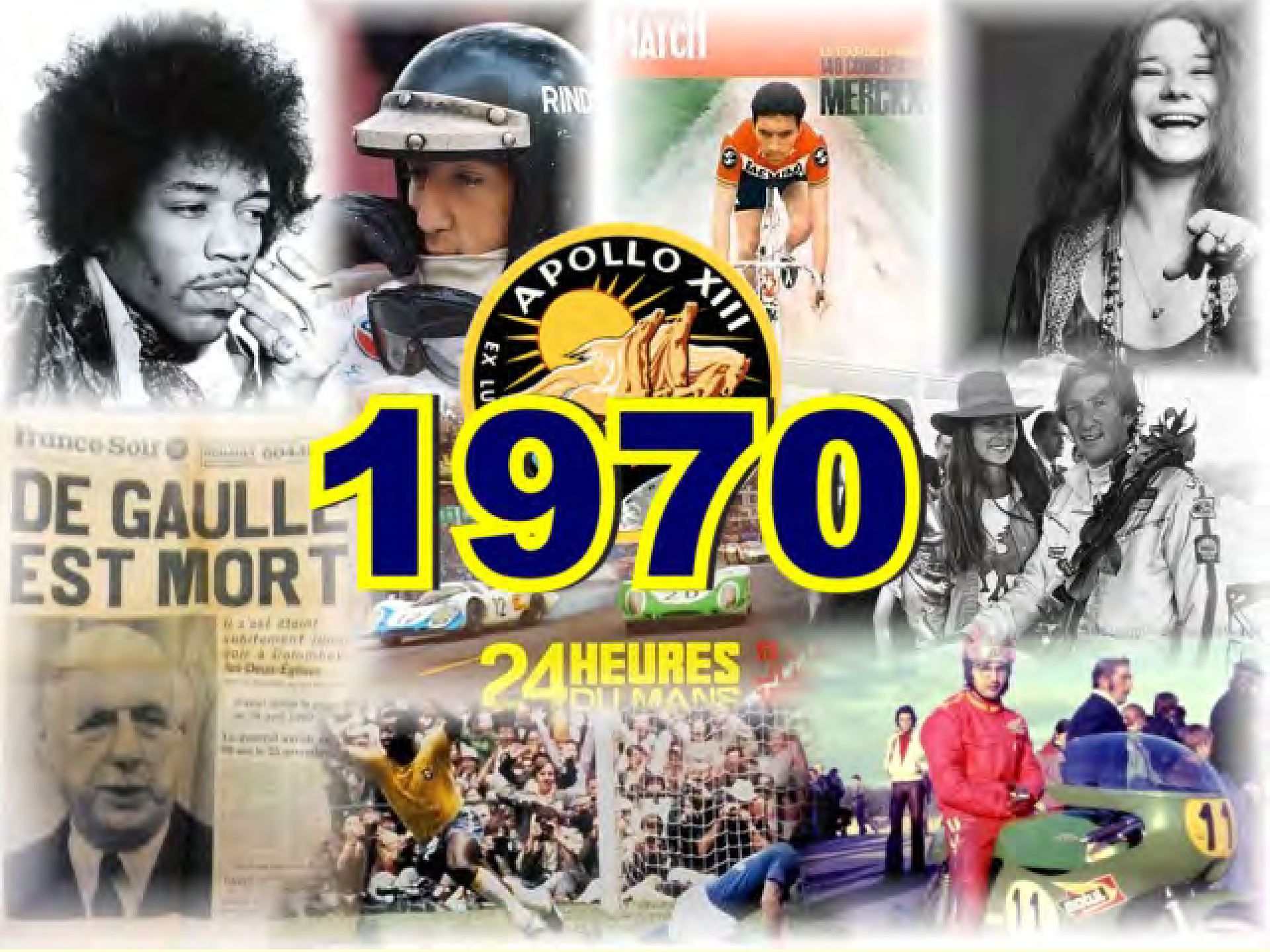
- Susan Hurley

## Psychological architecture for behavior



• Some observations:

(Source de ces diapos : Paul Cisek  
<http://www.slideshare.net/BrainMolecul>  
[eMarketing/uqam2012-cisek](http://eMarketing/uqam2012-cisek) )



1970



France Soir  
DE GAULLE  
EST MORT



24 HEURES  
DE SOUS-MARIN

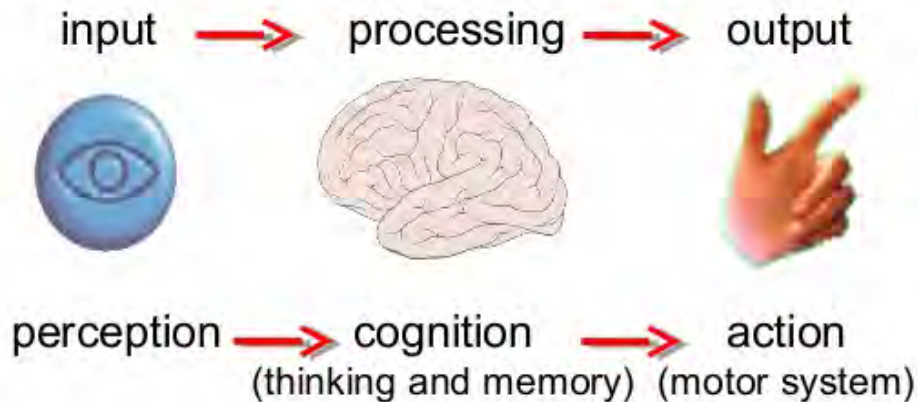


## L'assurance tranquille du paradigme dominant... ;-)

Durant l'âge d'or du cognitivisme dans les **années 1970**, les cognitivistes aimaient à dire que leur approche était "the only game in town" (Fodor 1975, 1981).



### computational analogy



Ce modèle repose donc aussi sur un postulat qui va être explicitement défendu, à savoir que **la nature du substrat physique qui permet la cognition importe peu.**

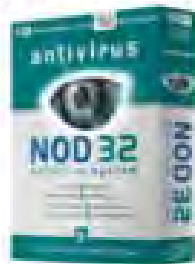
## Software



Sistema Operativo



MS Word



Antivirus

## Hardware



C'est la thèse fonctionnaliste dite de « **réalisation multiple** » inspirée directement de la métaphore avec l'ordinateur où le cerveau serait le « hardware » et la cognition le « software »

(et donc le software pourrait « rouler » sur différents hardware...)

Selon cette thèse, la cognition peut être étudiée **indépendamment du système nerveux** puisque ce sont les différents programmes (software) qui expliqueraient nos capacités cognitives spécifiques.

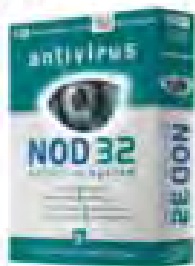
## Software



Sistema  
Operativo



MS Word



Antivirus

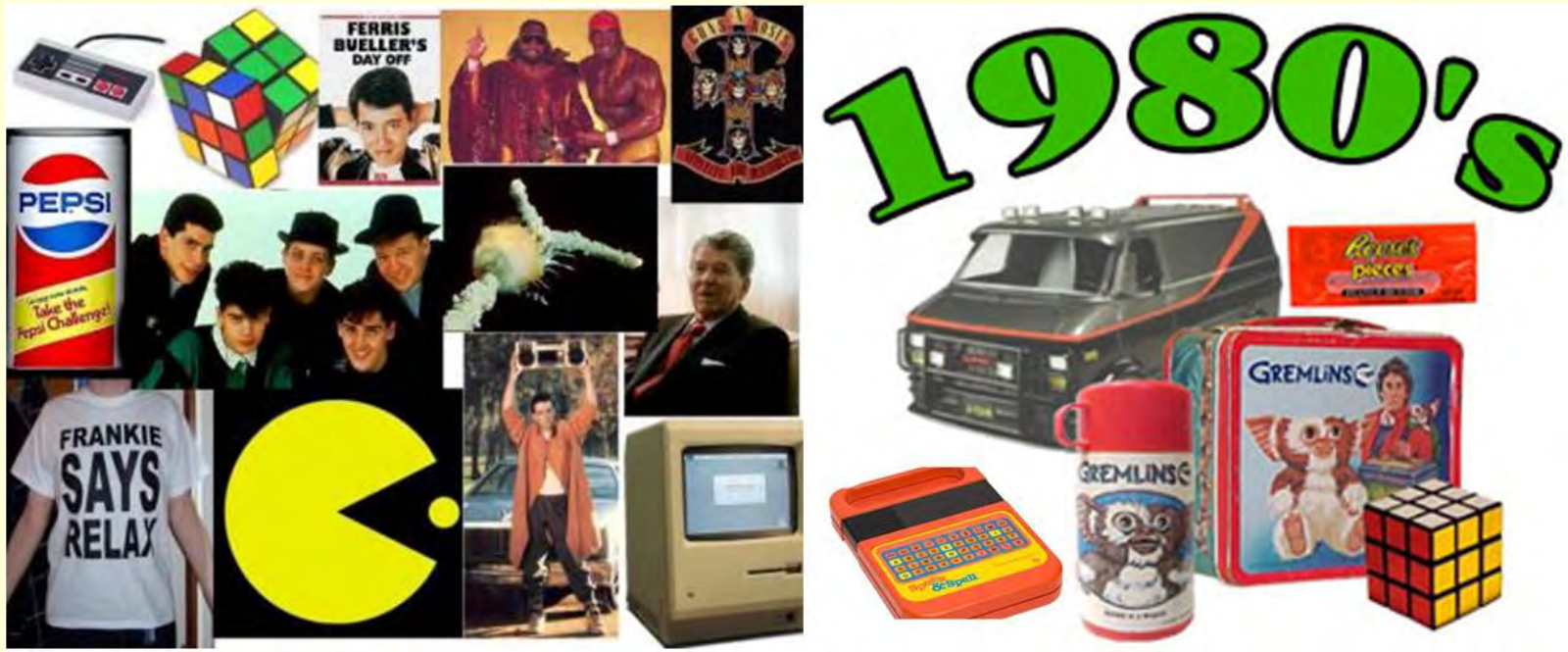
## Hardware



Donc on n'aurait pas à ce soucier des détails de l'implémentation biologique de ces programmes (Fodor 1968b; Newell and Simon 1976; Pylyshyn 1984).

Donc à l'**opposé** des théories **incarnées** que l'on va présenter durant ce cours...

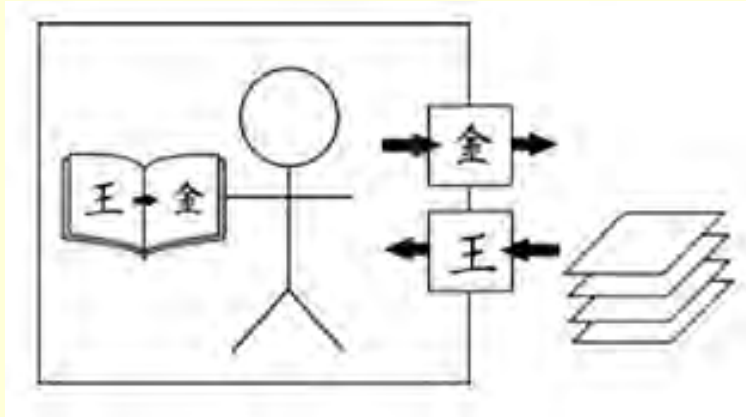




Mais dès les années 1980, le **cognitivism** va subir des **critiques**, va montrer ses **failles** et ses **limites**.

Le philosophe **John R. Searle**, développe par exemple une série d'arguments pour démontrer que **l'ordinateur ne pense pas** car il **n'a pas accès au sens**.

**L'argument de la « chambre chinoise » :**  
une machine ne fait que manipuler des  
symboles abstraits,  
**sans en comprendre la signification.**



Elle peut traduire mot à mot un texte dans deux langues étrangères  
si elle dispose d'un dictionnaire de correspondances.

Mais ne comprenant pas le sens des mots utilisés : comment choisir entre  
« *weather* » ou « *time* » pour traduire le mot français « temps »,  
si on n'a pas accès à son sens ?

## Vers le connexionnisme...

Le cognitivisme voulait aussi simuler les performances d'un expert humain adulte.

Mais comme il ne réussissait bien qu'à résoudre que des tâches plus circonscrites et locales (l'exemple du jeu d'échecs...),



## Vers le connexionnisme...

Le cognitivisme voulait aussi simuler les performances d'un expert humain adulte.

Mais comme il ne réussissait bien qu'à résoudre que des tâches plus circonscrites et locales (l'exemple du jeu d'échecs...),

une conviction s'est développée : la forme **d'intelligence** la plus fondamentale n'est peut-être pas celle de l'expert, mais bien celle d'un... **bébé !**

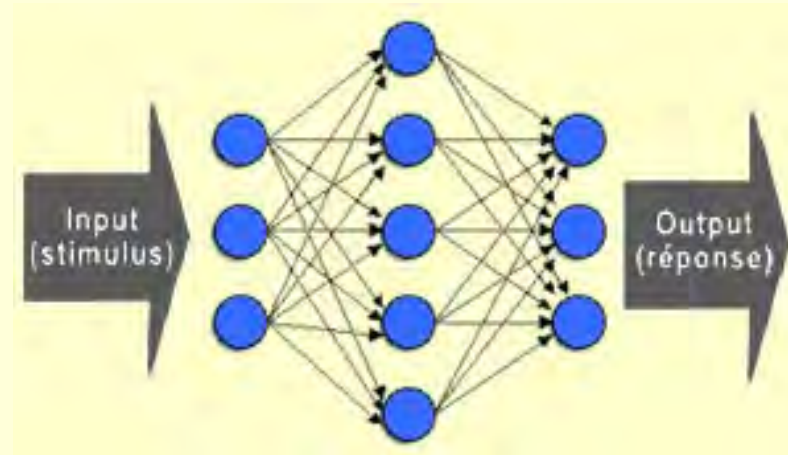
Car un bébé peut acquérir le langage et constituer des objets signifiants à partir de ce qui semble être une masse informe de stimuli.

Il fallait donc chercher plutôt à simuler l'intelligence du bébé qui apprend.



## Connexionnisme

Commence à remettre en question l'orthodoxie du cognitivisme au début des années 1980.



Il prend en compte le **cerveau** et essaie de comprendre la cognition avec des réseaux de neurones.

Plus une affaire **d'entraînement** que de programmation.

La cognition émerge d'états globaux dans un réseau de composants simples.

L'approche connexionniste va mener aux avancées récentes du « **deep learning** »

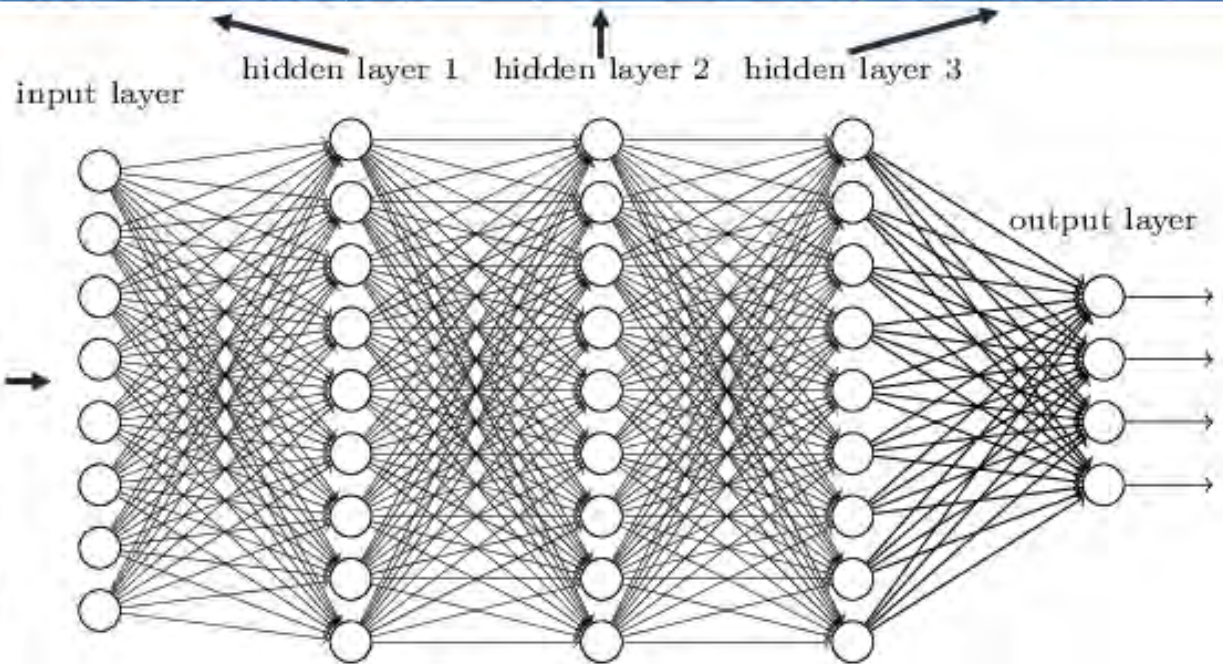




- Réseaux de neurones virtuels multicouches (des dizaines, voire des centaines)
- Grande quantité de données accessibles (pour entraîner les réseaux)

<http://machinelearningmastery.com/what-is-deep-learning/>

Deep neural networks learn hierarchical feature representations



On vient de voir que les modèles connexionnistes deviennent de plus en plus poussés avec le « deep learning ».

Mais qu'est-ce qu'un **modèle**, finalement ?

February 24, 2016

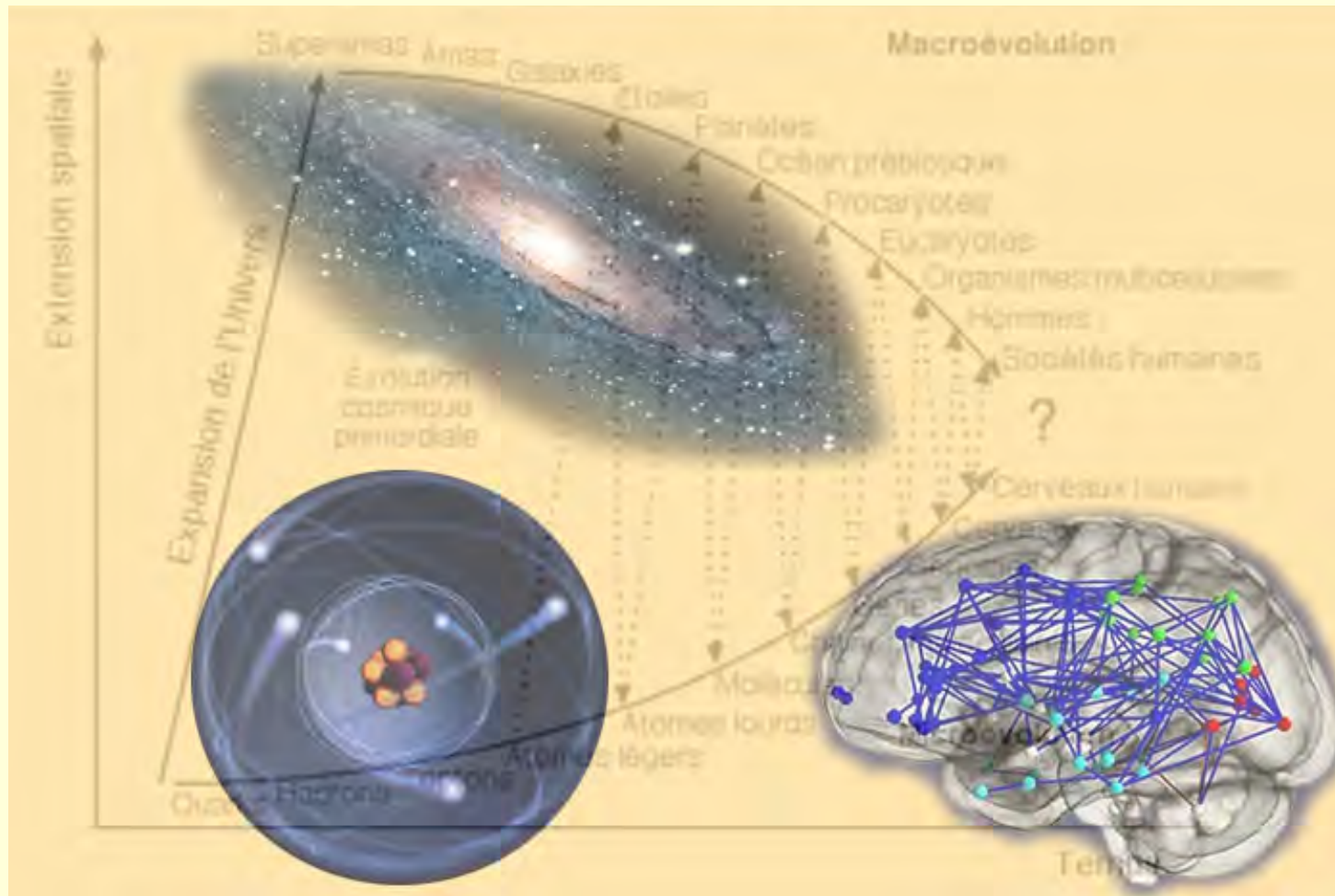
**How Do We Know? The Value of Scientific Models.**

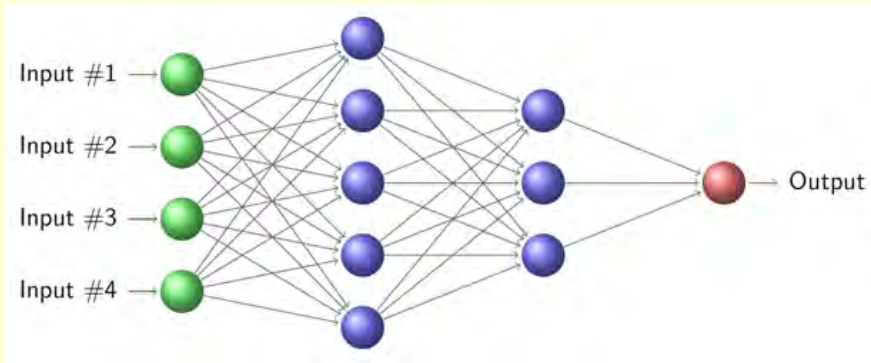
<http://knowingneurons.com/2016/02/24/how-do-we-know-the-value-of-scientific-models/>



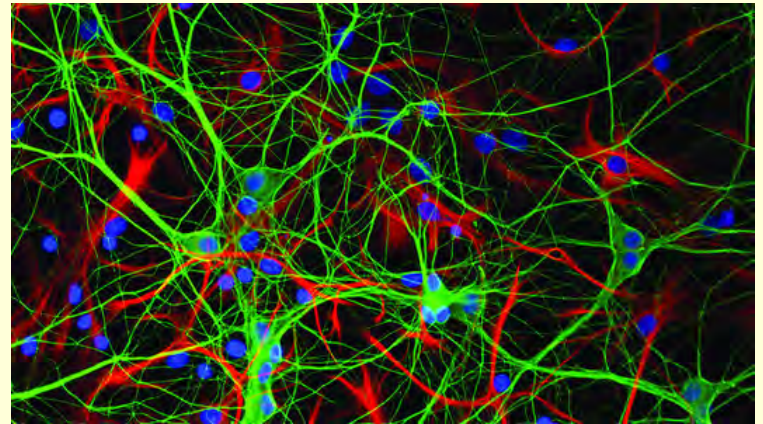
Un **modèle scientifique** est une représentation simplifiée

de ce qu'on ne peut pas voir directement pour différentes raisons :  
trop petit, trop grand, trop complexe (comme dans le cas du cerveau).





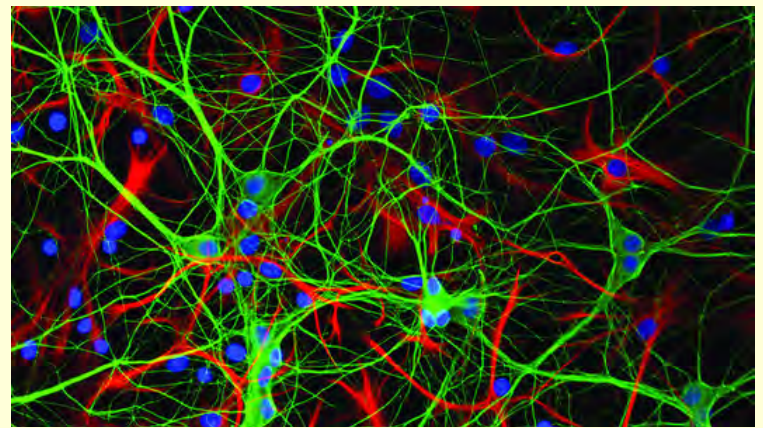
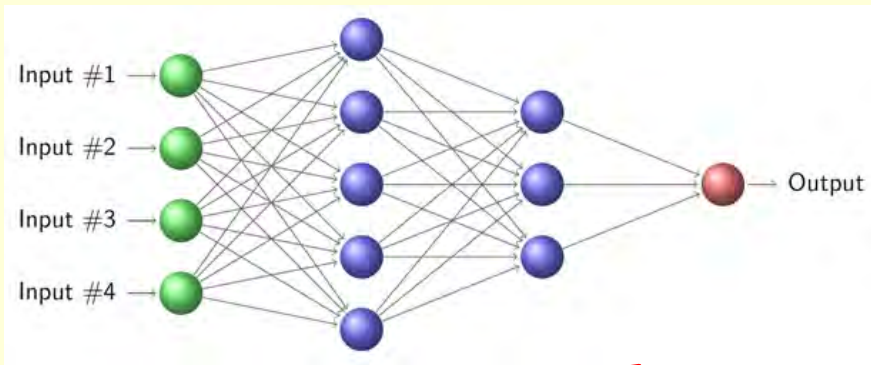
objet M



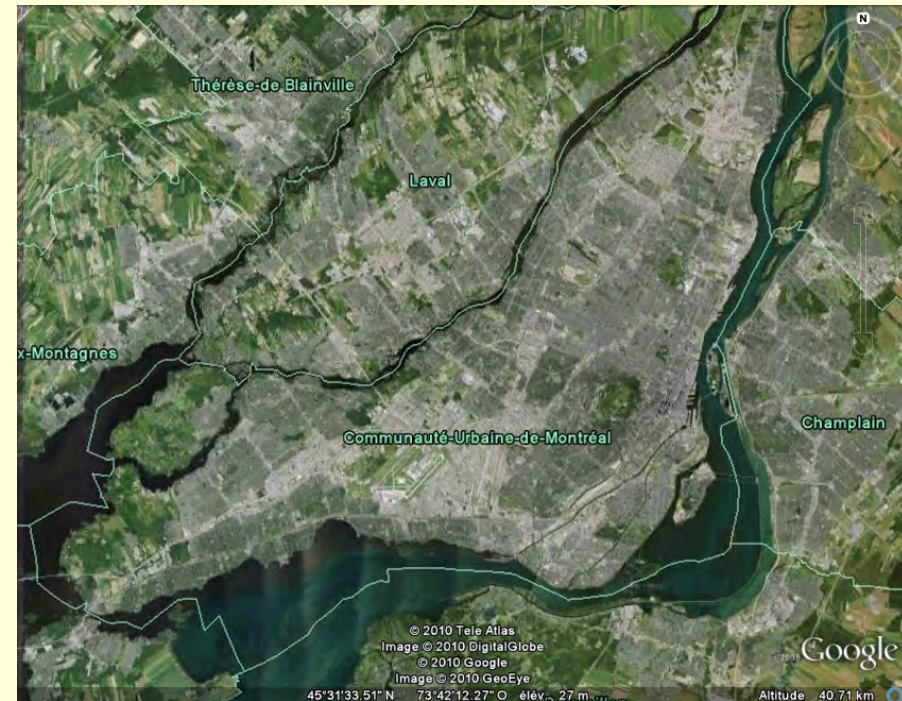
objet O

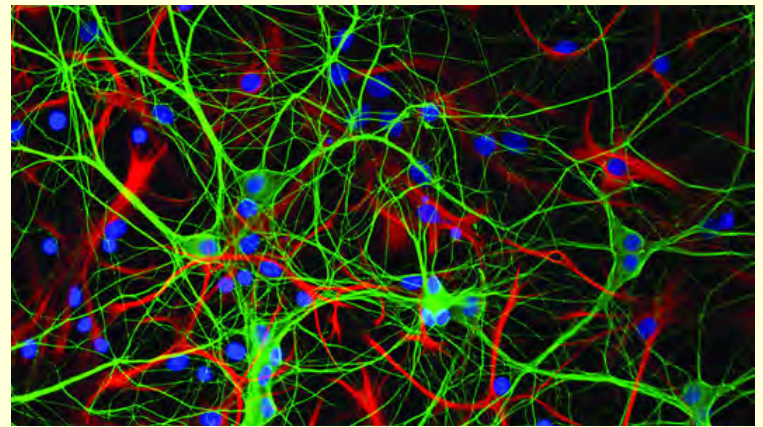
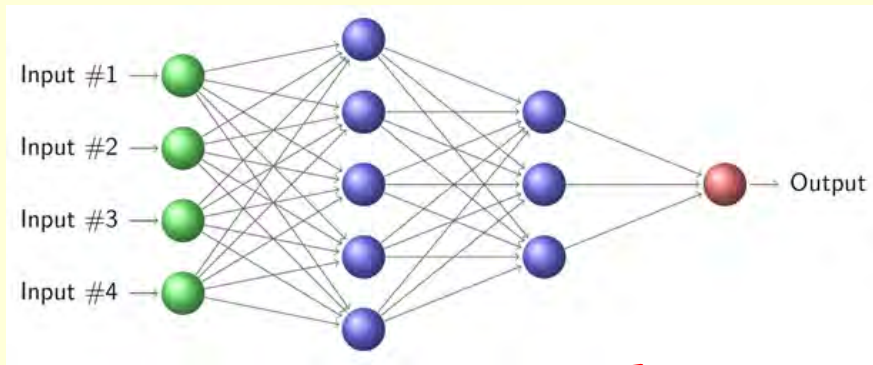
« Pour un observateur, un objet M est un modèle d'un objet O dans la mesure où l'observateur peut utiliser M pour répondre à des questions qui l'intéressent au sujet de O »

- Marvin Minsky, 1965



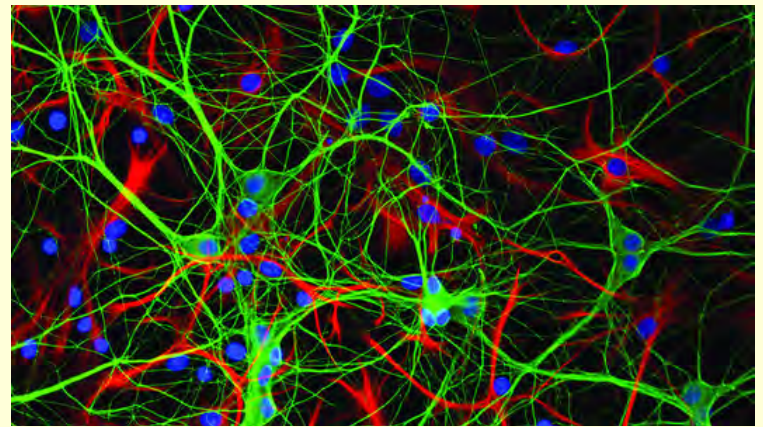
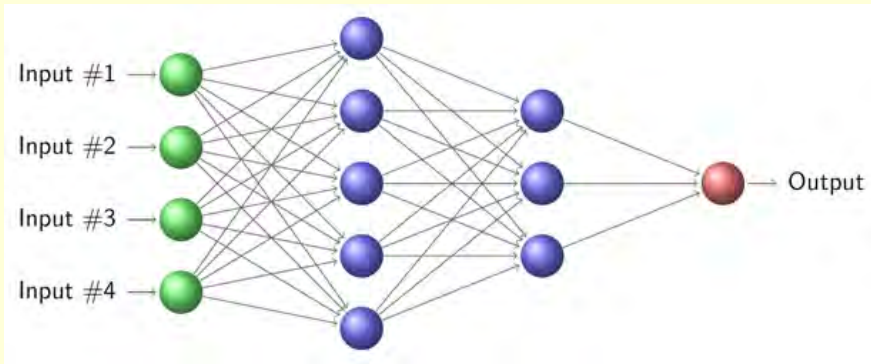
Le modèle renvoie donc à une **approximation de la réalité** et à une sélection de certains de ses éléments.





Le modèle renvoie donc à une **approximation** de la **réalité** et à une sélection de certains de ses éléments.

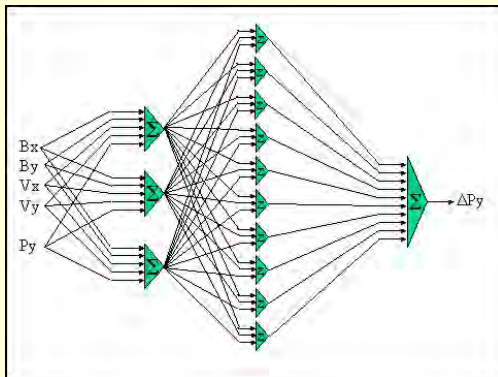
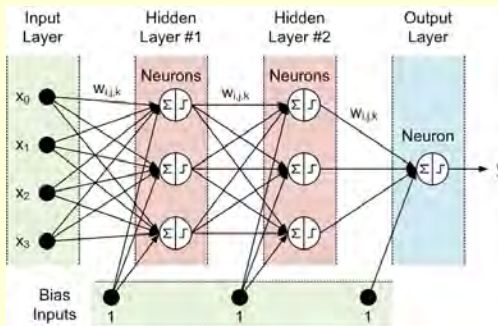
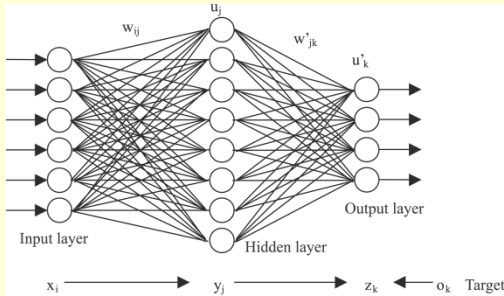
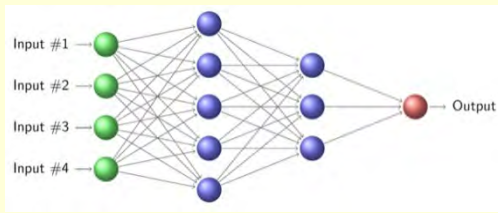
« Tous les modèles sont faux, certains sont utiles ».



Avec un modèle, on va pouvoir **générer des hypothèses**, c'est-à-dire des explications plausibles et provisoires des faits.

Ces hypothèses devront être par la suite contrôlée par des **expériences**, ou corroborées par des **observations de la réalité**.

Un modèle sera jugé **fécond** si les résultats de mesure sur le réel s'avèrent suffisamment conformes aux **prédictions** du modèle.

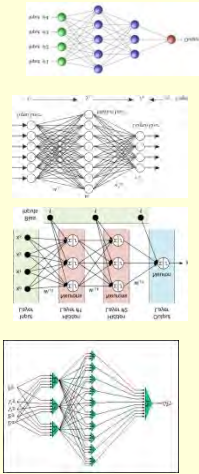


Mais ces modèles et ces hypothèses ne sont **pas isolés**.

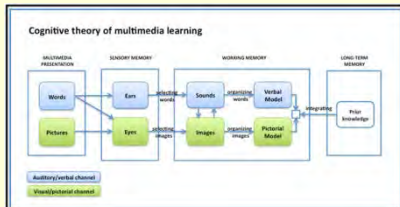
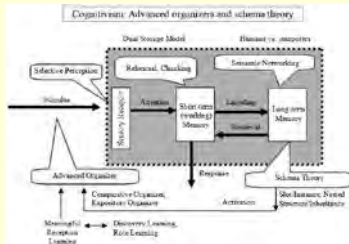
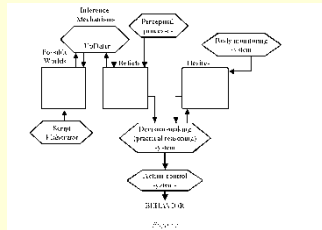
Ils s'inscrivent généralement dans une **théorie scientifique** plus large.

**Exemple** : les différents modèles de la théorie connexionniste en sciences cognitives

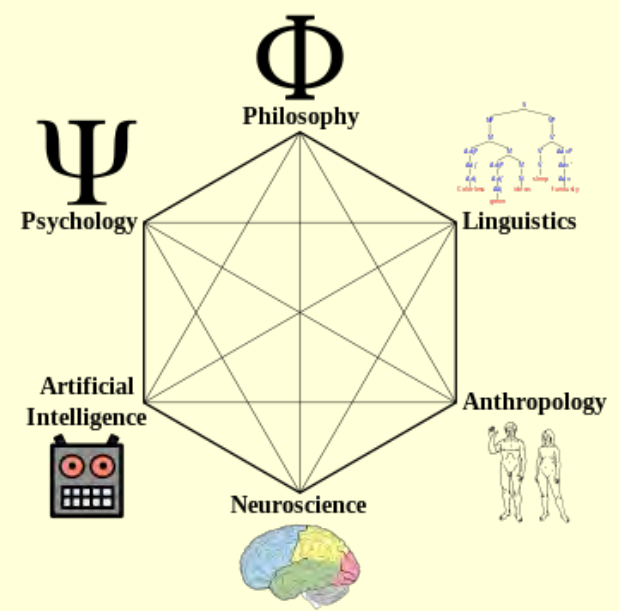
# Modèles



Exemple :  
la théorie  
connexionniste



Exemple :  
la théorie  
cognitiviste

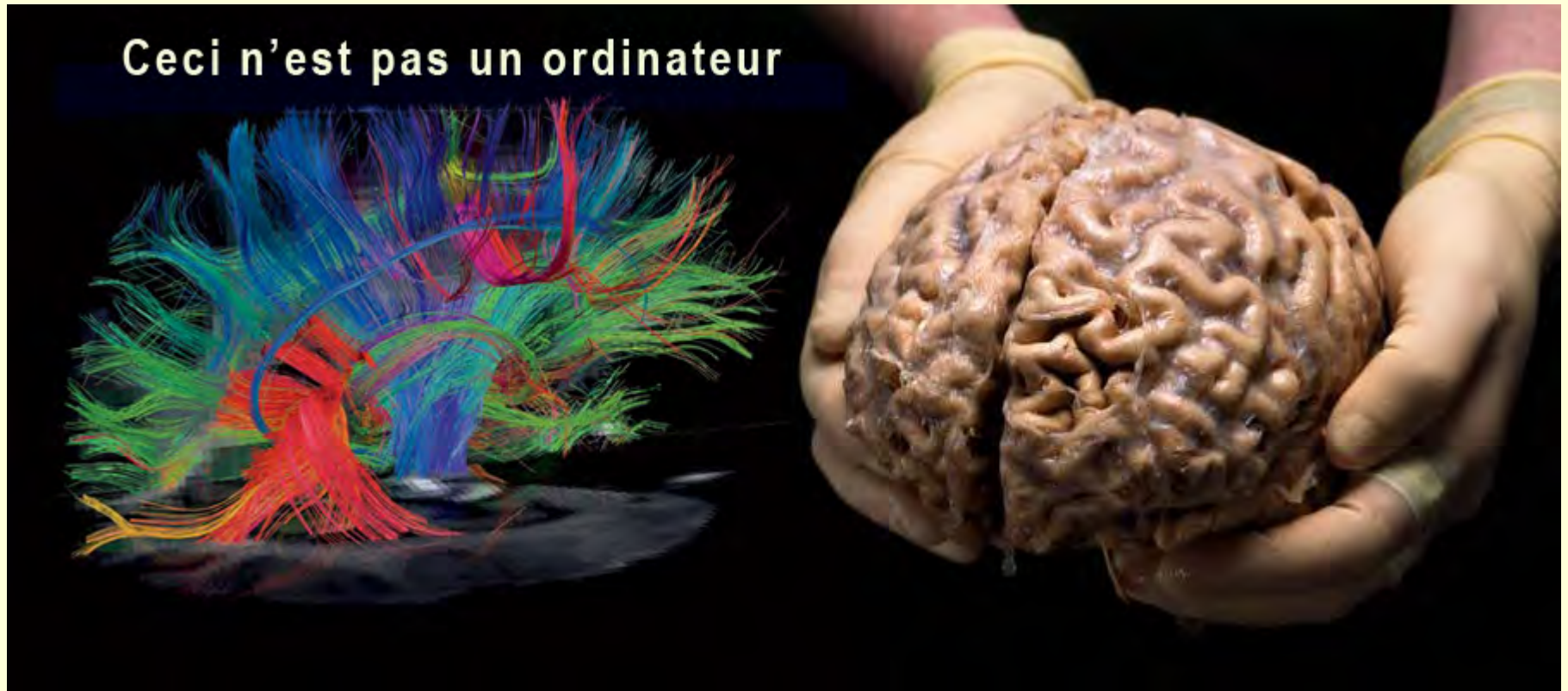


## Différentes théories

dans un « domaine » ou un  
« programme » de recherche,  
par exemple ici en  
**sciences cognitives.**

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

Mais...



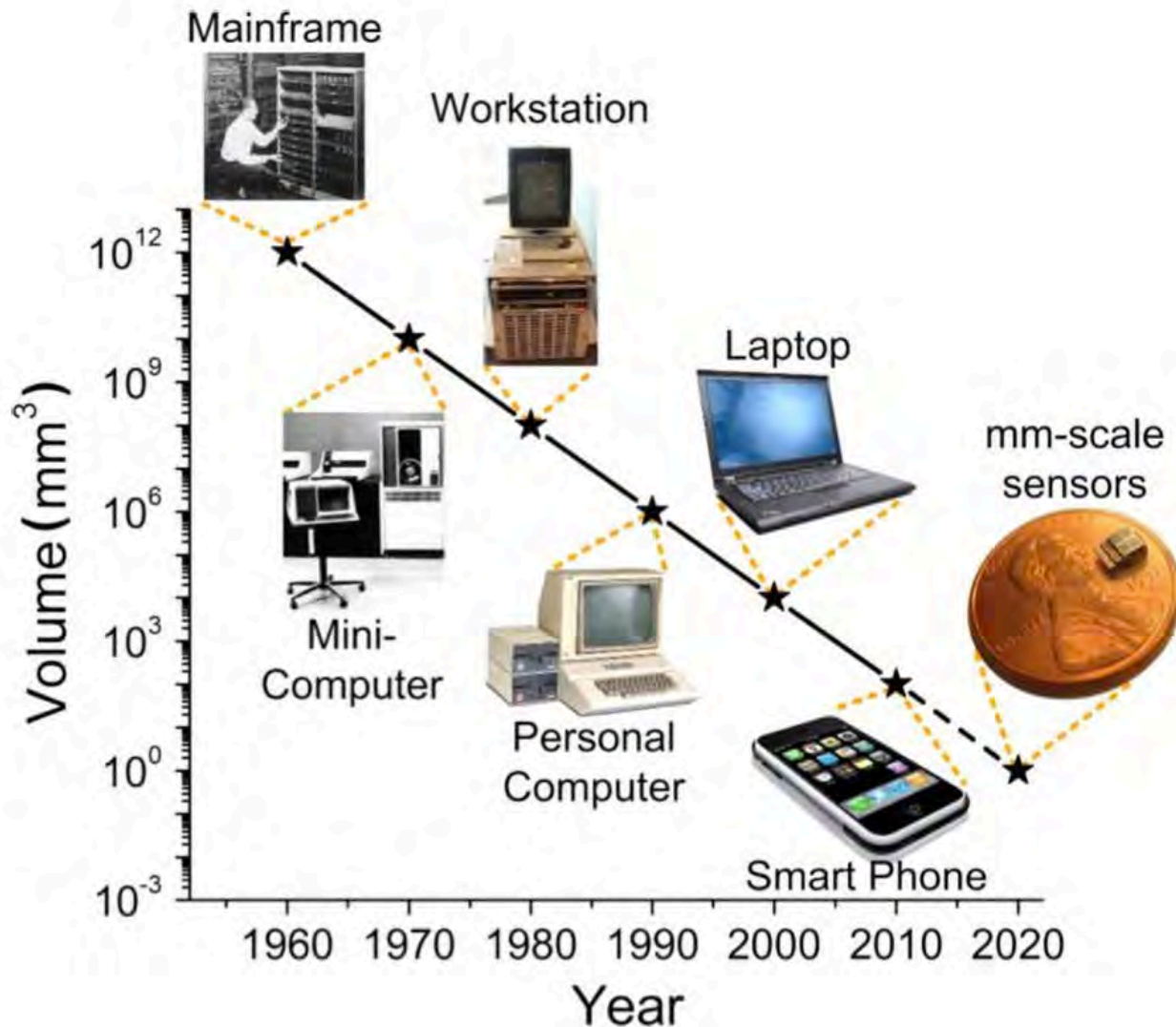


Il est peut-être bon de rappeler ici que tout au long de l'Histoire occidentale, les technologies de pointe d'une époque ont toujours influencé les analogies utilisées pour tenter de comprendre l'esprit humain.

- les pompes et les fontaines étaient les métaphores dominantes derrière la conception de l'âme dans la Grèce Antique;
- la théorie des humeurs a dominé la médecine occidentale pendant 2000 ans;
- 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



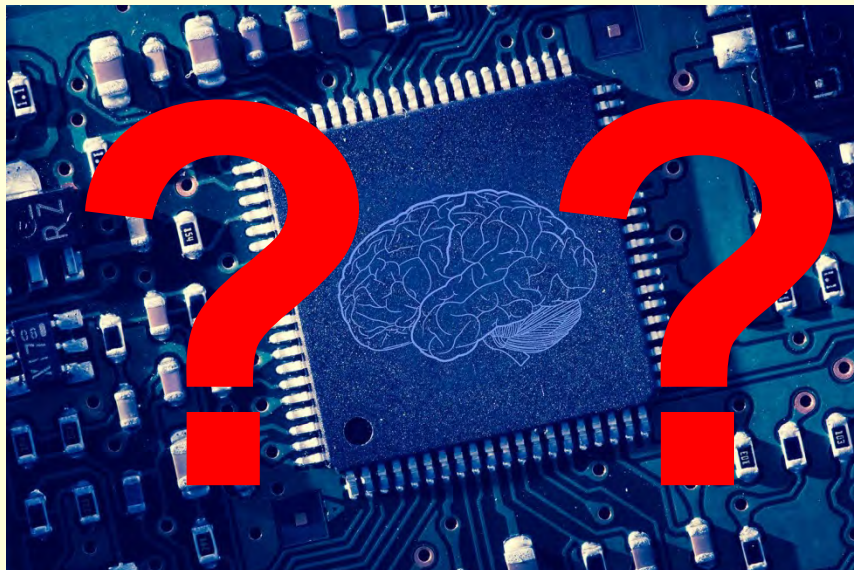
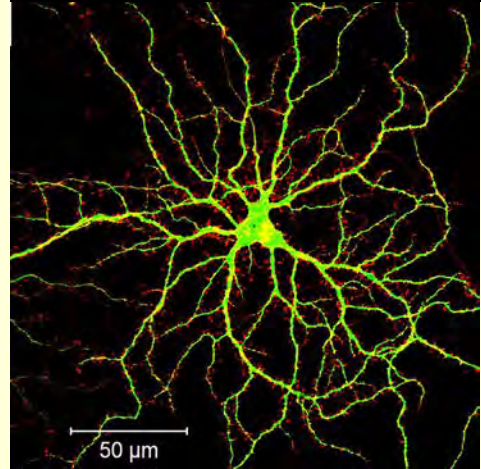
Antivirus

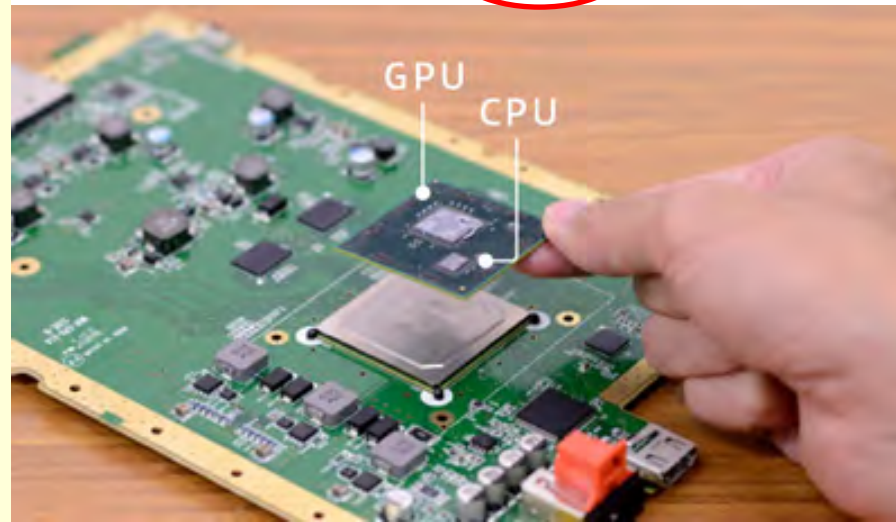
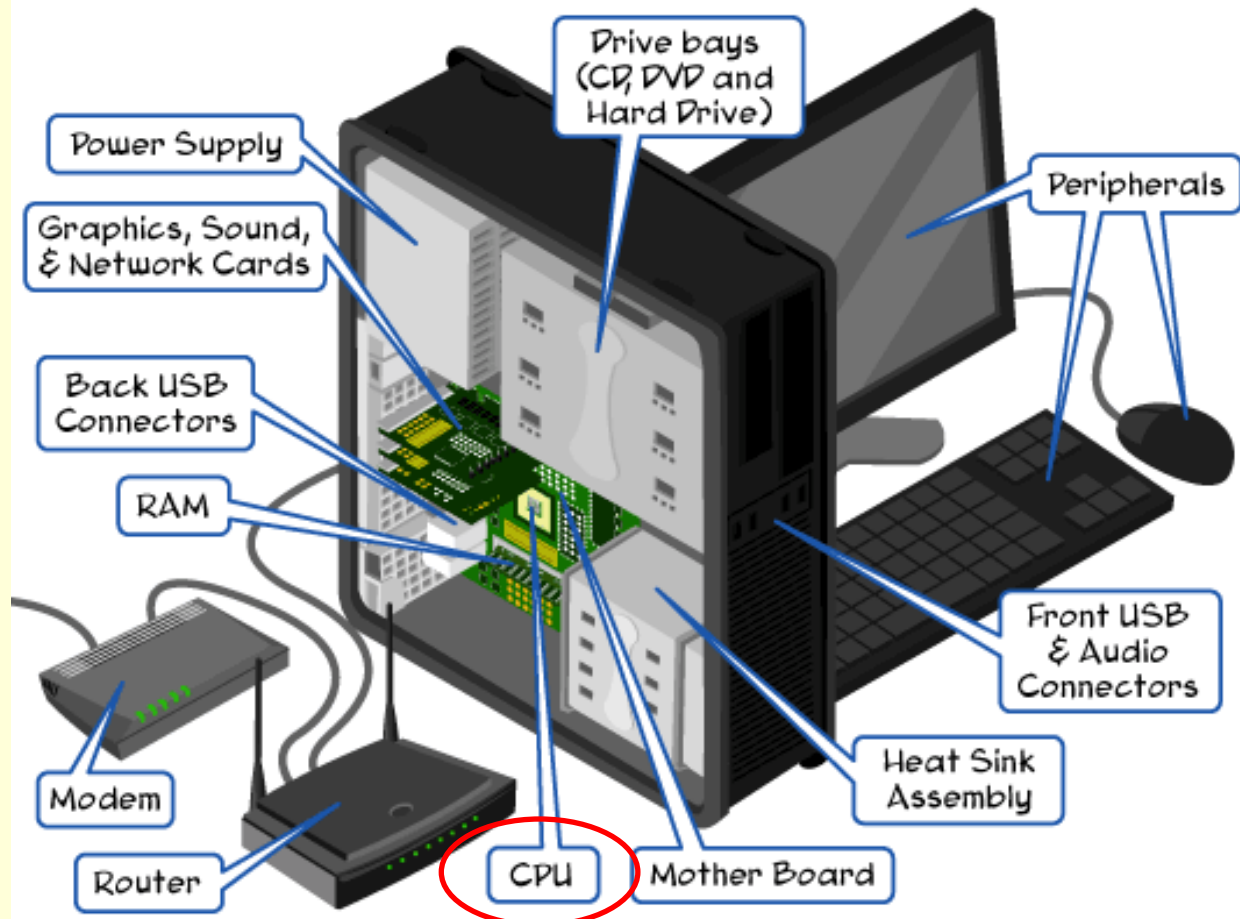
# Hardware



?

=

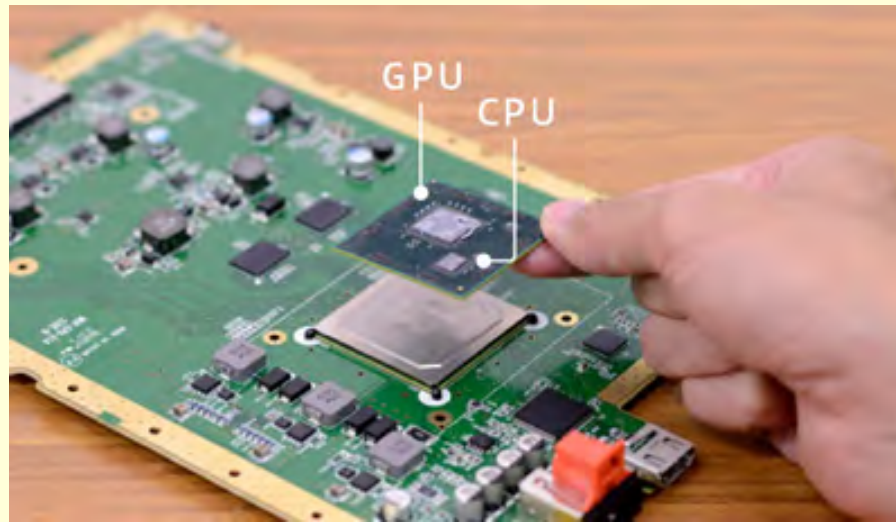




The CPU is often referred to as the brain of the computer.

!?!?

<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

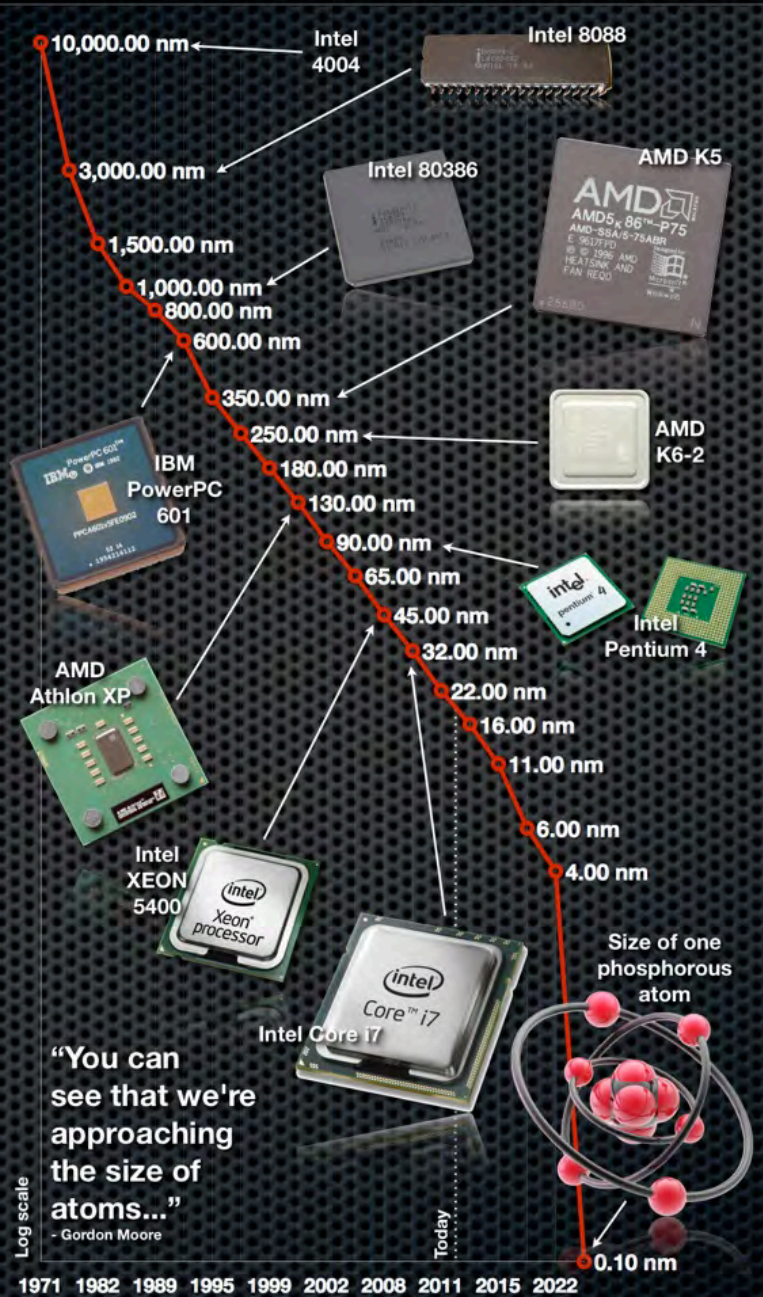


qui ont ensuite évolué jusqu'au **processeurs** ou *central processing unit* (**CPU**) d'aujourd'hui.

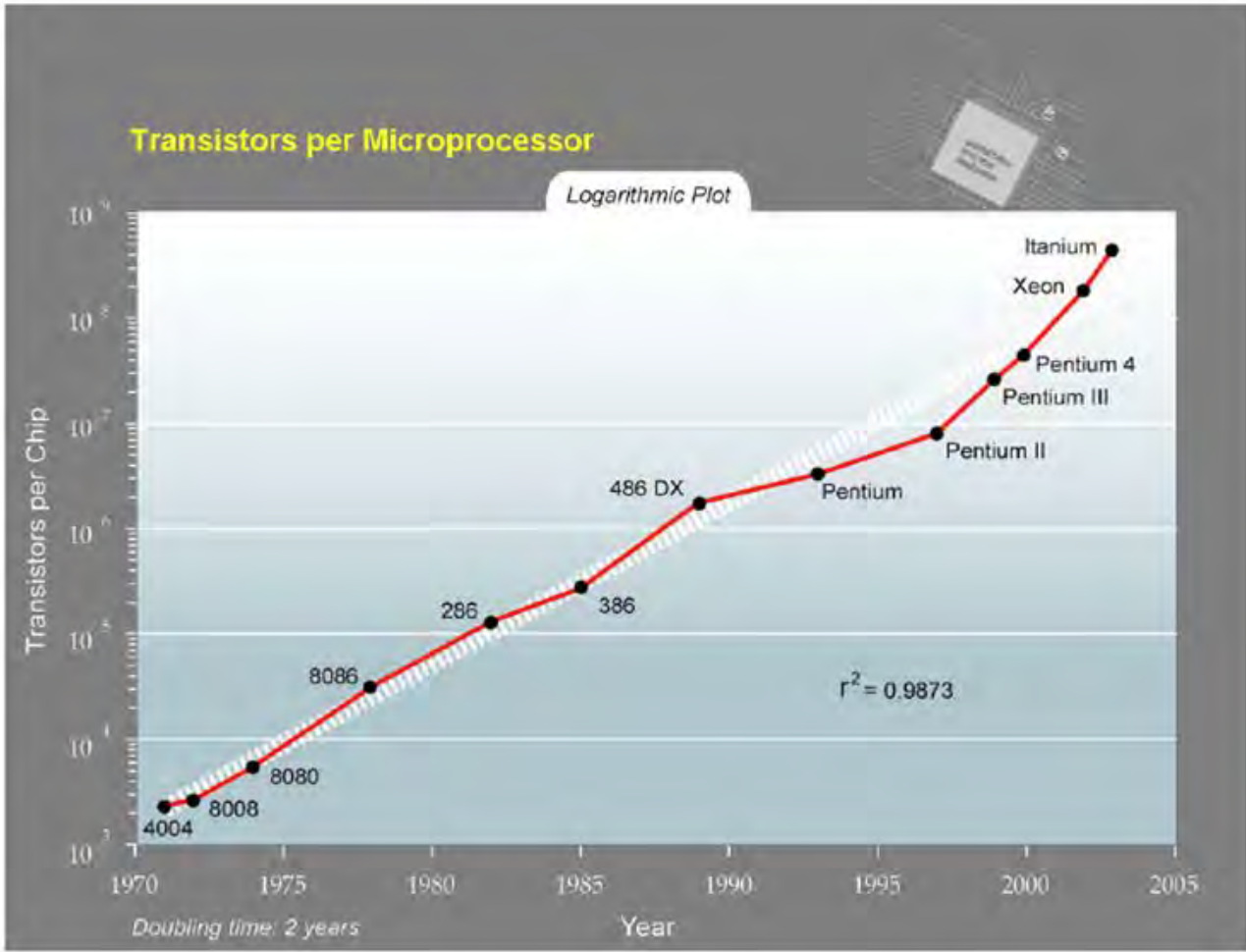


# How small can a transistor be?

The evolution of microprocessor manufacturing processes



Étant de plus en plus petit, on peut mettre de plus en plus de transistors dans un CPU !



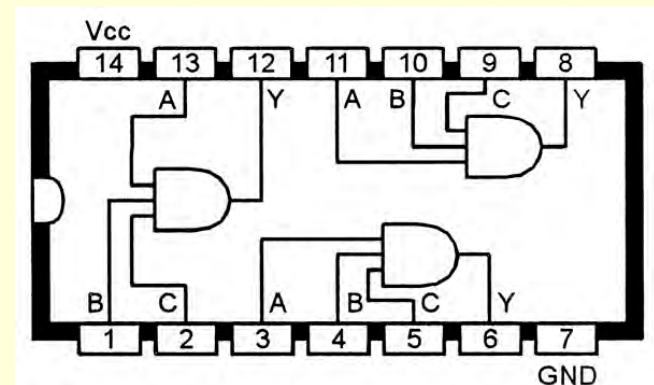
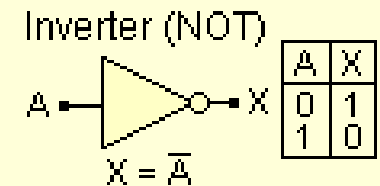
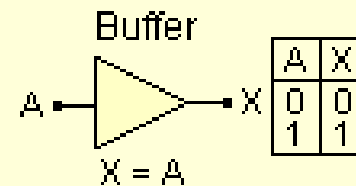
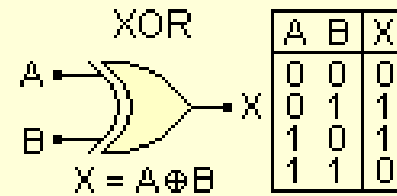
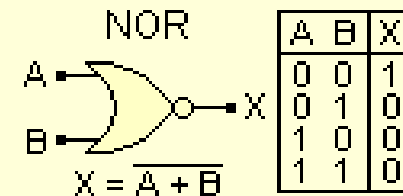
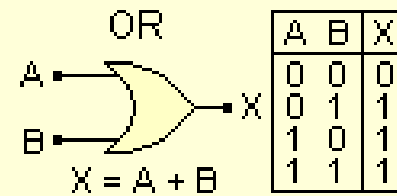
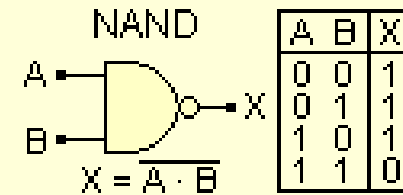
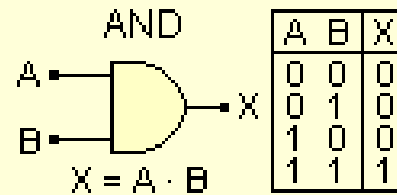


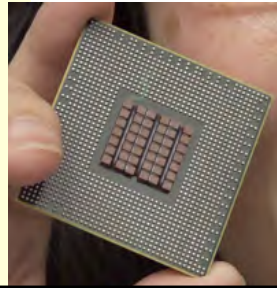
Les transistors fonctionnent de façon **binaire** : soit avec des “0” (absence de courant) ou avec des “1” présence de courant.



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

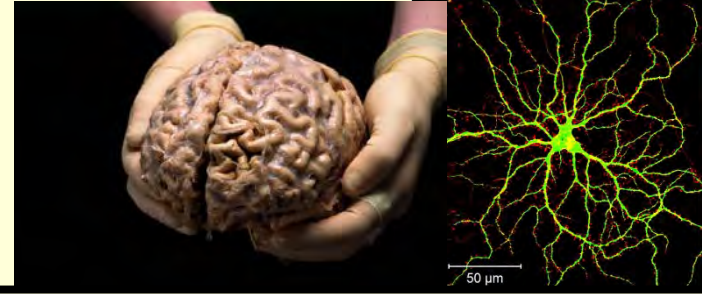


Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors

$10^{11}$  Neurones

+ autant de  
Cellules gliales !



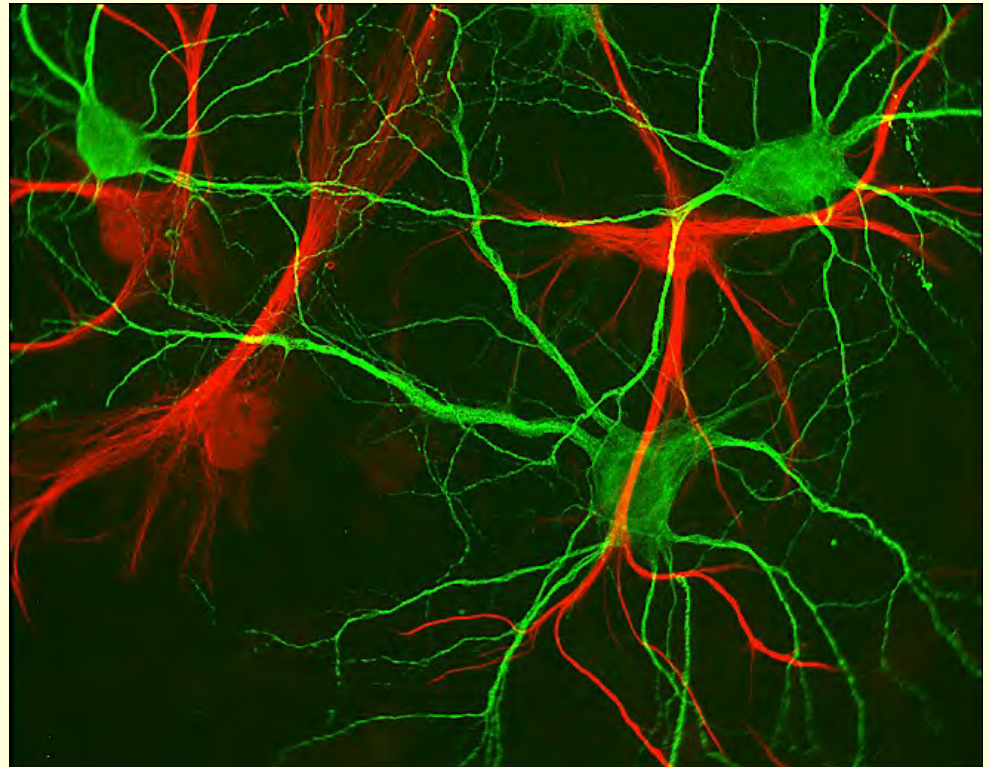
## La théorie du neurone :

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

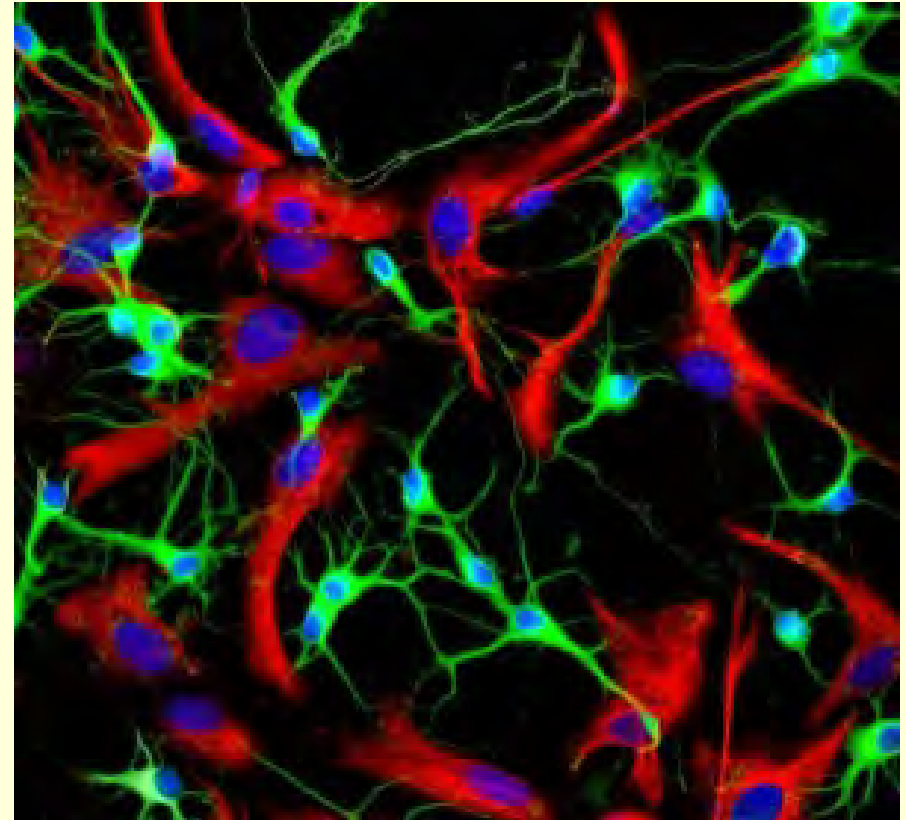
Il y a aussi « l'autre moitié du cerveau » :

**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...

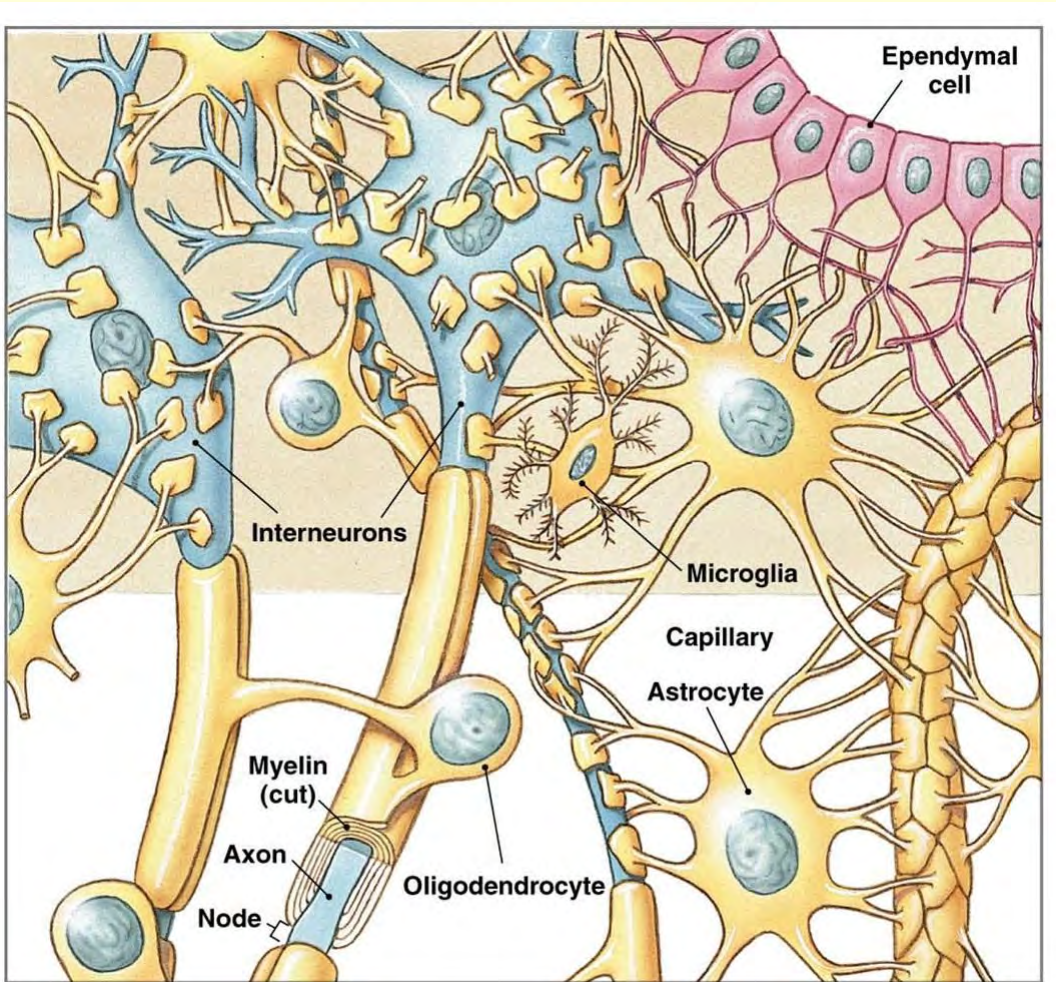
+

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

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



# Différents types de cellules gliales

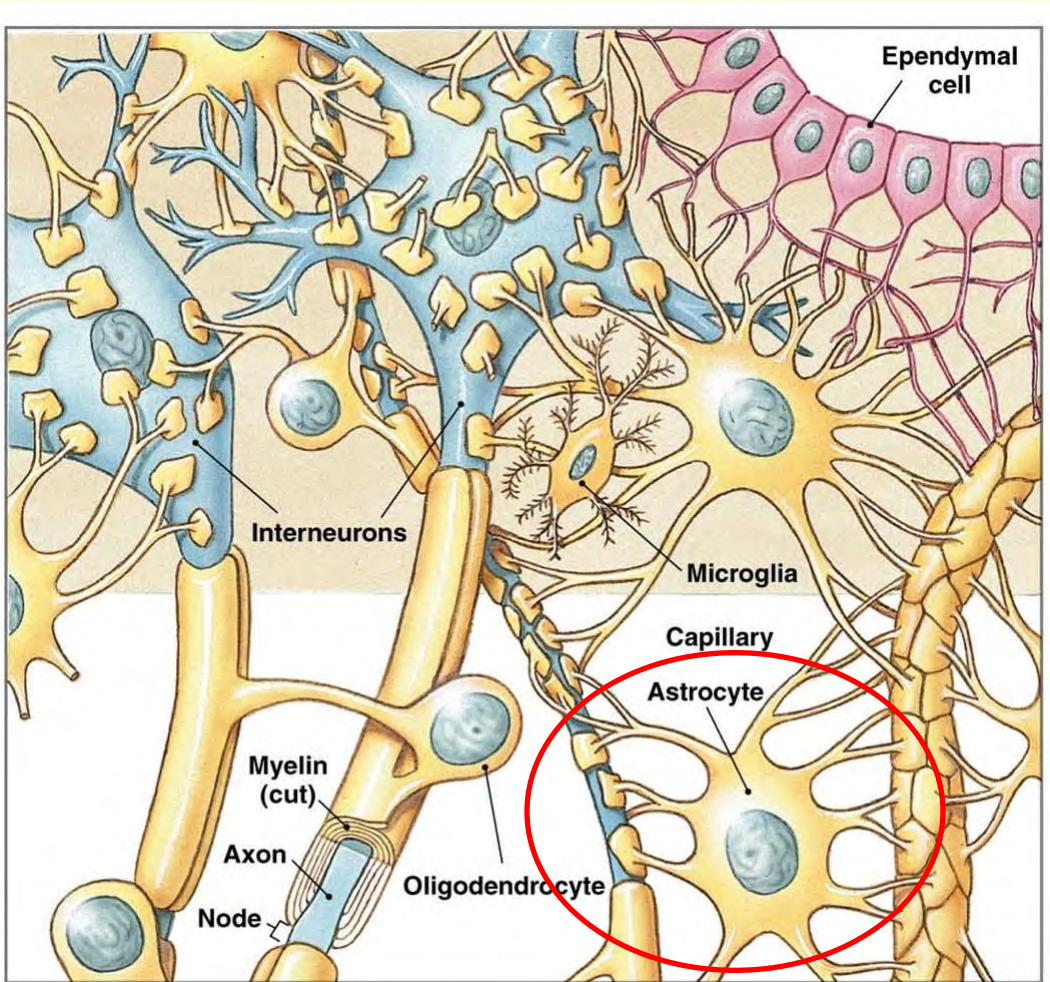


La **microglie** : les macrophages du cerveau.

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 !

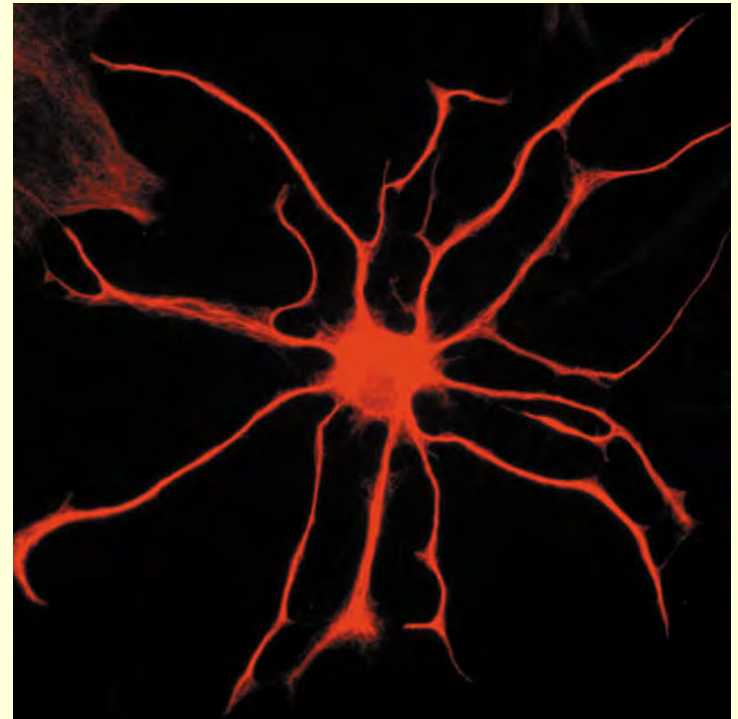
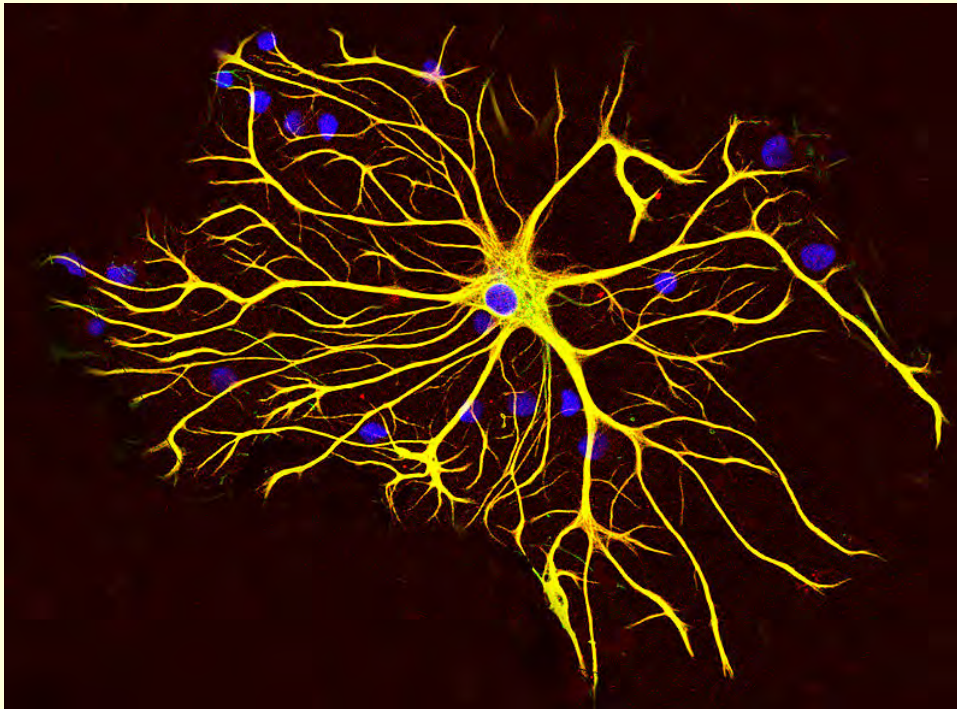
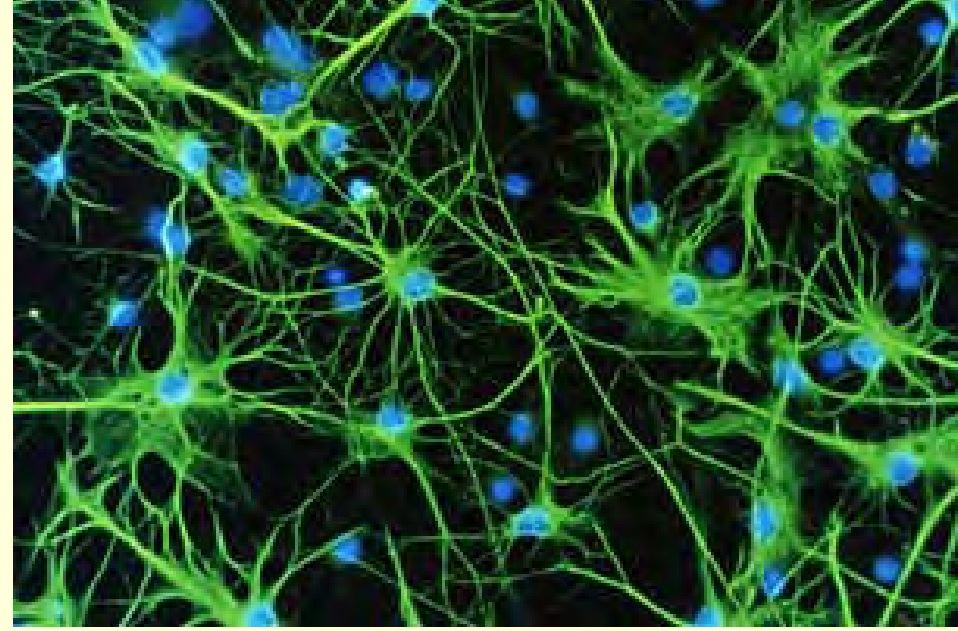
Les **astrocytes** approvisionnent les neurones en nutriments et assurent l'équilibre du milieu extracellulaire.

# Astrocytes

## Fantastic Astrocyte Diversity

August 2, **2015**

[http://jonlieffmd.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://jonlieffmd.com/blog/fantastic-astrocyte-diversity?utm_source=General+Interest&utm_campaign=3a0ae2f9c3-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_471703a831-3a0ae2f9c3-94278693)

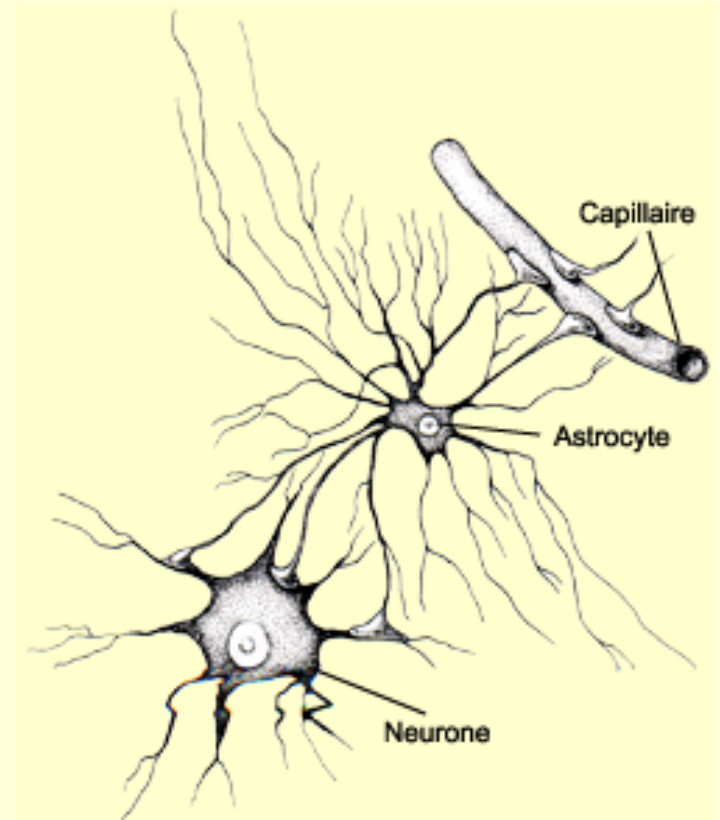
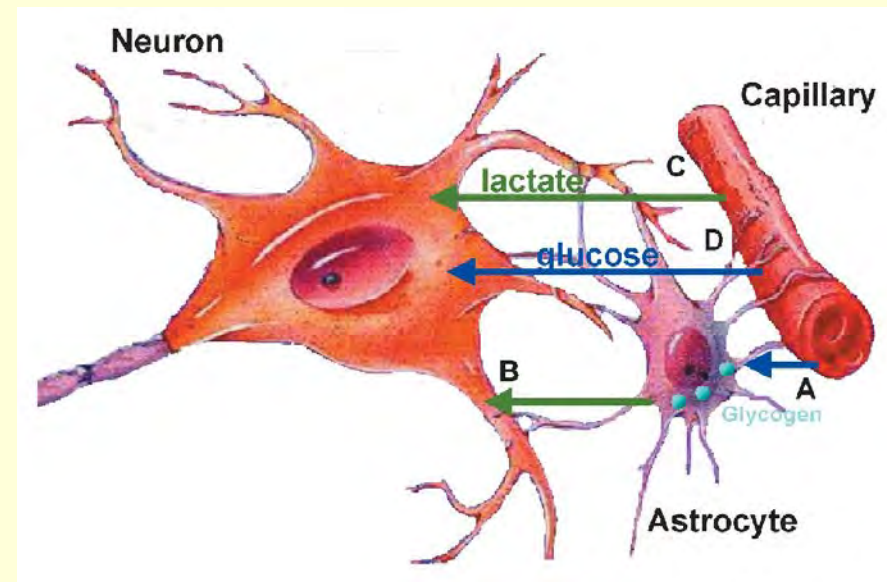


## Astrocytes

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.**





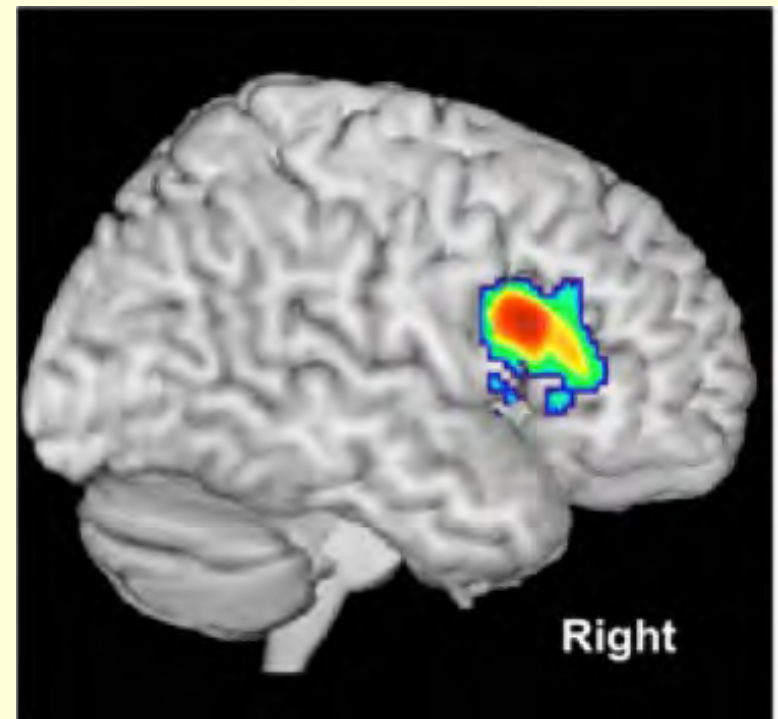
## Astrocytes

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, la semaine prochaine]

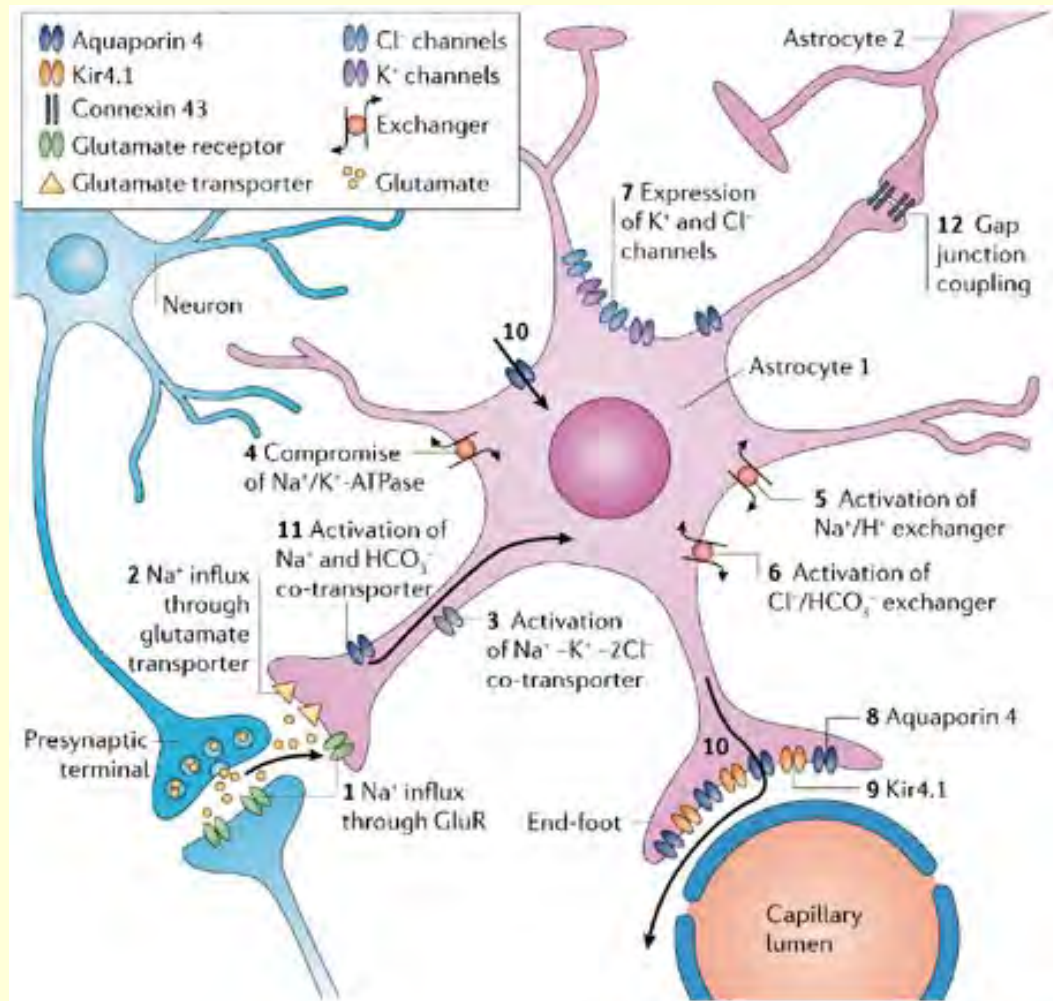
# Glutamate Released from Glial Cells Synchronizes Neuronal Activity in the Hippocampus

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

4 August 2004.

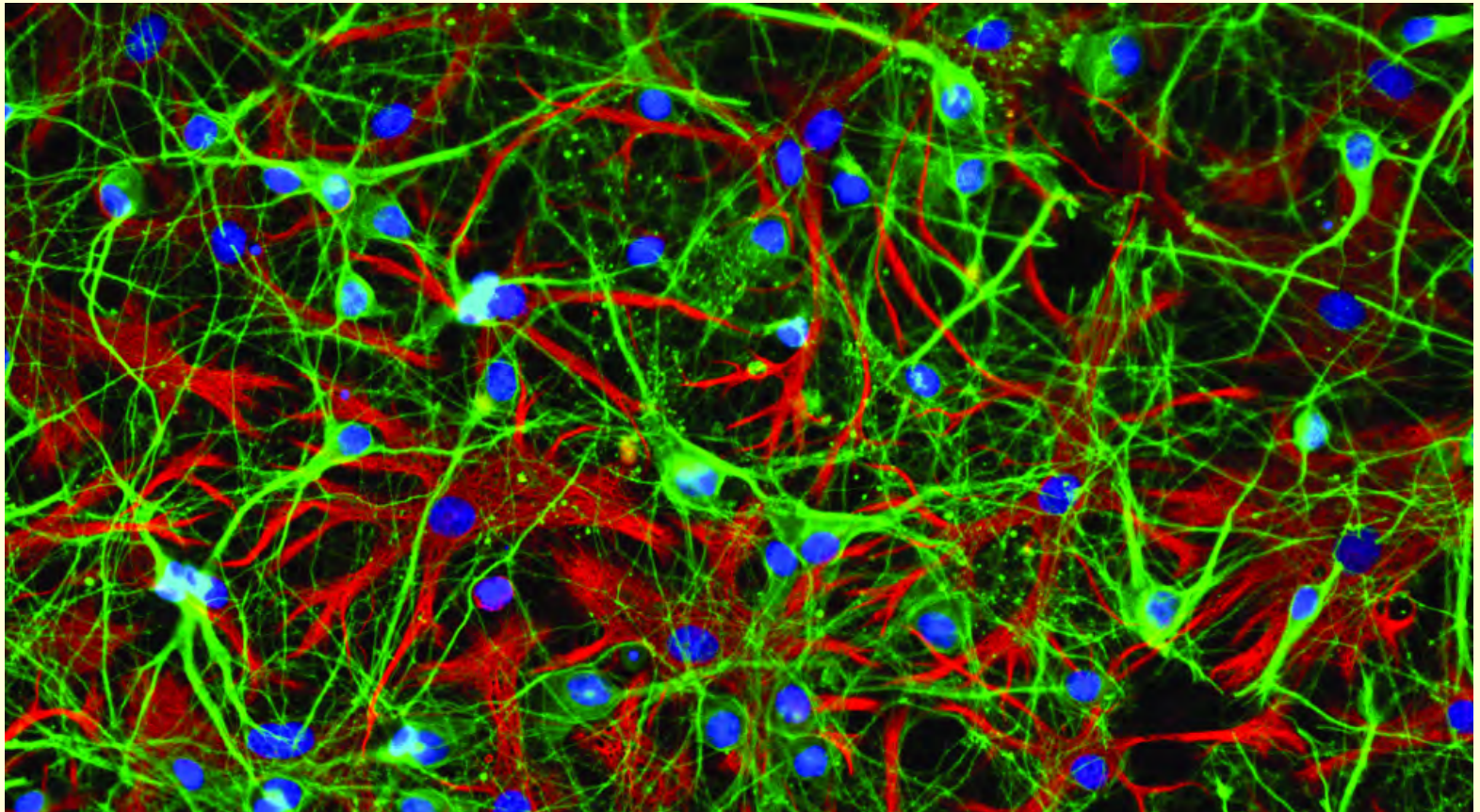
Cet article démontre que du **glutamate** relâché par des cellules gliales génère un courant transitoire

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.

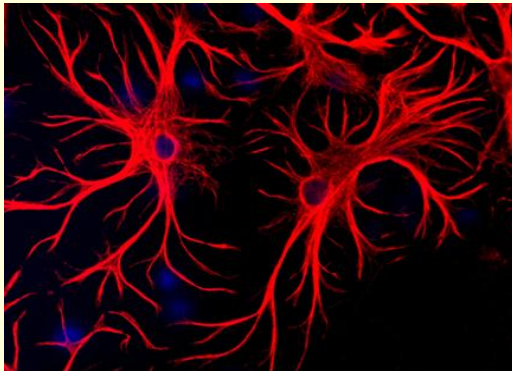
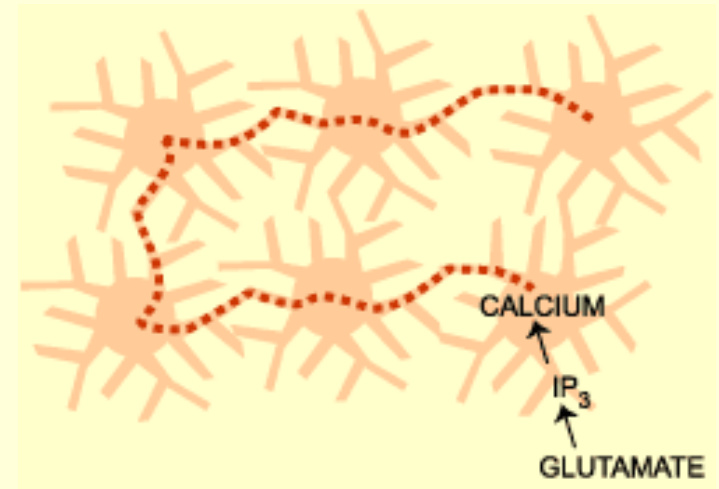
Le glutamate relâché par les cellules gliales pourrait ainsi contribuer à **synchroniser l'activité neuronale** dans l'hippocampe. [cous 5...]



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

On sait aussi que les astrocytes sont **couplés** les uns aux autres par des "gap-jonctions" à travers lesquels peuvent circuler divers métabolites.

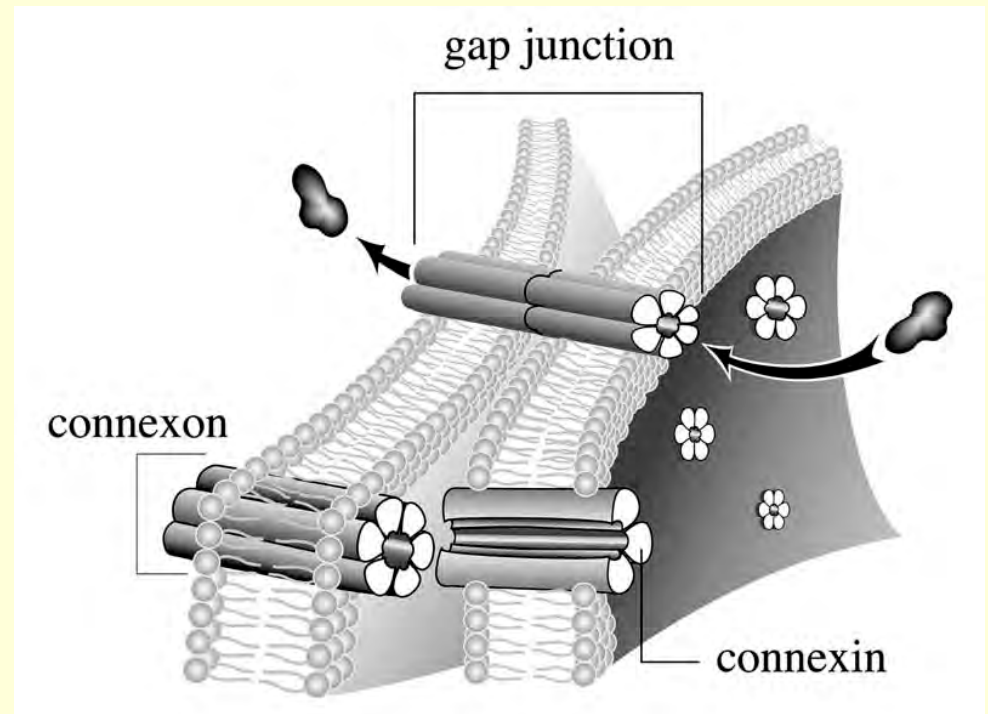
À travers ce réseau se propagent des **vagues d'ions calcium** dont l'effet régulateur pourrait se faire sentir dans un grand nombre de synapses entre neurones.



**Vidéo de 10 sec. :**

« This video captures the waves of calcium ions passing between rat astrocytes as they engage in non-electrical communication. »

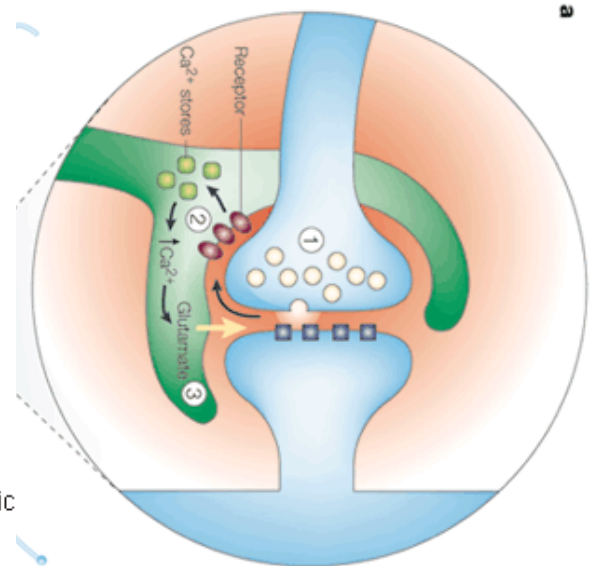
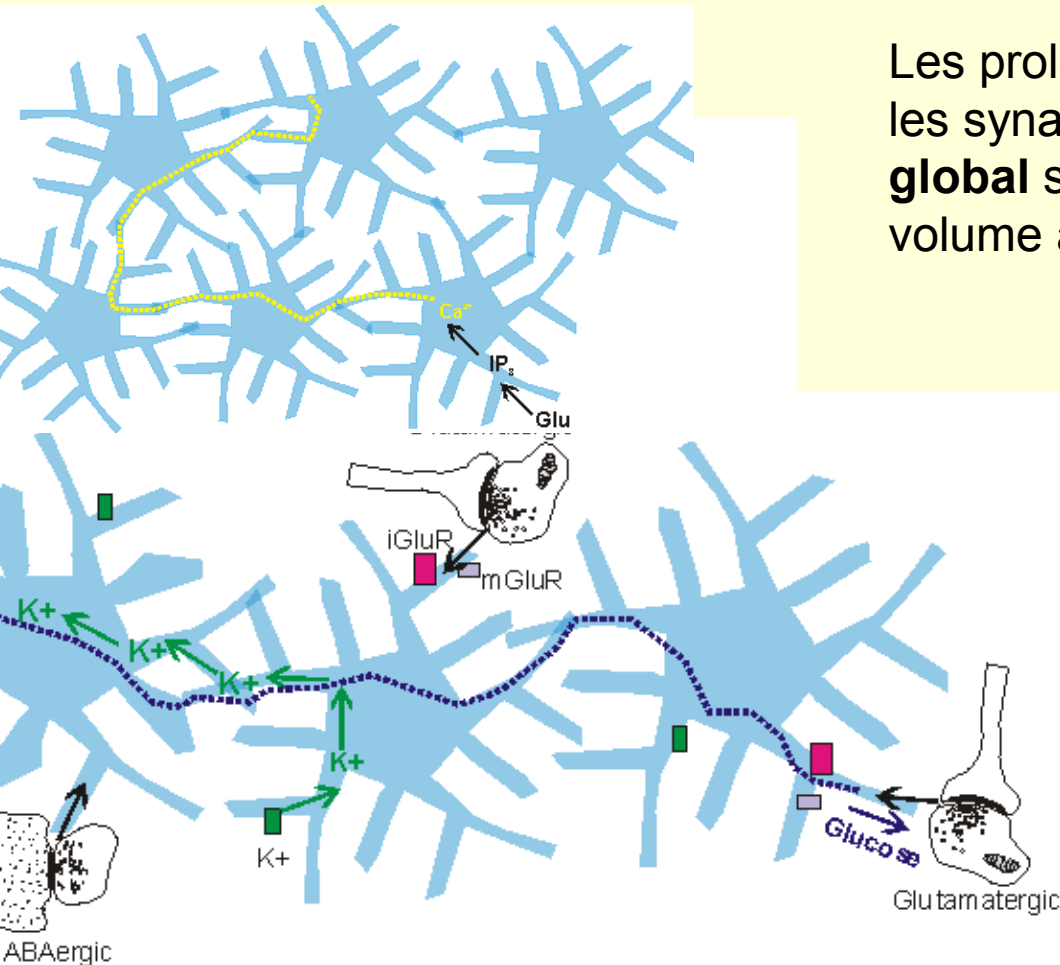
<http://www.nature.com/news/neuroscience-map-the-other-brain-1.13654>



# Emerging role for astroglial networks in information processing: from synapse to behavior,

Trends in Neurosciences, July 2013

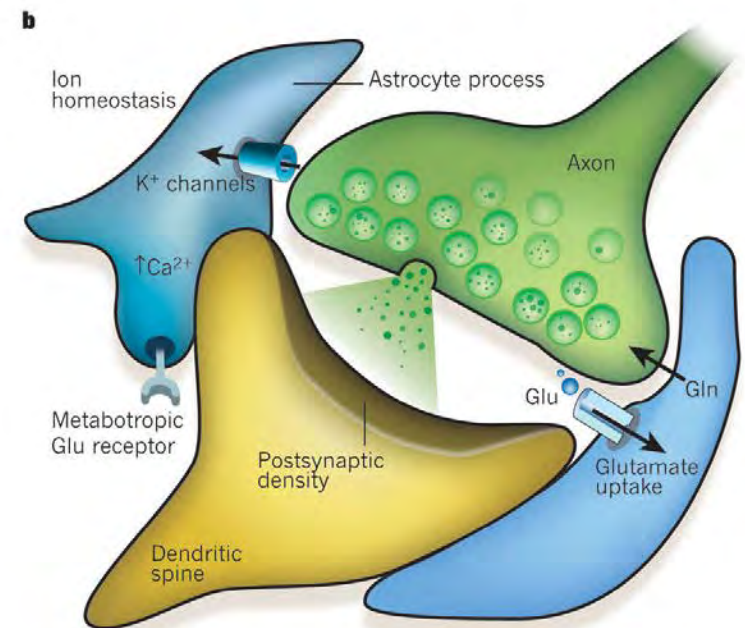
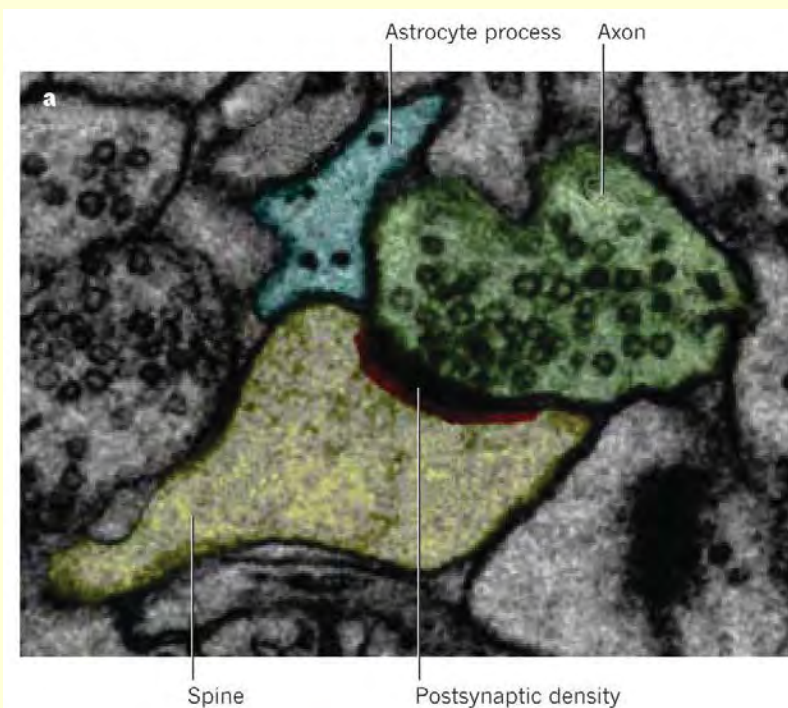
Les prolongements astrocytaires qui entourent les synapses pourraient **exercer un contrôle global** sur la concentration ionique et le volume aqueux dans les fentes synaptiques.



# Tripartite synapses : astrocytes process and control synaptic information

Trends in Neuroscience, Perea G, Navarrete M, Araque A. **2009**

“**One human astrocyte** (an intricate, bush-like cell) can encompass, and therefore influence, **two million synapses**.<sup>9</sup>”



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

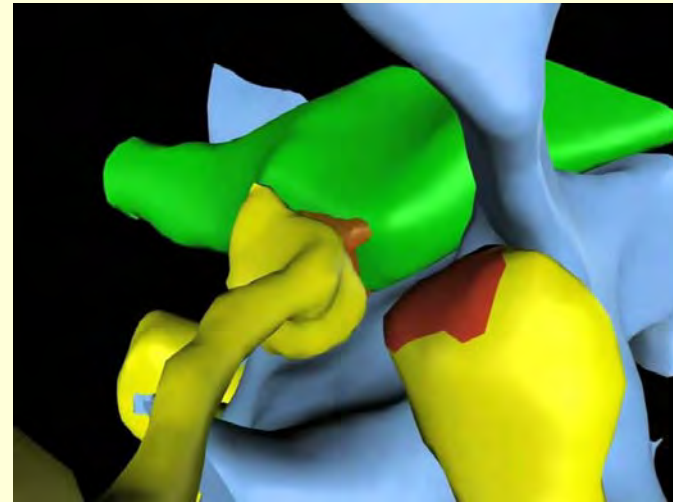
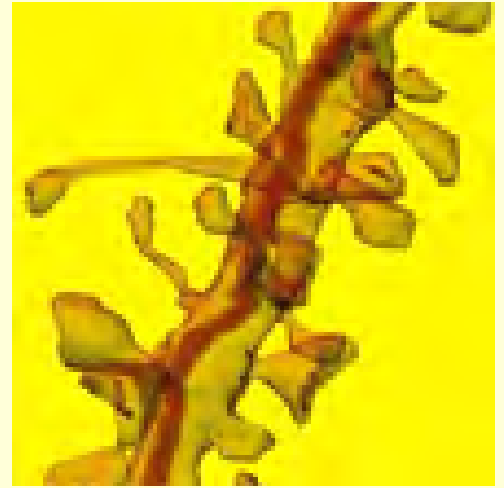
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/03/25/richeesse-et-complexite-structurale-du-neurone/>

### **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.

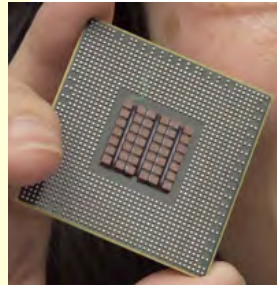
## No Brain Mapping Without Glia

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)



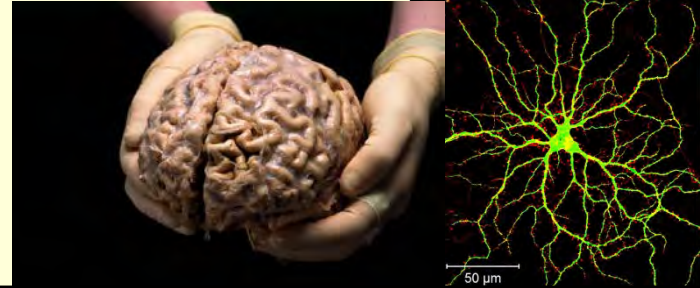
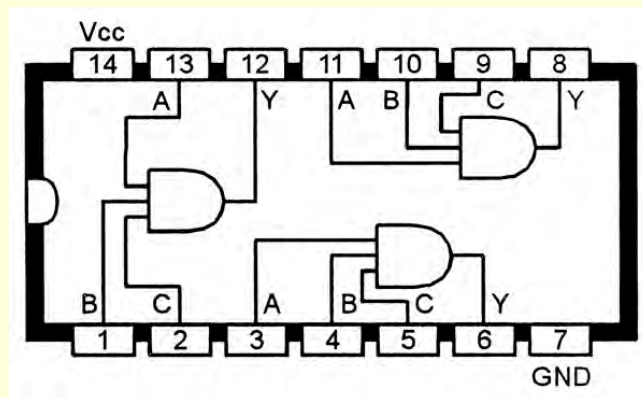
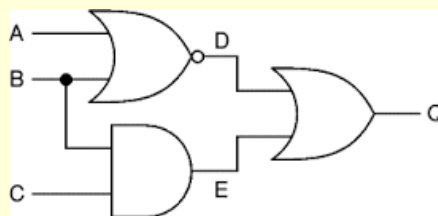


# Hardware

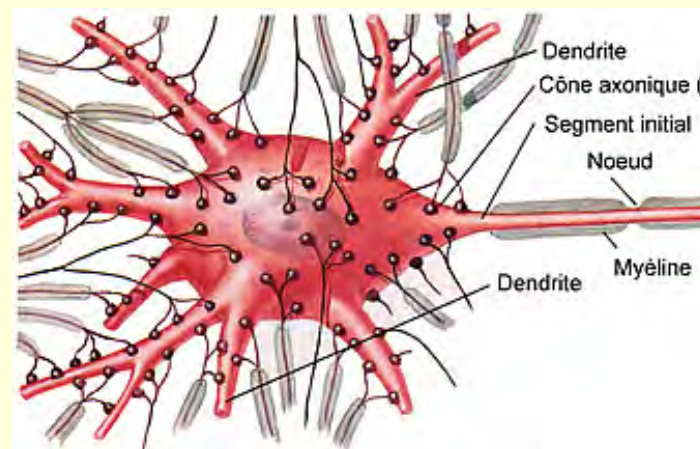


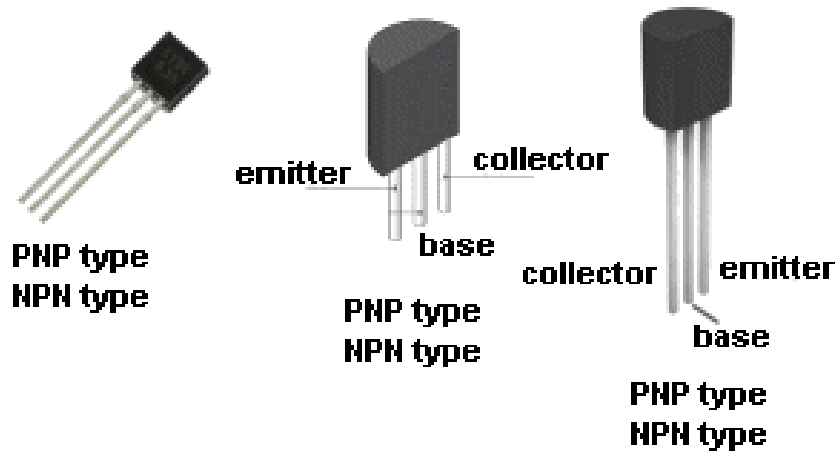
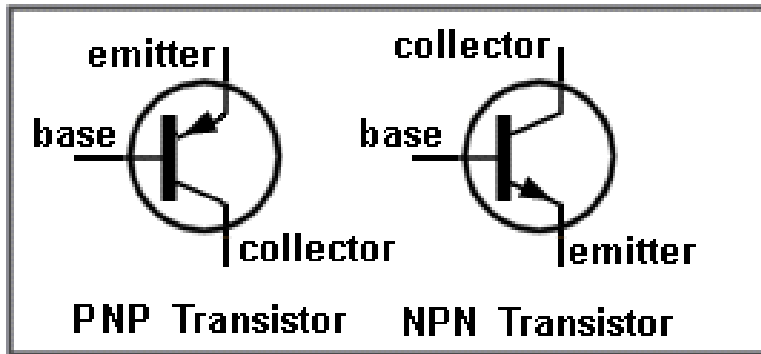
Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

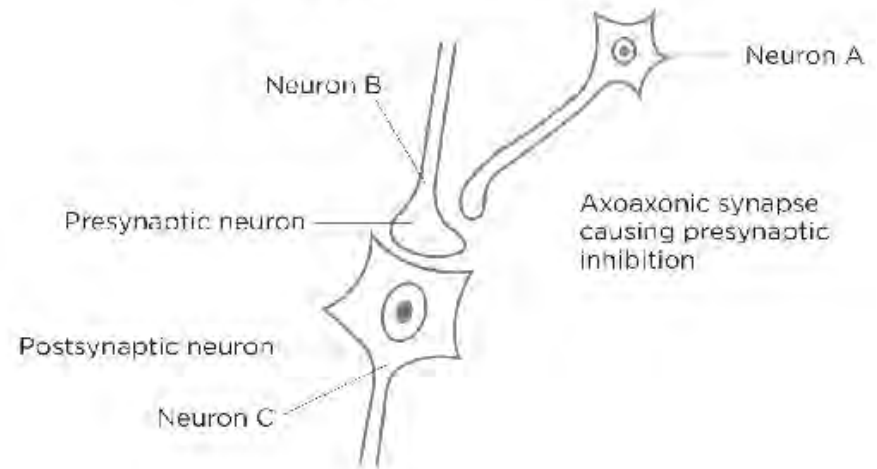


$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)

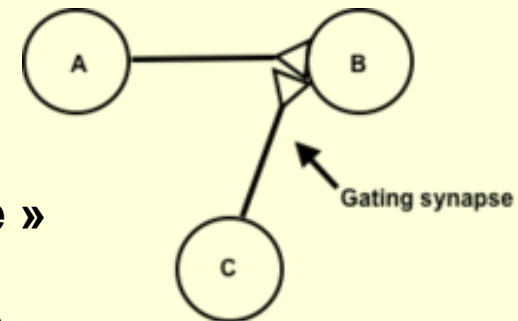




## Presynaptic inhibition

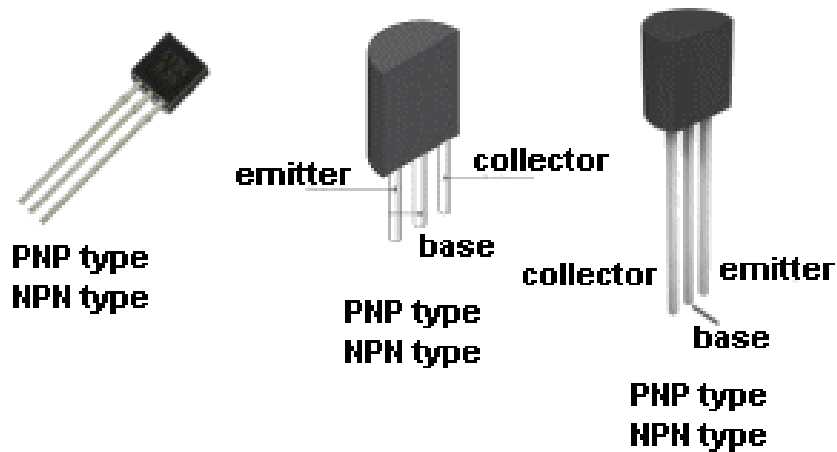
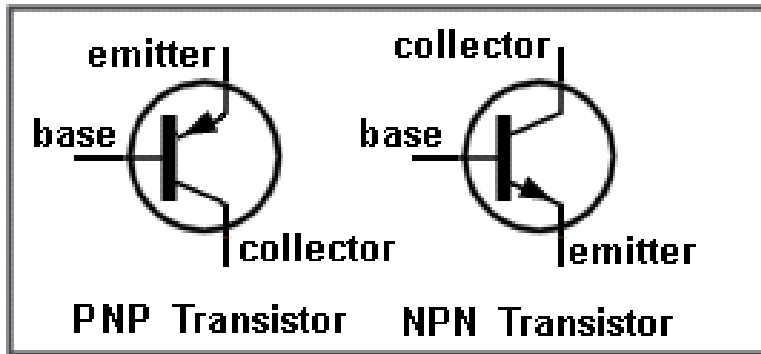


« Axo-axonal gated synapse »  
(inhibition pré-synaptique)

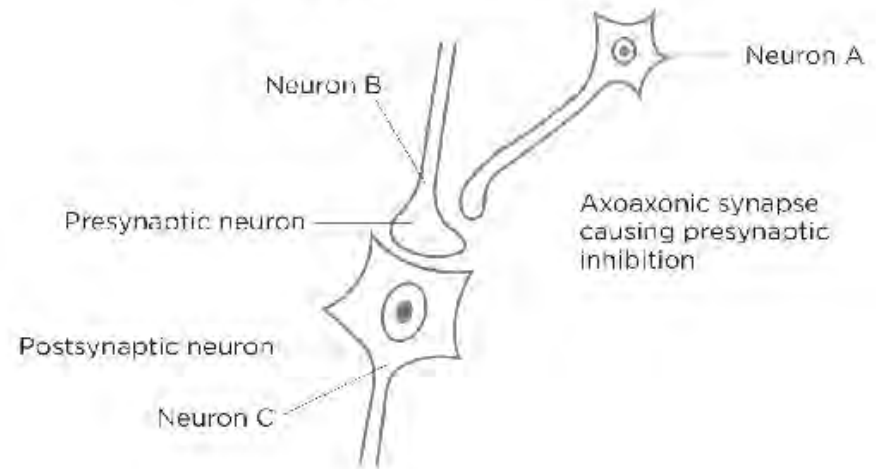


Le neurone C contrôle l'efficacité entre le neurone A et B, un peu comme dans un transistor...

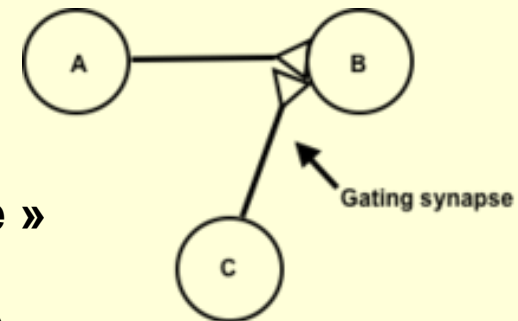
[cours 6, « neuromodulation »]



## Presynaptic inhibition



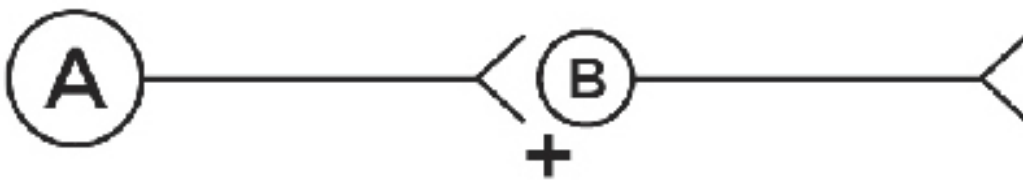
« Axo-axonal gated synapse »  
(inhibition pré-synaptique)



Le neurone C contrôle l'efficacité entre le neurone A et B, un peu comme dans un transistor...

[cours 6, « neuromodulation »]

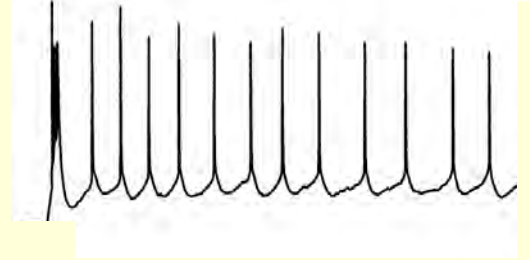
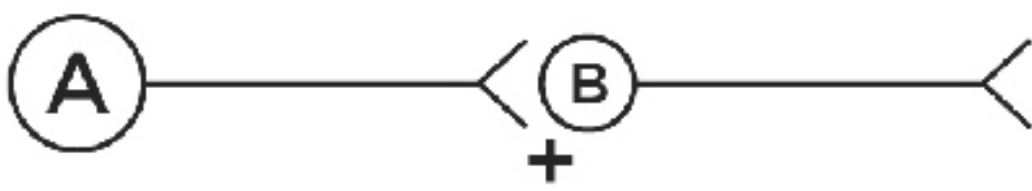
Mais il y a plus... beaucoup plus...

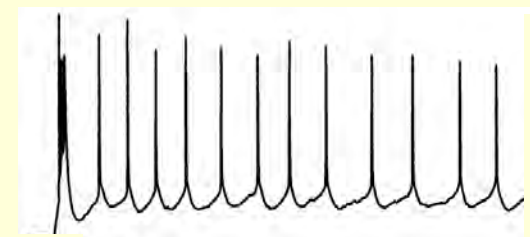
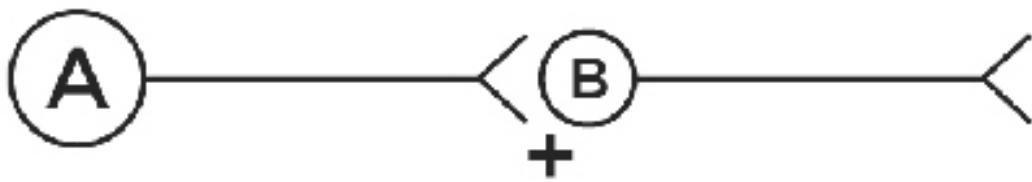


## Behave

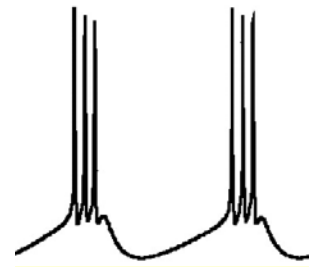
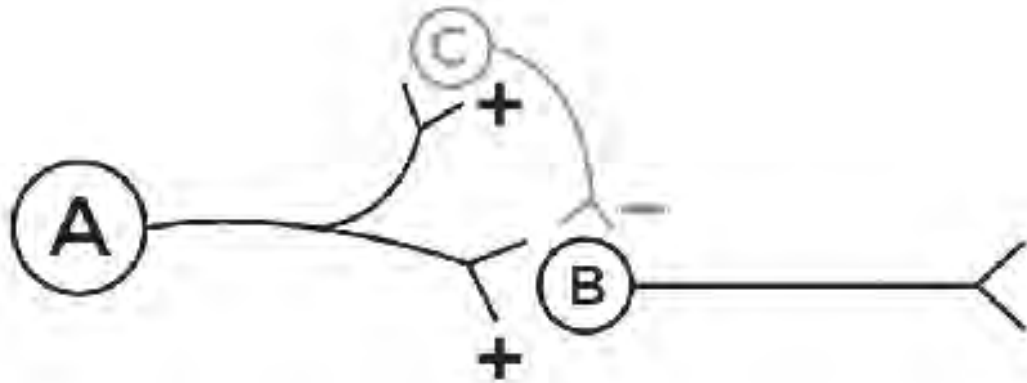
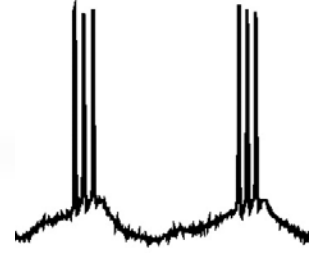
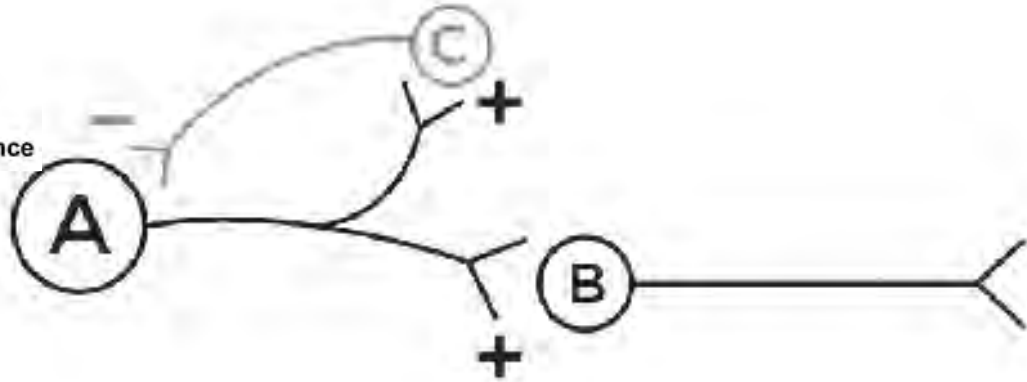
The Biology of Humans at Our Best and Worst  
By Robert M. Sapolsky

<http://www.penguinrandomhouse.com/books/311787/behave-by-robert-m-sapolsky/9781594205071/>

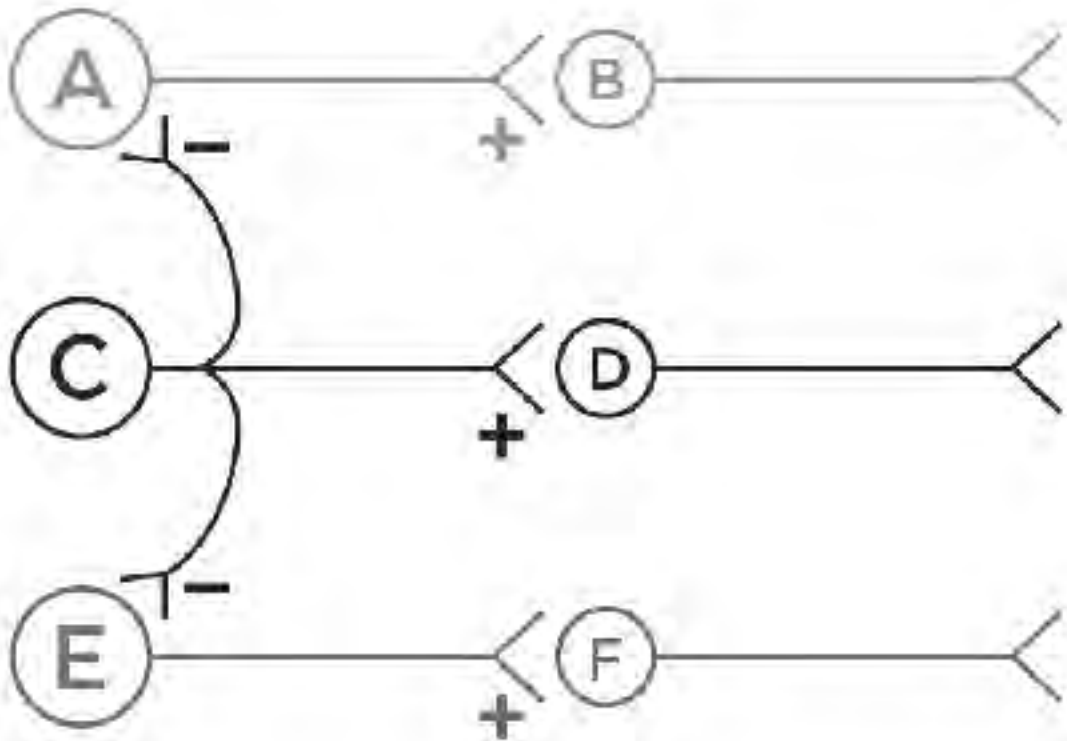




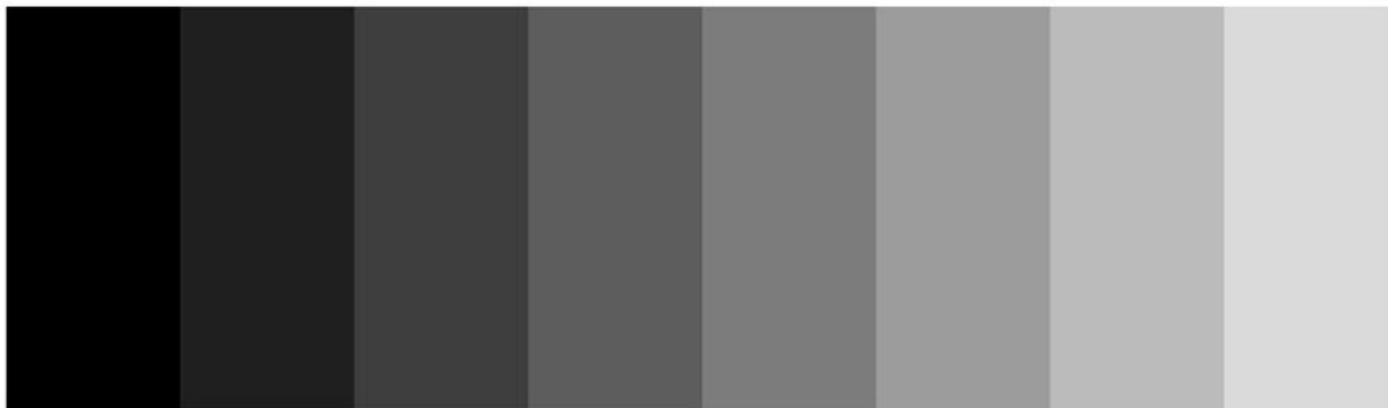
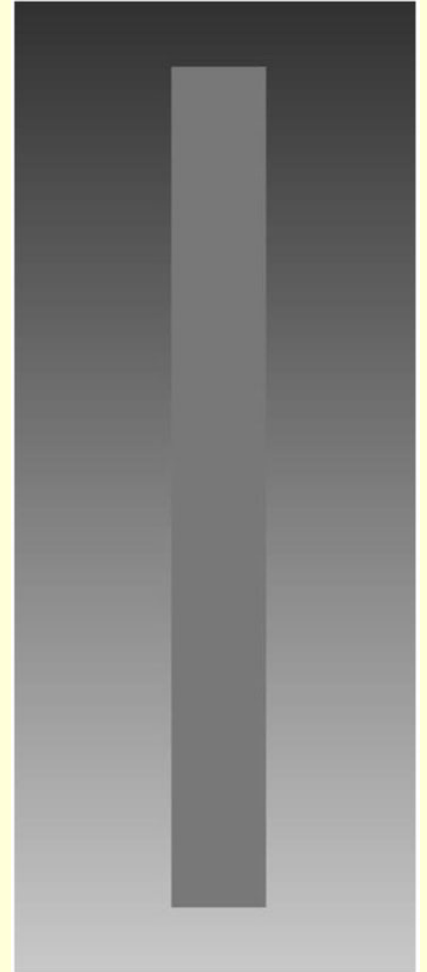
Régulation en constance

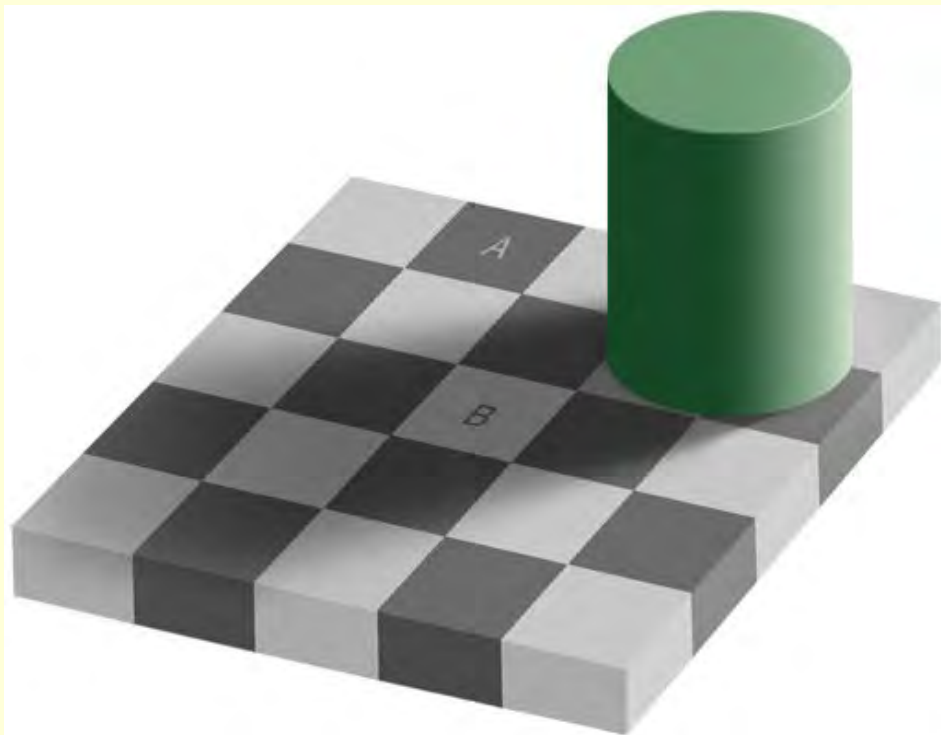


Deux manières d'augmenter le **contraste temporel** (« temporal sharpening »)



**Inhibition latérale**



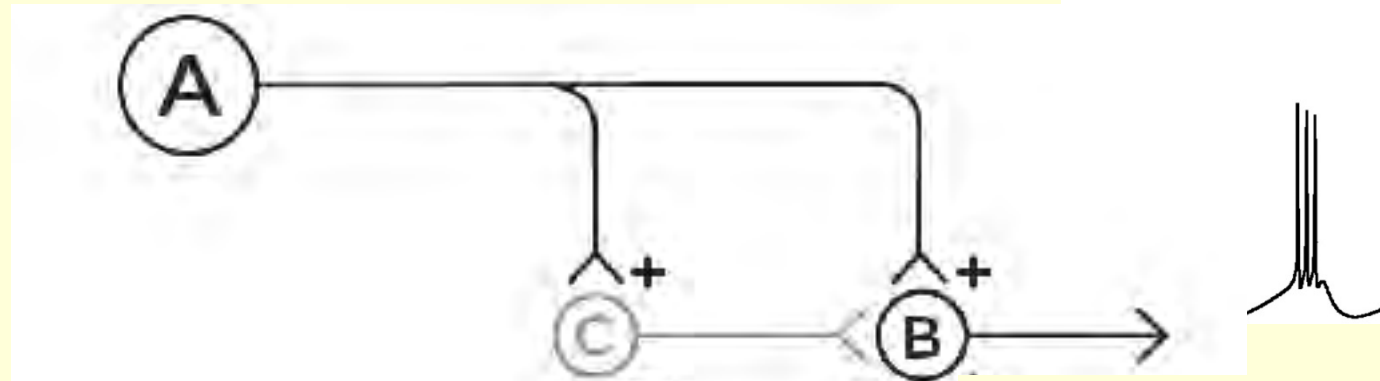


Échiquier d'Adelson



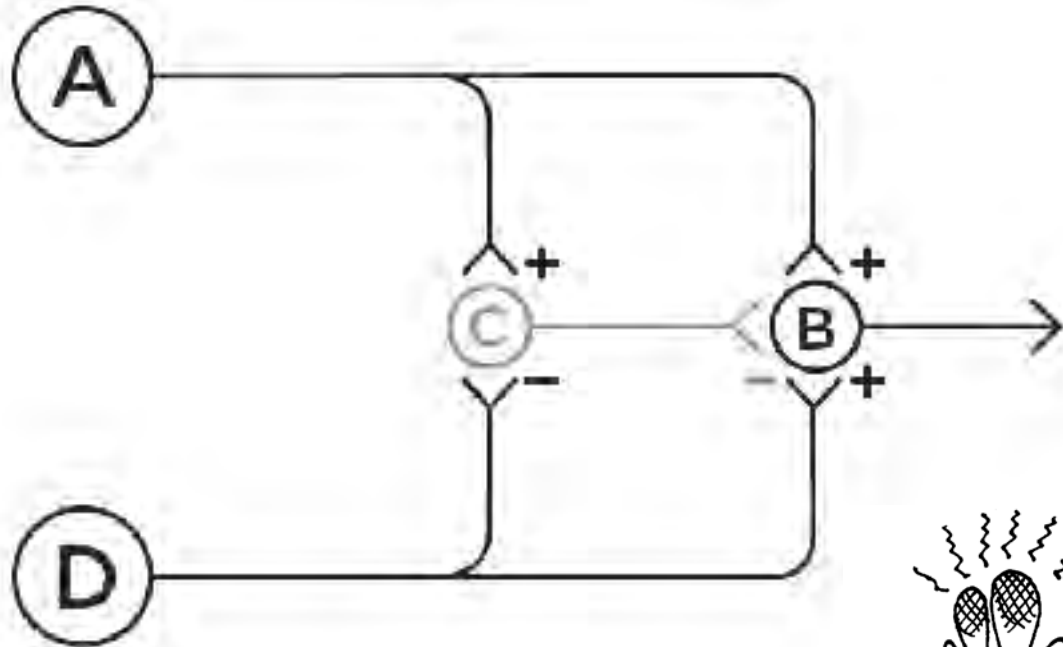


**Douleur aguë**

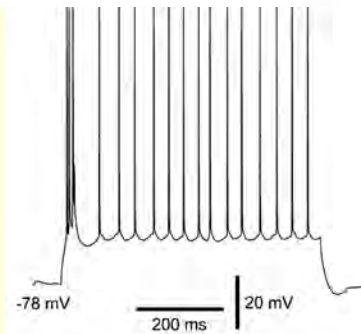


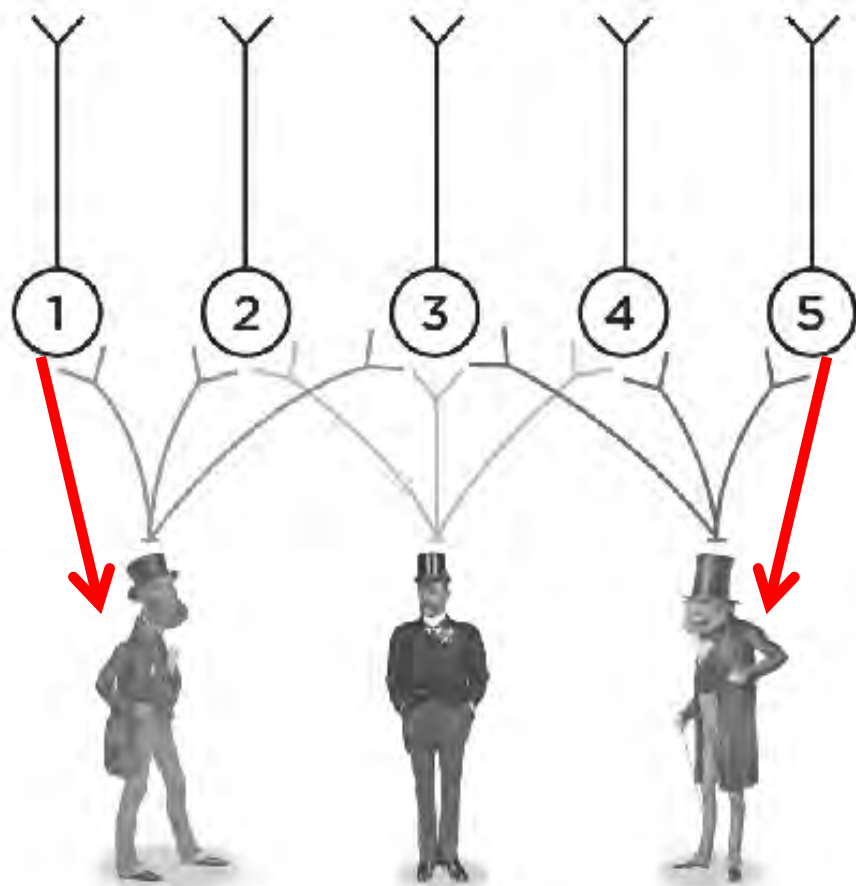


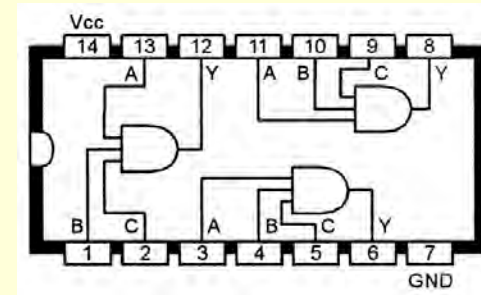
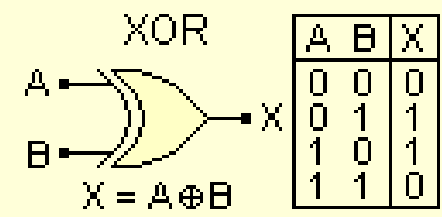
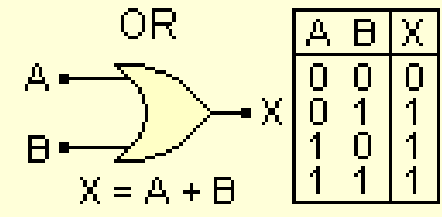
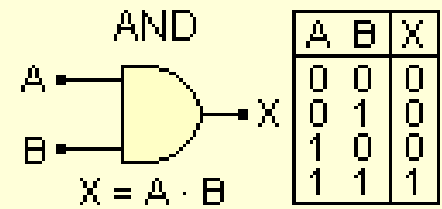
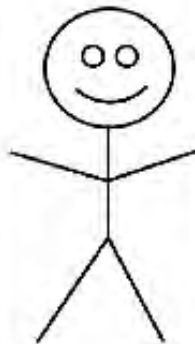
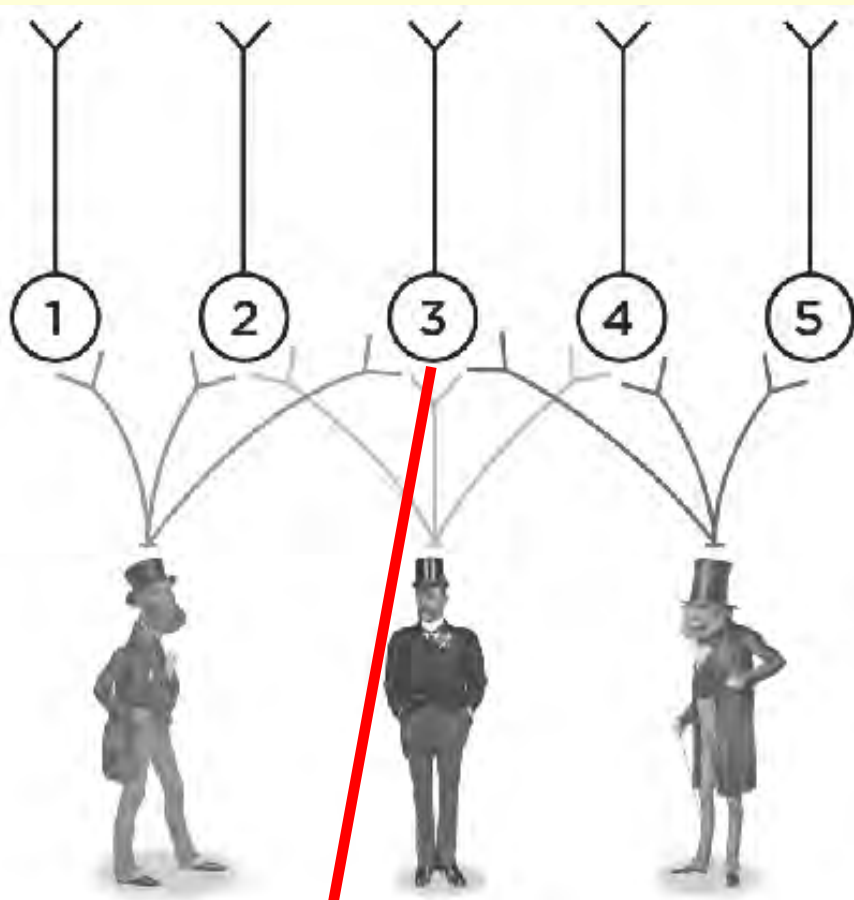
**Douleur aguë**



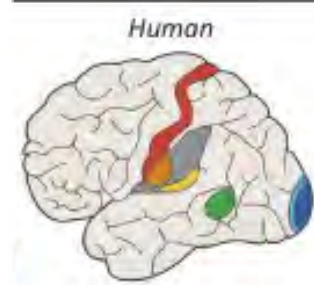
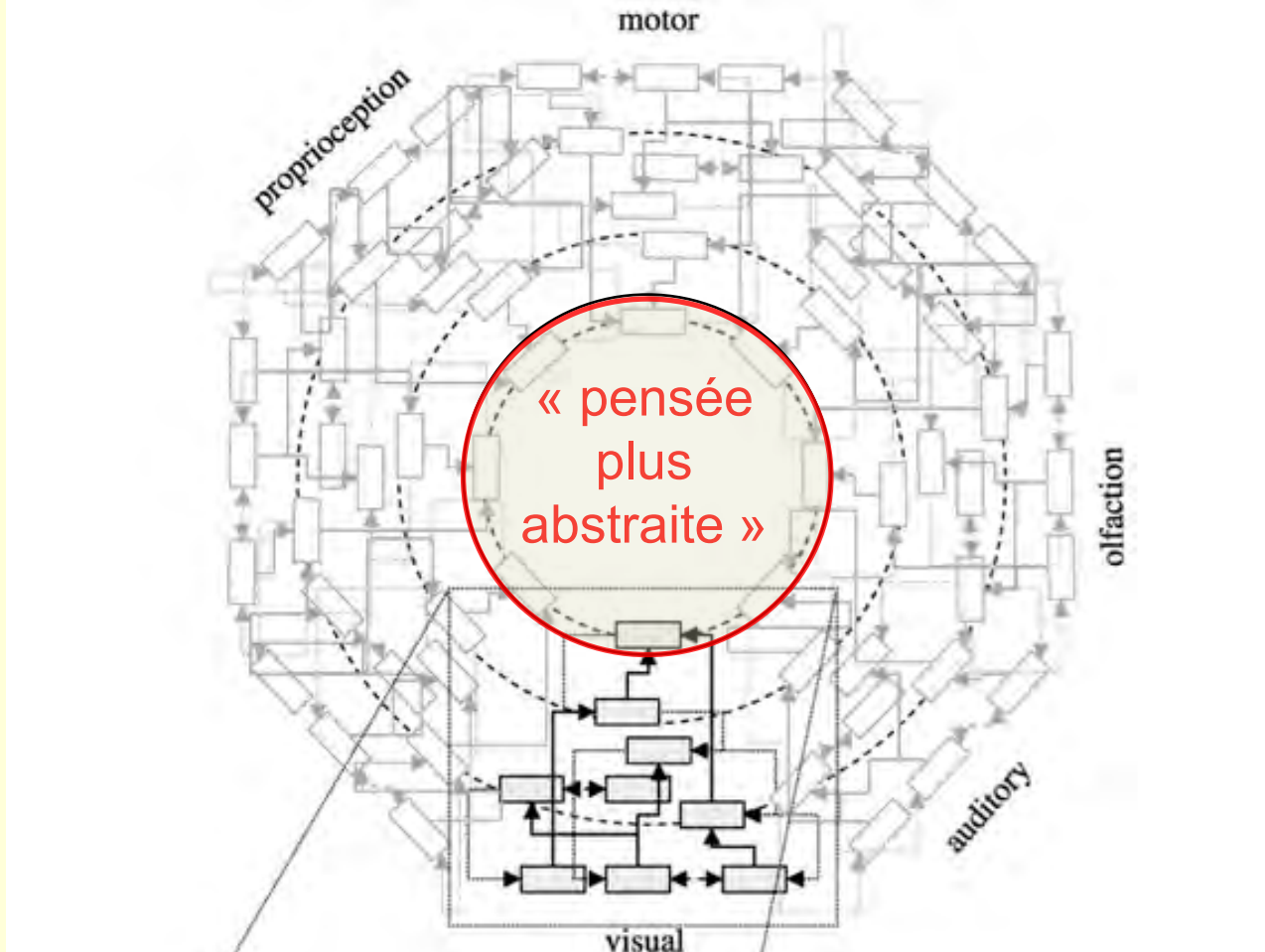
**Douleur chronique**



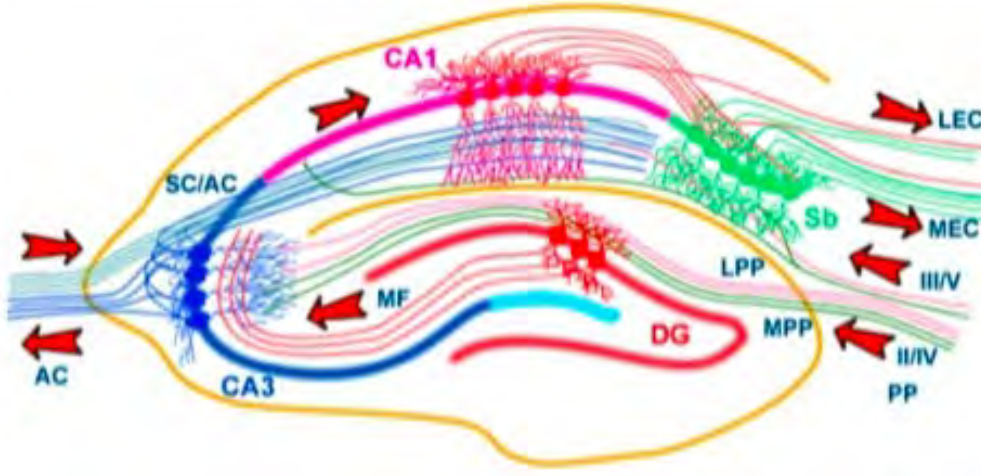




La computation neuronale peut aussi être très complexe...



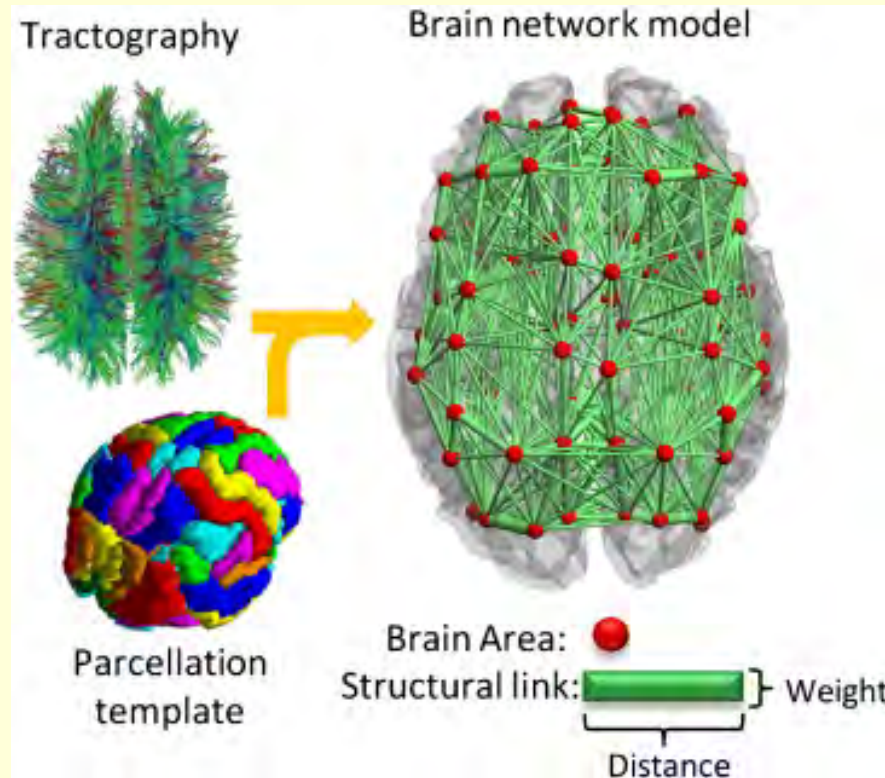
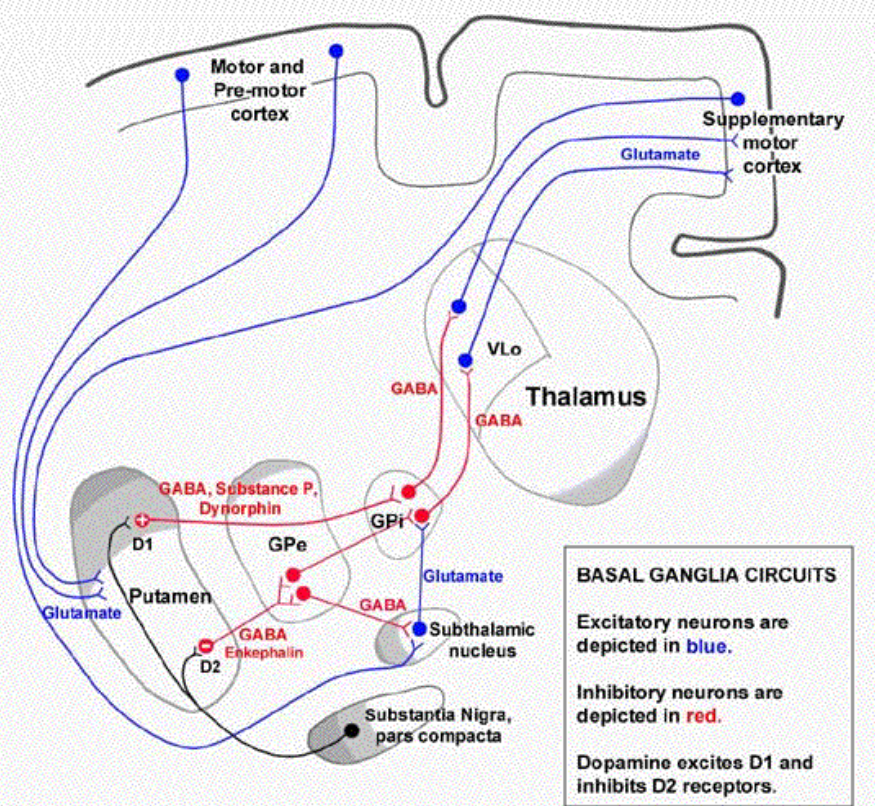
[analogies, métaphores, « créativité »... Cours 7]

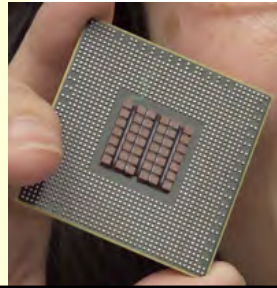


Mais aussi à l'échelle du **cerveau entier**

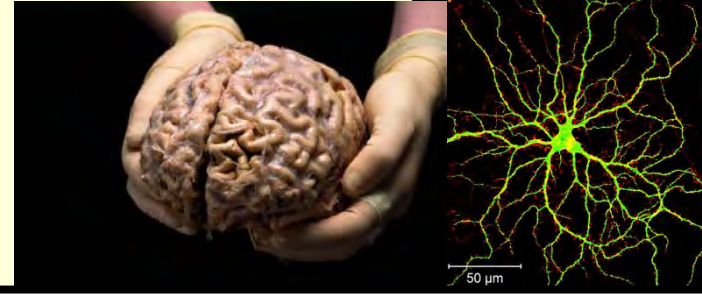
[cours 3]

Il y a des circuits à l'échelle de structures cérébrales (hippocampe, noyaux gris centraux...)





## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

Vitesse de  
traitement

Horloge : 10 GHz  
(10 milliardième de sec.)

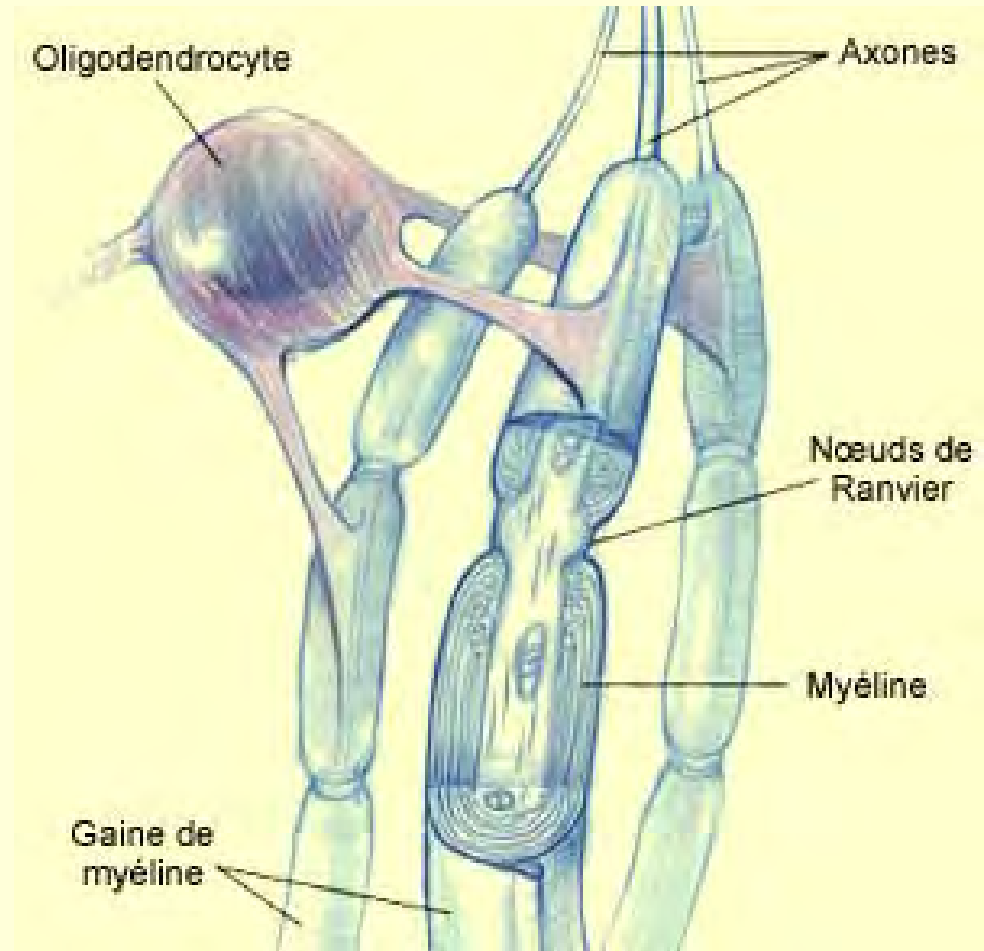
$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)

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

## Oligodendrocyte

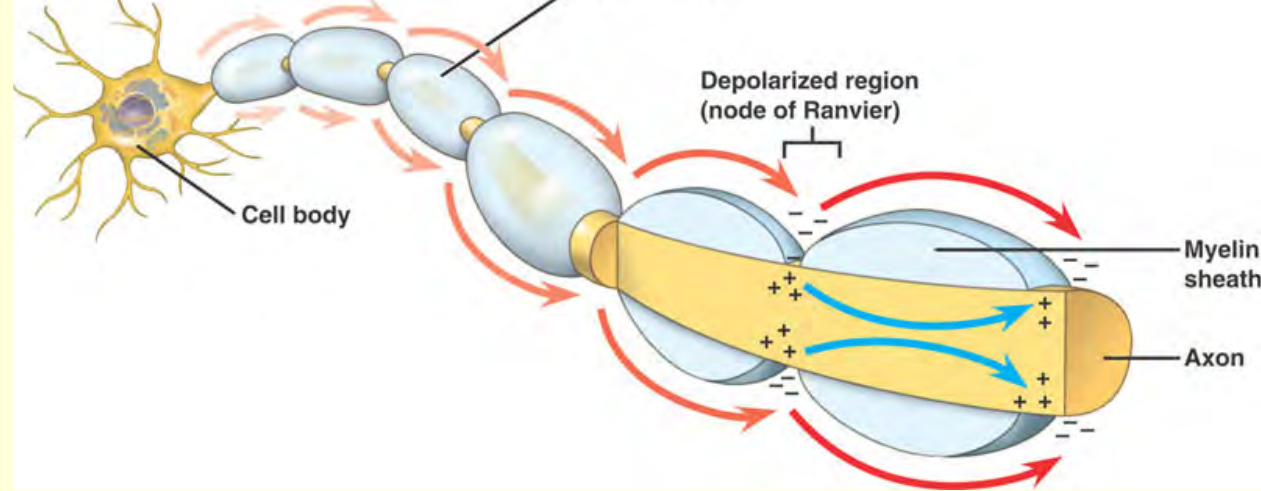
Certaines cellules gliales appelées oligodendrocytes s'enroulent autour de l'axone et forment une gaine isolante, un peu comme celle qui recouvrent les fils électriques.

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.

On parle alors de **conduction saltatoire** (qui " saute " d'un nœud à l'autre) par opposition à la propagation continue beaucoup plus lente qui survient dans les axones non myélinisés.

C'est comme si l'on enroulait du ruban adhésif autour d'un boyau d'arrosage rempli de trous pour augmenter la pression de l'eau.

# À quelle vitesse voyage l'influx nerveux ?

Type de fibre nerveuse	Information véhiculée	Gaine de myéline	Diamètre (en micro-mètres)	Vitesse de conduction (en m/s)
A-alpha	Proprioception	myélinisée	13 - 20	80 - 120
A-beta	Toucher	myélinisée	6 - 12	35 - 90
A-delta	Douleur (mécanique et thermique)	myélinisée	1 - 5	5 - 40
C	Douleur (mécanique, thermique et chimique)	non-myélinisée	0.2 - 1.5	0.5 - 2



300 à  
400 km/h



120 à  
300 km/h

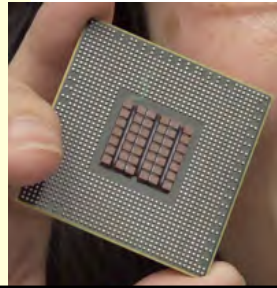


40 à  
120 km/h

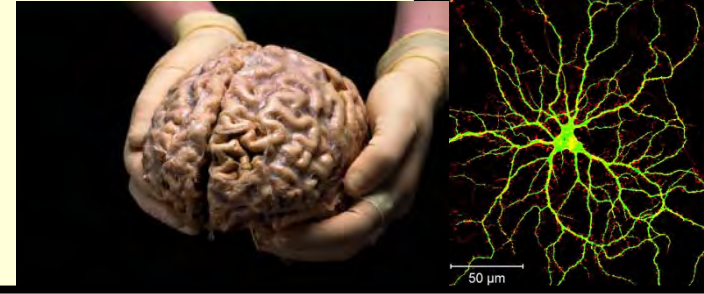


2 à  
7 km/h

À titre de comparaison, la vitesse du signal électrique dans un fil de cuivre est de 98 millions de km/h, soit environ **300 000 fois plus vite** que nos fibre A-alpha !



## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

Vitesse de  
traitement

Horloge : 10 GHz  
(10 milliardième de sec.)

Type de  
computation

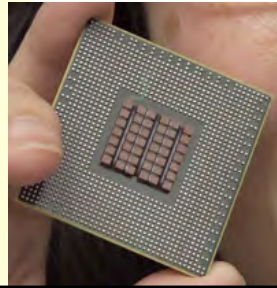
Traitement de l'information  
(surtout) séquentiel via la  
connectivité fixe du CPU

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

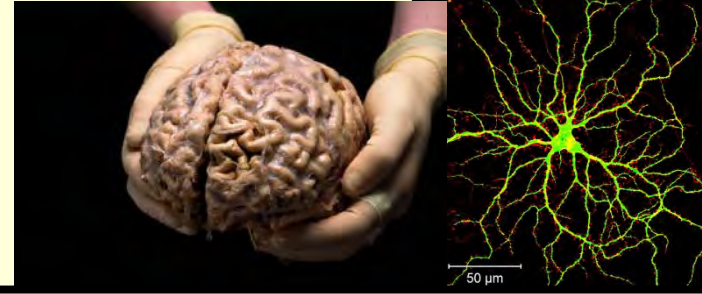
En biologie, phénomène à  
100 millionième de sec.  
Influx nerveux : 2 millième sec.

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

**[cours 4]**



## Hardware



Nombre  
d'unités  
de base

$10^{10}$  Transistors  
Peu connectés

Vitesse de  
traitement

Horloge : 10 GHz  
(10 milliardième de sec.)

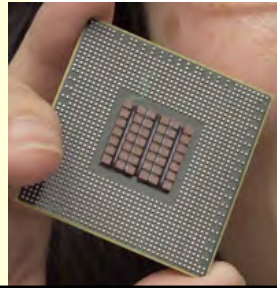
Type de  
computation

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

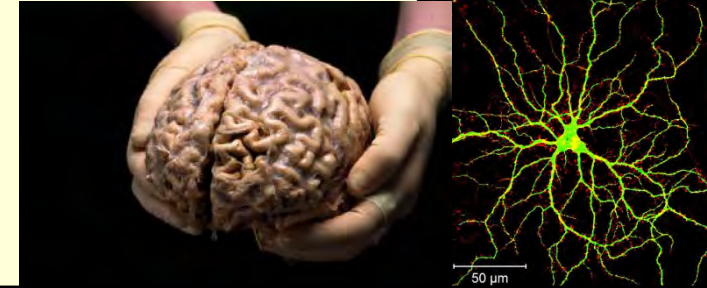
$10^{11}$  **Neurones +**  
 $10^{11}$  **Cellules gliales**  
**Très connectés**  
( $10^4$  par neurone)

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

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



## 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 ?

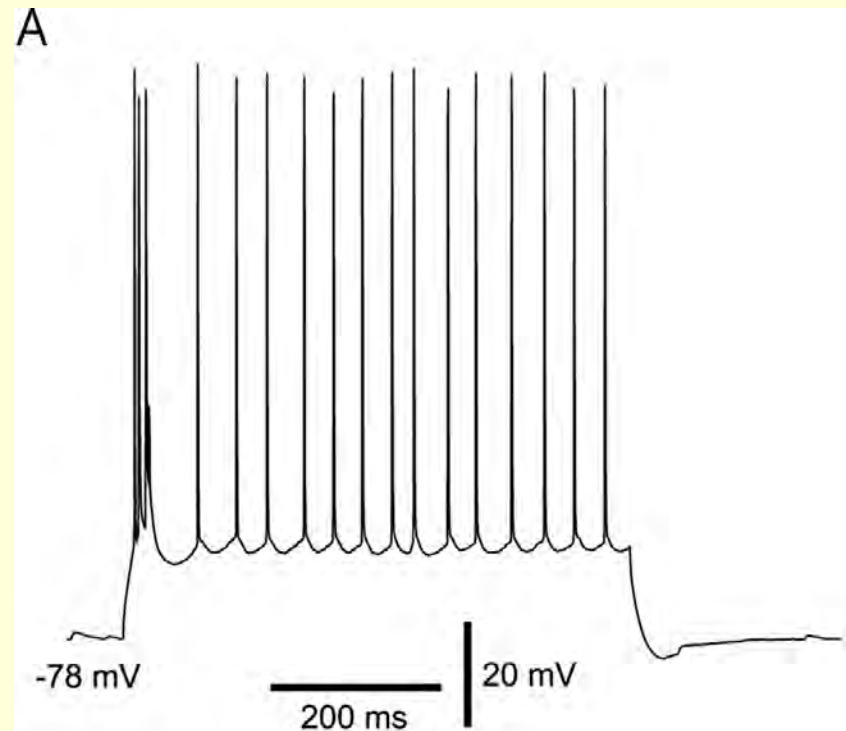
La réponse traditionnelle depuis les années 1960 était que le système nerveux effectue des computation **digitales** comme les ordinateurs (potentiel d'action = phénomène tout ou rien...).

## 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**.

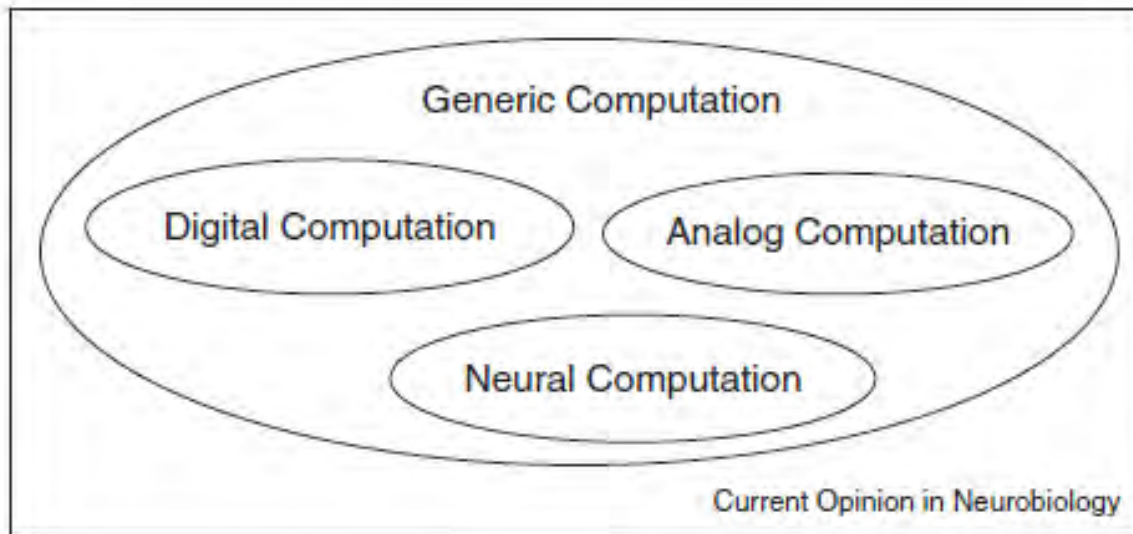
Par conséquent, un signal neuronal typique n'est **pas une suite de “0” ou de “1”** sous quelque forme que ce soit et n'est donc pas une computation digitale.



**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**. (Figure 1).

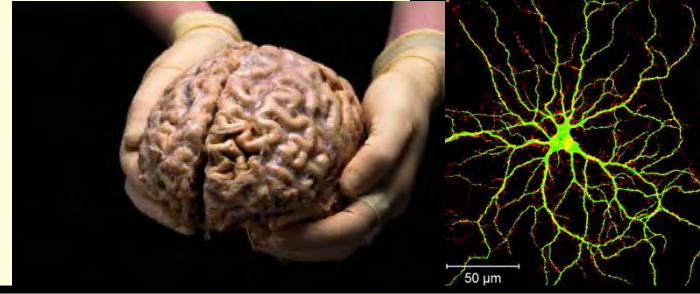


Some types of generic computation. Neural computation may sometimes be either digital or analog in character, but, in the general case, neural computation appears to be a distinct type of computation.

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.

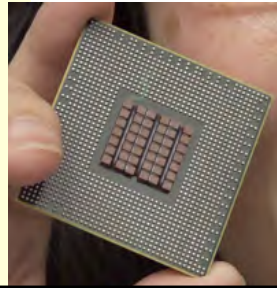
Traitement de l'information en  
parallèle via connectivité  
adaptative (plastique)  
Digital ? Analogique ? Autre ?

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

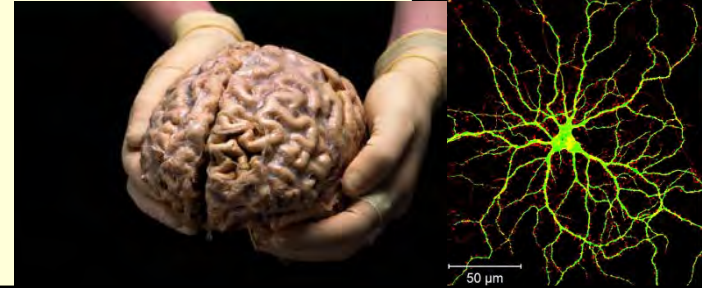
- Système formel
- Ensemble fini de pièces
- Position de départ
- Ensemble de règles de transition

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...)

La semaine prochaine, avec ces grandes idées théoriques en tête, on va considérer les **données empiriques** que l'on peut recueillir depuis quelques décennies sur **de « vrais cerveaux » !**

D'abord pour faire un rapide survol de son **développement**.

Et ensuite pour en explorer les composantes en considérant les **techniques** d'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle.

C'est là où cadres théoriques et techniques d'imagerie vont commencer à faire apparaître la complexité inimaginable de **nos réseaux neuronaux à l'échelle du cerveau entier**.

Merci, et à la semaine prochaine !