

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Un site web interactif sur le cerveau et les comportements humains

● Visite guidée

● Plan du site

● Diffusion

● Présentations

● Nouveautés

● English

Principes fondamentaux



Du simple au complexe

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



Le bricolage de l'évolution

- ✦ Notre héritage évolutif

Le développement de nos facultés

- ✦ De l'embryon à la morale



Le plaisir et la douleur

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



Les détecteurs sensoriels

- ✦ La vision



Le corps en mouvement

- ✦ Produire un mouvement volontaire

Fonctions complexes



Au coeur de la mémoire

- ✦ Les traces de l'apprentissage
- ✦ Oubli et amnésie



Que d'émotions

- ✦ Peur, anxiété et angoisse



De la pensée au langage

- ✦ Communiquer avec des mots



Dormir, rêver...

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



L'émergence de la conscience

- ✦ Le sentiment d'être soi

Dysfonctions



Les troubles de l'esprit

- ✦ Dépression et mania-co-dépression
- ✦ Les troubles anxieux
- ✦ La démence de type Alzheimer

Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Chercher dans le blogue

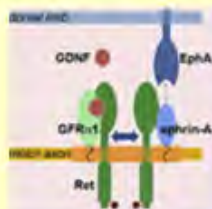
Envoyer

Catégories

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

Lundi, 13 février 2012

Des protéines qui guident le câblage cérébral



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

Instituts de recherche en santé du Canada

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

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

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Retour à l'accueil

Niveau d'explication

Débutant
Intermédiaire
Avancé



Le plaisir et la douleur



La quête du plaisir

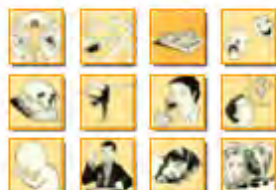
cérébral débutant

Niveau d'organisation

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

Thème

Le plaisir et la douleur



Sous-thème

La quête du plaisir

Les paradis artificiels

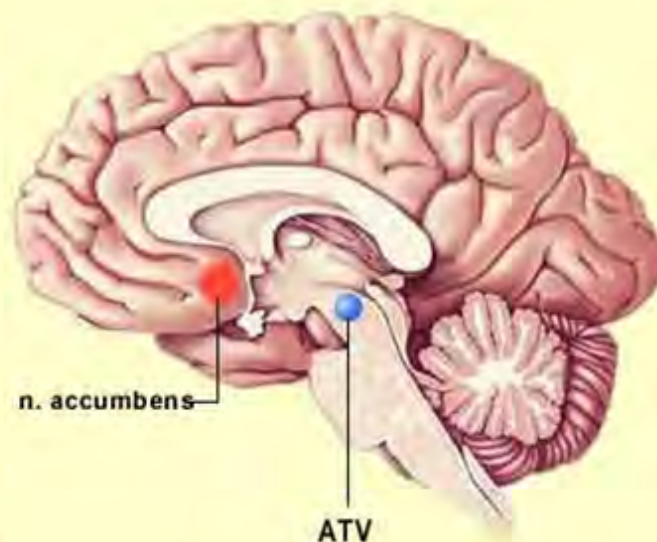
L'évitement de la douleur



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

LES CENTRES DU PLAISIR

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



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

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

3 niveaux d'explication

Niveau d'explication

Débutant
Intermédiaire
Avancé

◀ ◻ ▶

Débutant

Intermédiaire

Avancé

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Titre: LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!
Niveau: DÉBUTANT

Le cerveau est un organe complexe qui permet de penser, de sentir, de ressentir et de contrôler le corps. Il est composé de milliards de neurones qui communiquent entre eux pour produire des pensées, des émotions et des actions.




Le système nerveux central (SNC) est composé du cerveau et de la moelle épinière. Le cerveau est divisé en deux hémisphères, le gauche et le droit, qui sont spécialisés dans différentes fonctions. Le système nerveux périphérique (SNP) est composé des nerfs qui relient le SNC au reste du corps.

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Titre: LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!
Niveau: INTERMÉDIAIRE

Le cerveau est un organe complexe qui permet de penser, de sentir, de ressentir et de contrôler le corps. Il est composé de milliards de neurones qui communiquent entre eux pour produire des pensées, des émotions et des actions.



Le système nerveux central (SNC) est composé du cerveau et de la moelle épinière. Le cerveau est divisé en deux hémisphères, le gauche et le droit, qui sont spécialisés dans différentes fonctions. Le système nerveux périphérique (SNP) est composé des nerfs qui relient le SNC au reste du corps.

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Titre: LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!
Niveau: AVANCÉ

Le cerveau est un organe complexe qui permet de penser, de sentir, de ressentir et de contrôler le corps. Il est composé de milliards de neurones qui communiquent entre eux pour produire des pensées, des émotions et des actions.



Le système nerveux central (SNC) est composé du cerveau et de la moelle épinière. Le cerveau est divisé en deux hémisphères, le gauche et le droit, qui sont spécialisés dans différentes fonctions. Le système nerveux périphérique (SNP) est composé des nerfs qui relient le SNC au reste du corps.

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Retour à l'accueil

Niveau d'explication

Débutant
Intermédiaire
Avancé

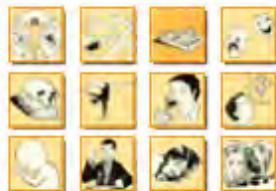


Niveau d'organisation

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

Thème

Le plaisir et la douleur



Sous-thème

La quête du plaisir

Les paradis artificiels

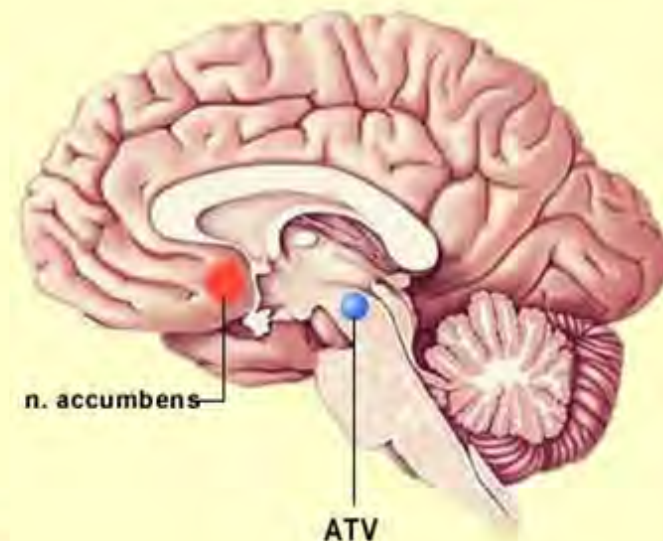
L'évitement de la douleur



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

LES CENTRES DU PLAISIR

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



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

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



5 niveaux d'organisation

The image displays five educational slides, each titled "LE CERVEAU A TOUT LES NIVEAUX" (The Brain at All Levels), arranged in a descending staircase pattern. Each slide corresponds to a level of organization:

- Social:** The top slide, featuring a group of people icon. It discusses the brain's role in social interactions and group dynamics.
- Psychologique:** The second slide, featuring a single person icon. It focuses on the brain's involvement in psychological processes and individual behavior.
- Cérébral:** The third slide, featuring a brain silhouette icon. It details the structure and function of the brain, including a diagram of the brain's internal structures.
- Cellulaire:** The fourth slide, featuring a neuron icon. It explores the cellular and molecular mechanisms of neural communication.
- Moléculaire:** The bottom slide, featuring a molecular model icon. It delves into the molecular biology of the brain, showing a 3D model of a molecule.

Moléculaire

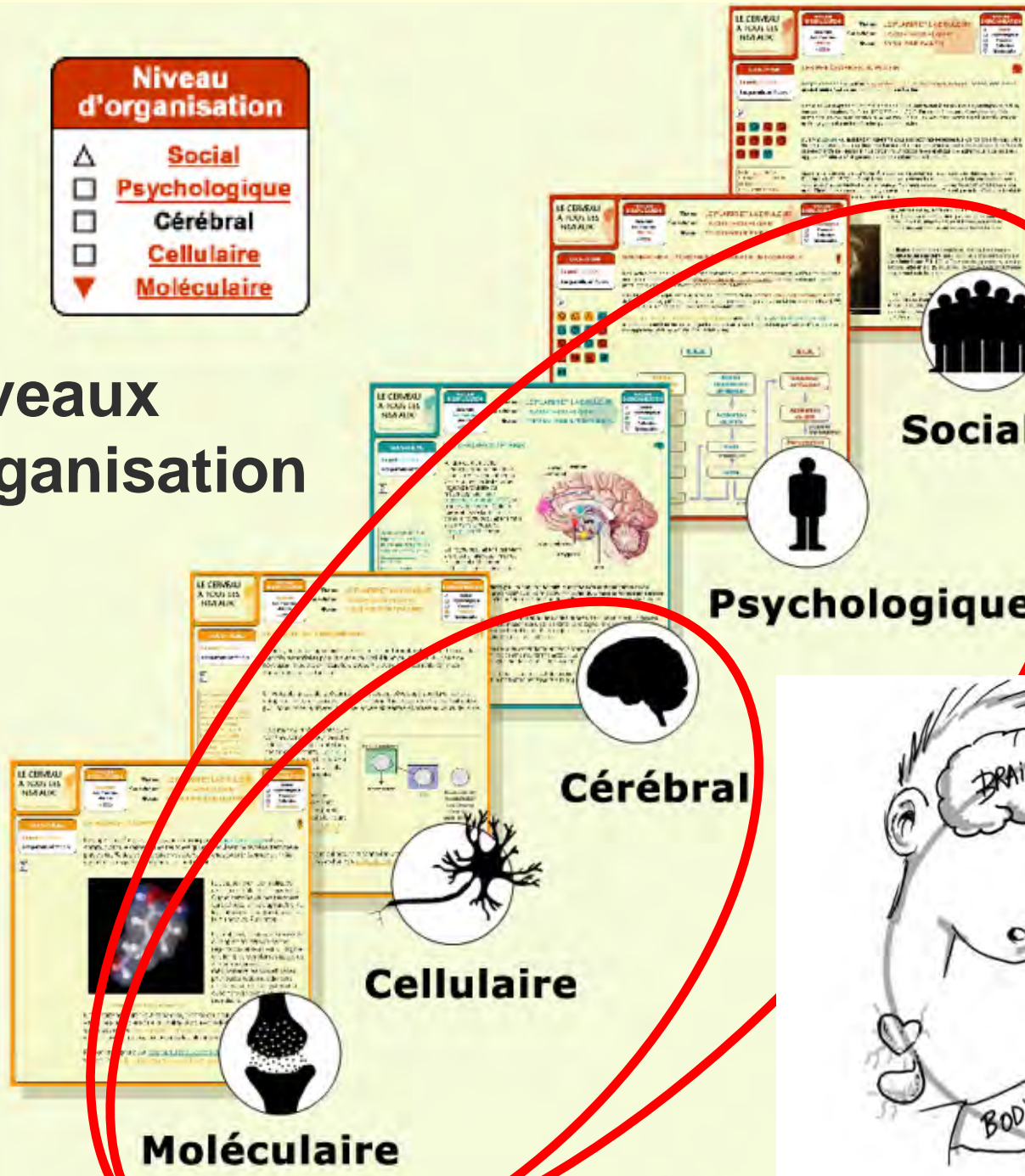
Cellulaire

Cérébral

Psychologique

Social

5 niveaux d'organisation



17 mars :
Cerveau,
corps
et environ-
nement



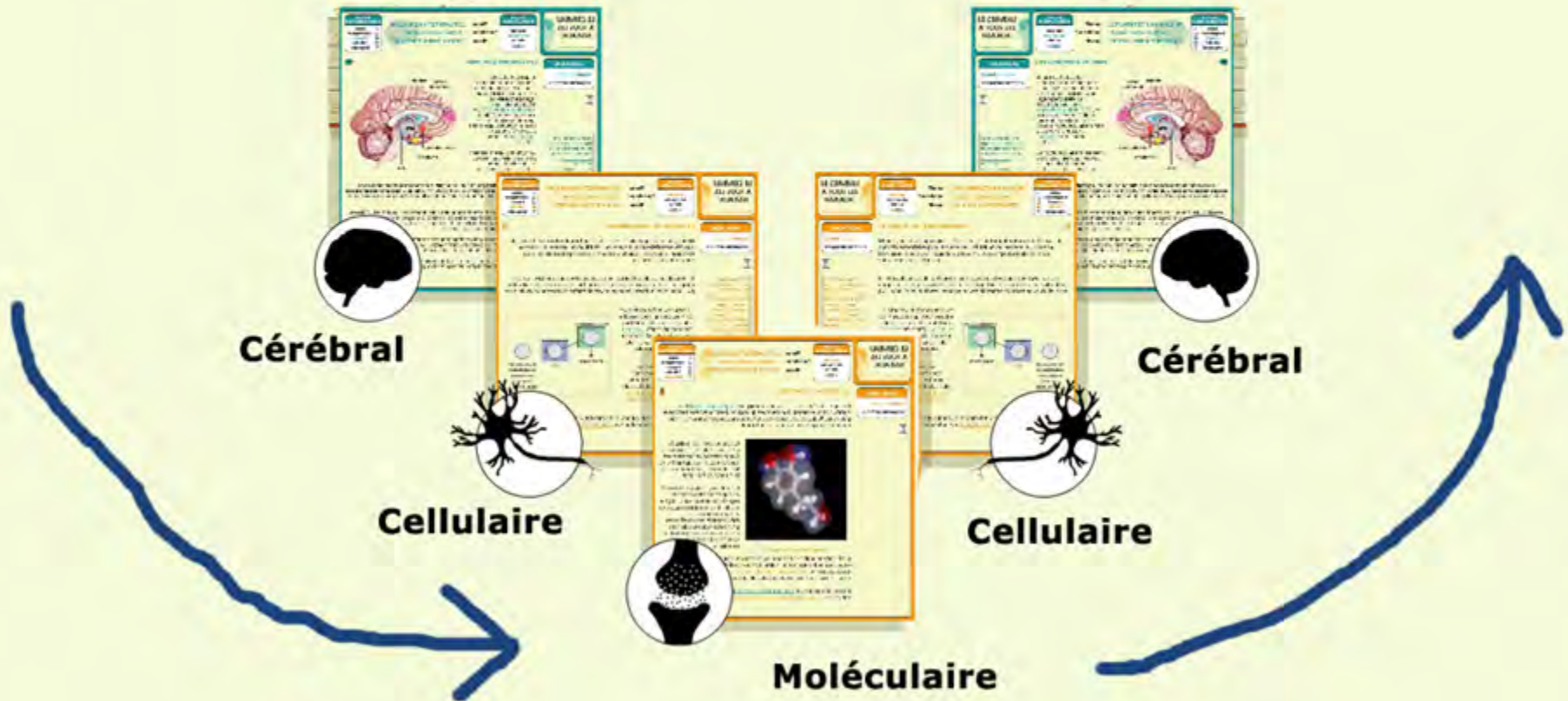
Plan 20 janvier

Introduction :

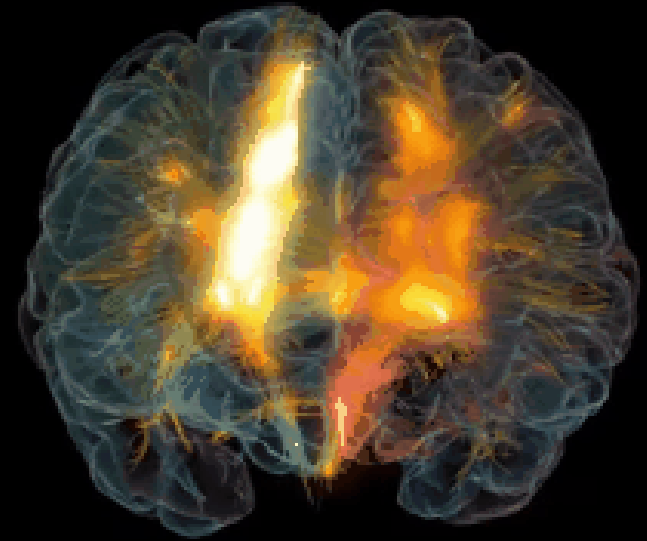
- **Métaphores cérébrales**
- Perspective évolutive

Conclusion :

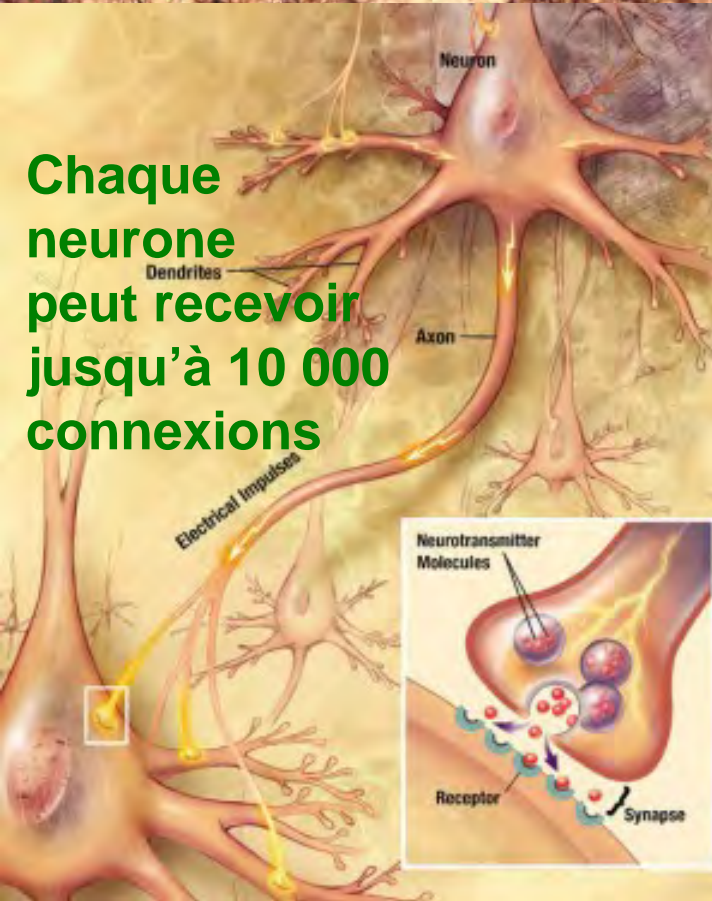
- ma métaphore cérébrale préférée



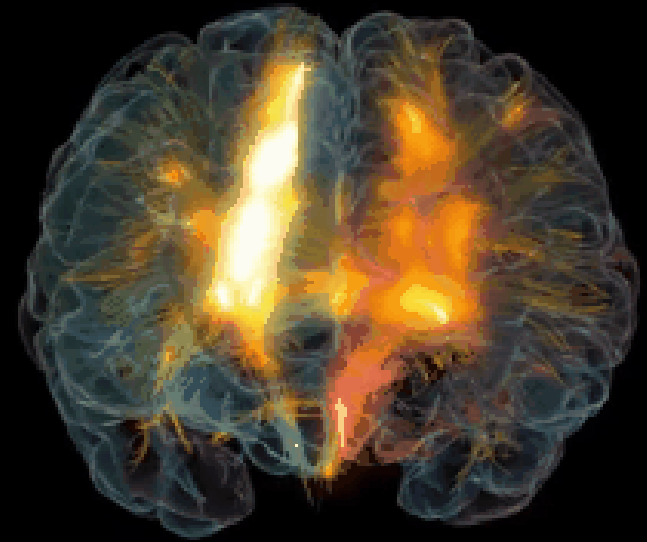
85 milliards de neurones
(et autant de cellules gliales)



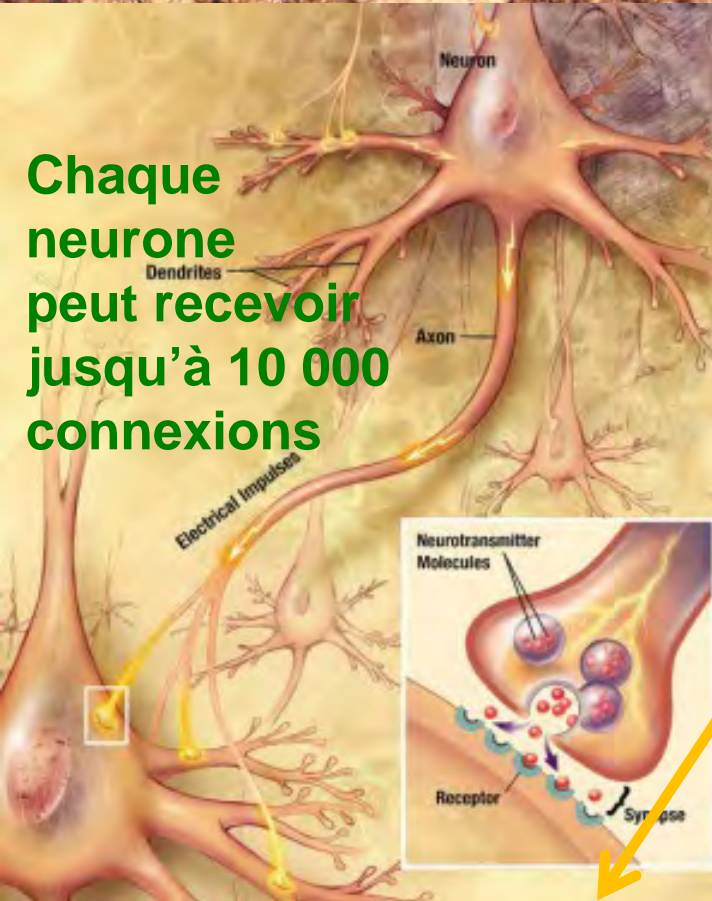
Chaque neurone peut recevoir jusqu'à 10 000 connexions



85 milliards de neurones
(et autant de cellules gliales)

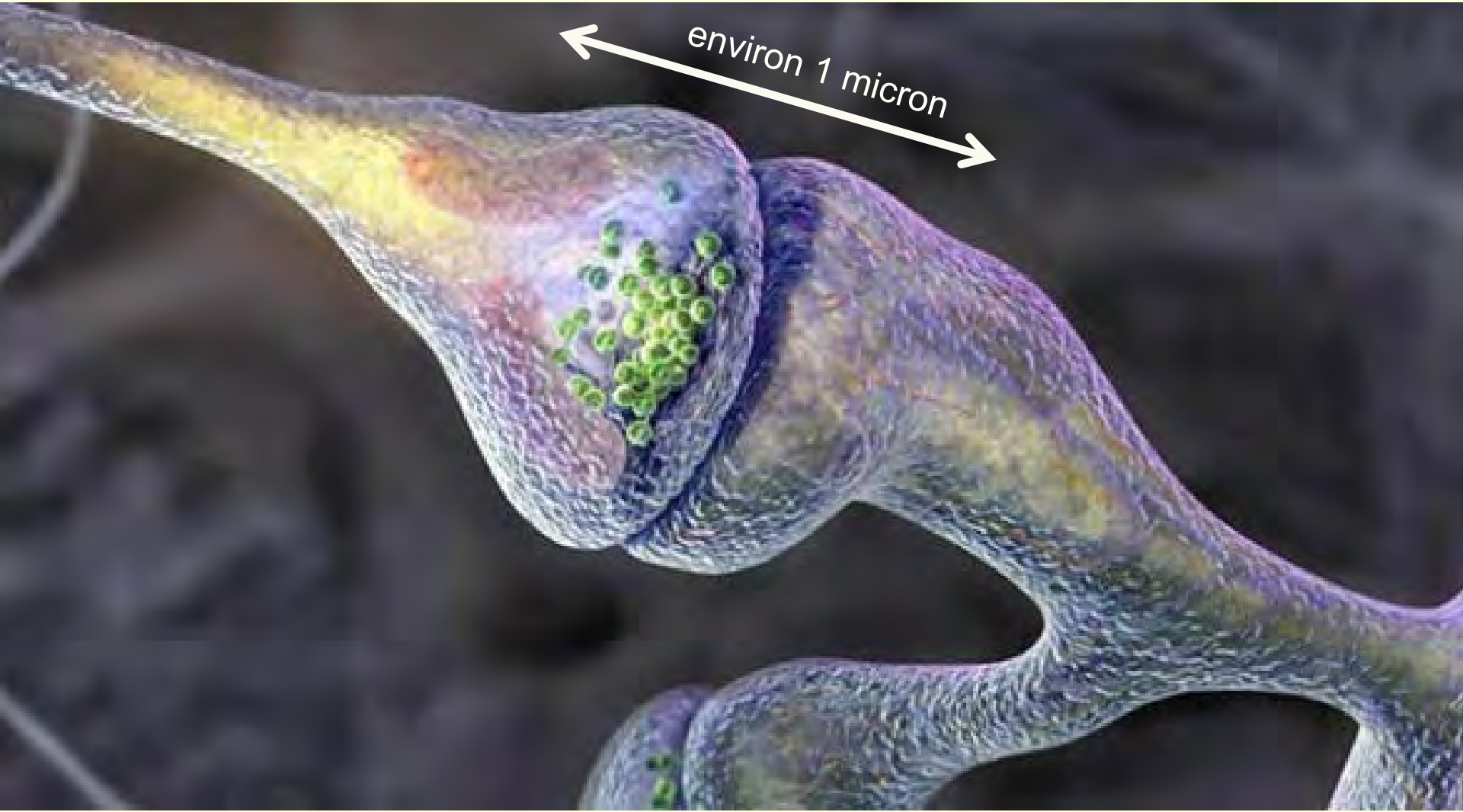


Chaque neurone peut recevoir jusqu'à 10 000 connexions



environ 1 micron



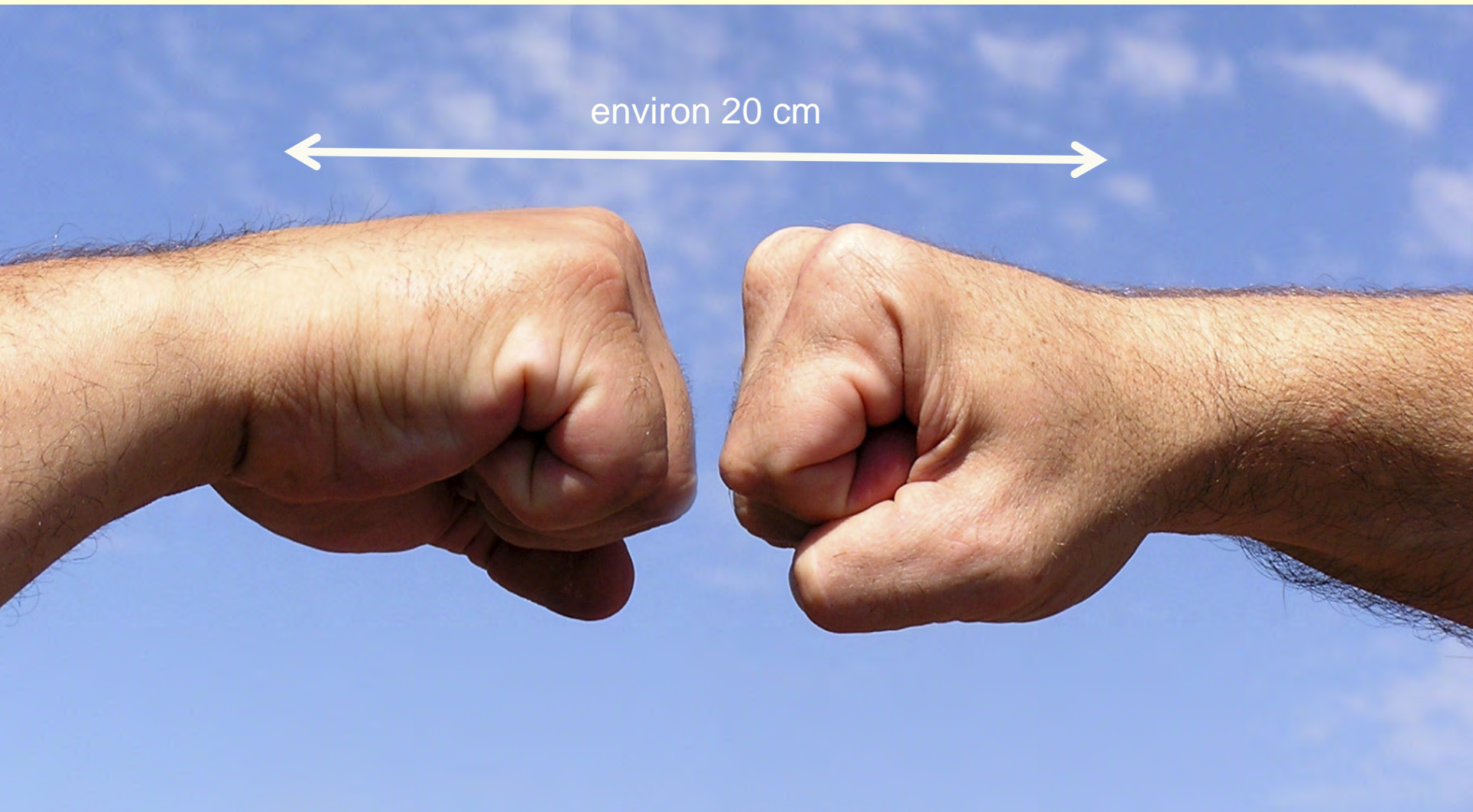


environ 1 micron

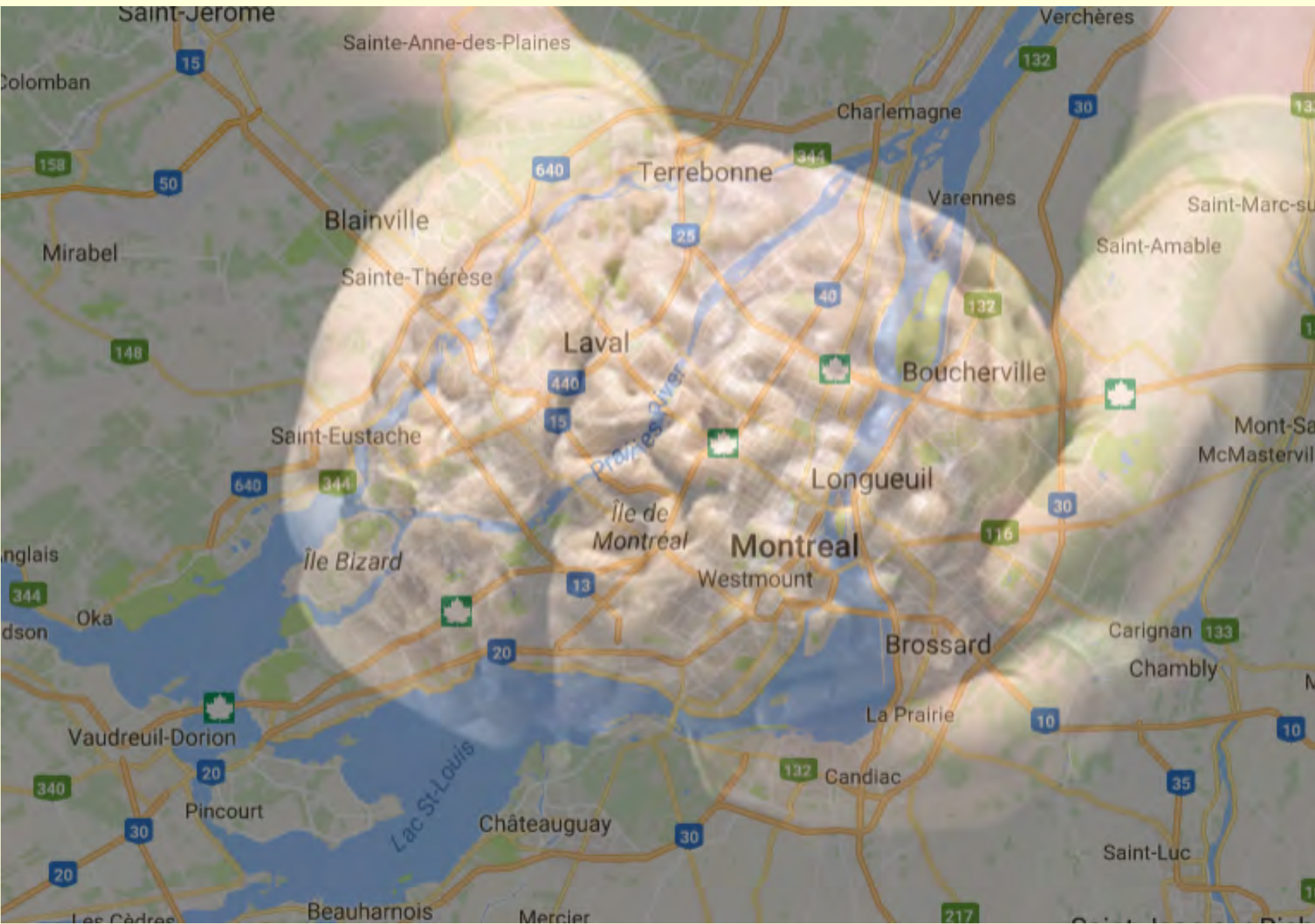


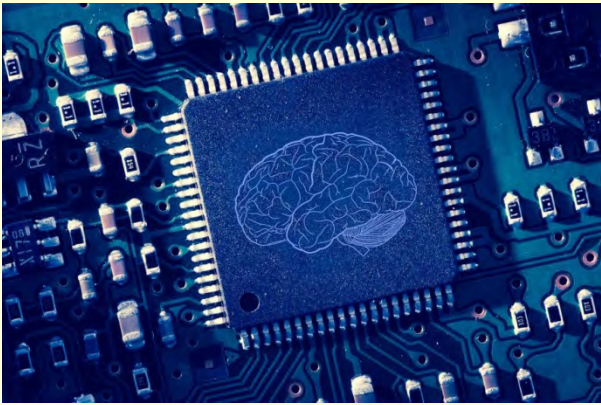
environ 20 cm

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

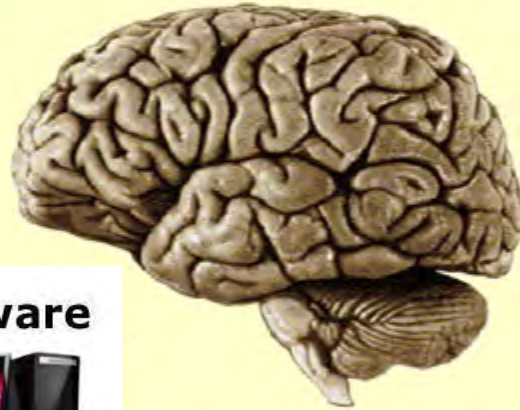


Alors : $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} / 0,000 \ 001 \text{ m} = 40 \ 000 \text{ m} = \mathbf{40 \text{ km}}$





Quelle serait
la meilleure
métaphore
pour le
cerveau ?

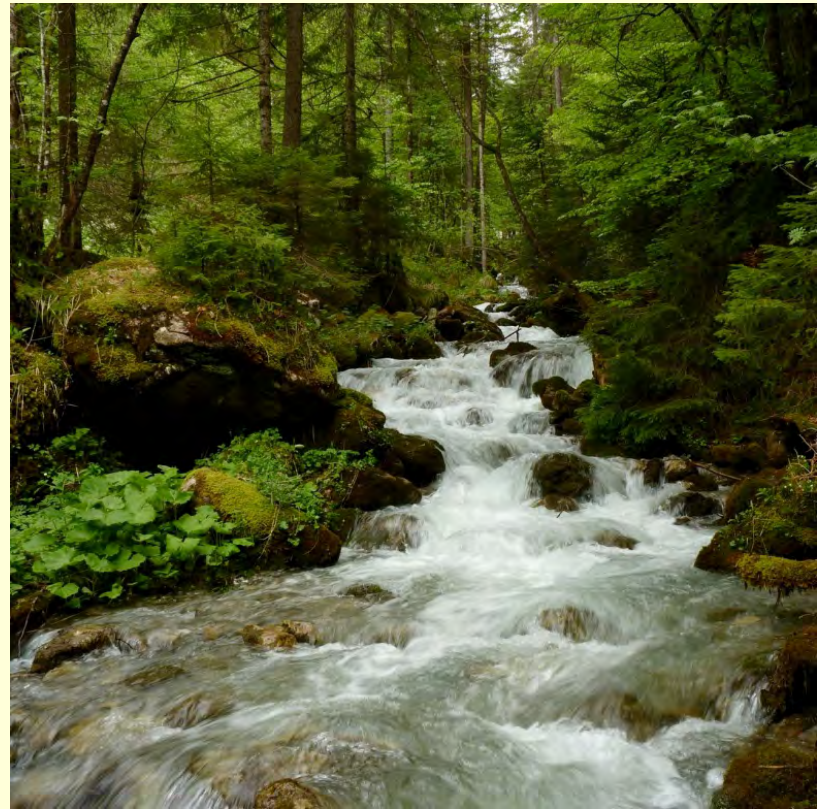


Software	Hardware
 guada Linux Windows Mac OS X Sistema Operativo	
 MS Word	
 Antivirus	





Quelle serait
la meilleure
métaphore
pour le
cerveau ?

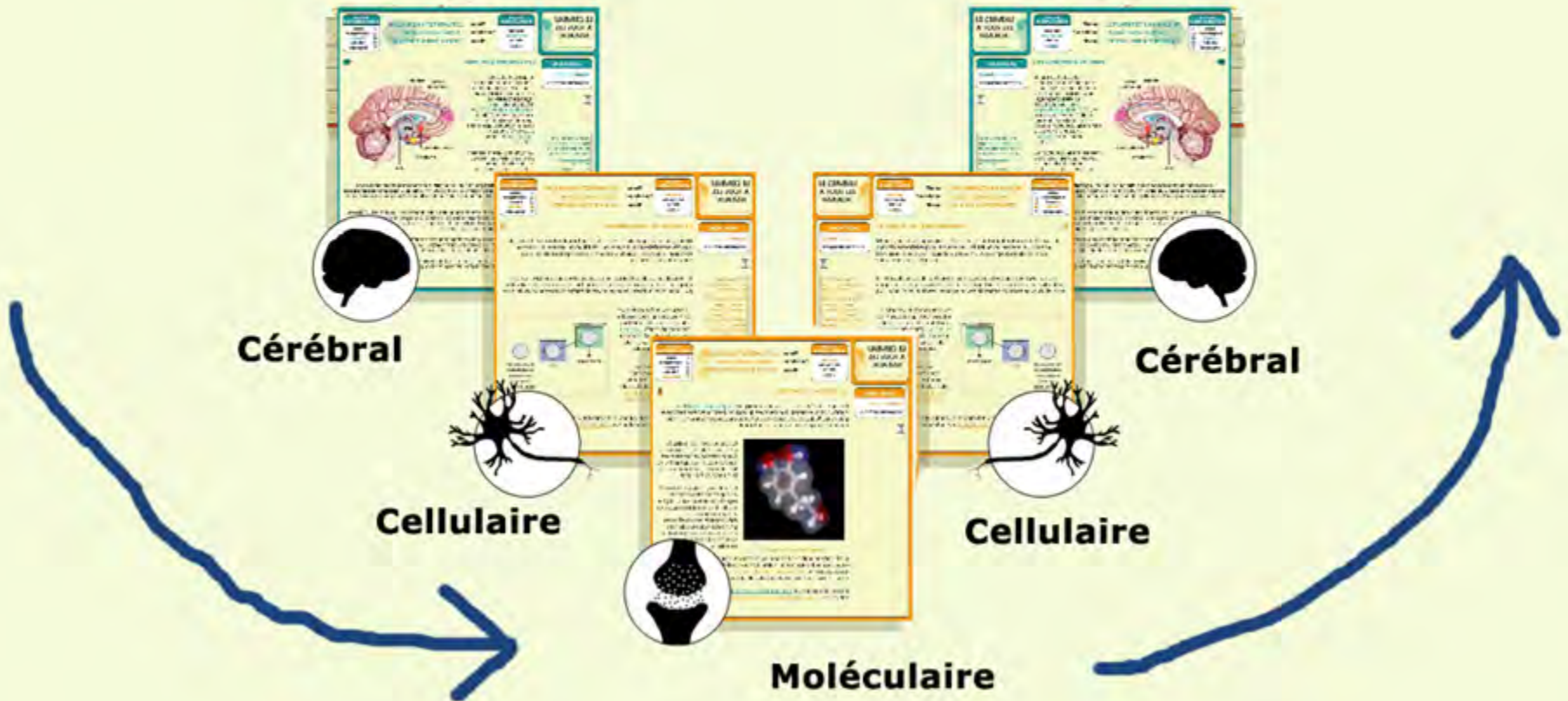


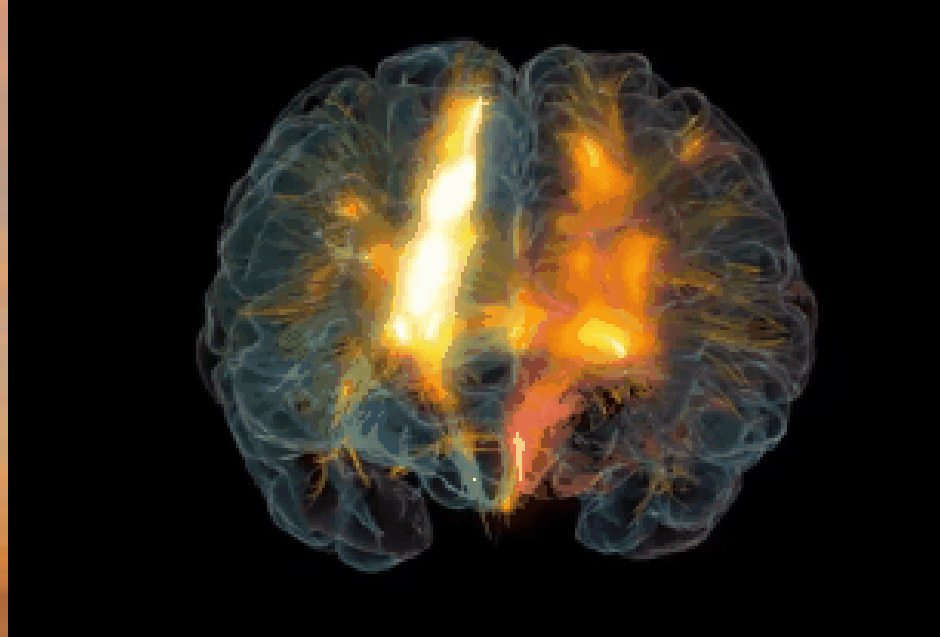
Introduction :

- Métaphores cérébrales
- **Perspective évolutive**

Conclusion :

- ma métaphore
cérébrale préférée











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

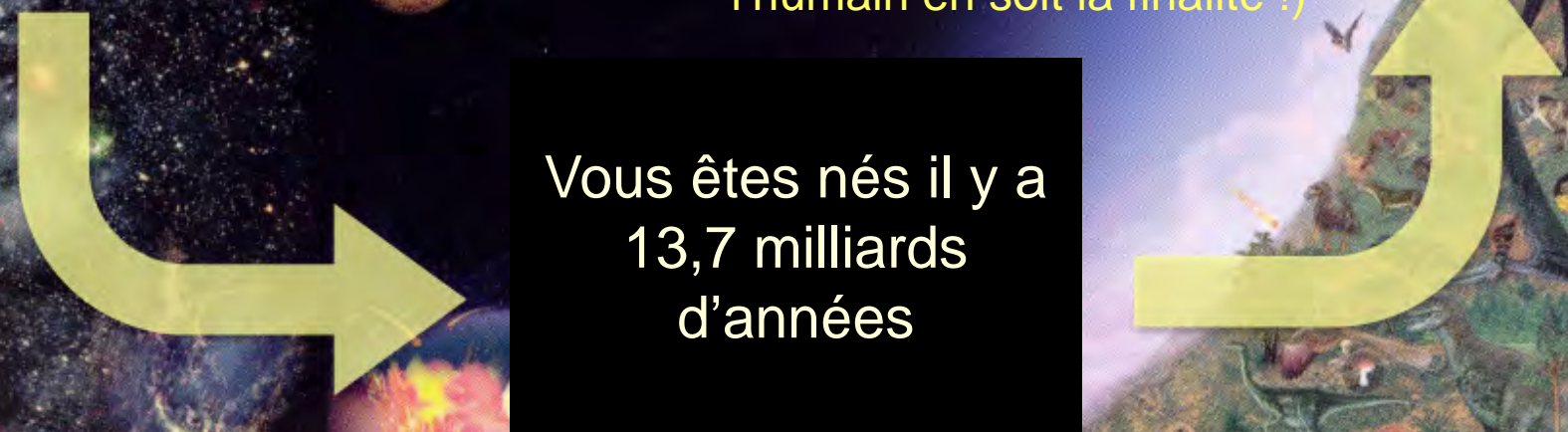
- Theodosius Dobzhansky
(1900-1975)





Croissance de complexité

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



Vous êtes nés il y a
13,7 milliards
d'années

Évolution cosmique, chimique et biologique



(Crédit : modifié de Robert Lamontagne)

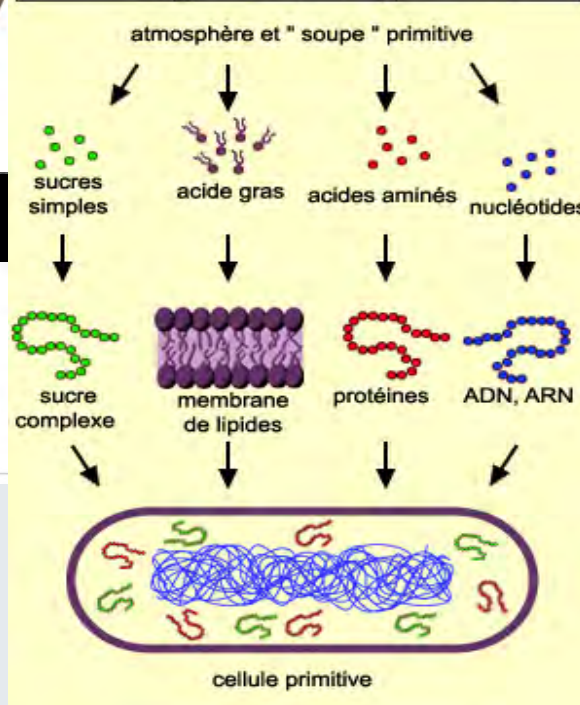
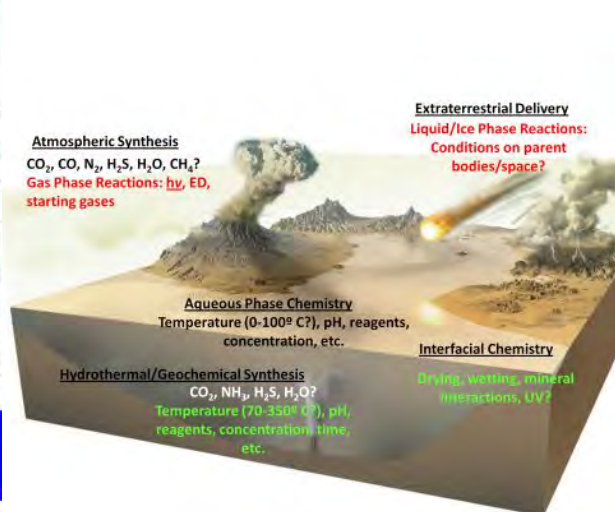


Croissance de complexité

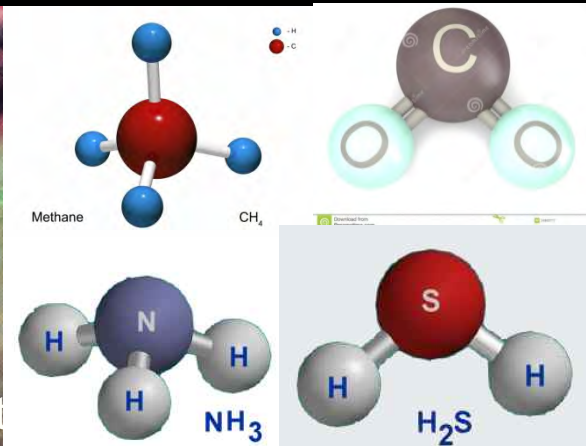
(ce qui ne veut pas dire que l'humain en soit la finalité !)

Tableau Périodique des Éléments

1 H Hydrogène																		18 He Hélium	
2 He Hélio																		10 Ne Néon	
3 Li Lithium												19 K Potassium		36 Ar Argon					
4 Be Béryllium												20 Ca Calcium		36 Kr Krypton					
5 B Bor												21 Sc Scandium		36 Xe Xénon					
6 C Carbone												22 Ti Titane		36 Rn Radon					
7 N Azote												23 V Vanadium							
8 O Oxygène												24 Cr Chrome							
9 F Fluor												25 Mn Manganèse							
10 Ne Néon												26 Fe Fer							
11 Na Sodium												27 Co Cobalt							
12 Mg Magnésium												28 Ni Nickel							
13 Al Aluminium												29 Cu Cuivre							
14 Si Silicium												30 Zn Zinc							
15 P Phosphore												31 Ga Gallium							
16 S Soufre												32 Ge Germanium							
17 Cl Chlore												33 As Arsenic							
18 Ar Argon												34 Se Sélénium							
19 K Potassium												35 Br Brome							
20 Ca Calcium												36 Kr Krypton							
21 Sc Scandium												37 Rb Rubidium							
22 Ti Titane												38 Sr Strontium							
23 V Vanadium												39 Yttrium							
24 Cr Chrome												40 Zr Zirconium							
25 Mn Manganèse												41 Nb Niobium							
26 Fe Fer												42 Mo Molybdène							
27 Co Cobalt												43 Tc Technétium							
28 Ni Nickel												44 Ru Ruthénium							
29 Cu Cuivre												45 Rh Rhodium							
30 Zn Zinc												46 Pd Palladium							
31 Ga Gallium												47 Ag Argent							
32 Ge Germanium												48 Cd Cadmium							
33 As Arsenic												49 In Indium							
34 Se Sélénium												50 Sn Étain							
35 Br Brome												51 Sb Bismuth							
36 Kr Krypton												52 Te Tellure							
37 Rb Rubidium												53 I Iode							
38 Sr Strontium												54 Xe Xénon							
39 Yttrium												55 Cs Césium							
40 Zr Zirconium												56 Ba Baryum							
41 Nb Niobium												57 La Lanthane							
42 Mo Molybdène												58 Ce Cérium							
43 Tc Technétium												59 Pr Praseodyme							
44 Ru Ruthénium												60 Nd Néodyme							
45 Rh Rhodium												61 Pm Prométhée							
46 Pd Palladium												62 Sm Samarium							
47 Ag Argent												63 Eu Europium							
48 Cd Cadmium												64 Gd Gadolinium							
49 In Indium												65 Tb Terbium							
50 Sn Étain												66 Dy Dysprosium							
51 Sb Bismuth												67 Ho Holmium							
52 Te Tellure												68 Er Erbium							
53 I Iode												69 Tm Thulium							
54 Xe Xénon												70 Yb Ytterbium							
55 Cs Césium												71 Lu Lutécium							
56 Ba Baryum												72 Hf Hafnium							
57 La Lanthane												73 Ta Tantalum							
58 Ce Cérium												74 W Wolfram							
59 Pr Praseodyme												75 Re Rhenium							
60 Nd Néodyme												76 Os Osmium							
61 Pm Prométhée												77 Ir Iridium							
62 Sm Samarium												78 Pt Platine							
63 Eu Europium												79 Au Or							
64 Gd Gadolinium												80 Hg Mercure							
65 Tb Terbium												81 Tl Thallium							
66 Dy Dysprosium												82 Pb Plomb							
67 Ho Holmium												83 Bi Bismuth							
68 Er Erbium												84 Po Polonium							
69 Tm Thulium												85 At Astatine							
70 Yb Ytterbium												86 Rn Radon							
71 Lu Lutécium												87 Fr Francium							
72 Hf Hafnium												88 Ra Radium							
73 Ta Tantalum												89 Ac Actinium							
74 W Wolfram												90 Th Thorium							
75 Re Rhenium												91 Pa Protactinium							
76 Os Osmium												92 U Uranium							
77 Ir Iridium												93 Np Neptunium							
78 Pt Platine												94 Pu Plutonium							
79 Au Or												95 Am Americium							
80 Hg Mercure												96 Cm Curium							
81 Tl Thallium												97 Bk Bériquelium							
82 Pb Plomb												98 Cf Californium							
83 Bi Bismuth												99 Es Einsteinium							
84 Po Polonium												100 Fm Fermium							
85 At Astatine												101 Md Mendelevium							
86 Rn Radon												102 No Nobeélium							
87 Fr Francium												103 Lr Lawrencium							
88 Ra Radium												104 Rf Rutherfordium							
89 Ac Actinium												105 Db Dubnium							
90 Th Thorium												106 Sg Seaborgium							
91 Pa Protactinium												107 Bh Bohrium							
92 U Uranium												108 Hs Hassium							
93 Np Neptunium												109 Mt Meitnerium							
94 Pu Plutonium												110 Ds Darmstadtium							
95 Am Americium												111 Rg Roentgenium							
96 Cm Curium												112 Cn Copernicium							
97 Bk Bériquelium												113 Nh Nihonium							
98 Cf Californium												114 Fl Flerovium							
99 Es Einsteinium												115 Lv Livermorium							
100 Fm Fermium												116 Ts Tennessine							
101 Md Mendelevium												117 Og Oganesson							



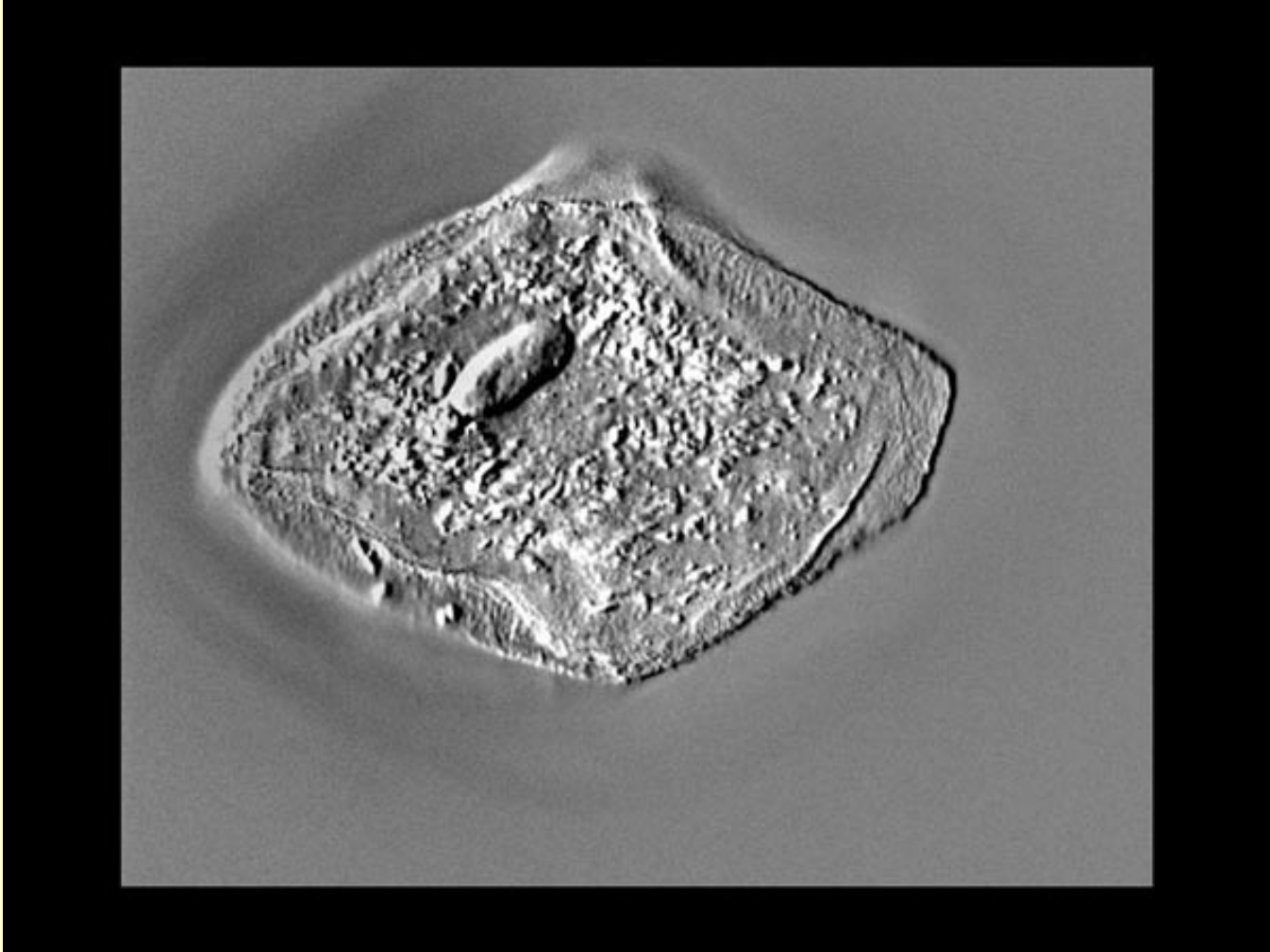
Évolution cosmique, chimique



(Crédit : modifié de Robert Lamont)

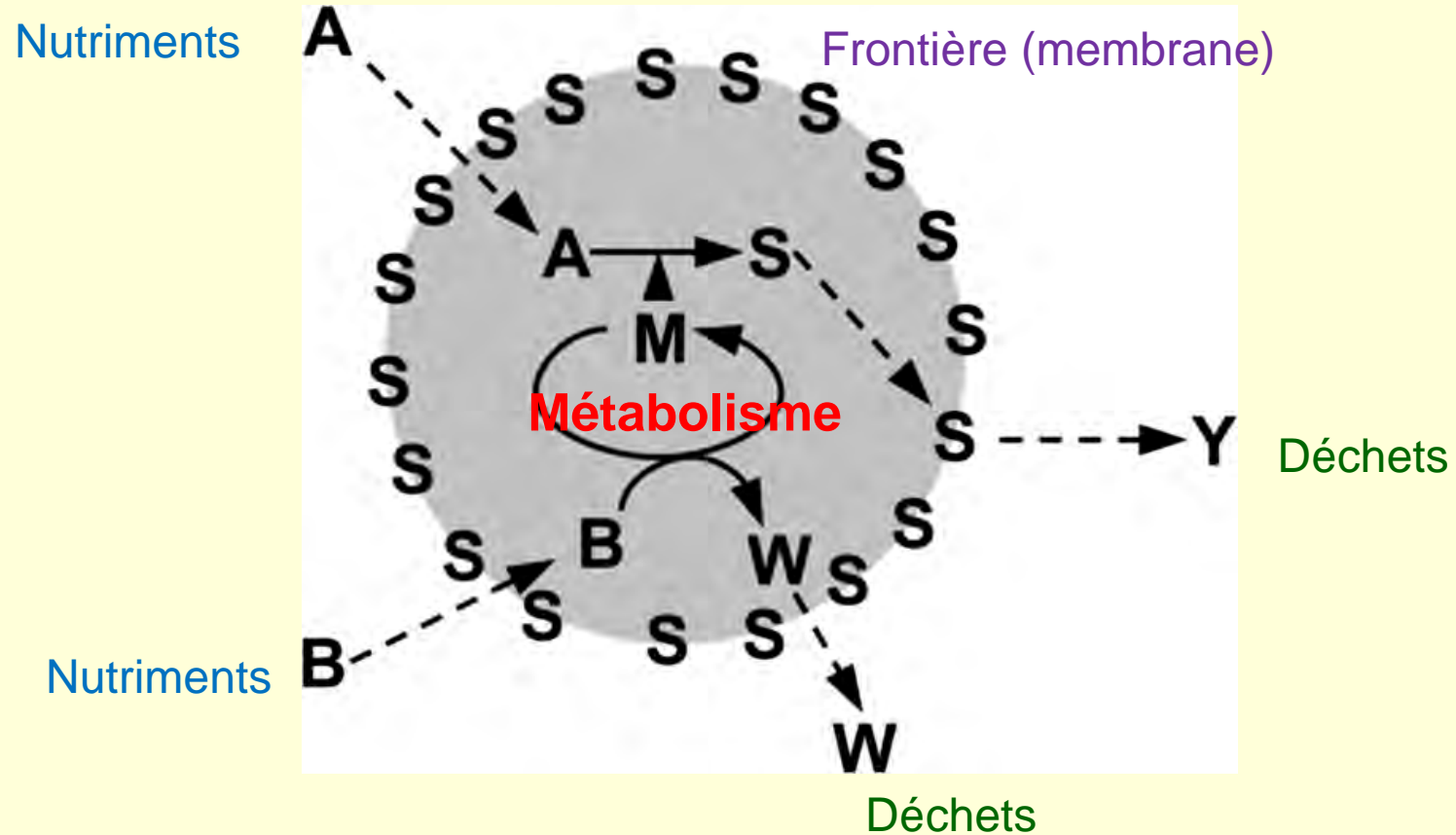
C'est quoi une cellule ?

(à part le fait que c'est l'élément de base de tout être vivant)

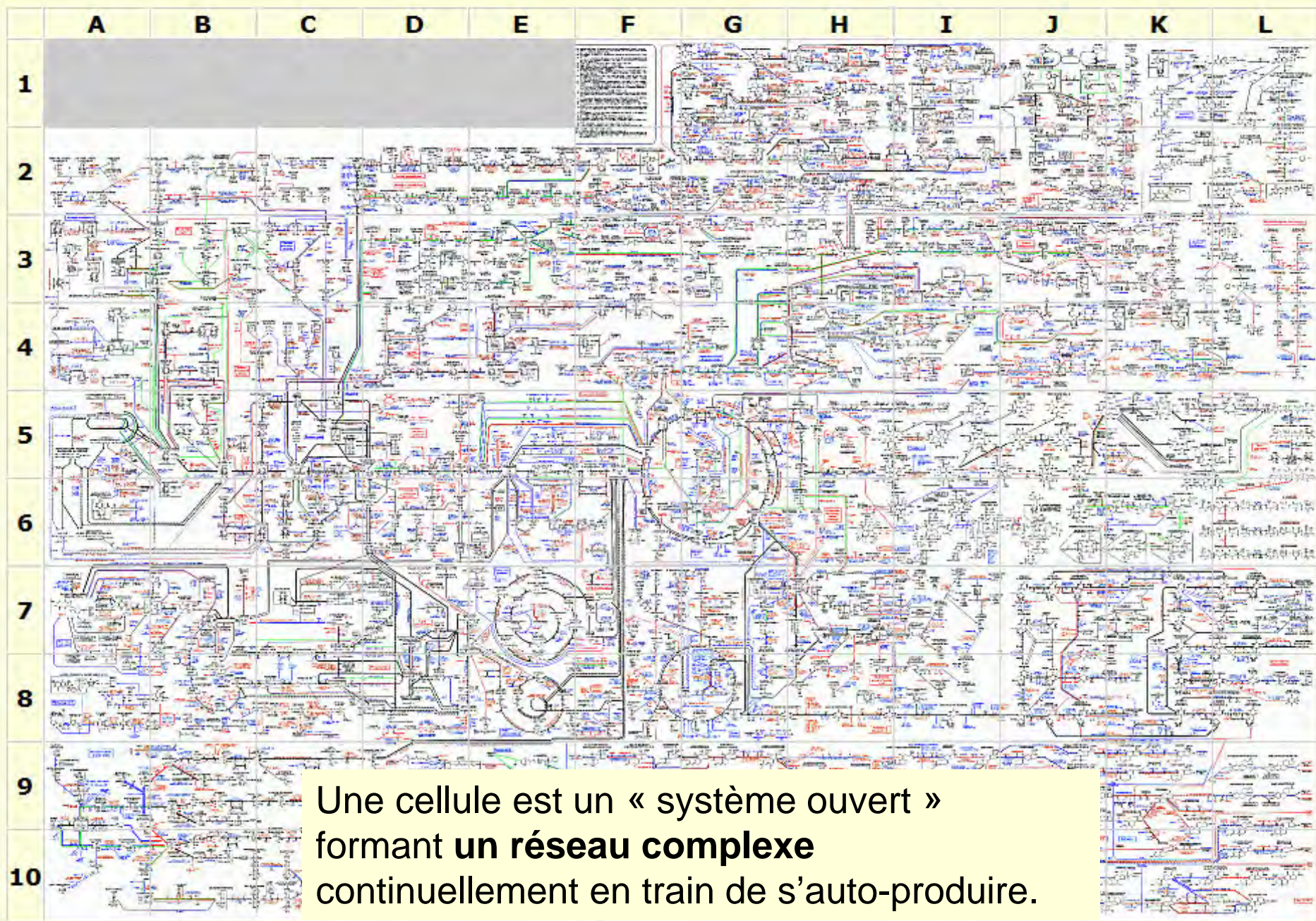


C'est quoi une cellule ?

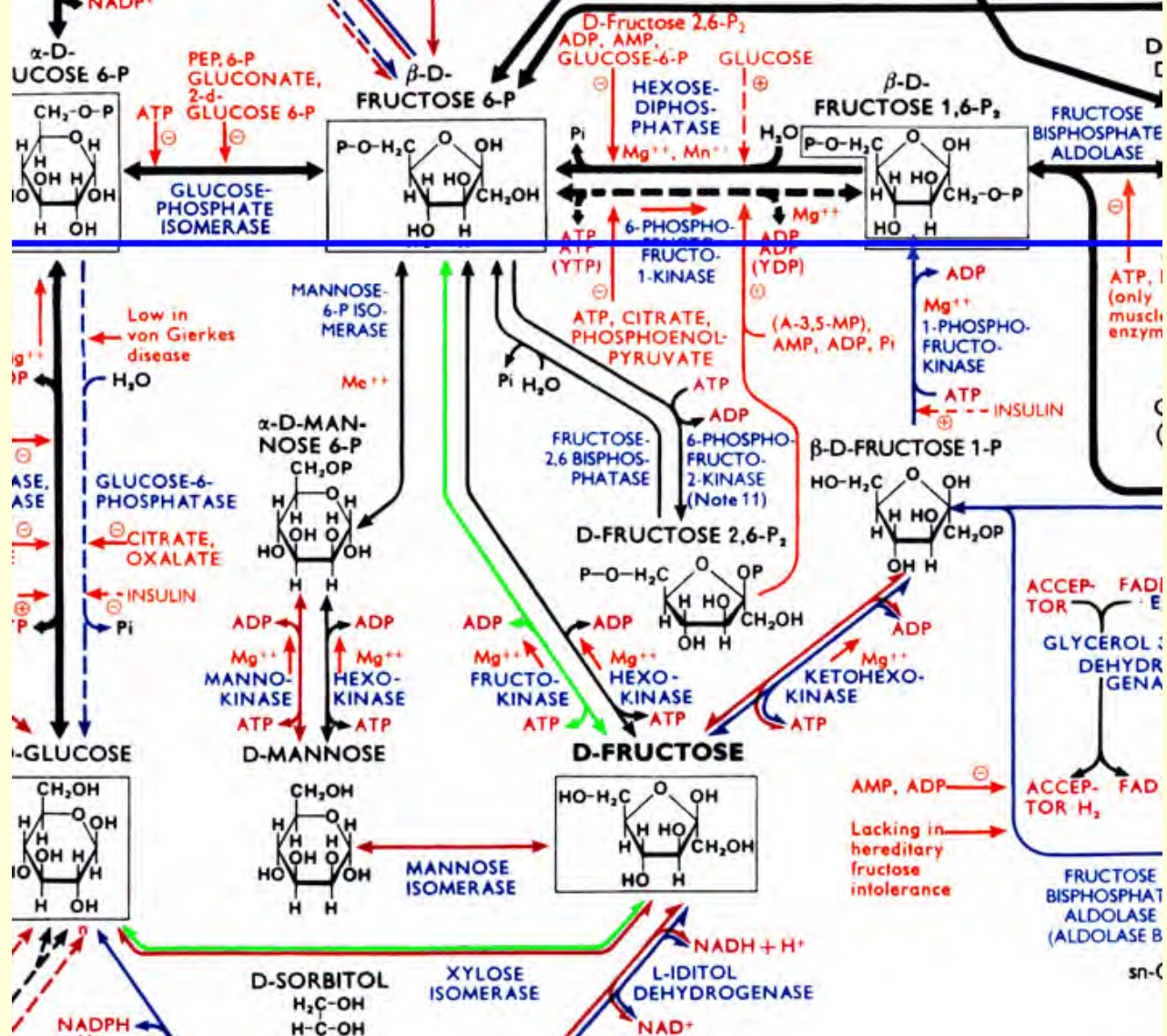
(à part le fait que c'est l'élément de base de tout être vivant)



Une cellule est un « **système ouvert** »
formant un réseau complexe
continuellement en train de s'auto-produire.

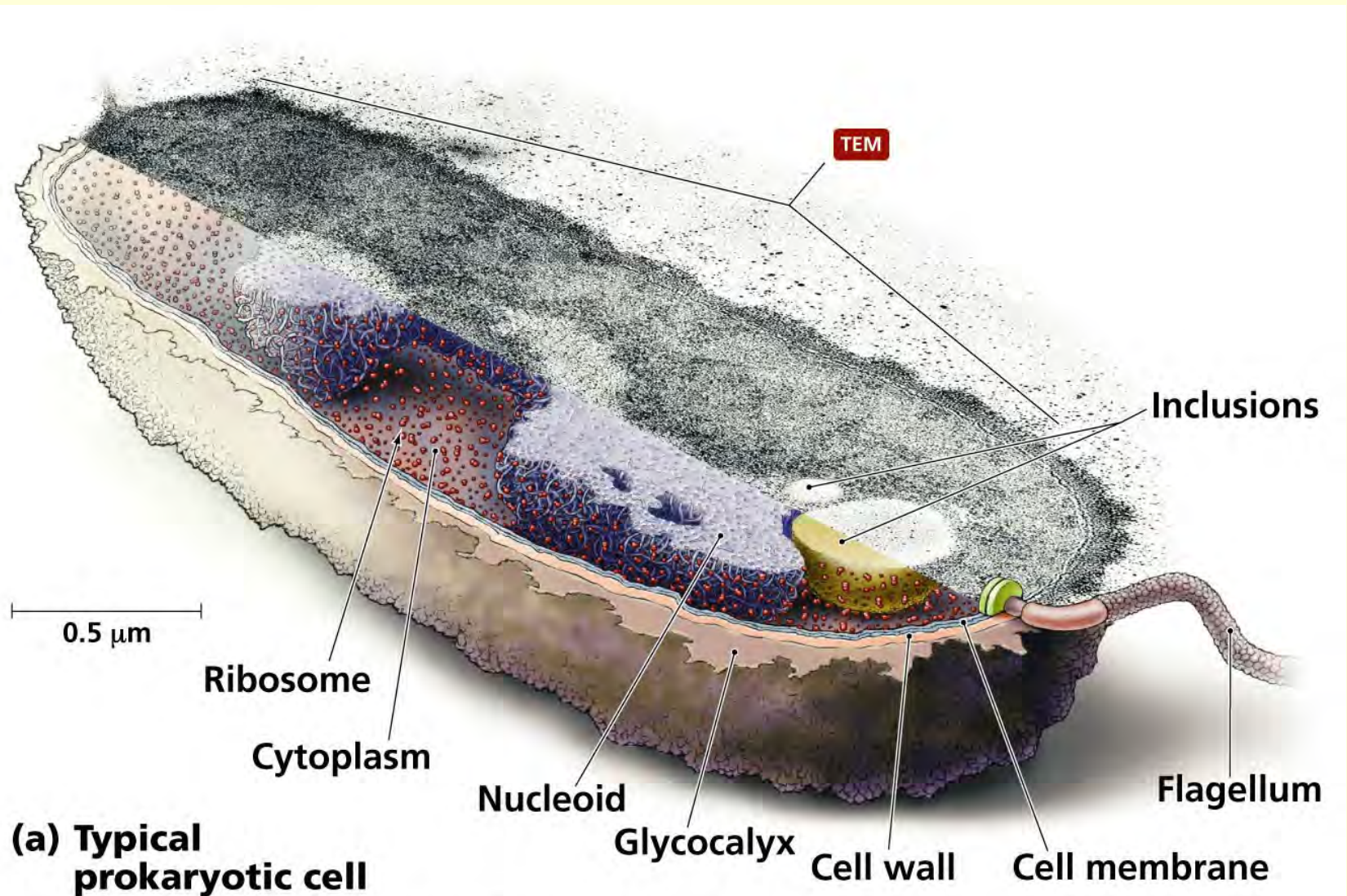


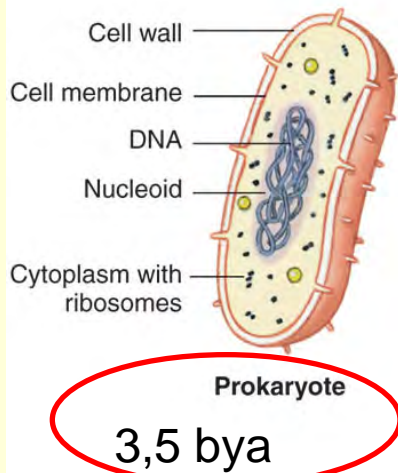
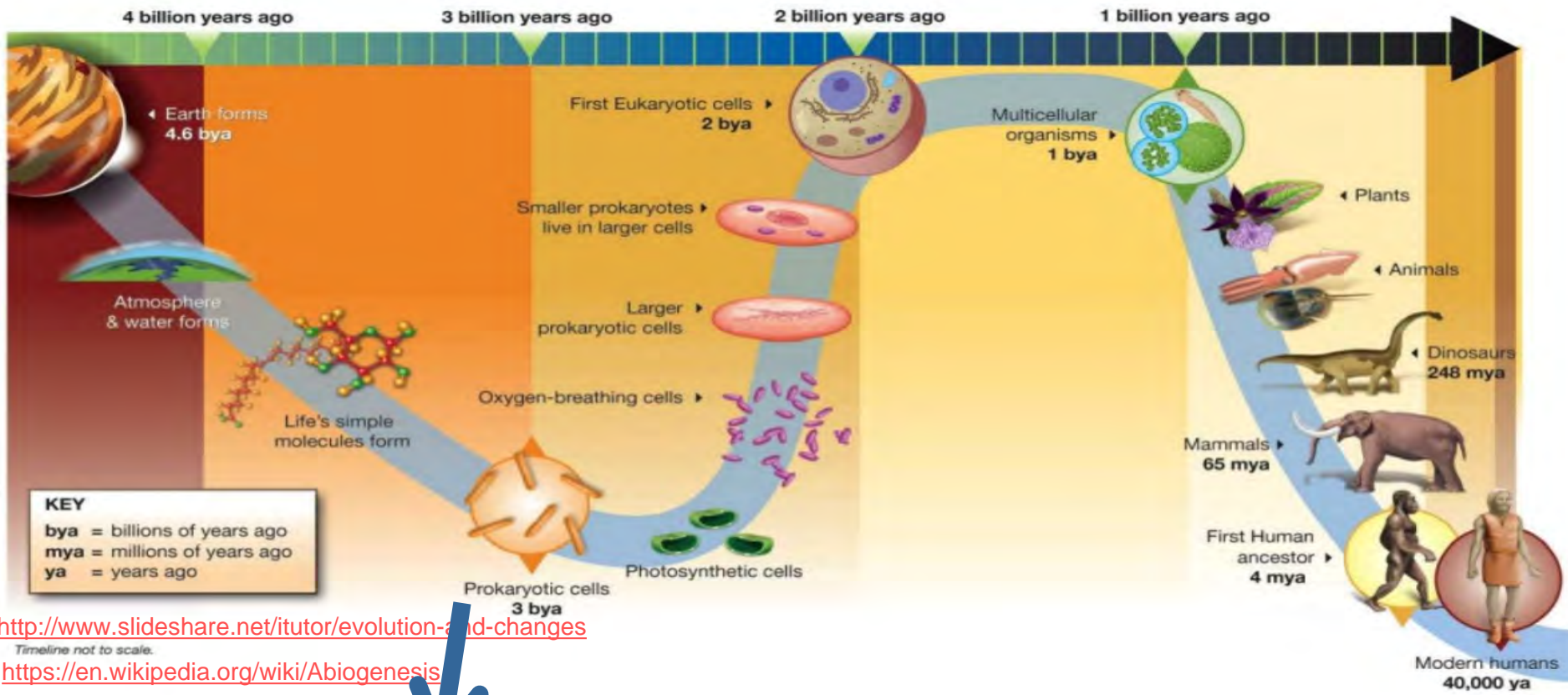
Une cellule est un « système ouvert »
formant **un réseau complexe**
continuellement en train de s'auto-produire.

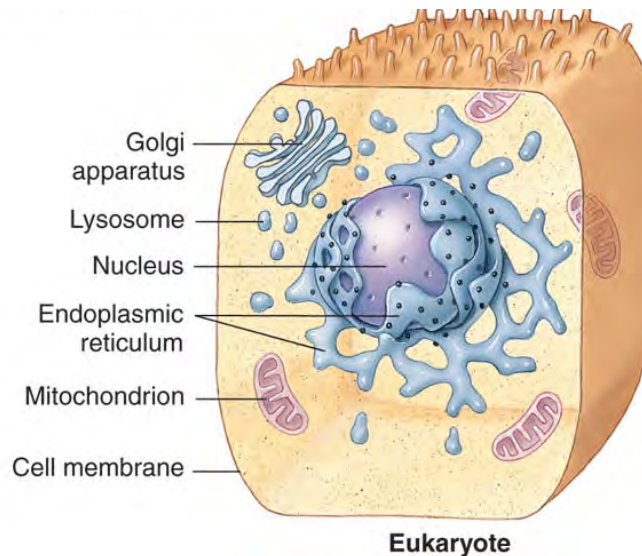
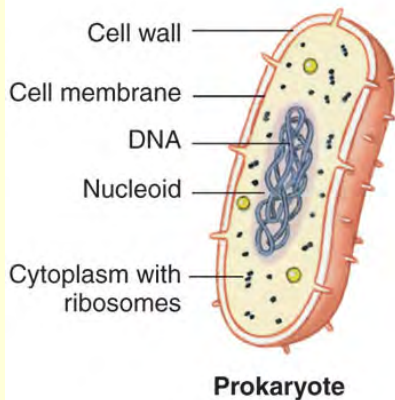
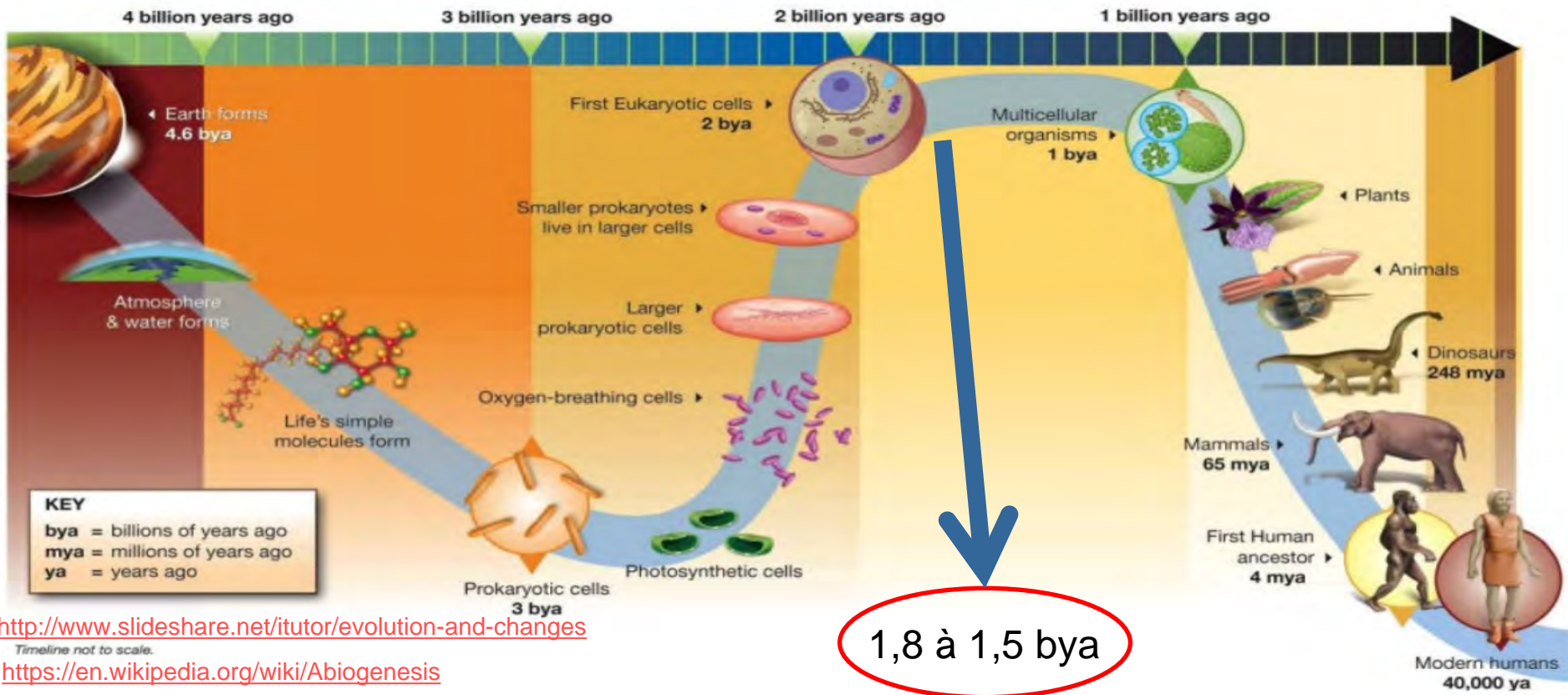


Une cellule est un « système ouvert »
formant un réseau complexe
continuellement **en train de s'auto-produire.**

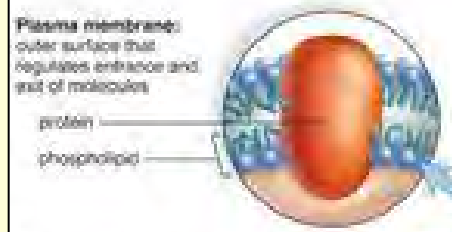
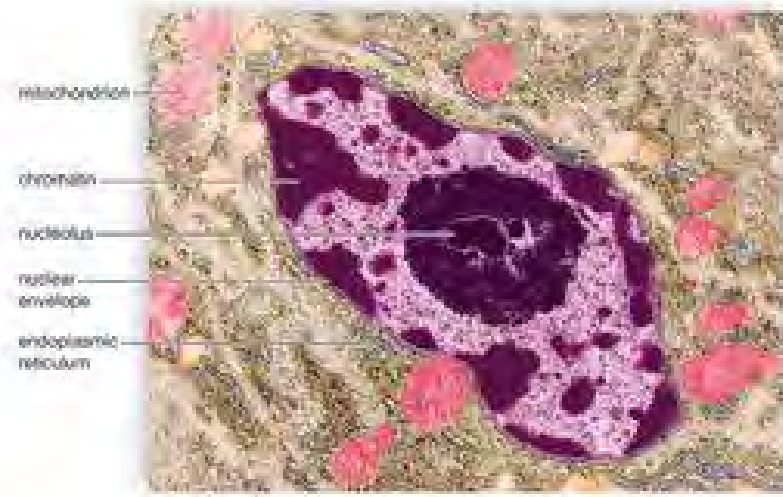
Bref, les premières cellules vivante sont déjà infiniment complexes !







Les réseaux complexes se « compartimentalisent »



Cytoskeleton: maintains cell shape and assists movement of cell parts:

- Microtubules:** protein; cylinders that move organelles
- Intermediate filaments:** protein fibers that provide stability of shape
- Actin filaments:** protein fibers that play a role in change of shape

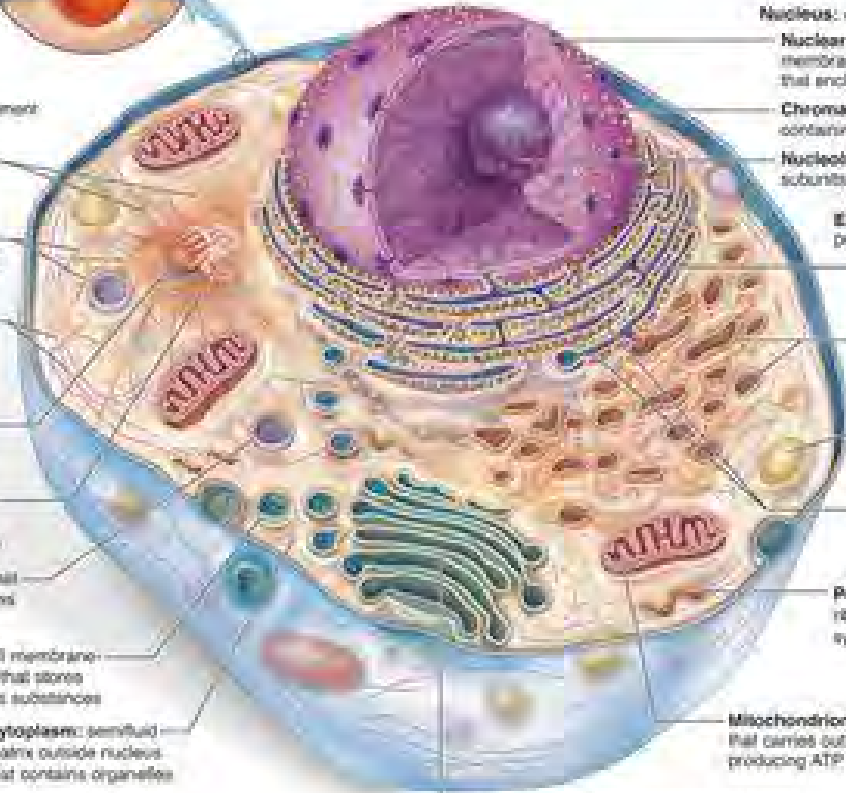
Centrioles*: short cylinders of microtubules of unknown function

Centrosome: microtubule organizing center that contains a pair of centrioles

Lysosome*: vesicle that digests macromolecules and even cell parts

Vesicle: small membrane-bounded sac that stores and transports substances

Cytoplasm: semifluid matrix outside nucleus that contains organelles



Nucleus: command center of cell

Nuclear envelope: double membrane with nuclear pores that encloses nucleus

Chromatin: diffuse threads containing DNA and protein

Nucleolus: region that produces subunits of ribosomes

Endoplasmic reticulum: protein and lipid metabolism

Rough ER: studded with ribosomes that synthesize proteins

Smooth ER: lacks ribosomes; synthesizes lipid molecules

Peroxisome: vesicle that is involved in fatty acid metabolism

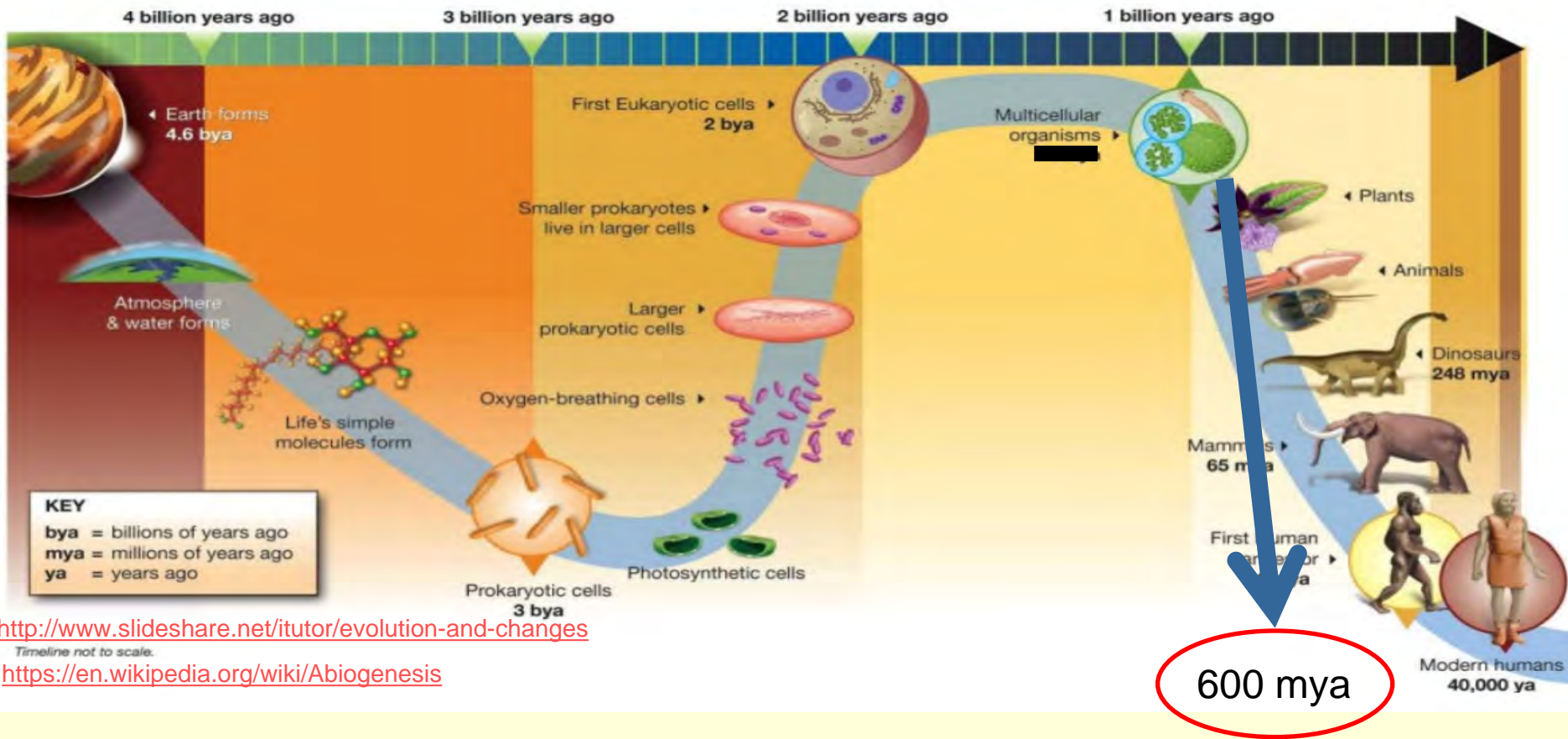
Ribosomes: particles that carry out protein synthesis

Polyribosome: string of ribosomes simultaneously synthesizing same protein

Mitochondrion: organelle that carries out cellular respiration, producing ATP molecules

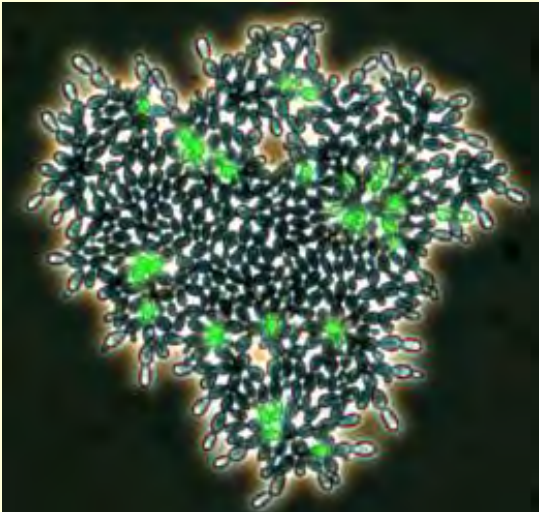
Golgi apparatus: processes, packages, and secretes modified proteins

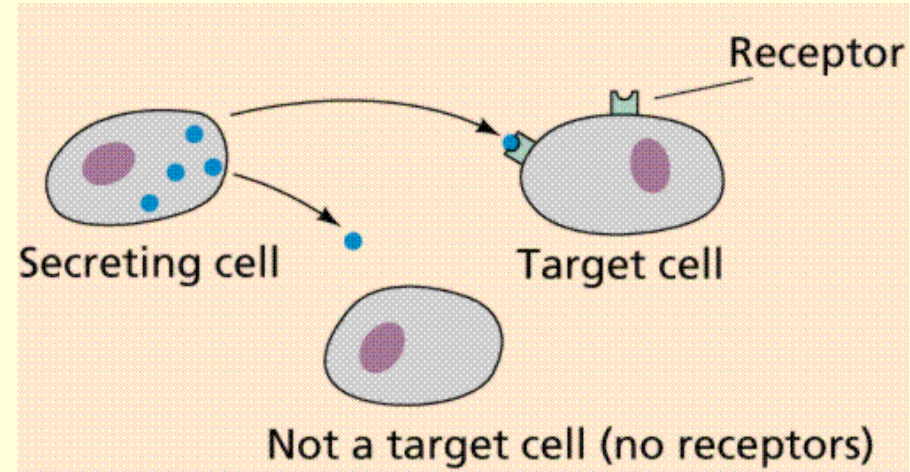
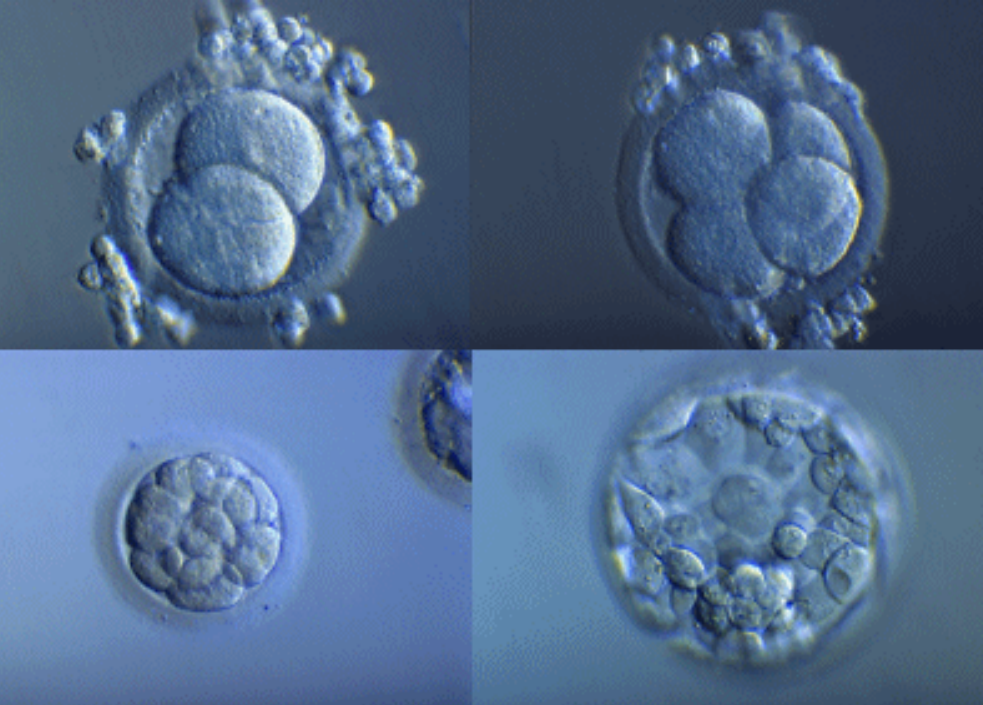
*Not in plant cells



<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Abiogenesis>

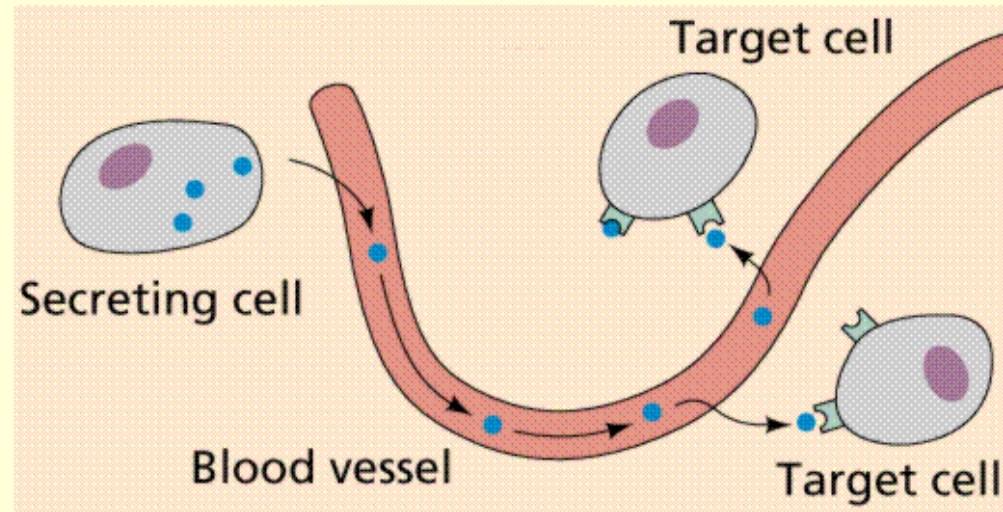
Et puis, après des essais infructueux il y a environ 2 milliards d'années, l'émergence de la vie **multicellulaire** apparaît véritablement il y a un peu plus de 600 millions d'années.

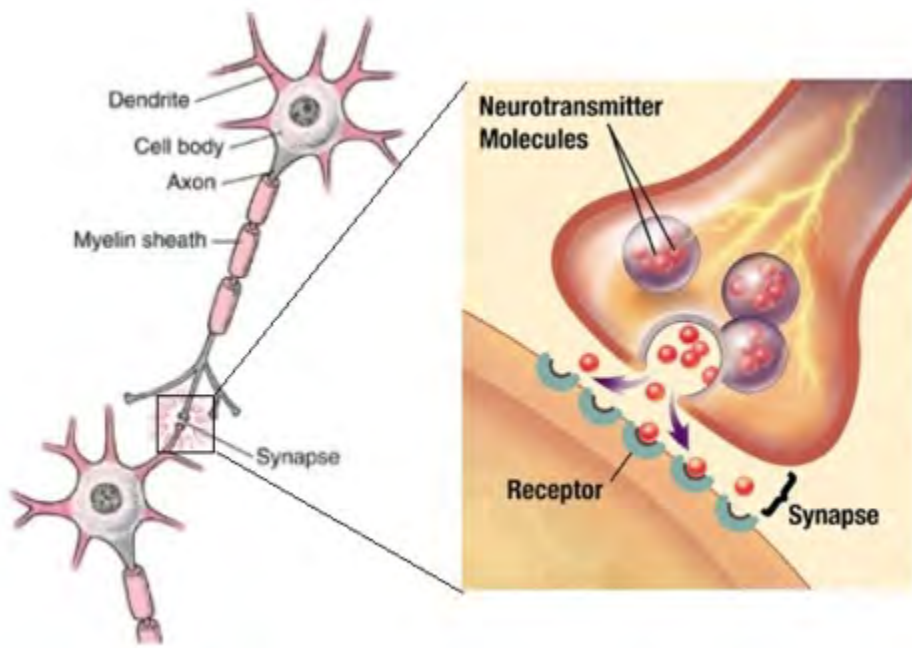




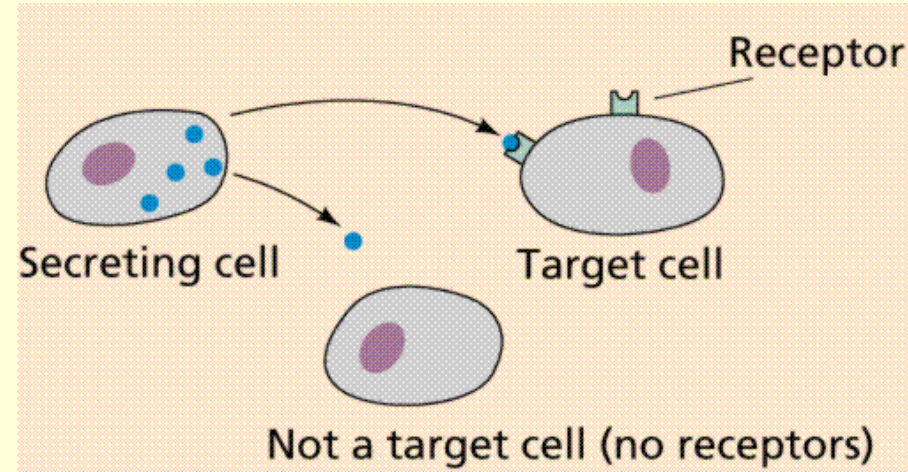
Hormones !

(système endocrinien)

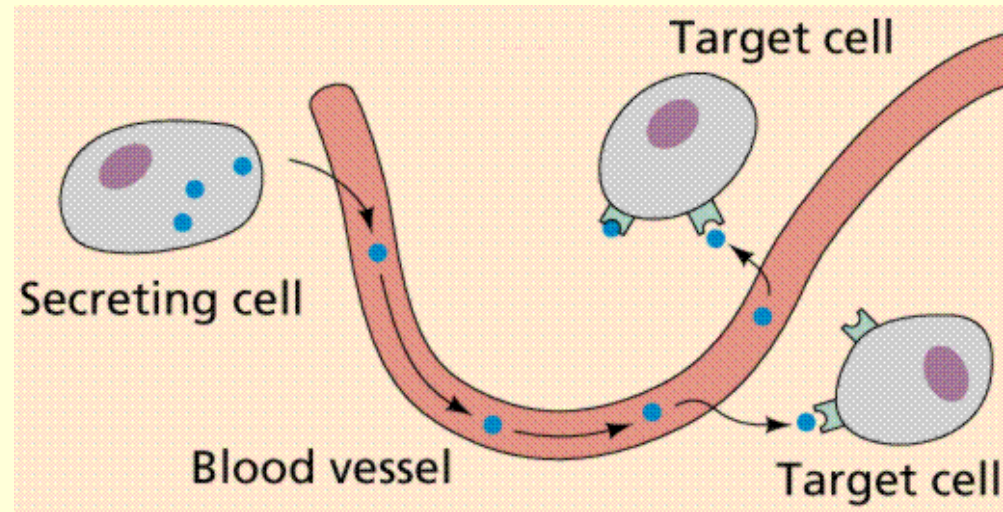




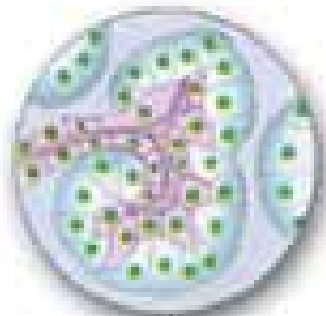
...mais aussi neurotransmetteurs et récepteur des neurones du **système nerveux !**



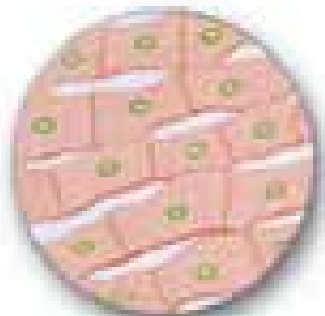
Hormones !
(système endocrinien)



Chez les multicellulaires, on va aussi assister au phénomène de **spécialisation cellulaire**...



cellule
pancréatique



cellule
cardiaque



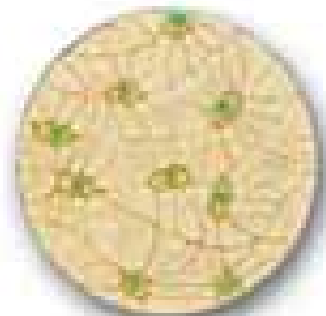
cellule
sanguine



cellule
pulmonaire



ovule



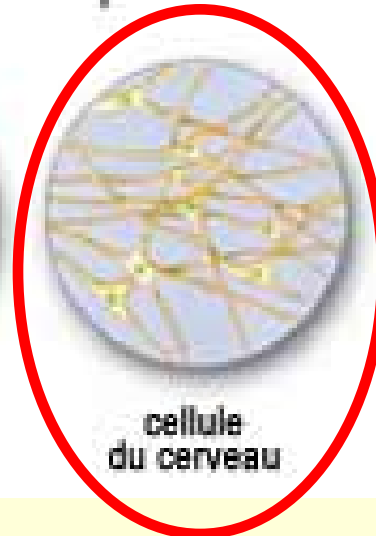
cellule
osseuse



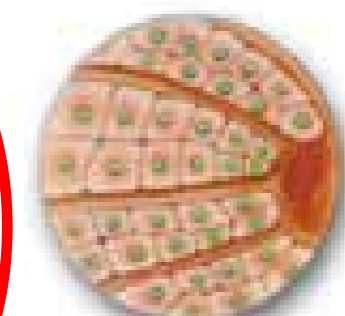
cellule
de la rate



cellule
musculaire



cellule
du cerveau



cellule
du foie

Mais avant de poursuivre avec l'avènement
des **systemes nerveux** chez les animaux...

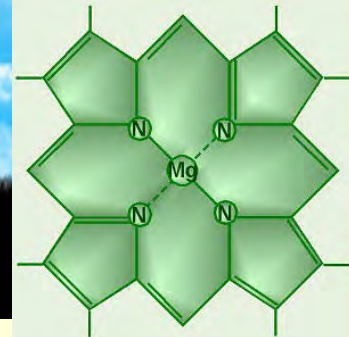
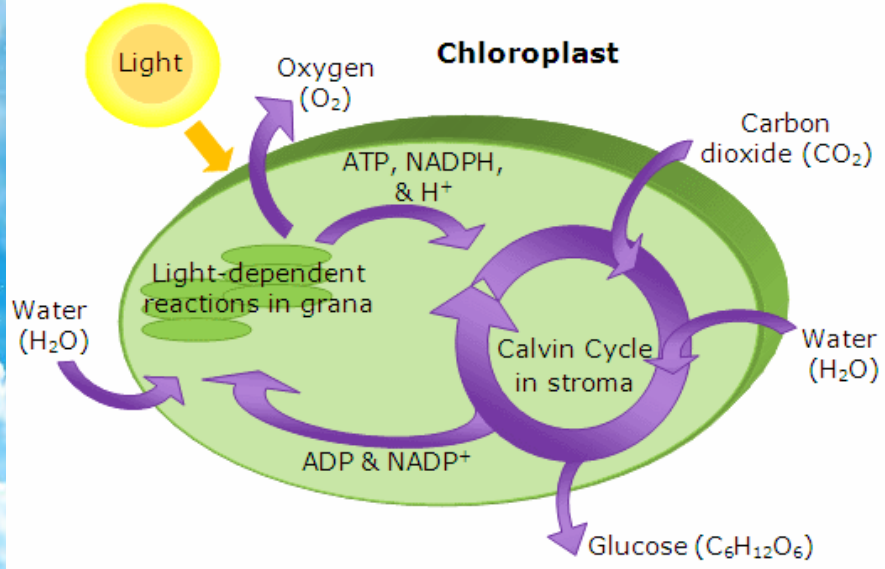
il faut rappeler ici le 2^e principe de la thermodynamique





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

- Henri Laborit

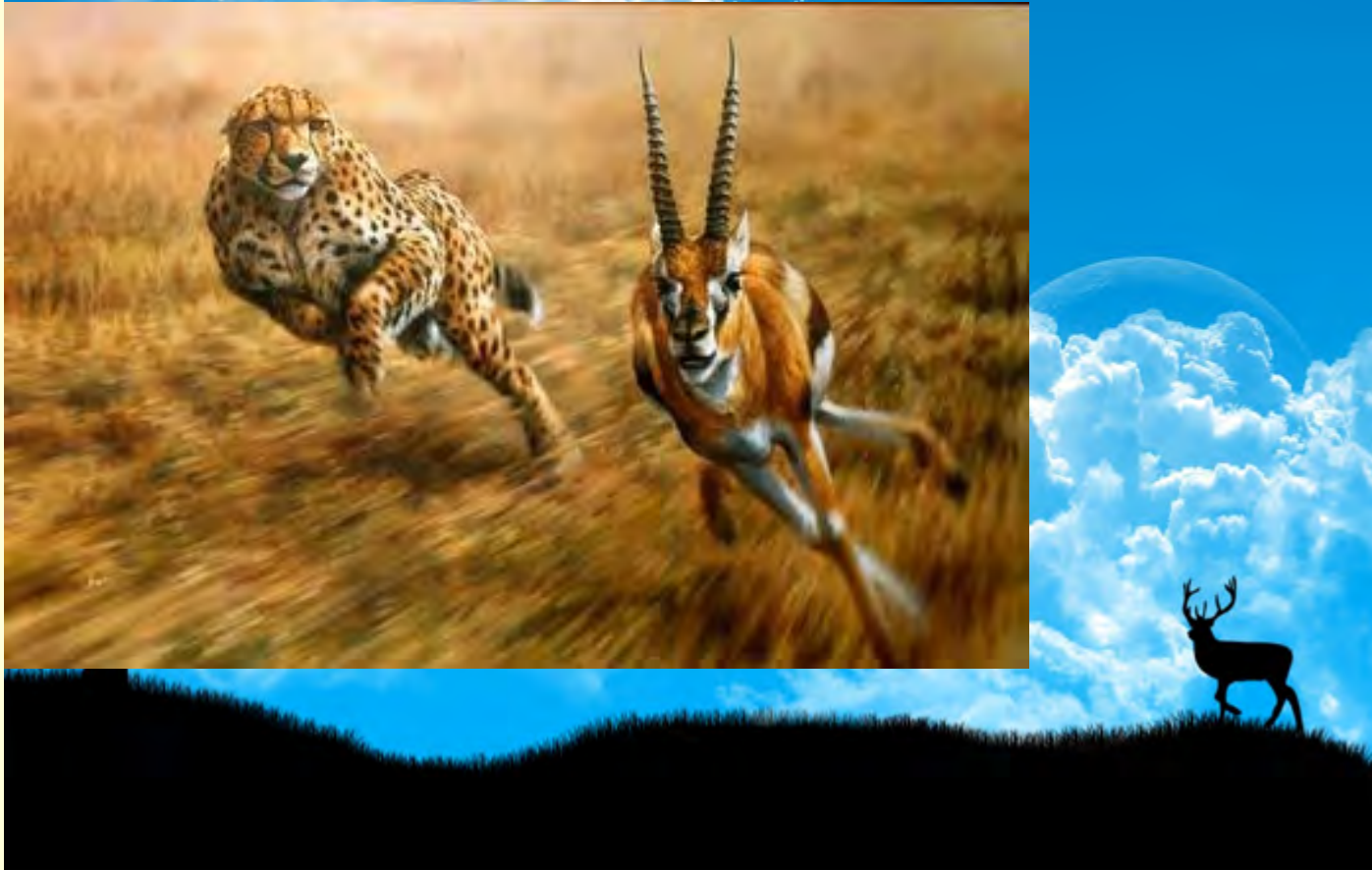


Plantes :

photosynthèse

grâce à l'énergie du soleil

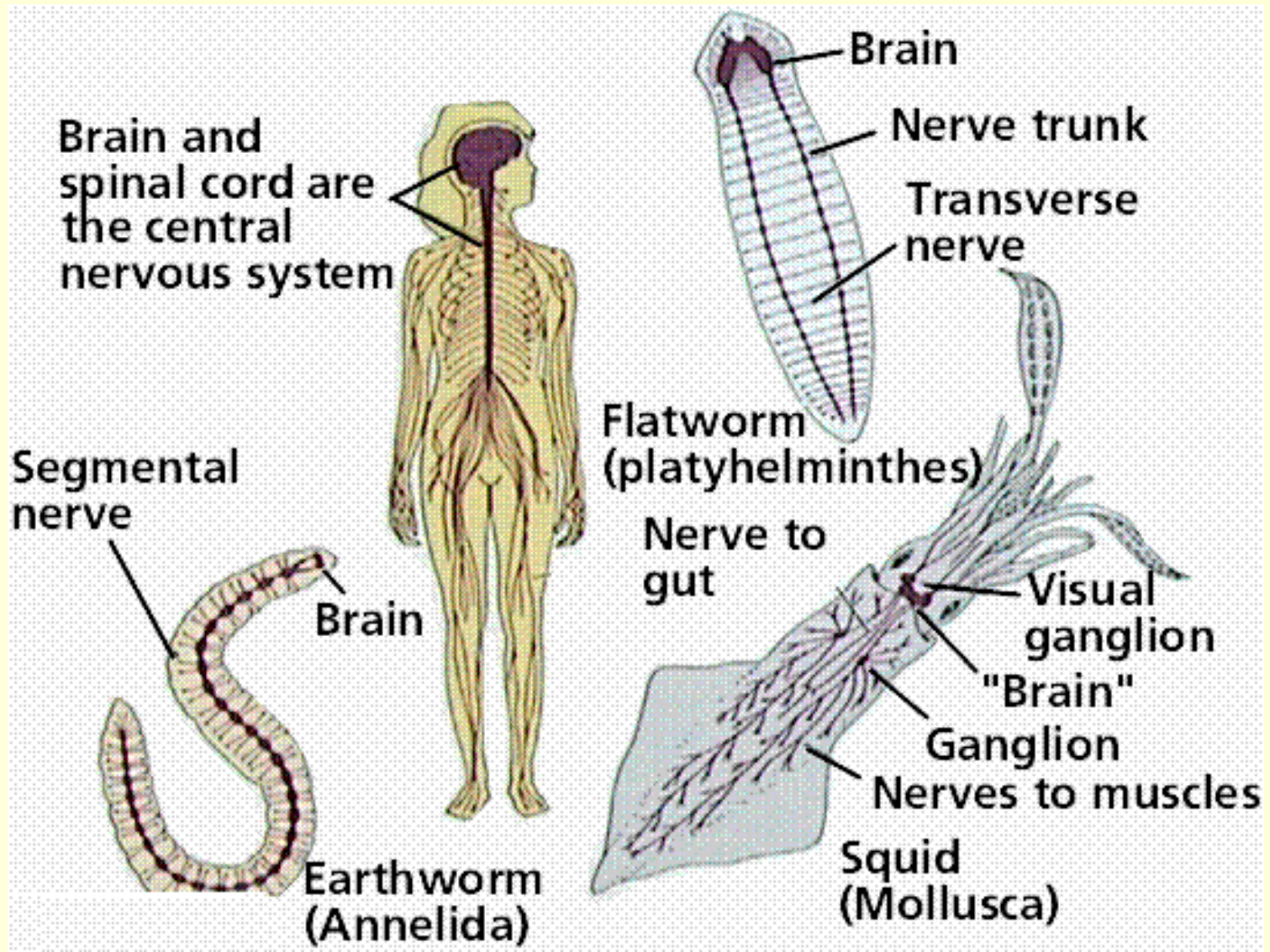




Animaux :

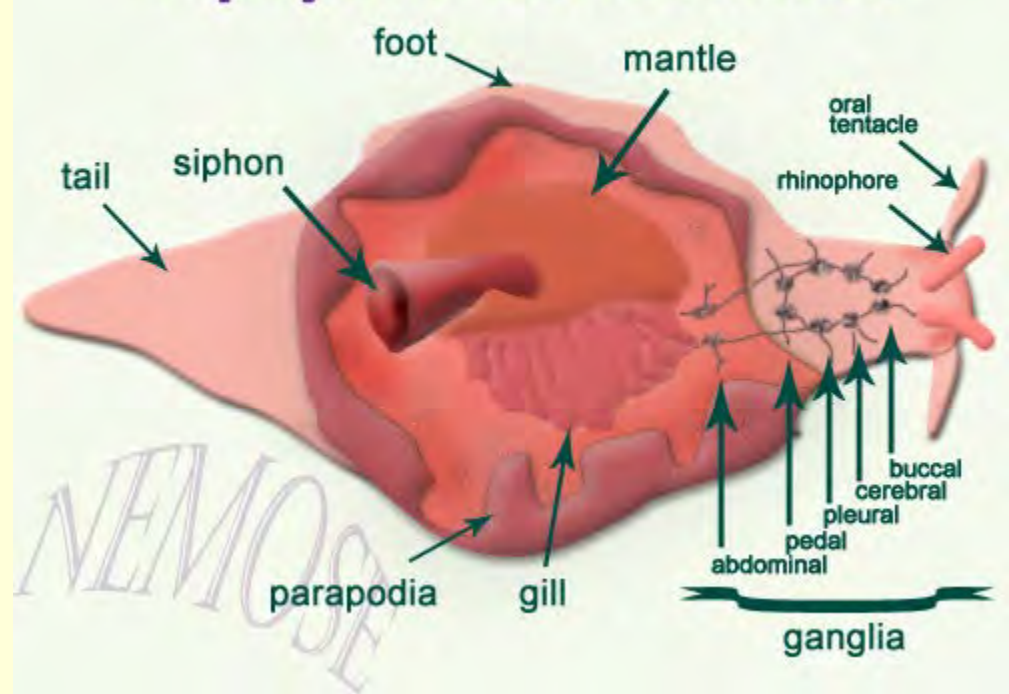
autonomie motrice
pour trouver leurs ressources
dans l'environnement

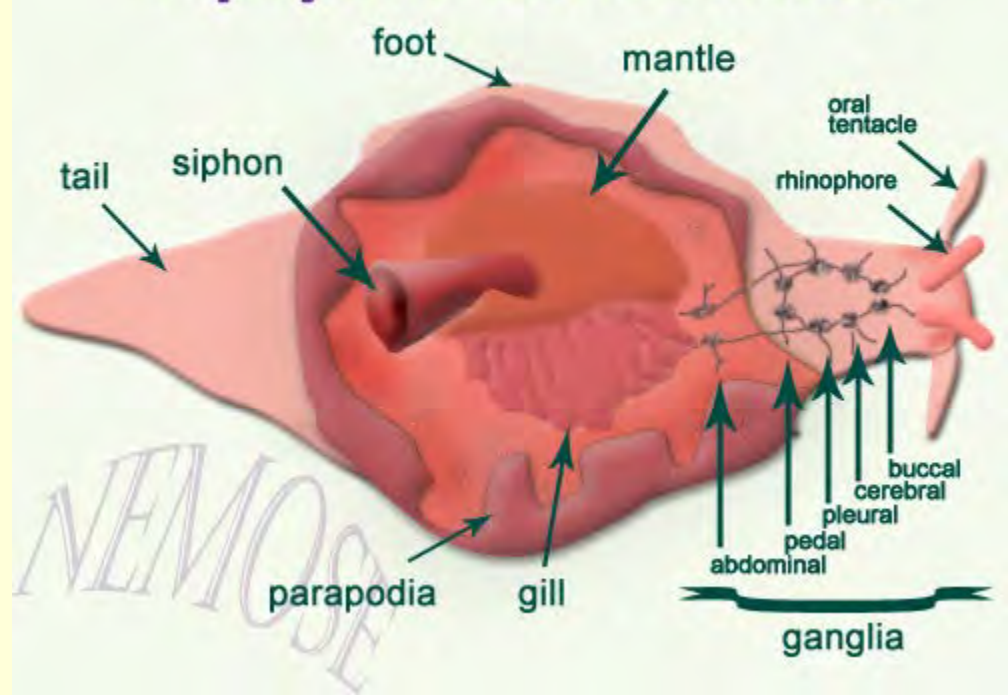
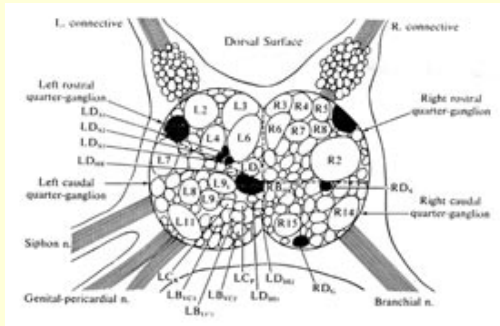
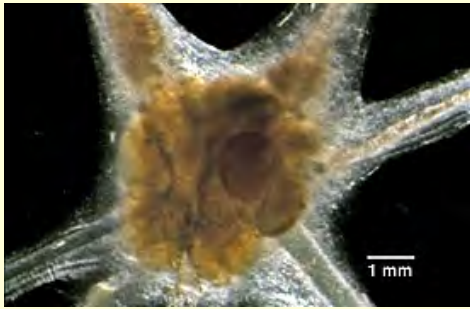
Systemes nerveux !

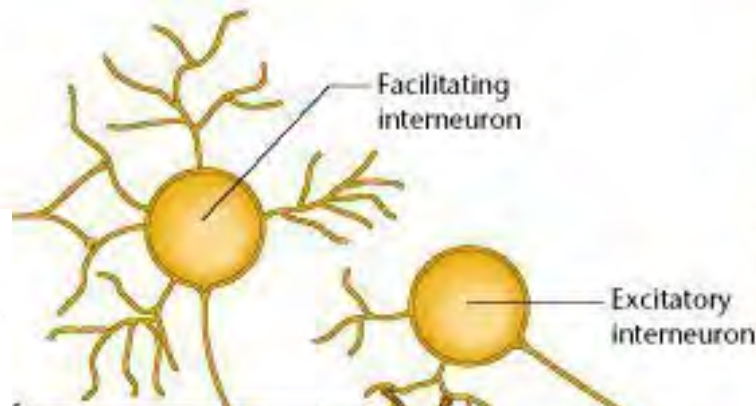
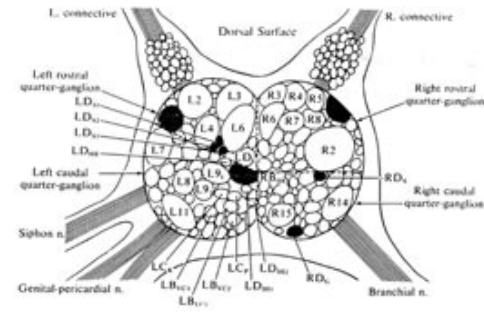
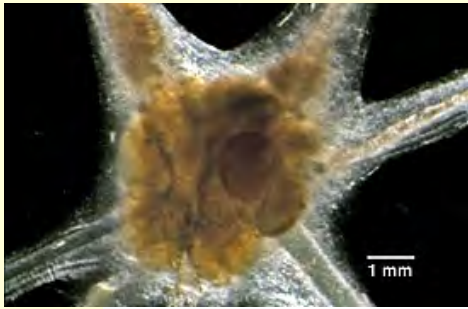




Aplysie
(mollusque marin)







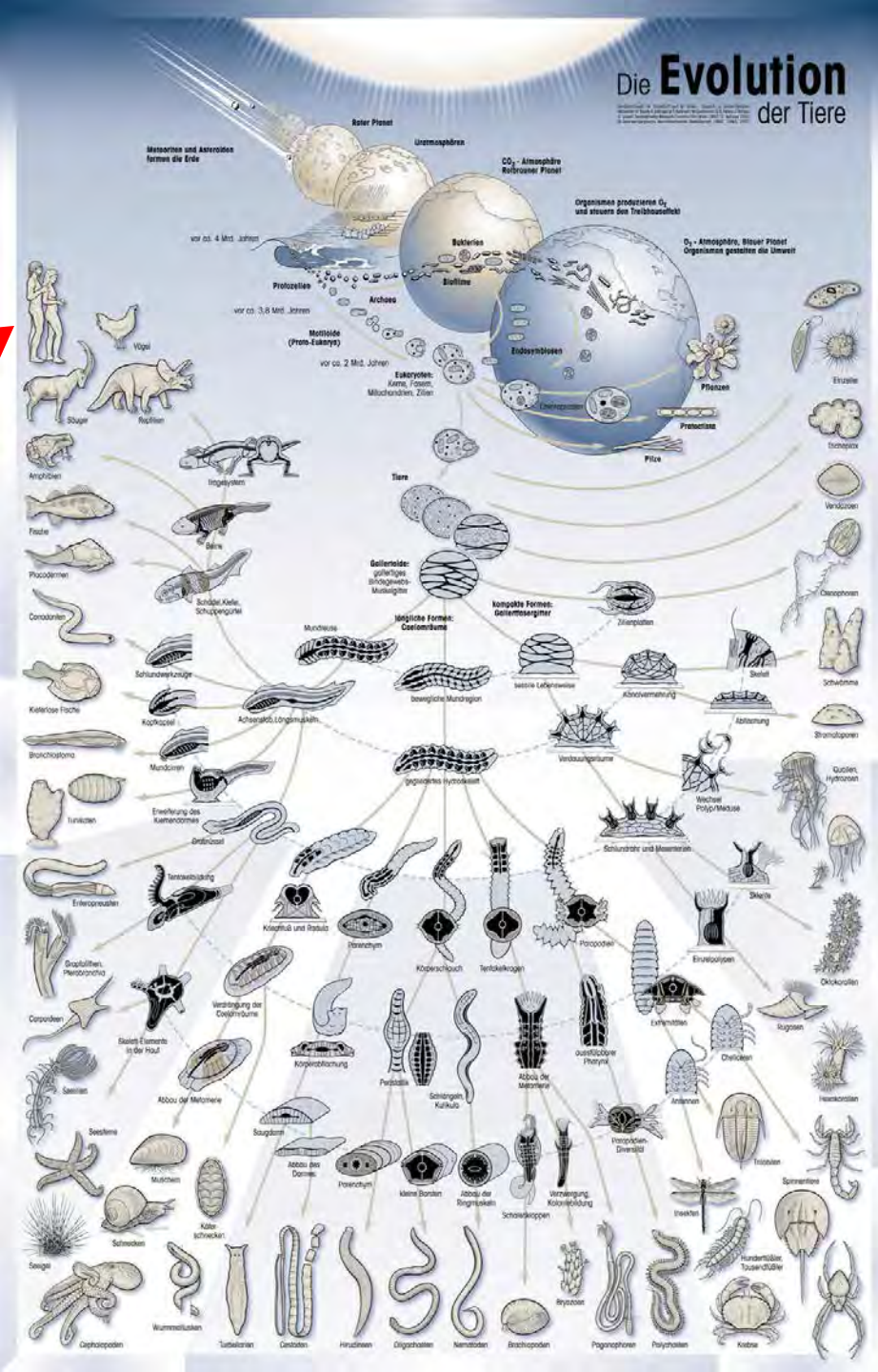
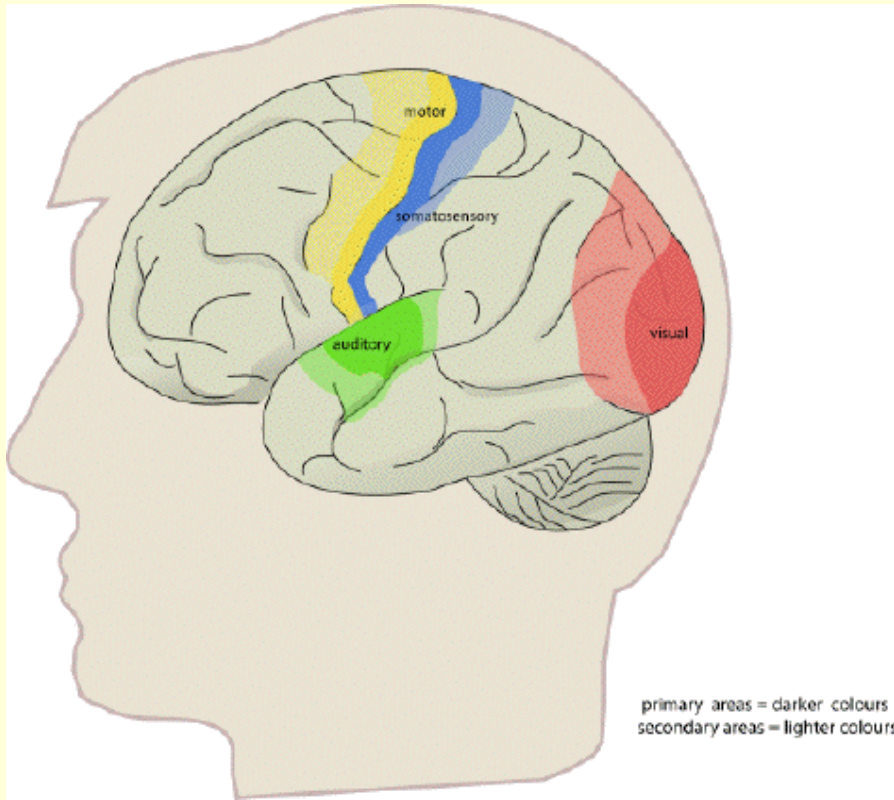
Synapses, neurotransmitter



Une boucle sensori - motrice

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

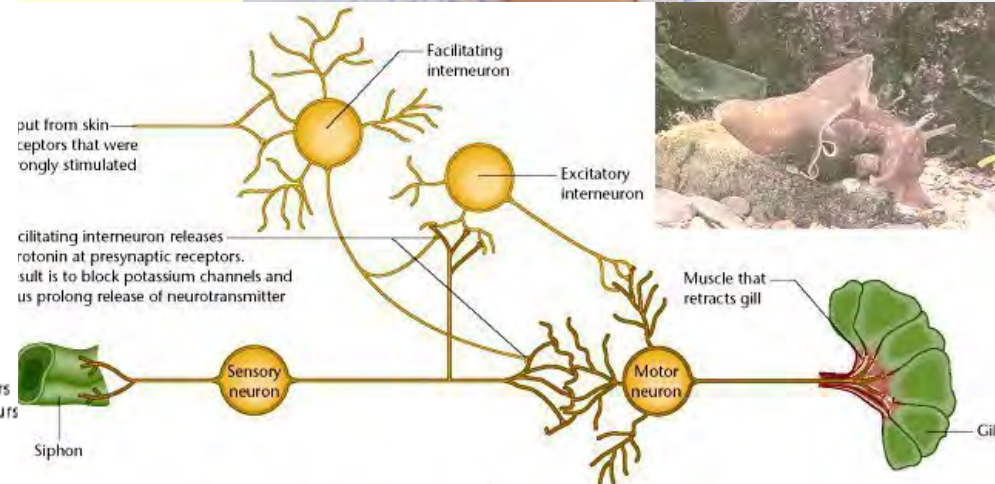
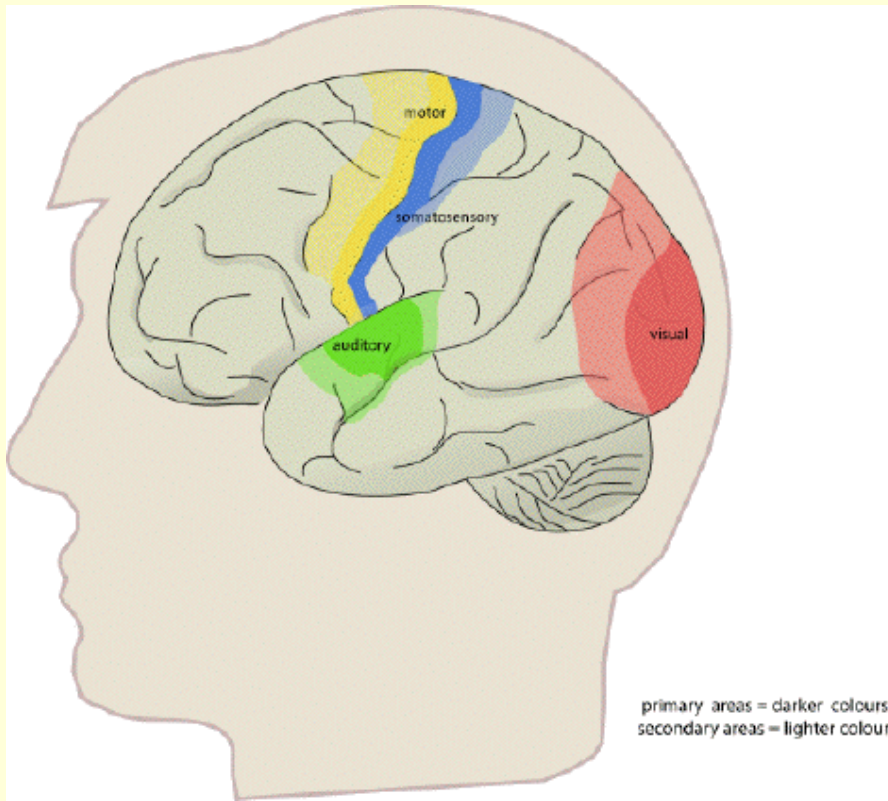
...et l'une des variantes sera nous !



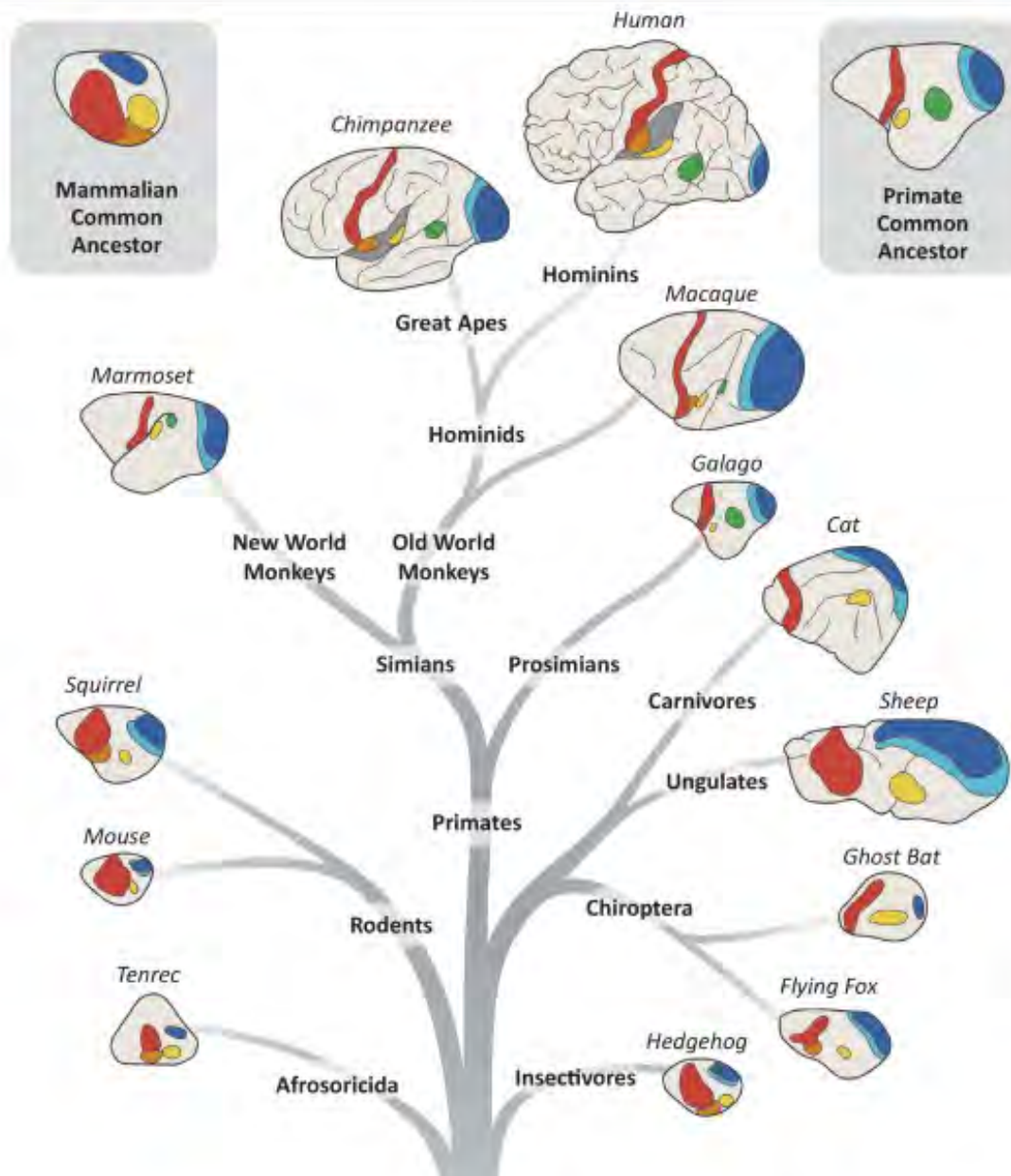
Le cerveau humain est encore construit sur cette **boucle perception – action**,

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

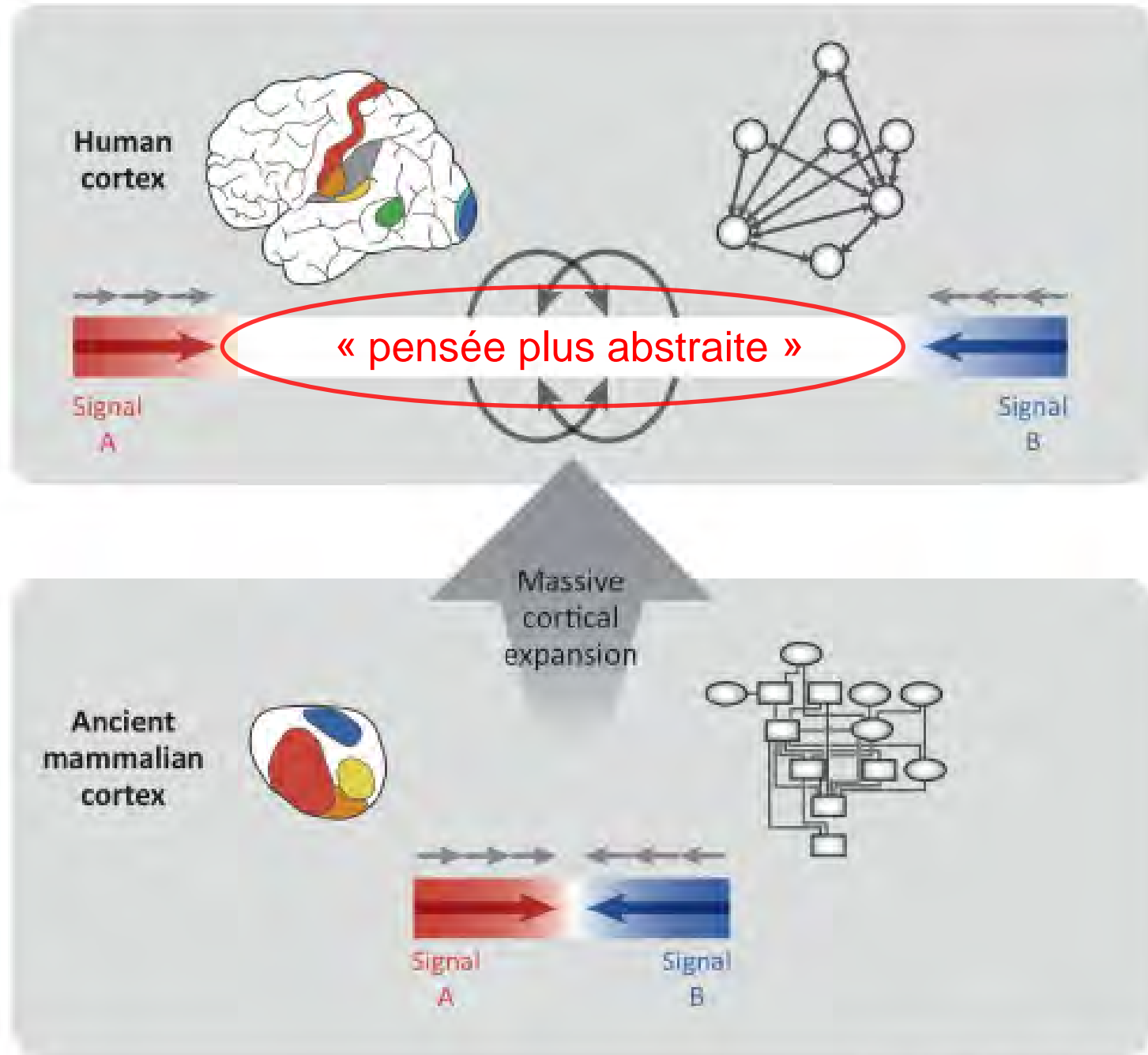
comme les inter-neurones de l'aplysie.



Ces aires associatives ont pris beaucoup d'expansion durant l'évolution des mammifères



pour culminer
chez l'humain
où elles sont
plus ou moins
détachées des
cortex
sensoriels.

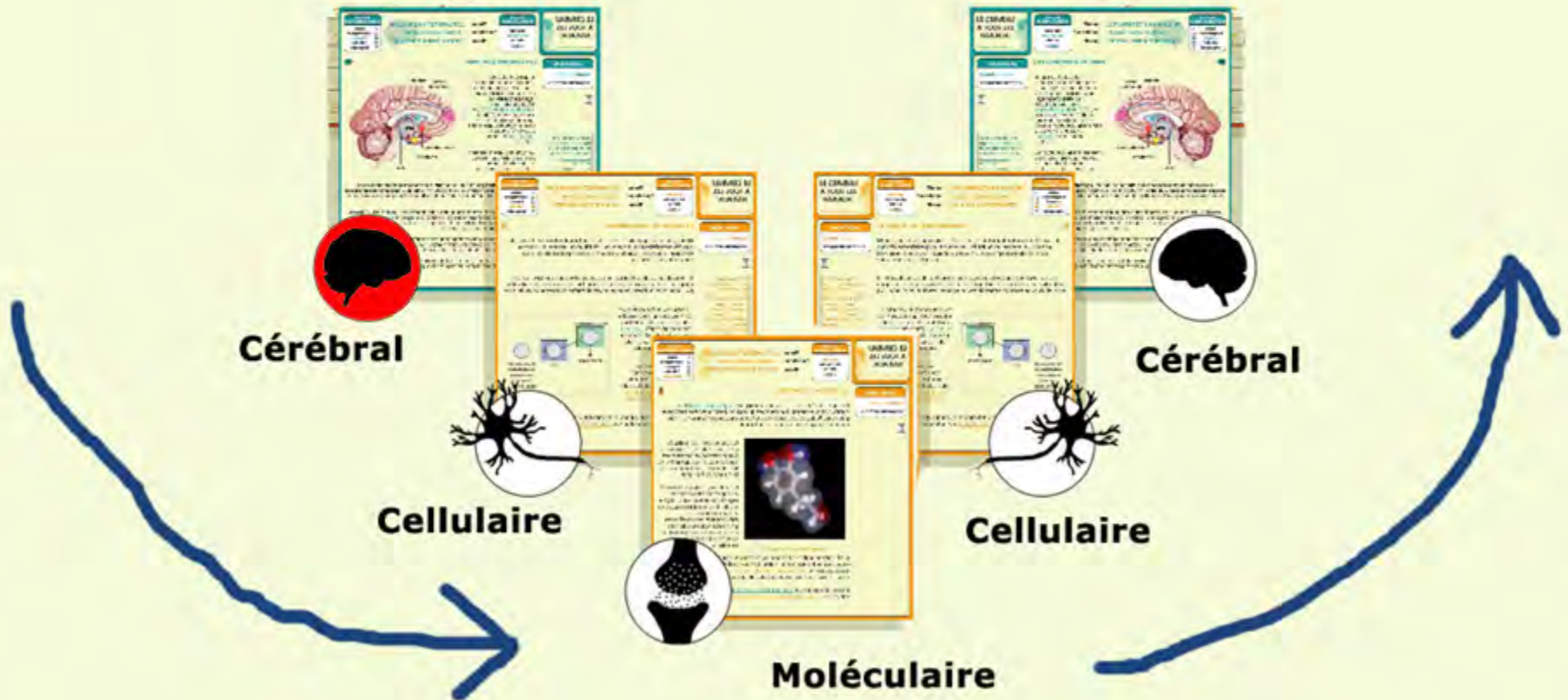


Introduction :

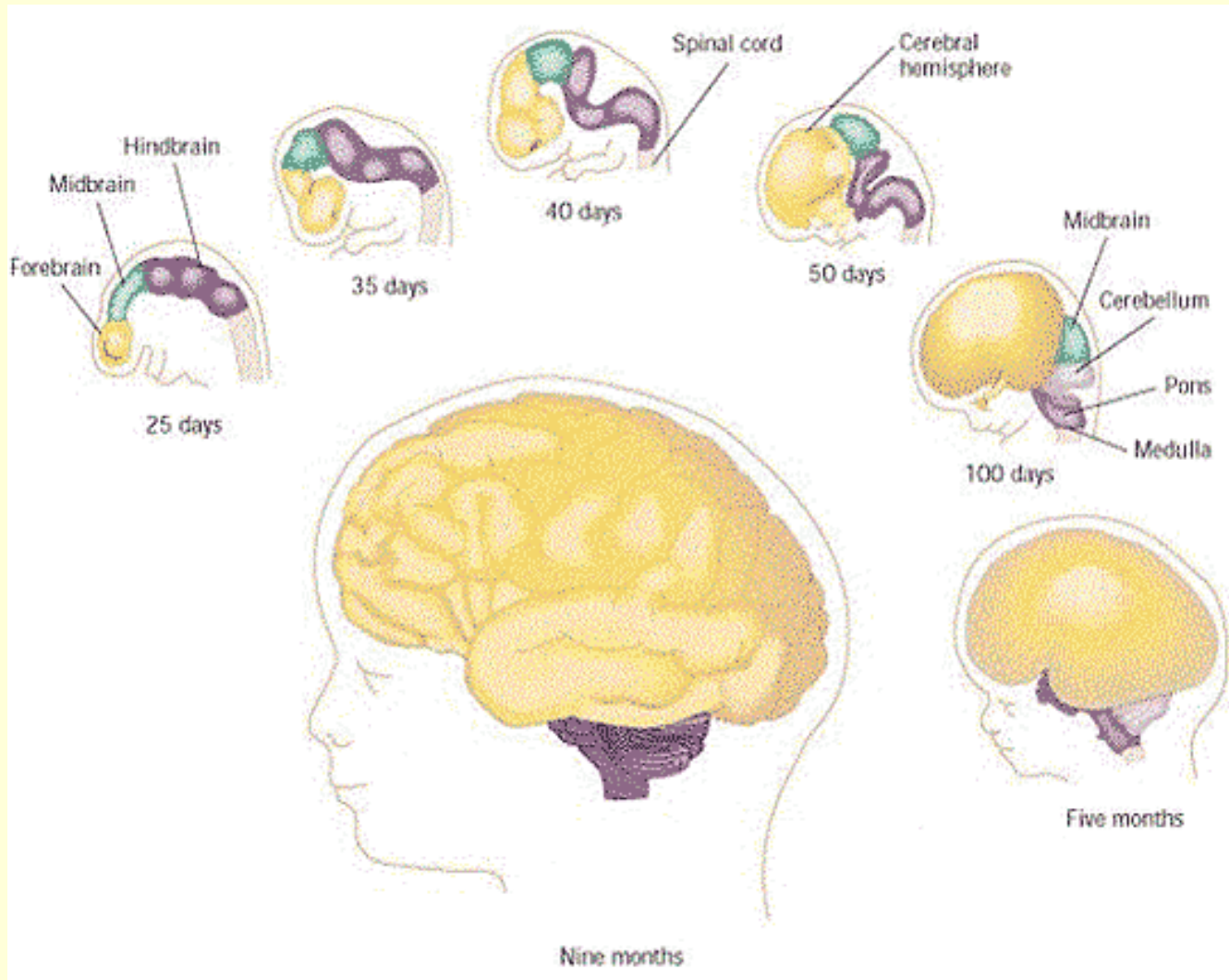
- Métaphores cérébrales
- Perspective évolutive

Conclusion :

- ma métaphore
cérébrale préférée

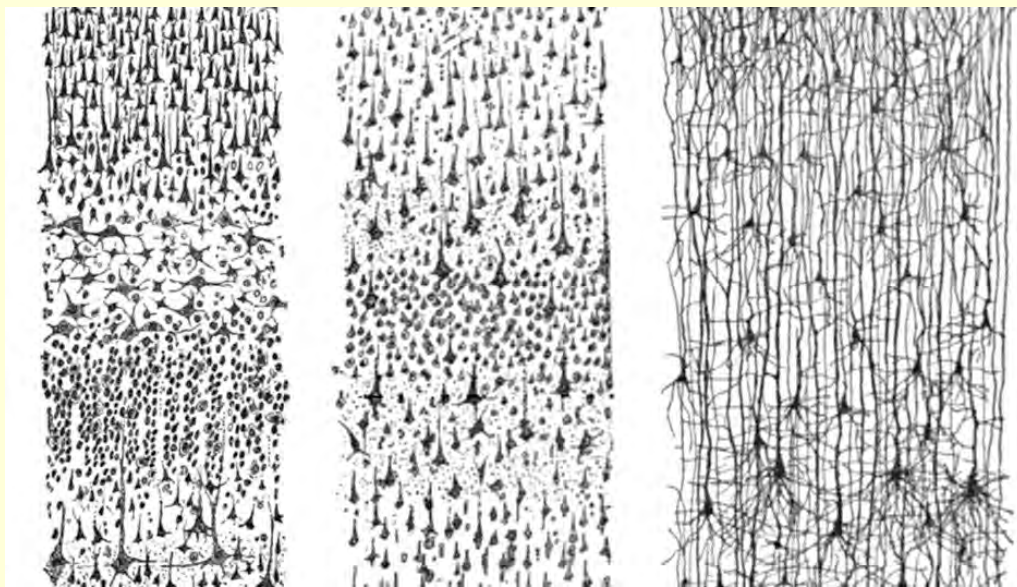
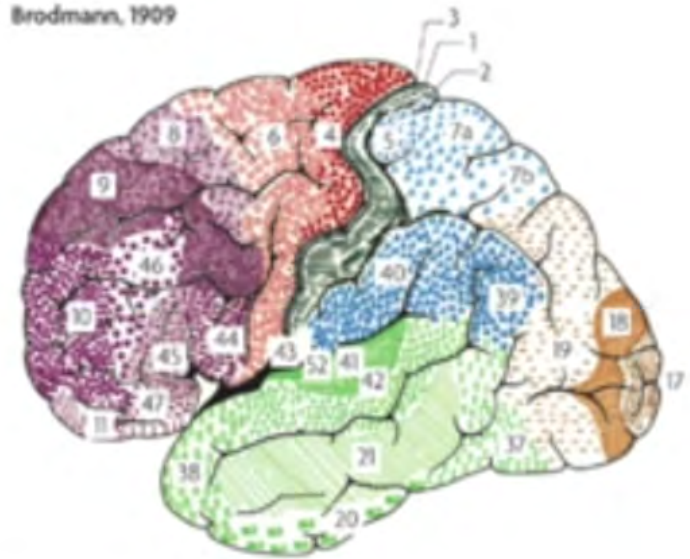
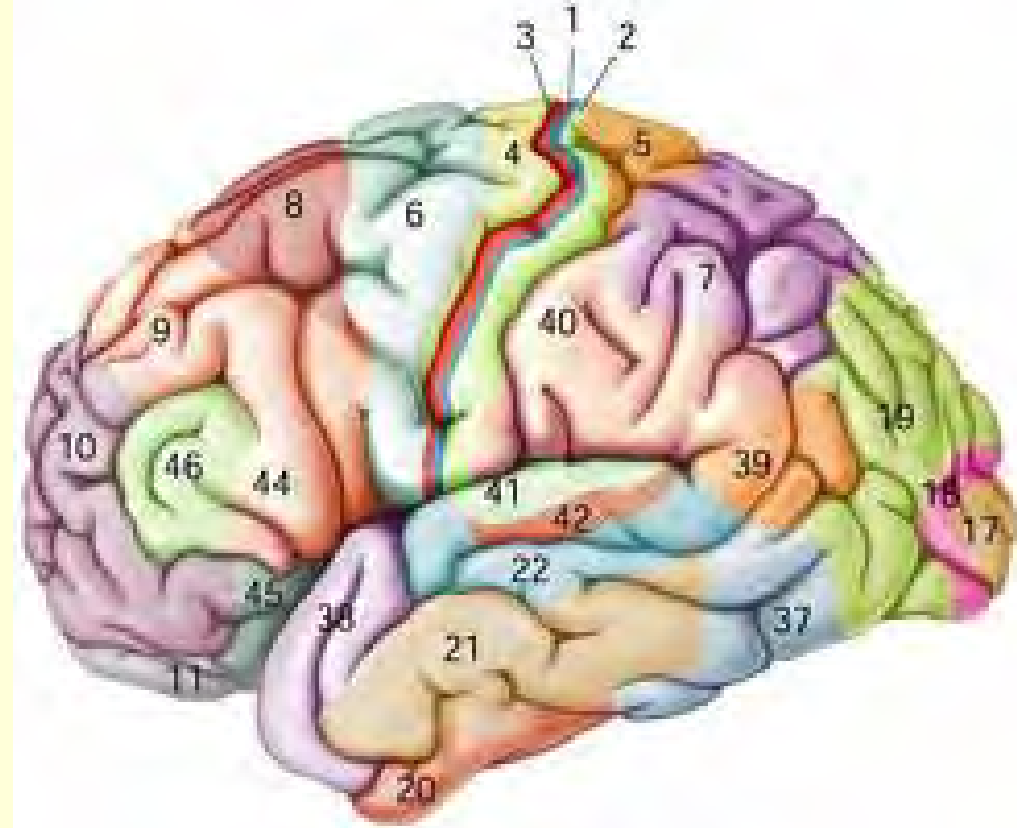


Durant le développement, le **cortex** des mammifères possède l'augmentation relative de taille la plus grande de toutes les structures cérébrales.



Brodmann, 1909

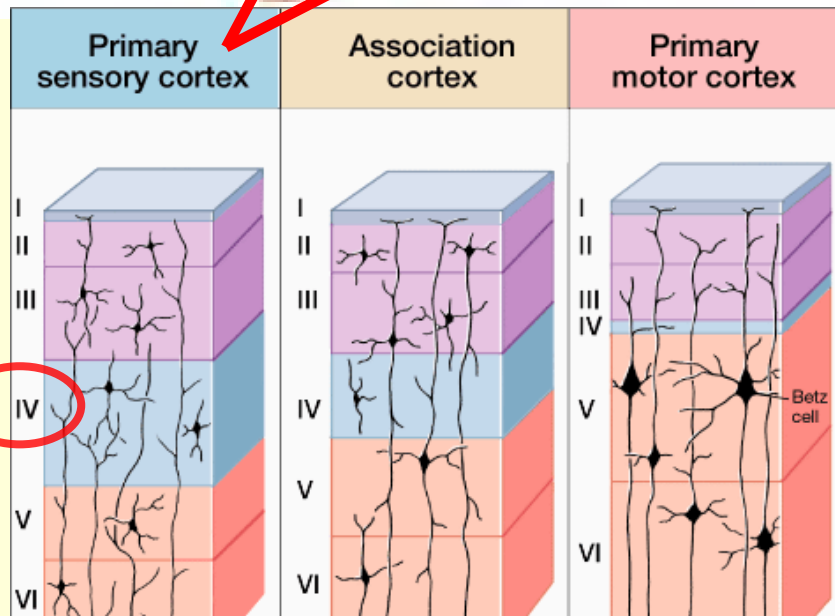
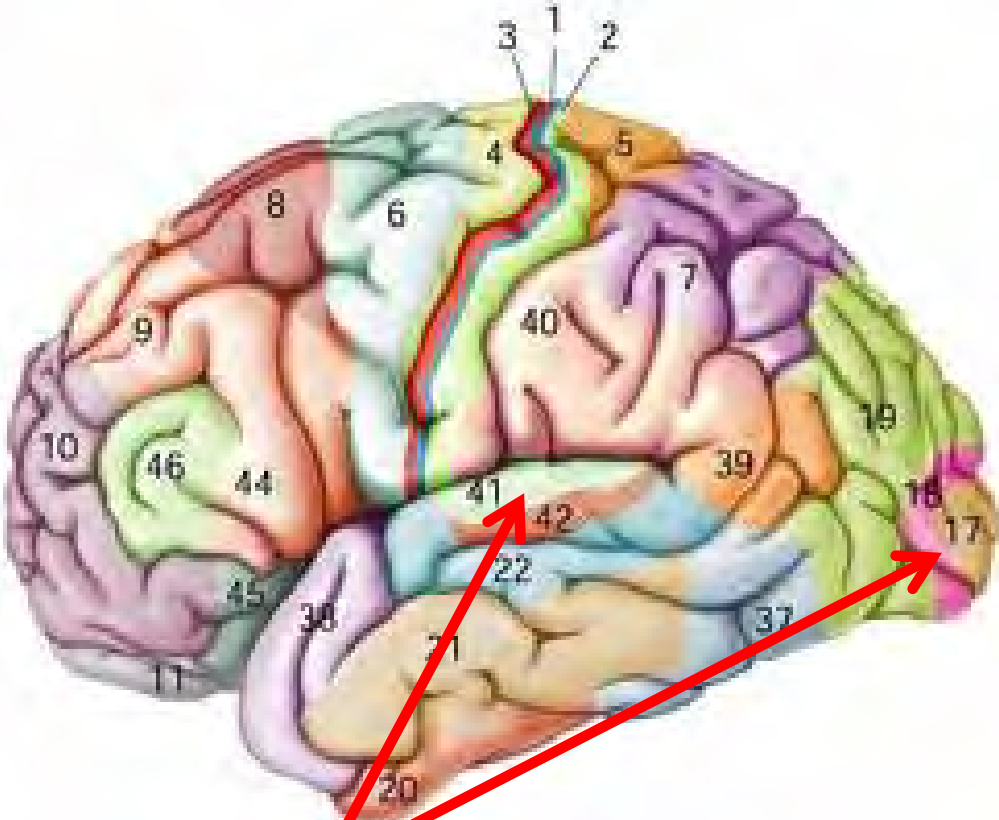
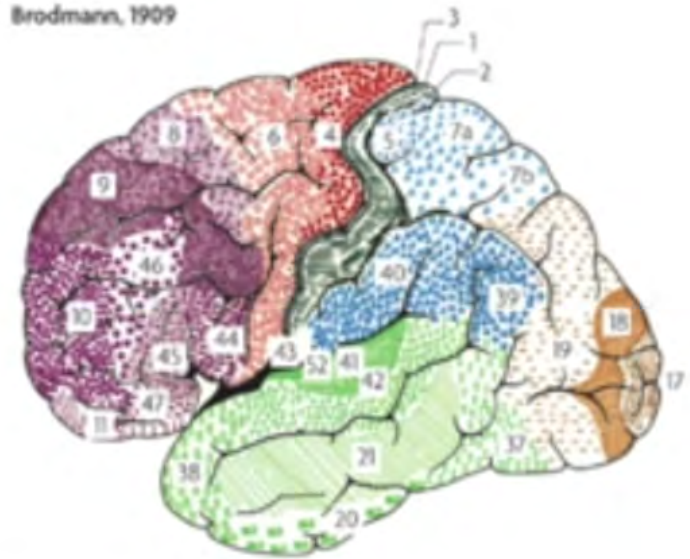
Brodmann, 1909



Carte basées sur la cytoarchitecture c'est-à-dire la **densité**, la **taille** des neurones et le **nombre de couches** observées sur des coupes histologiques.

Brodmann, 1909

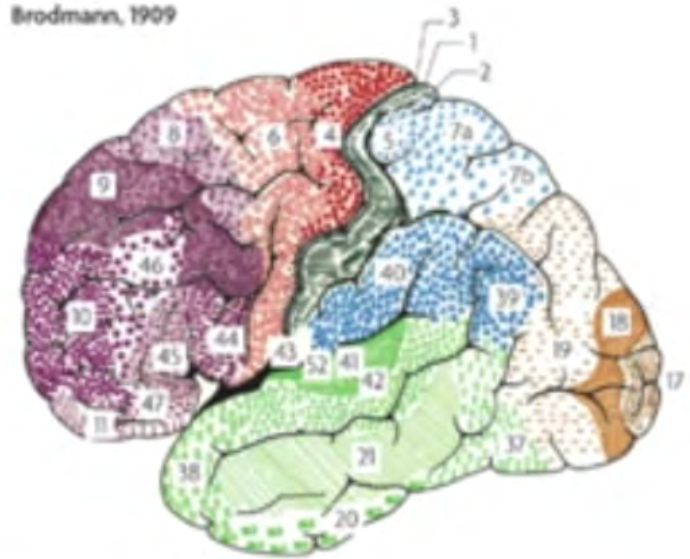
Brodmann, 1909



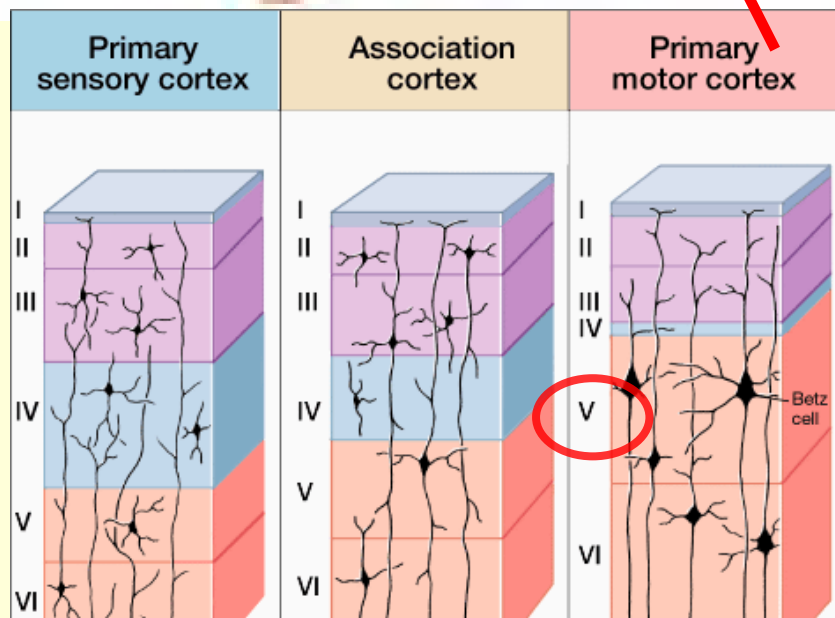
Carte basées sur la cytoarchitecture c'est-à-dire la **densité**, la **taille** des neurones et le **nombre de couches** observées sur des coupes histologiques.

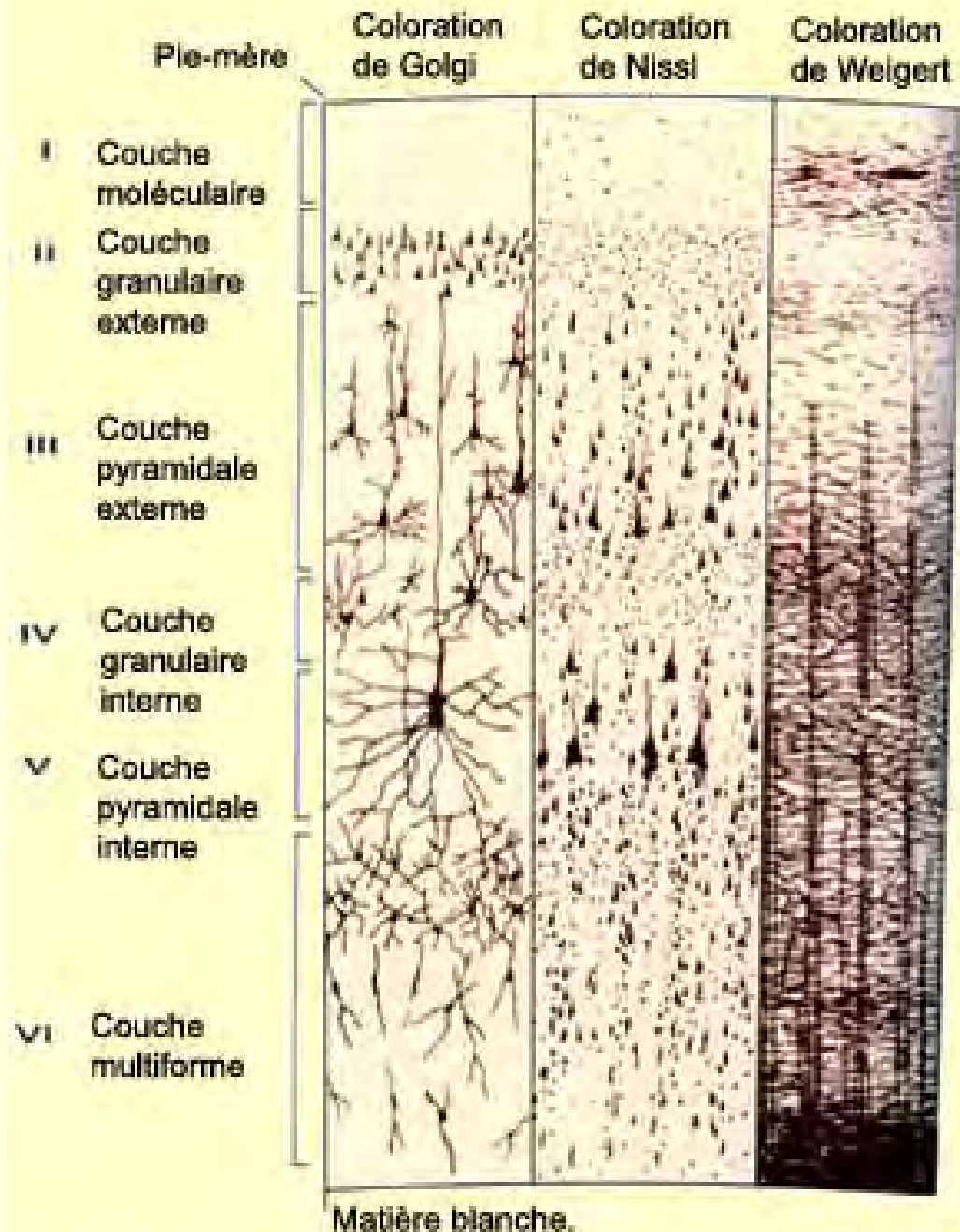
Brodmann, 1909

Brodmann, 1909



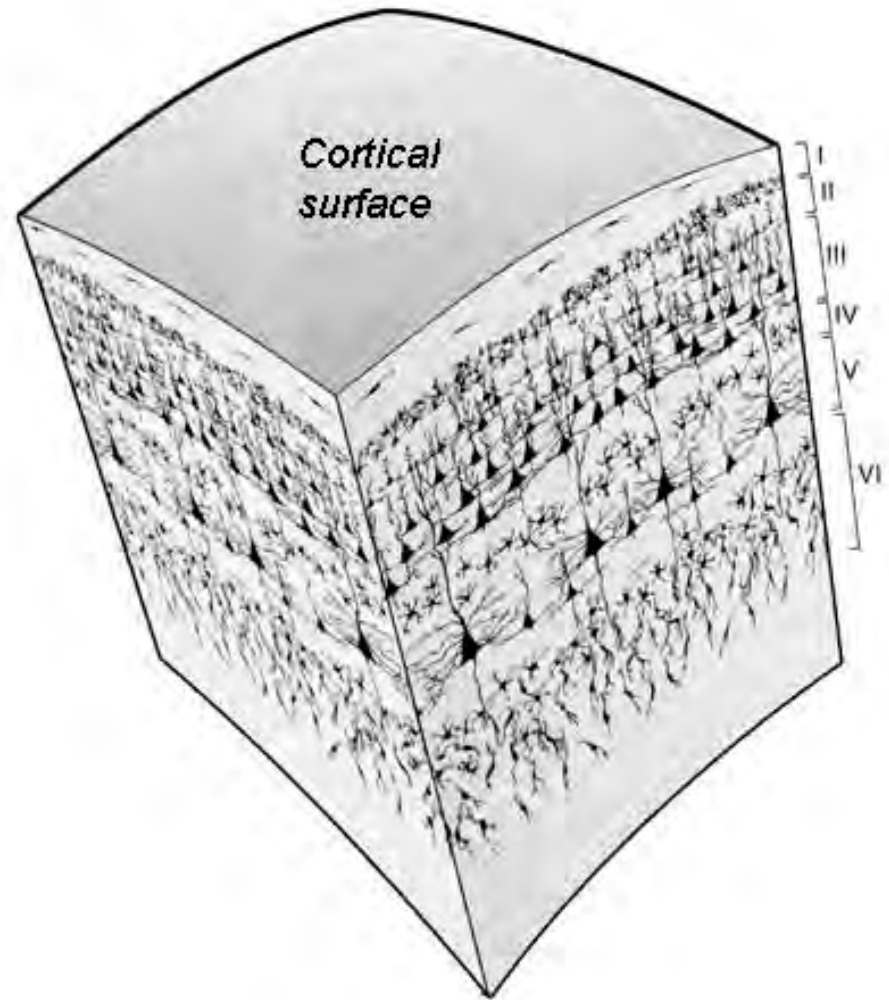
Carte basées sur la cytoarchitecture c'est-à-dire la **densité**, la **taille** des neurones et le **nombre de couches** observées sur des coupes histologiques.





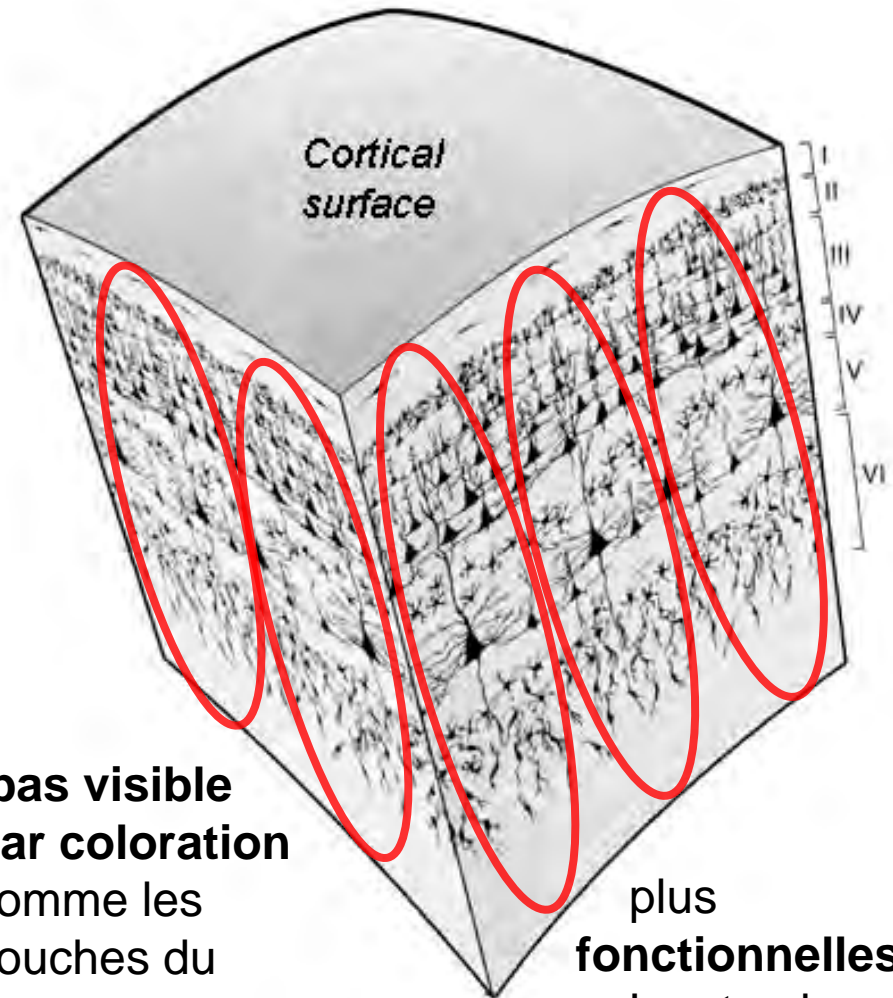
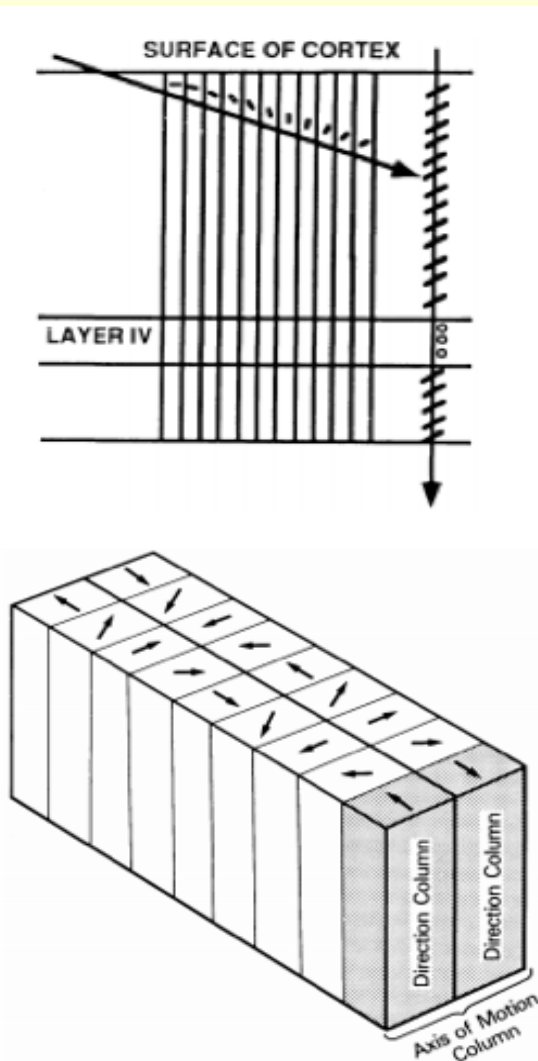
Et l'on sait aujourd'hui qu'effectivement cette **organisation en différentes couches du cortex** n'est pas sans rapport avec les capacités computationnelles d'une région corticale donnée.

En plus de cette organisation **en couches horizontales** dans le cortex...



On a aussi découvert dans la 2e moitié du XXe siècle une organisation **en colonne** !

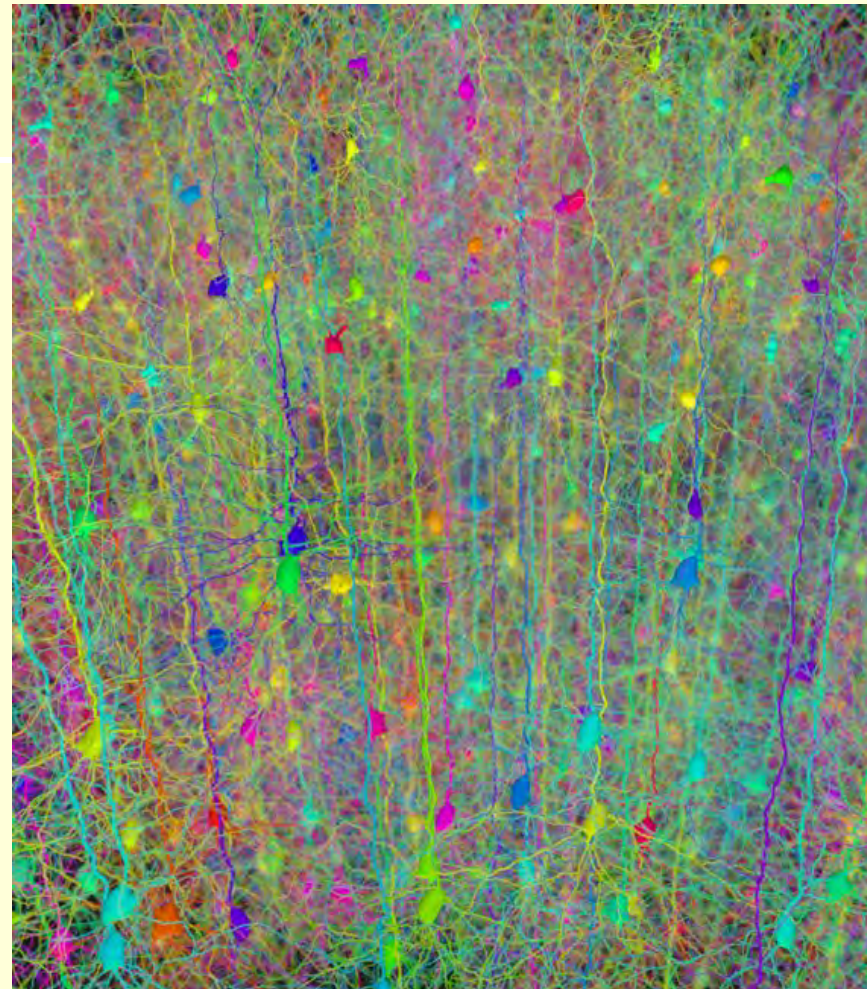
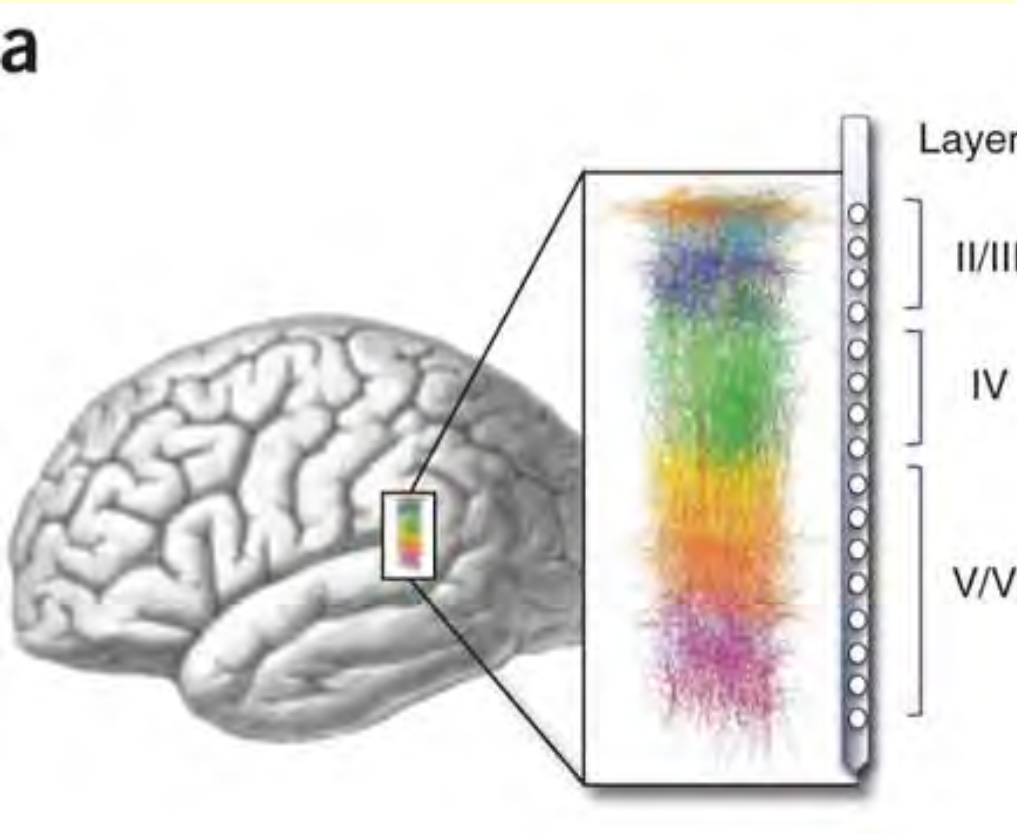
Les neurones ont des connexions préférentielles **à la verticale**.



(pas visible
par coloration
comme les
couches du
cortex;

plus
fonctionnelles
qu'anatomiques)

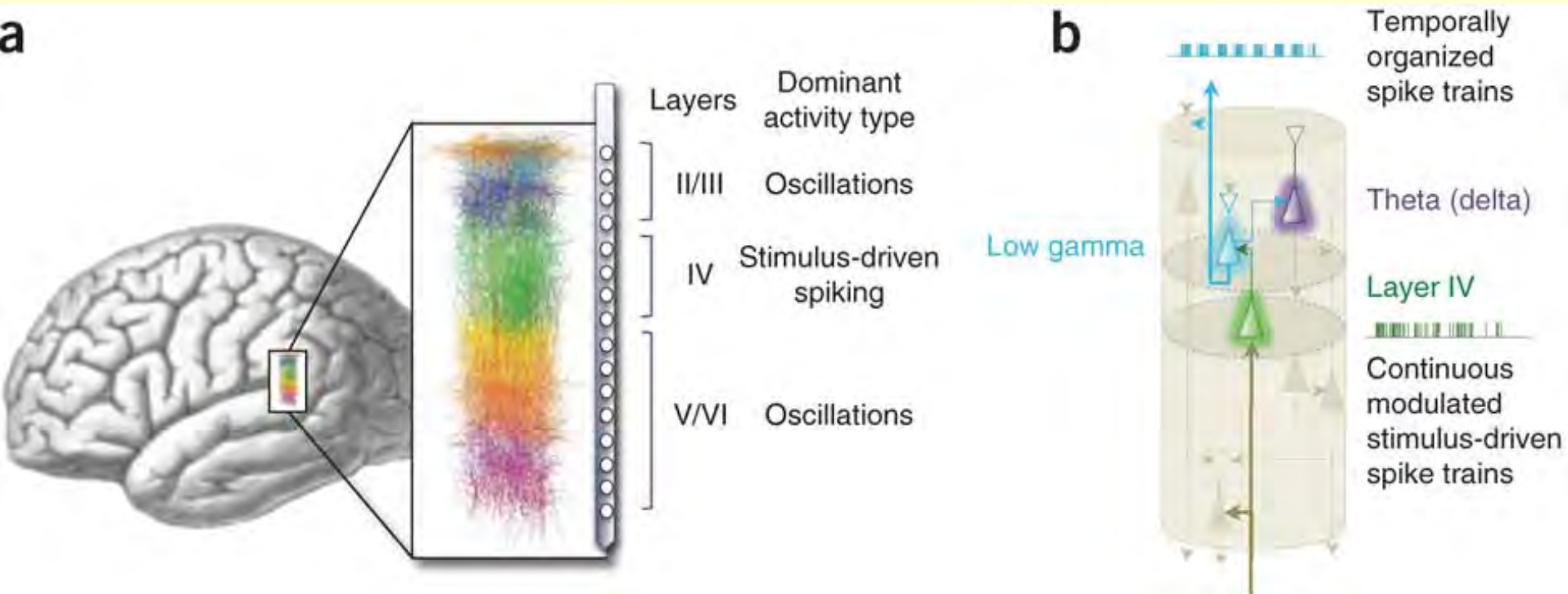
Même s'il est difficile de définir une **colonne corticale** de façon formelle, la notion demeure **attrayante** parce qu'elle suggère qu'on peut simplifier l'insurmontable complexité du câblage cérébral





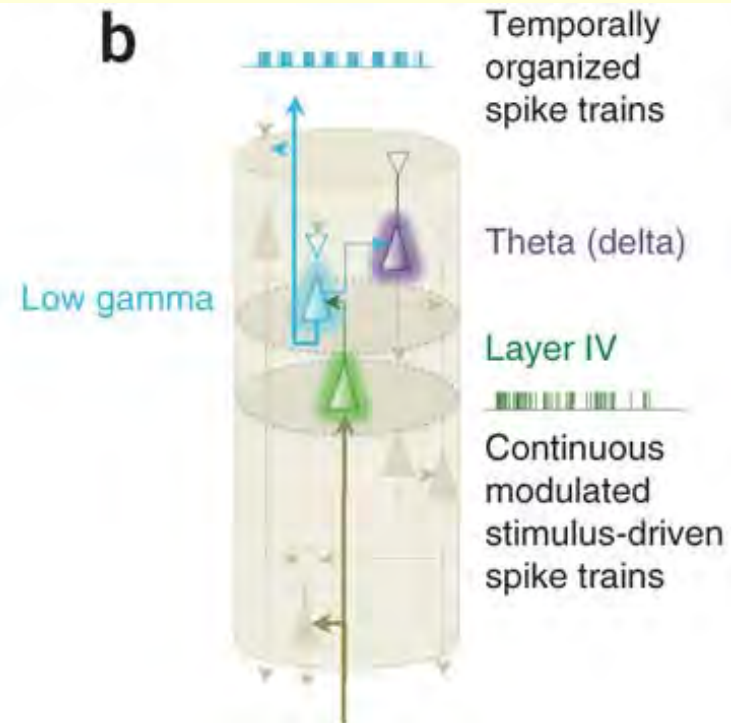
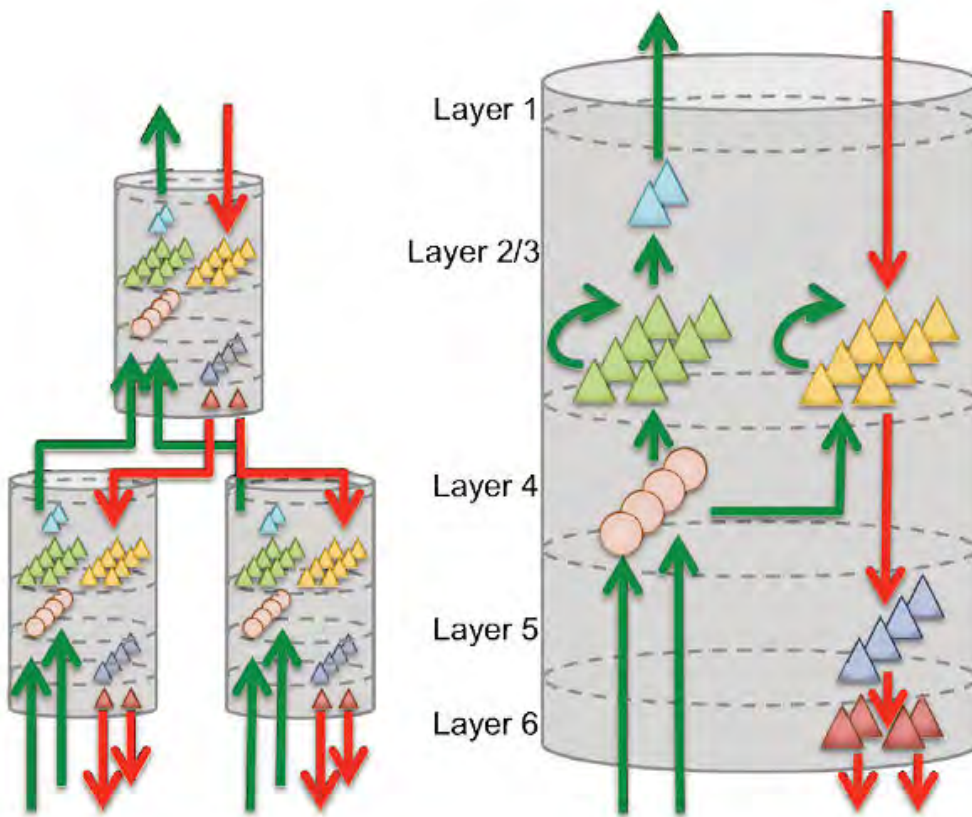


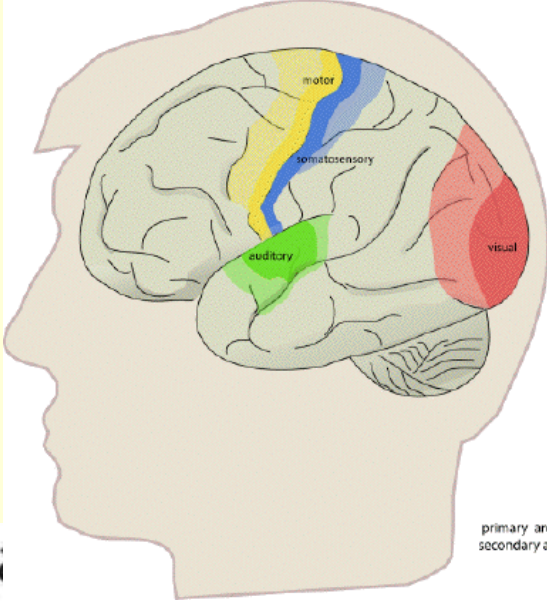
Donc cela suggère qu'on pourrait simplifier l'insurmontable complexité du câblage cérébral en un **arrangement de d'unités similaires** organisées en parallèle.



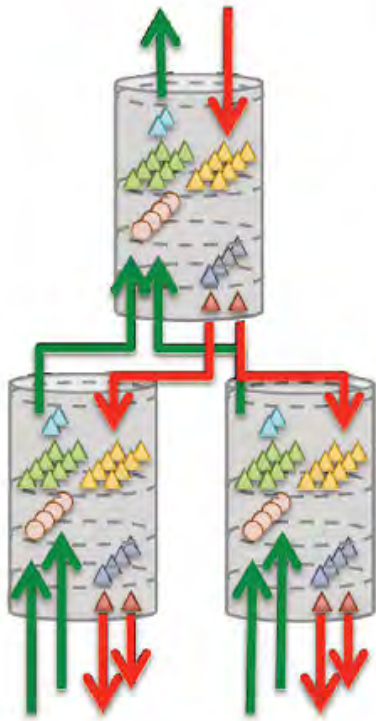
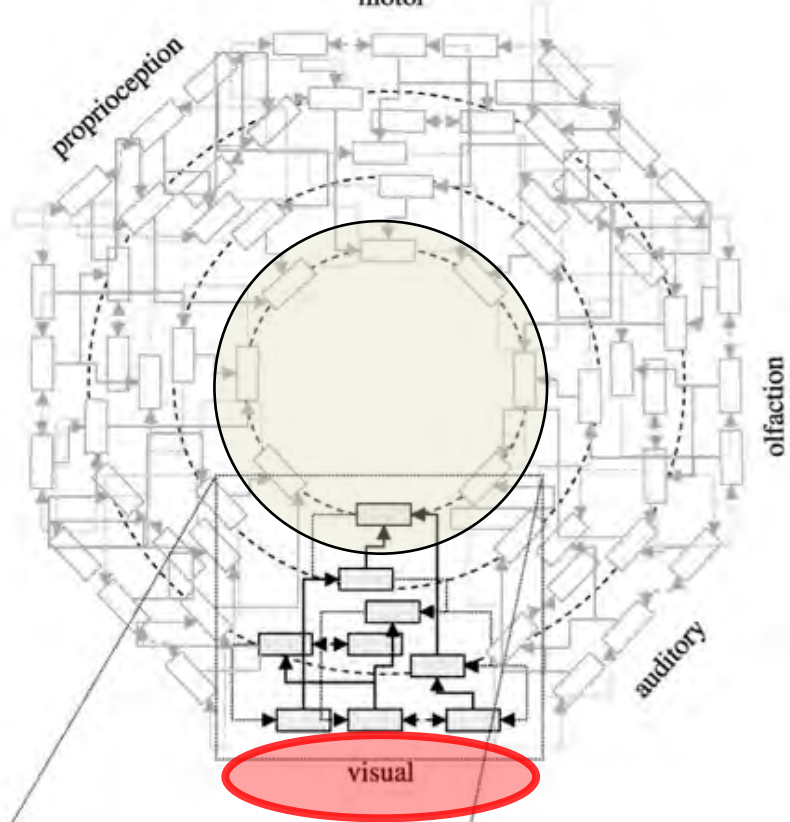
Le problème devient soudainement plus abordable:

**comprenez une colonne “générique”,
et vous les comprendrez toutes !**

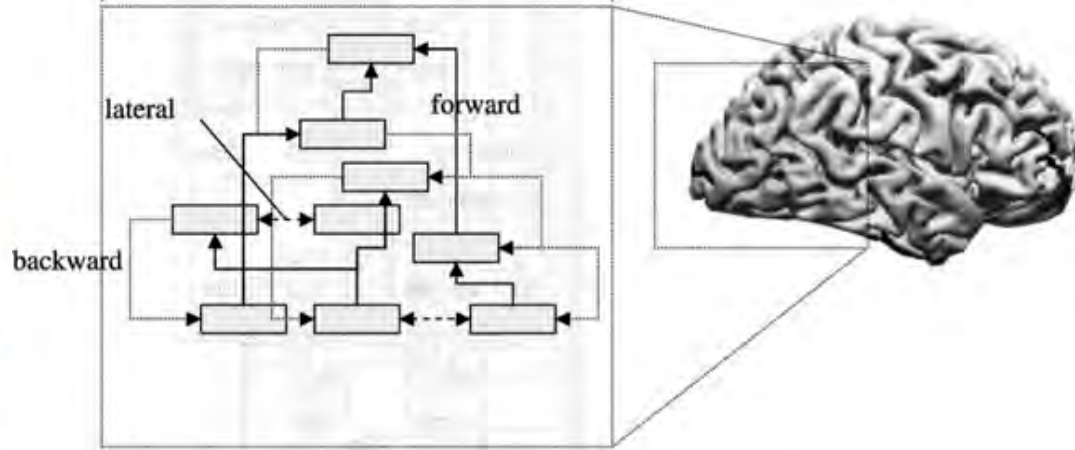


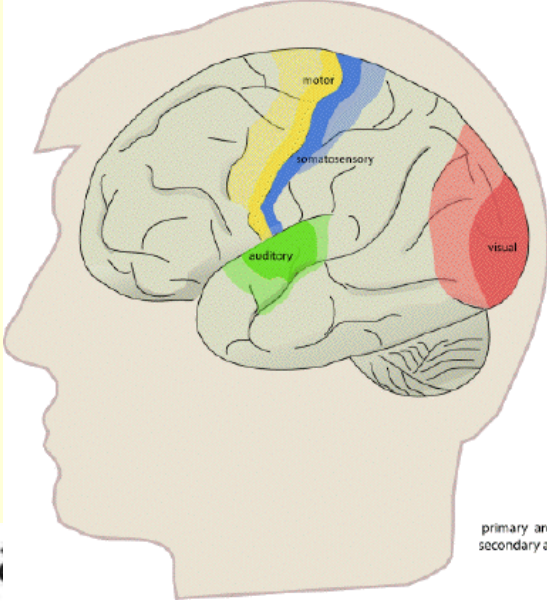


primary areas = darker colours
secondary areas = lighter colours

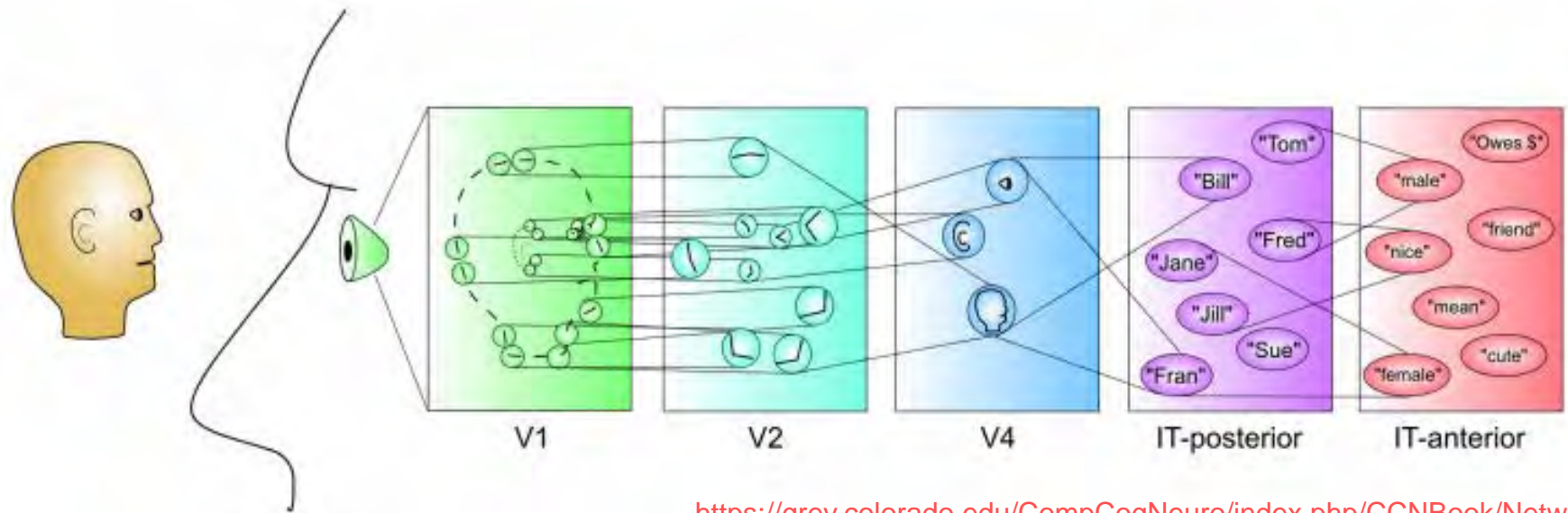
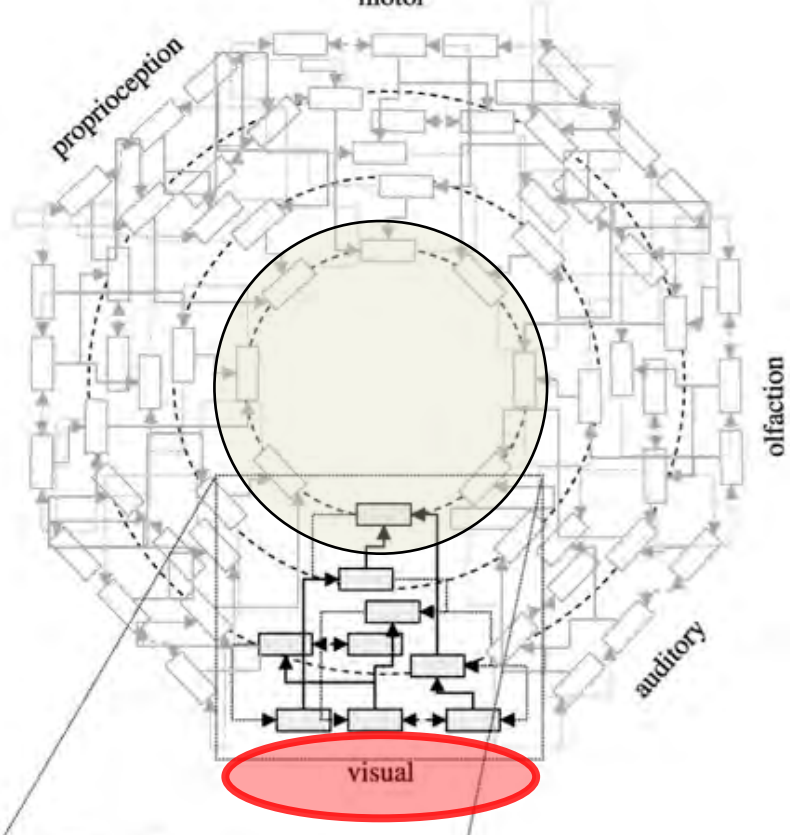


processing hierarchy

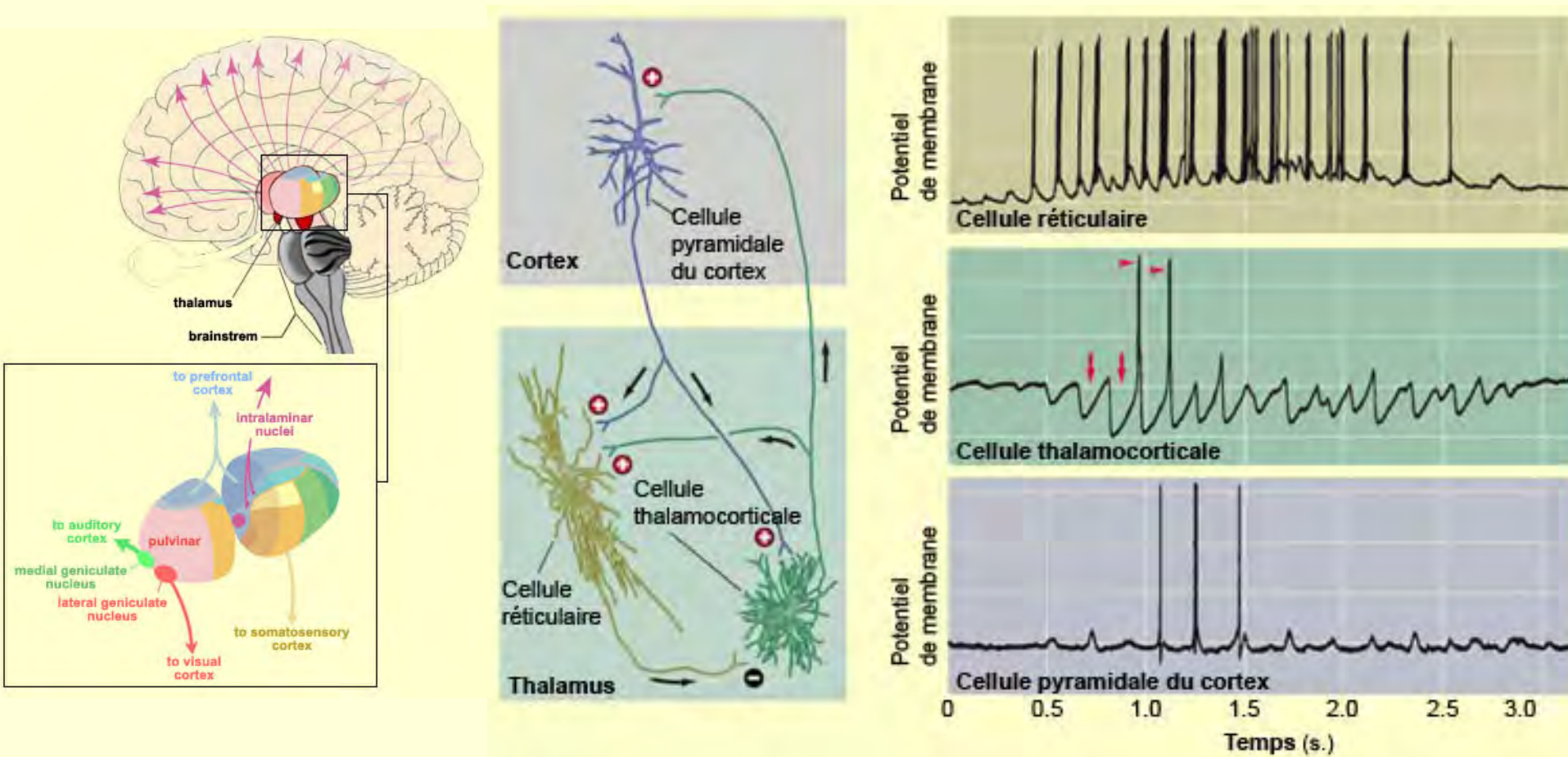




primary areas = darker colours
secondary areas = lighter colours



Il y a aussi des circuits neuronaux **entre** différentes structures cérébrales, comme le cortex et le thalamus.



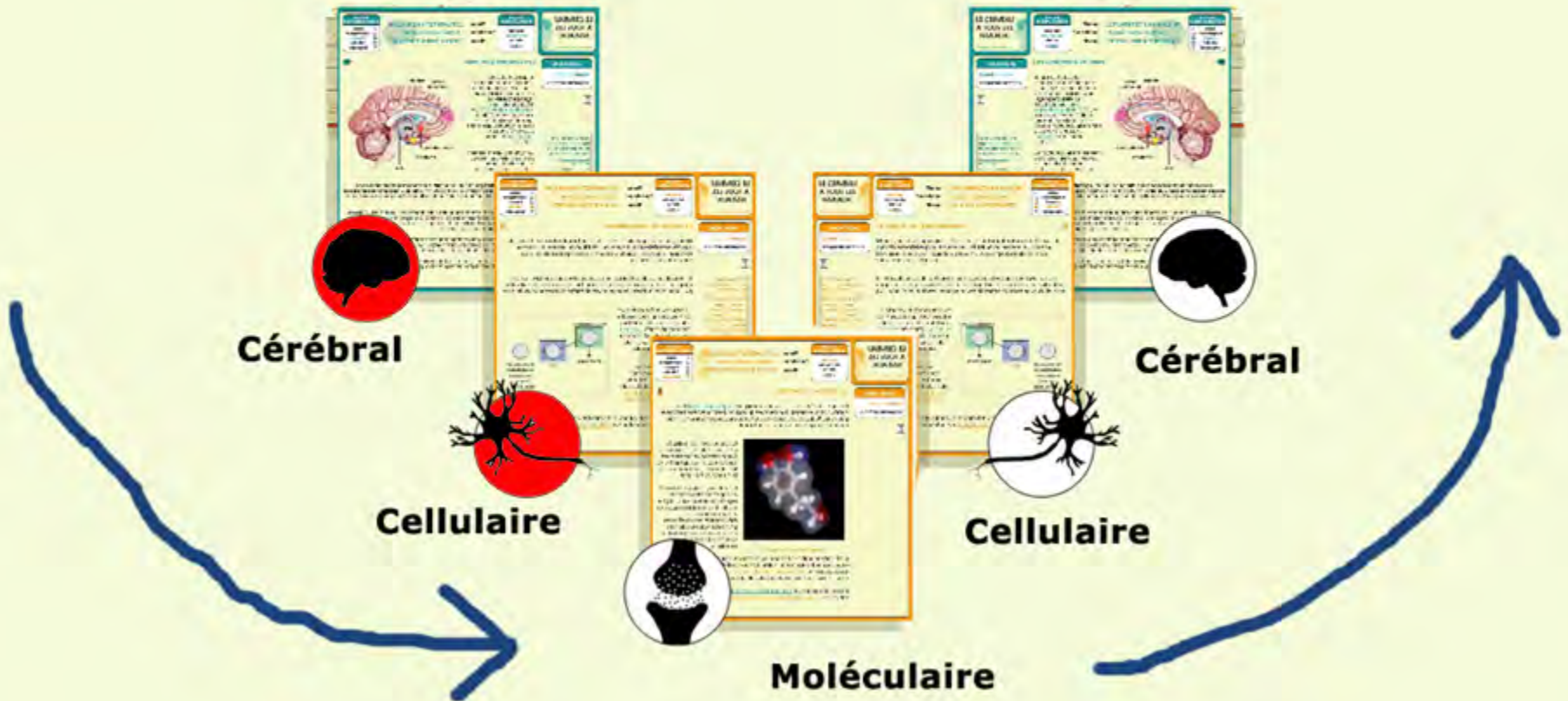
Grâce à leurs prolongements, les neurones créent des **réseaux très interconnectés** où l'activité d'un neurone peut influencer l'activité d'autres neurones éloignés.

Introduction :

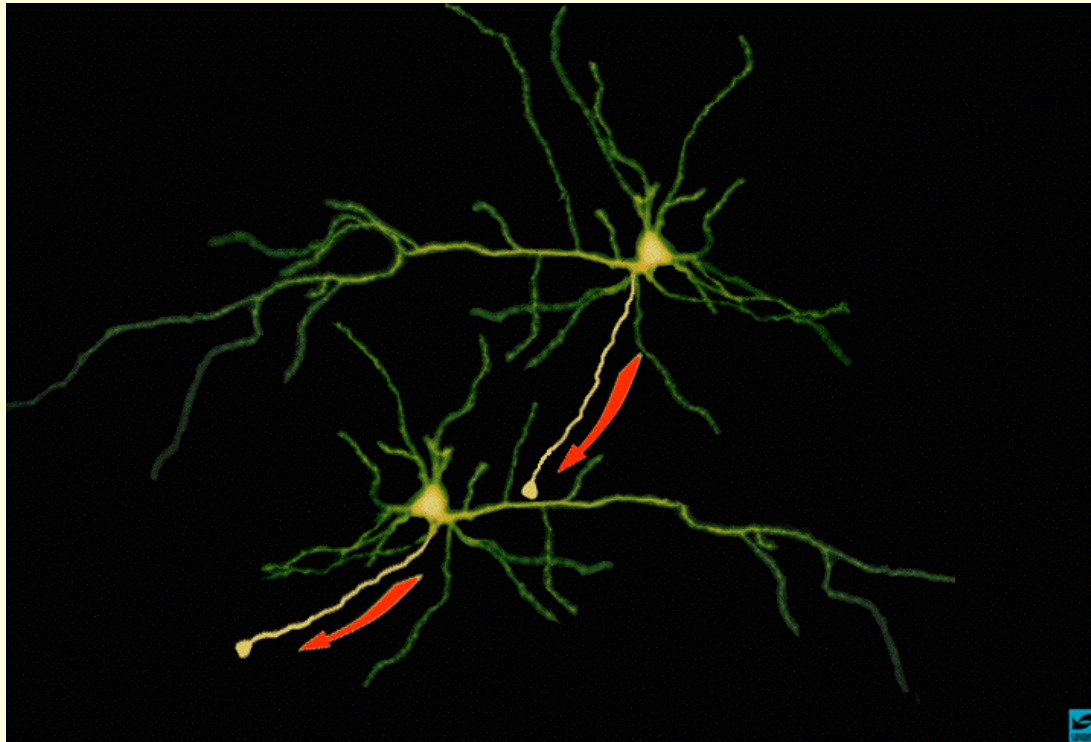
- Métaphores cérébrales
- Perspective évolutive

Conclusion :

- ma métaphore
cérébrale préférée



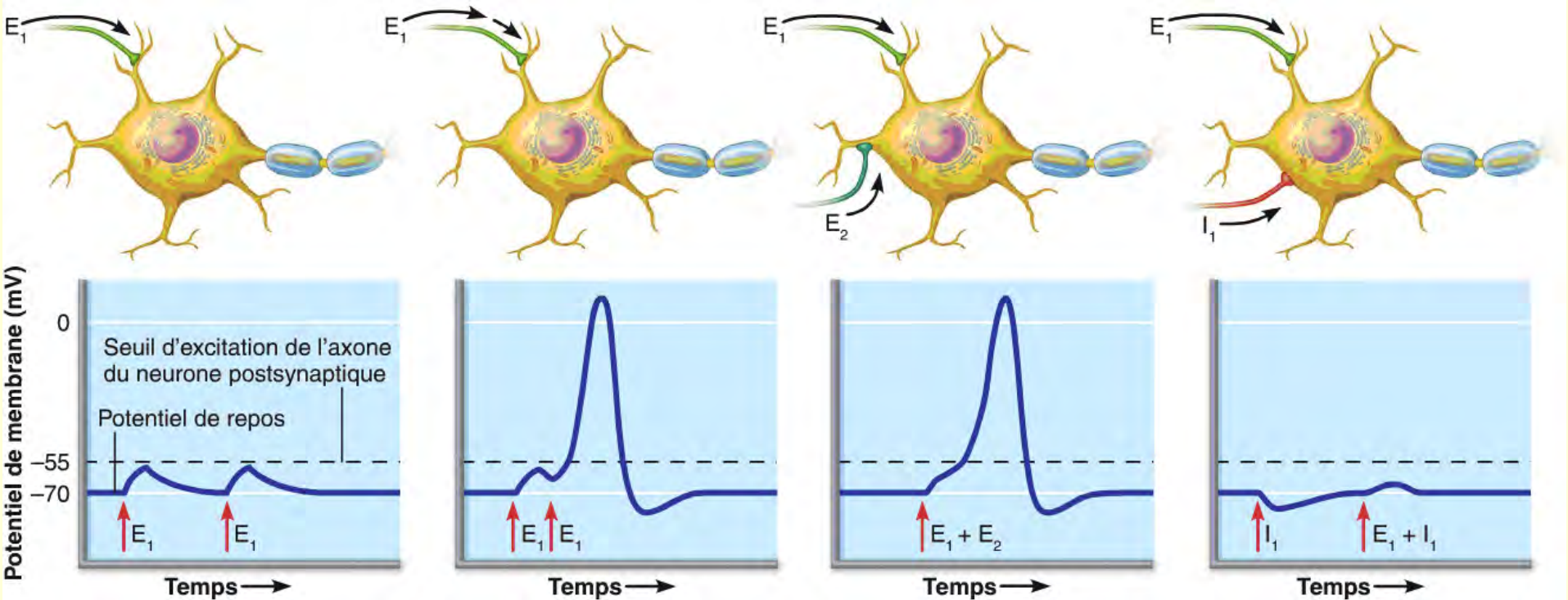
*« Le fait qu'une cellule vivante se soit adaptée en une structure capable de recevoir et **d'intégrer** des données, de **prendre des décisions** fondées sur ces données, et **d'envoyer des signaux** aux autres cellules en fonction du résultat de cette intégration est un exploit remarquable de l'évolution. »*



<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)

« 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. »



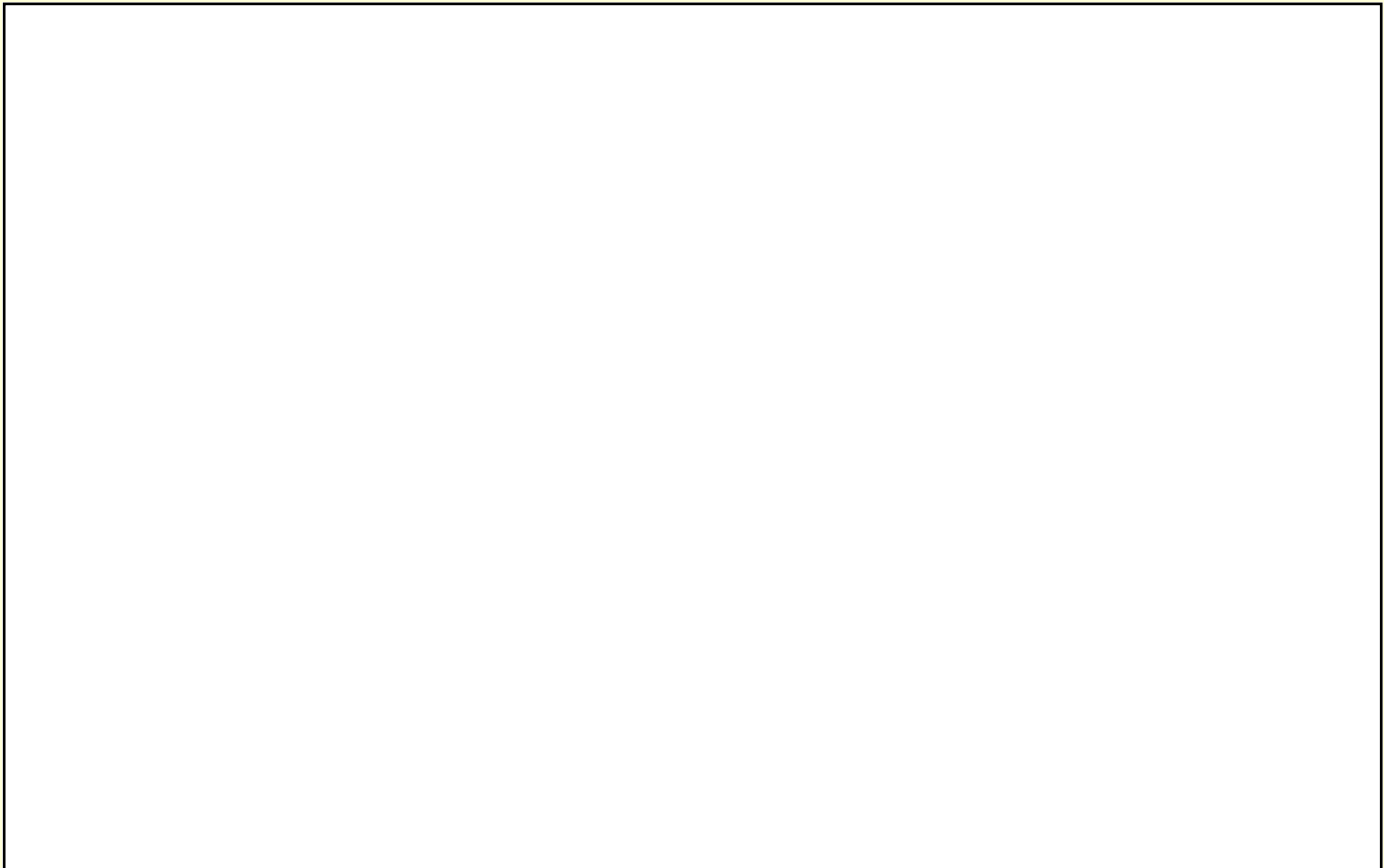
(a) **Pas de sommation ou stimulus infralaminaire:**
Pas de sommation des PPSE lorsque deux stimulus sont séparés dans le temps.

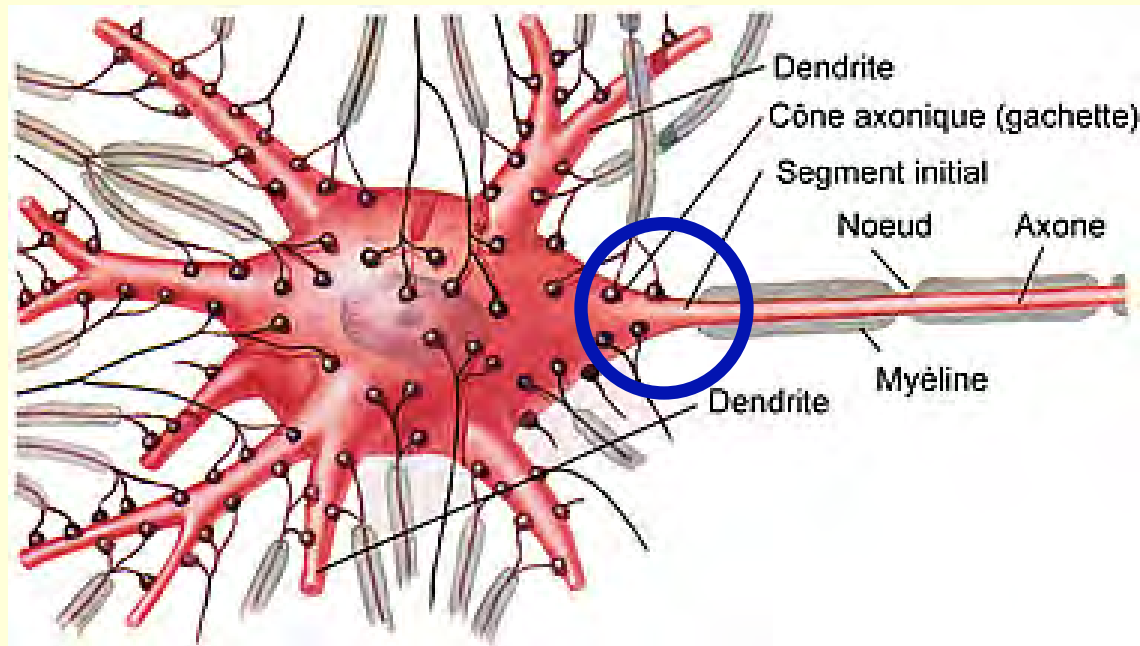
(b) **Sommation temporelle:**
Sommation des PPSE lorsque deux stimulus sont rapprochés dans le temps.

(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. »*

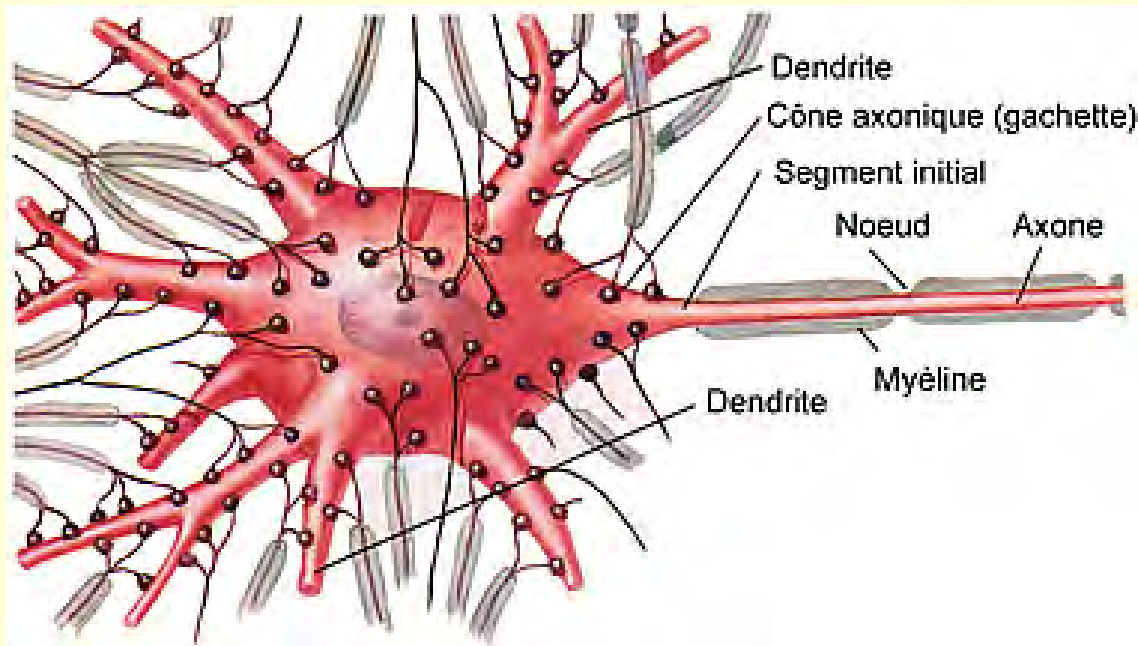




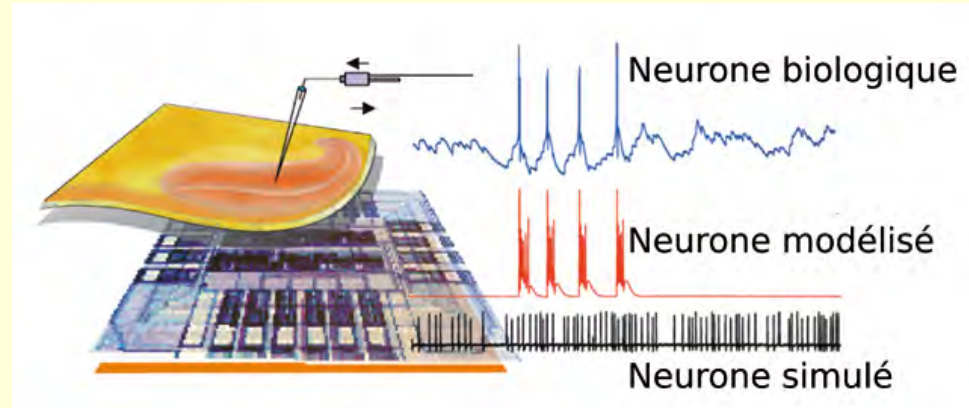
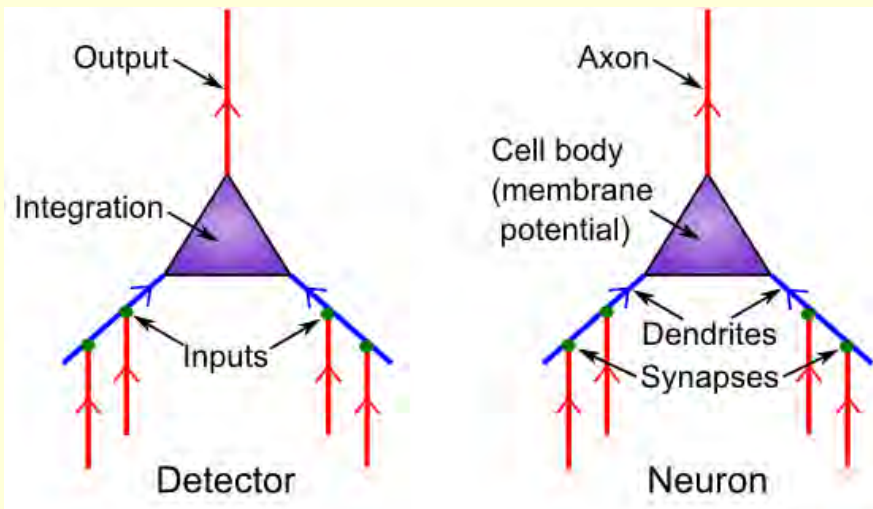
De petits potentiels excitateurs ou inhibiteurs sont donc **constamment générés** sur les dendrites et le corps cellulaire du neurone suite à la fixation des neurotransmetteurs sur leurs récepteurs.

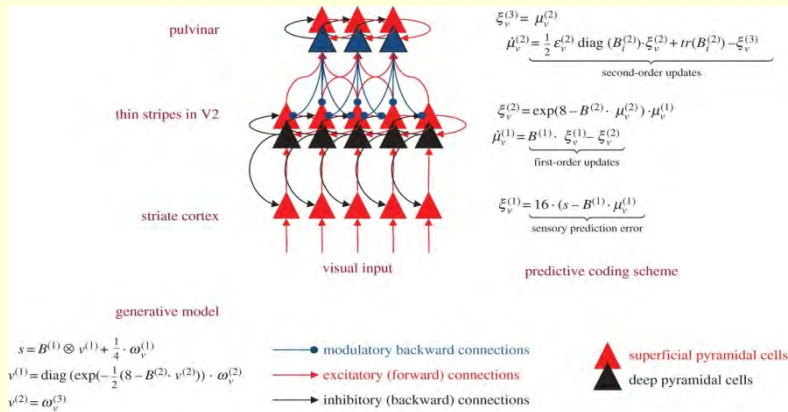
La diffusion passive de ces potentiels post-synaptique (leur intensité diminue avec le trajet) amène une **sommation de leurs effets excitateurs ou inhibiteurs**.

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.

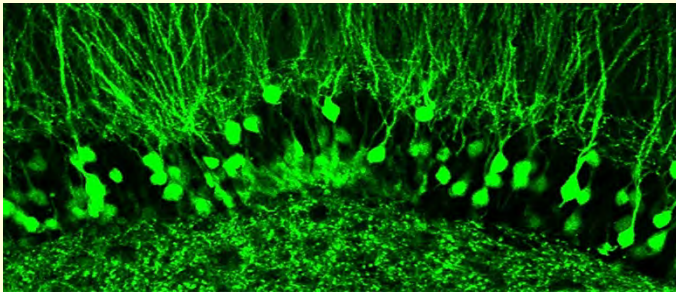


Les neurosciences computationnelles





- Niveau computationnel [modélisation mathématique]
- Niveau neuronal / cérébral [implémentation biologique]



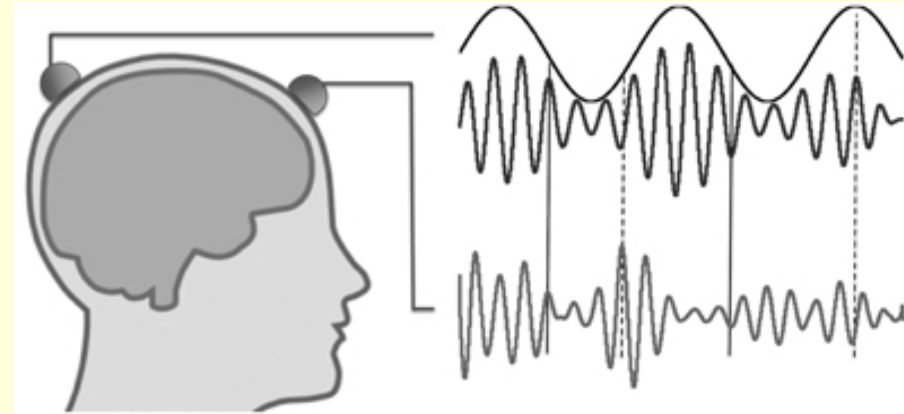
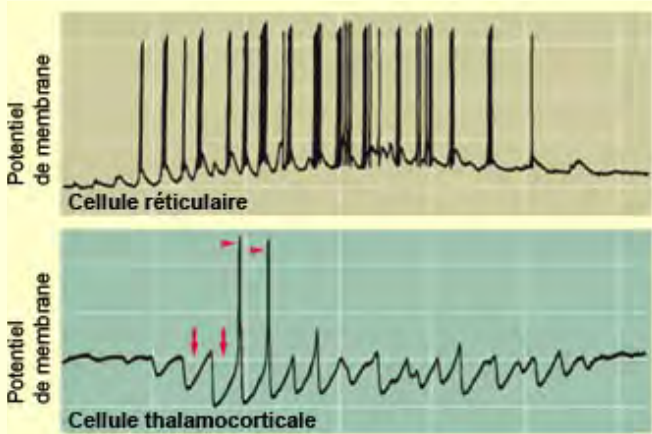
Les neurosciences computationnelles

computation :

coding

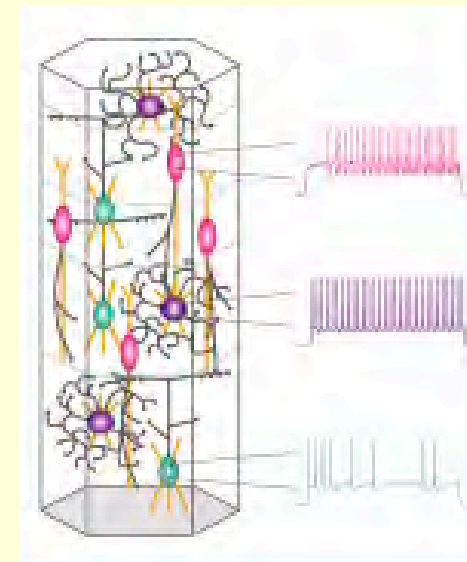
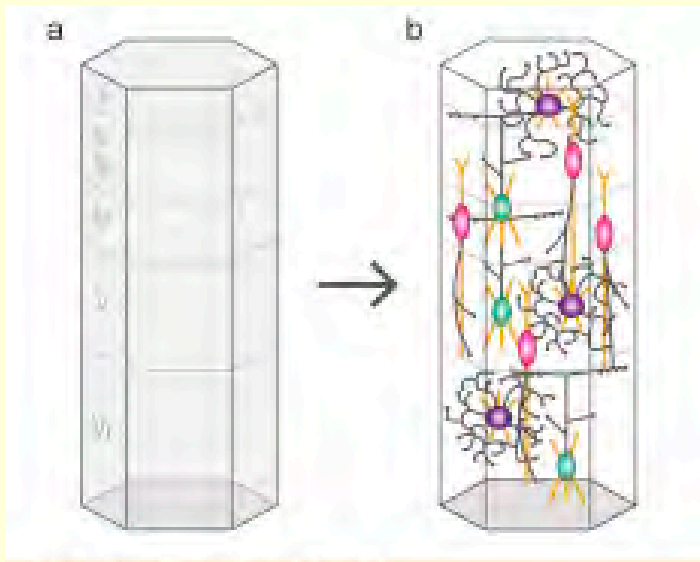
+

dynamics



L'approche dominante a toujours considéré que les neurones encodent l'information en terme de leur **taux de décharge**.

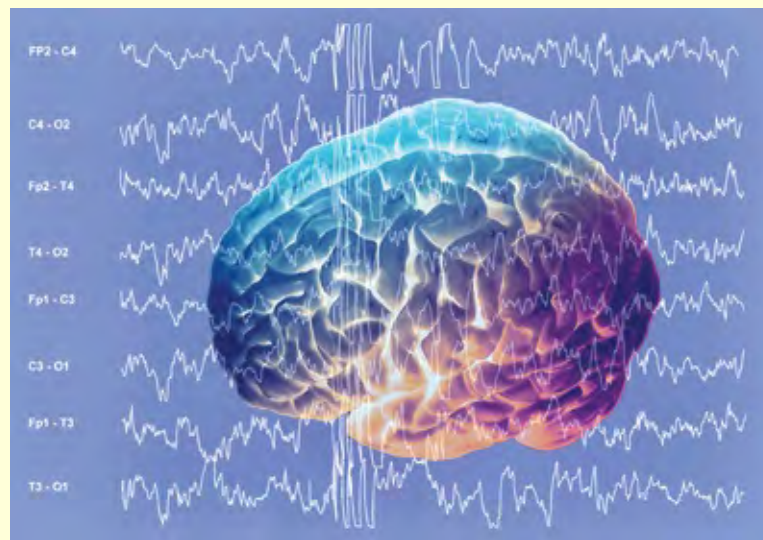
Mais beaucoup de données se sont accumulées et montrent qu'il y a une **“valeur ajoutée” dans la synchronisation temporelle précise des potentiels d'action**.

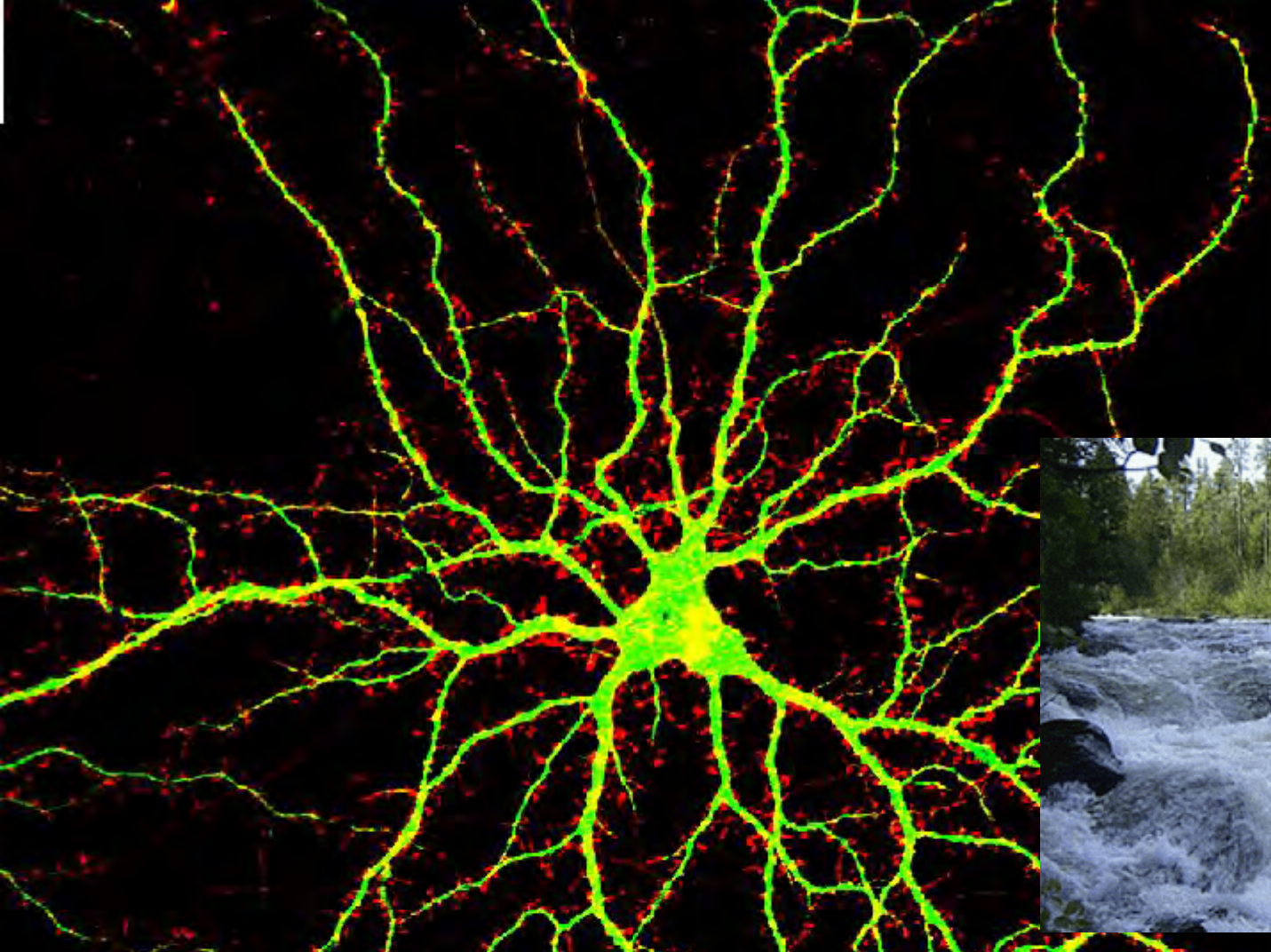


Donc après avoir placé un peu l'anatomie des circuits nerveux...

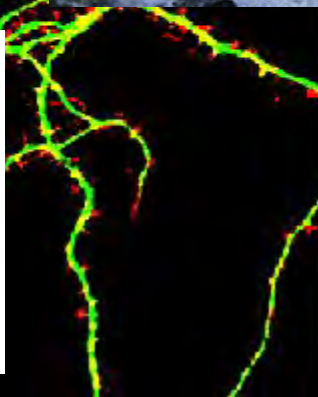
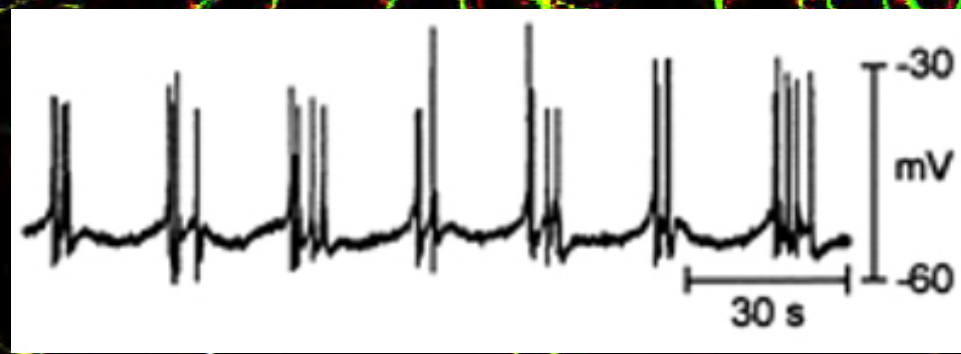
et avoir introduit l'activité électrique dans ces circuits...

on va maintenant observer l'apparition de **variations cycliques** dans cette **activité électrique** à différentes échelle, incluant à l'échelle du cerveau entier.





On a vu que chaque neurone est donc un intégrateur extrêmement dynamique.

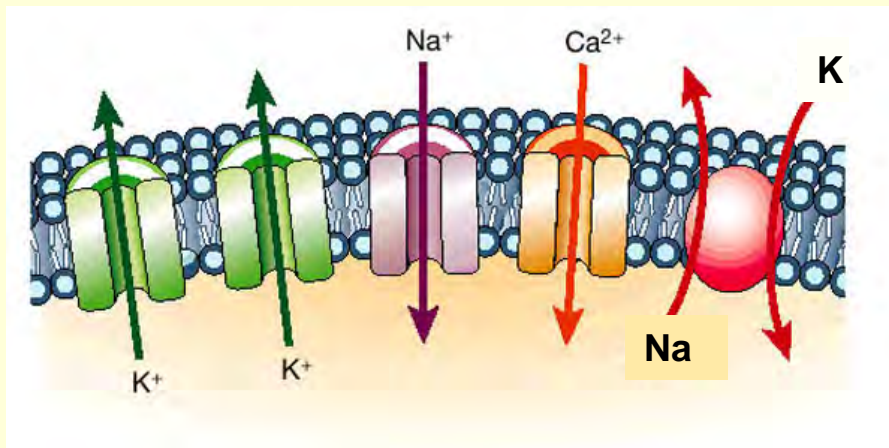


Plusieurs neurones montrent en plus une activité spontanée (cyclique) de base.

György Buzsáki : les phénomènes **fluctuants (ou cycliques)** comme les oscillations neuronales sont omniprésents dans la nature.

Il suffit que **deux forces s'opposent** pour que le calme plat soit rapidement **remplacé par un rythme**.

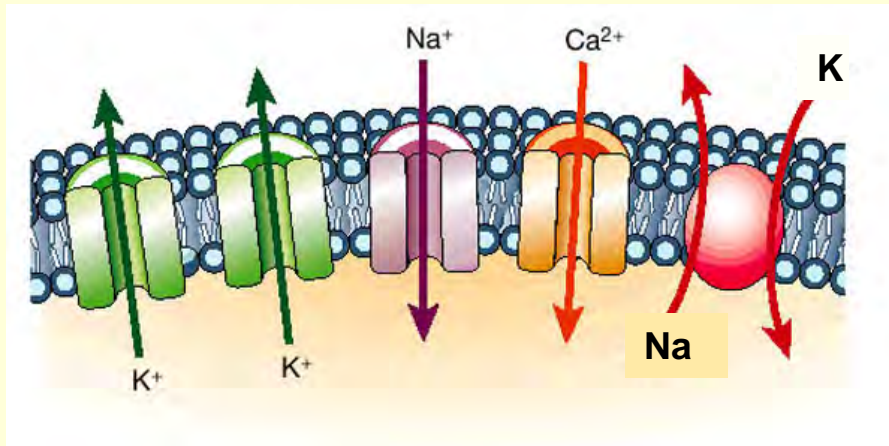
Et notre cerveau regorge de forces qui s'opposent, à commencer par les **canaux ioniques** qui **dépolarisent** ou **hyperpolarisent** les neurones.



György Buzsáki : les phénomènes **fluctuants (ou cycliques)** comme les oscillations neuronales sont omniprésents dans la nature.

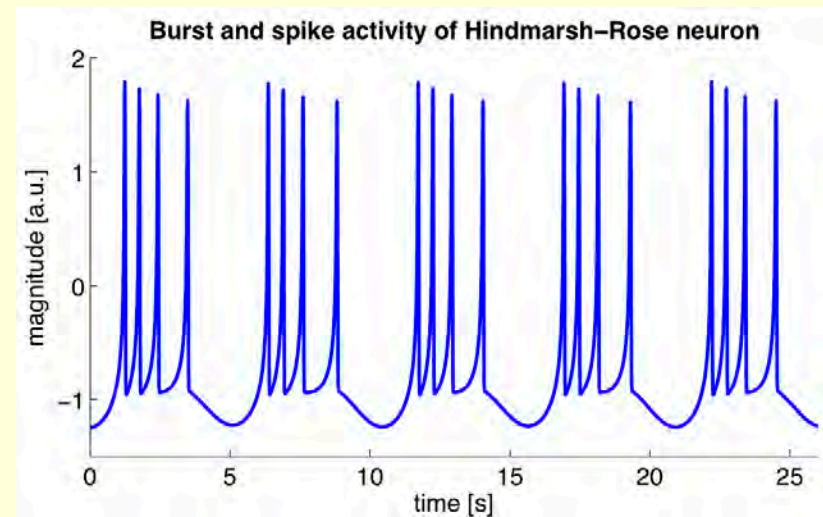
Il suffit que **deux forces s'opposent** pour que le calme plat soit rapidement **remplacé par un rythme**.

Et notre cerveau regorge de forces qui s'opposent, à commencer par les **canaux ioniques** qui **dépolarisent** ou **hyperpolarisent** les neurones.



Et c'est ce qui va permettre à de nombreux neurones d'avoir une **activité spontanée**

dont le rythme et la signature varie, mais qui peuvent faire des **bouffées rythmiques**, par exemple.



Donc première façon de générer des rythmes :

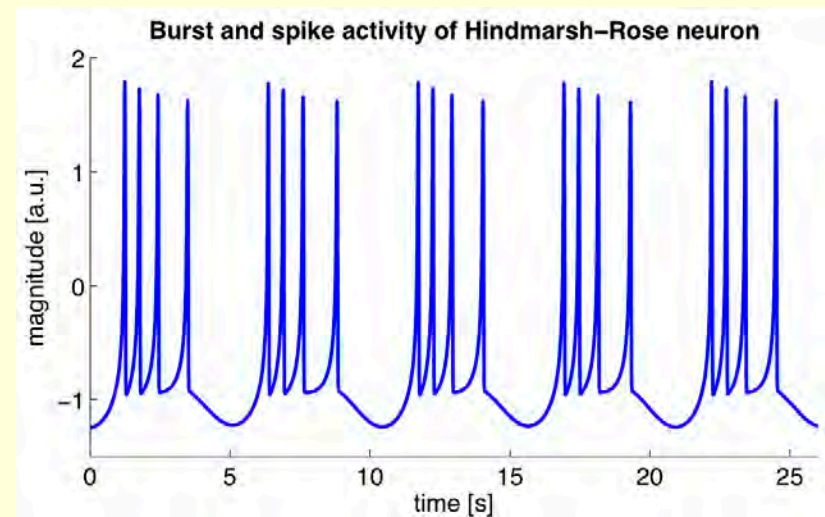
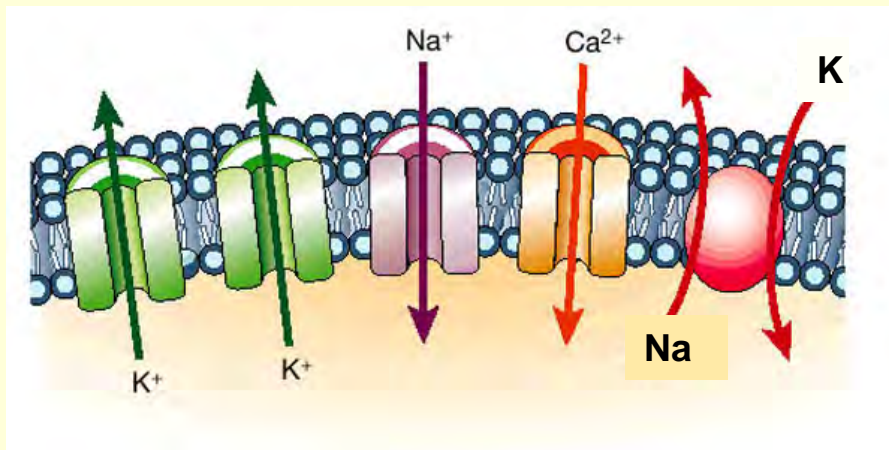
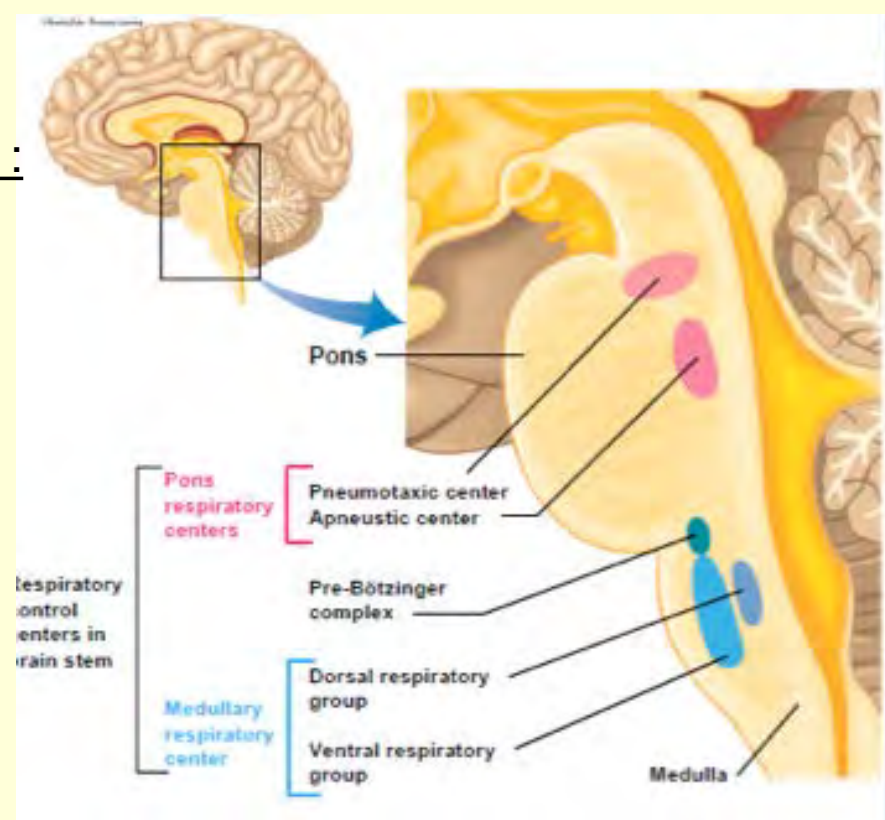
- par les propriétés intrinsèque de la membrane du neurone (« endogenous bursting cells »)

Thalamus : presque tous les neurones

Cortex : non

Cortex enthorinal

(près de l'hippocampe) : certains neurones

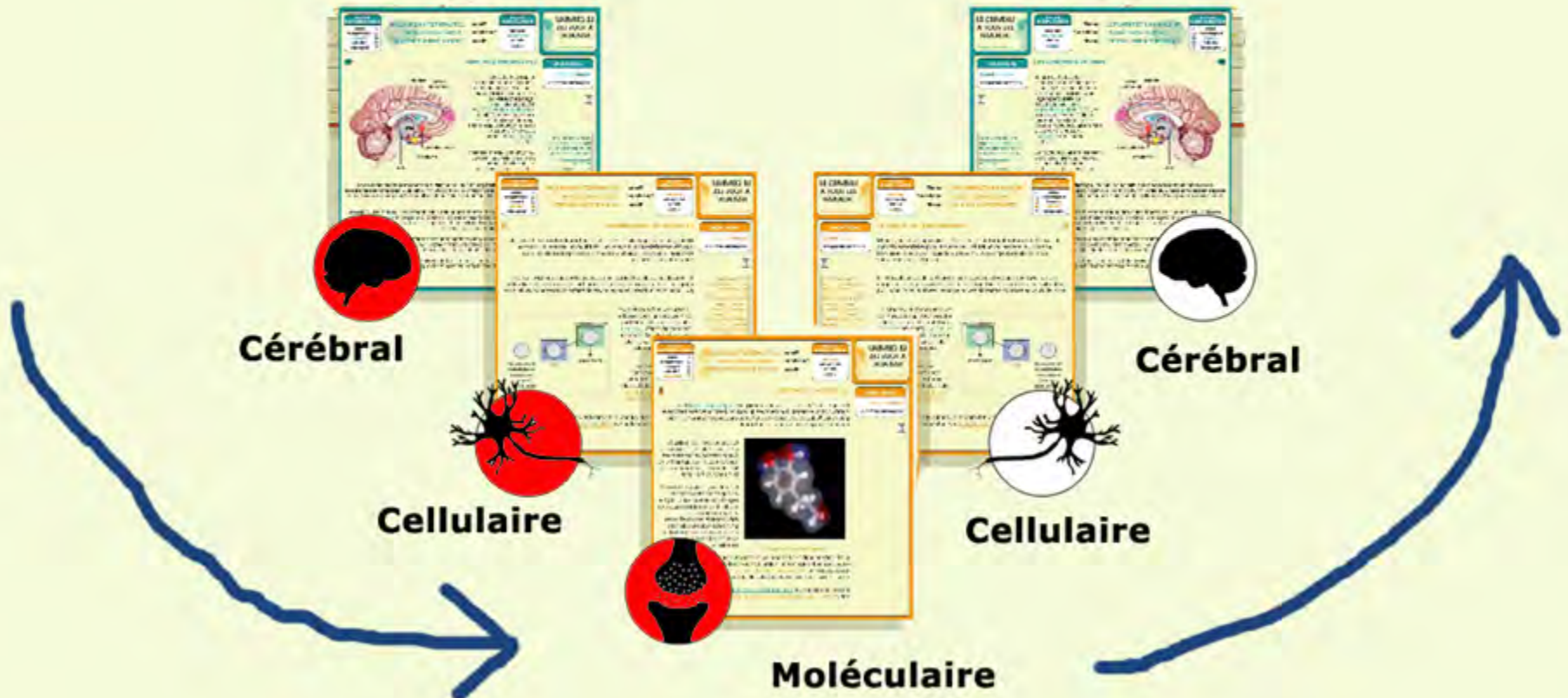


Introduction :

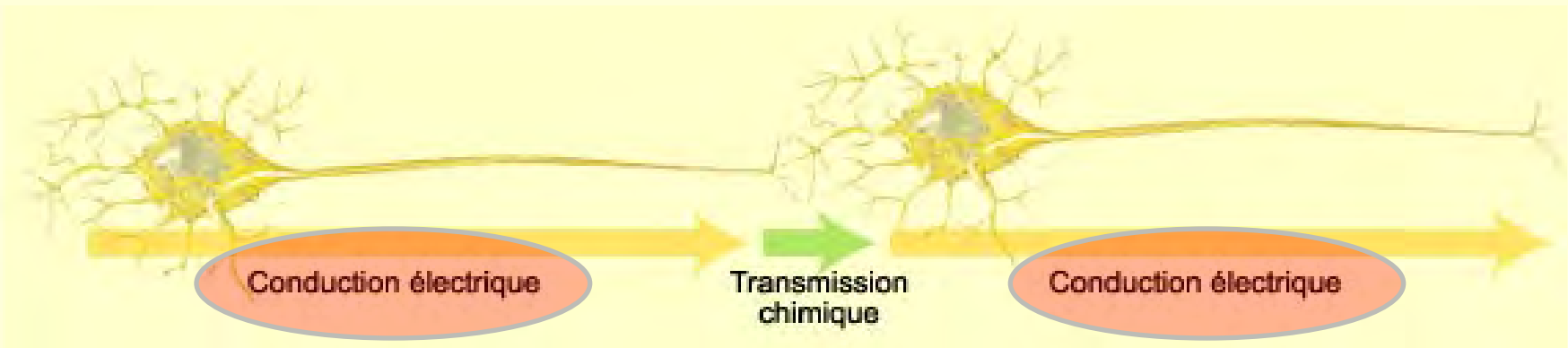
- Métaphores cérébrales
- Perspective évolutive

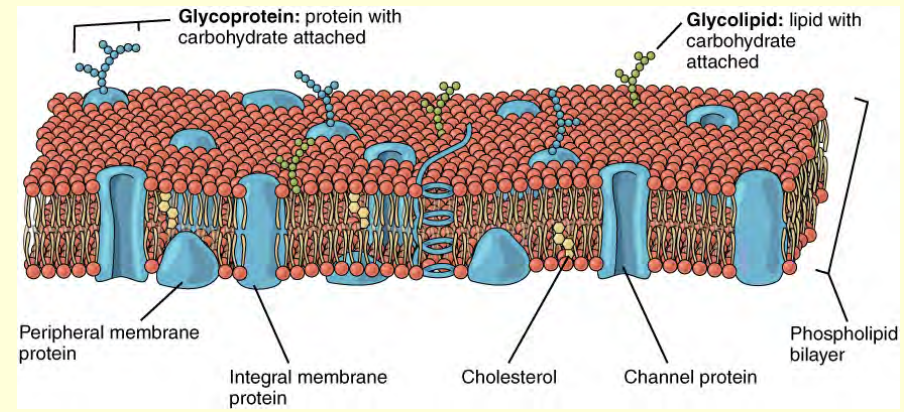
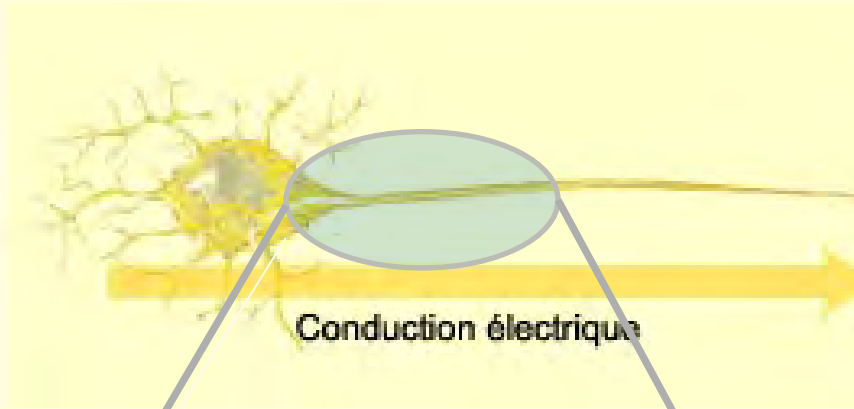
Conclusion :

- ma métaphore
cérébrale préférée



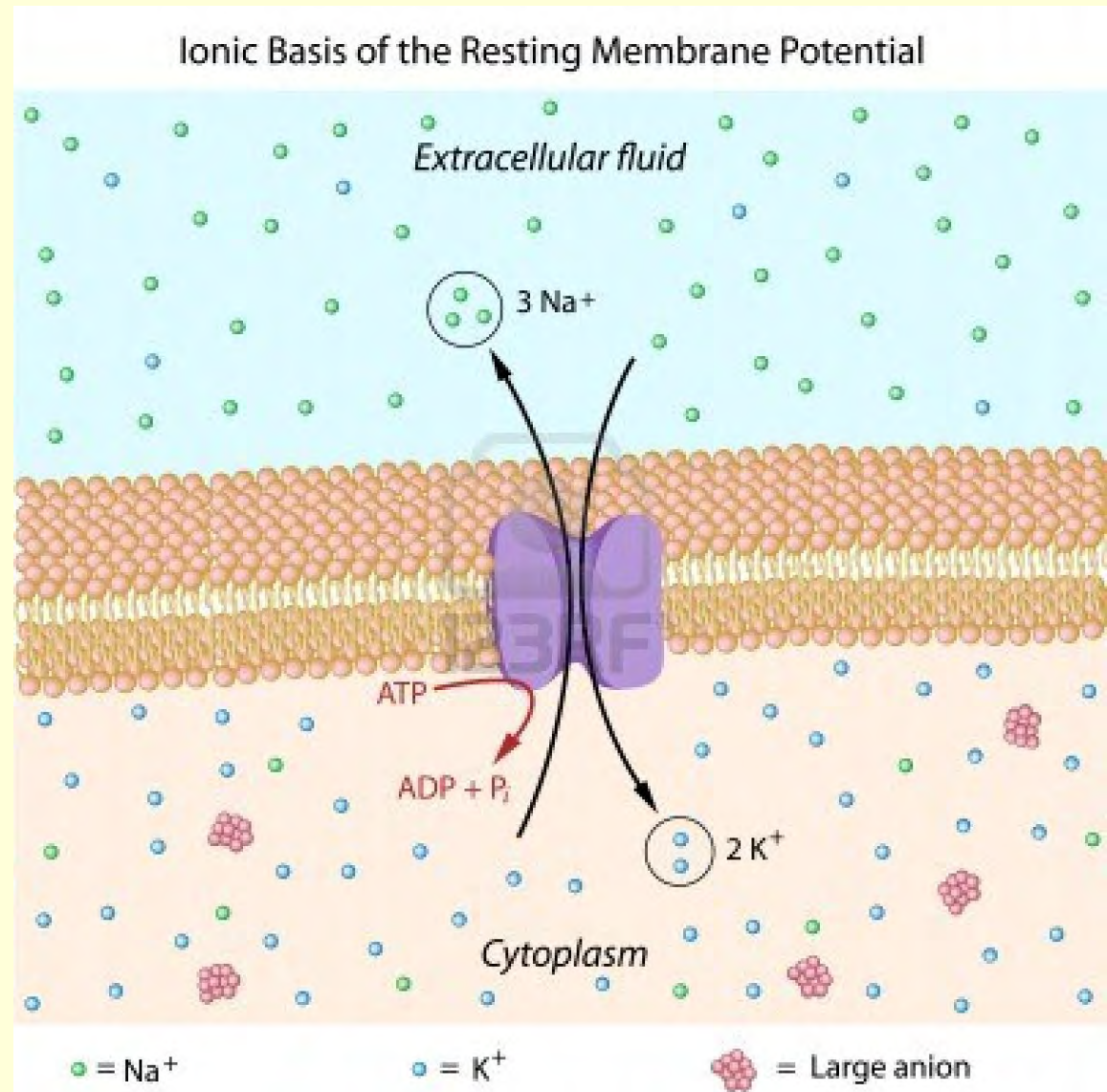
Les neurones ont des dendrites et des axones pour communiquer **rapidement** avec d'autres neurones



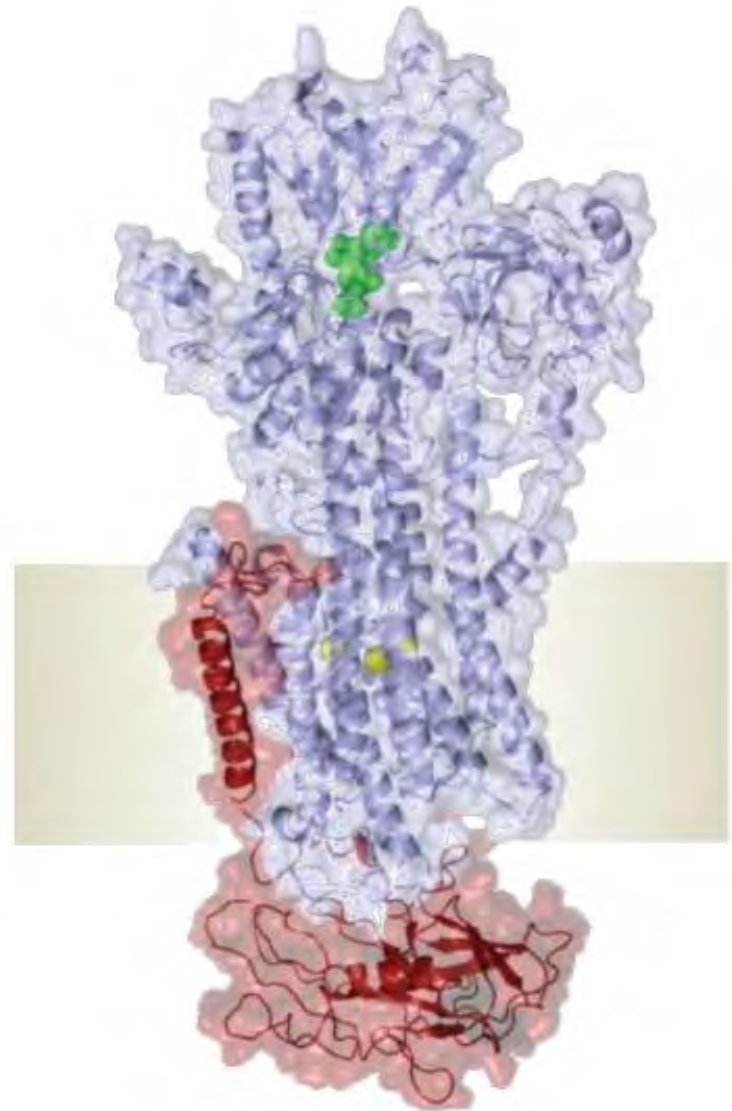




Un bref aperçu de la **pompe au sodium/potassium** :
l'une des nombreuses protéines qui rend possible l'influx nerveux



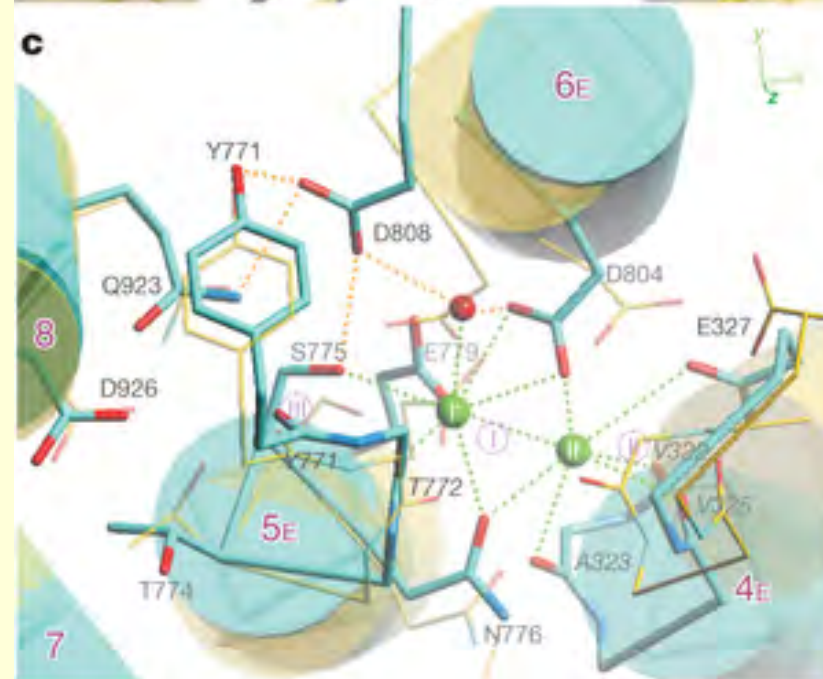
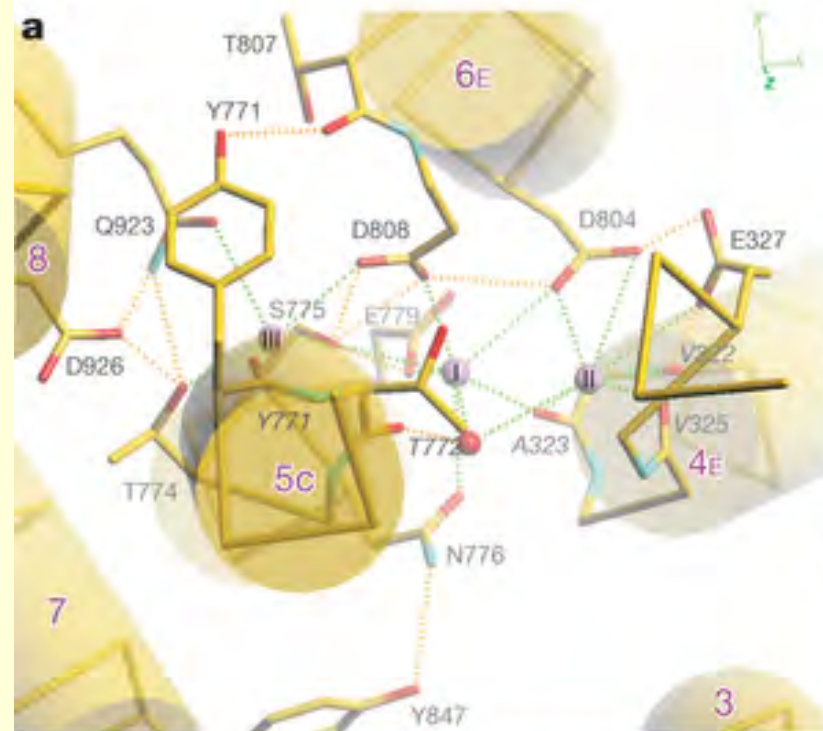
C'est seulement en **2009**,
que sa structure globale
a pu être observée.



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.**

Dans un articles publié dans ***Nature*** en octobre **2013** Kanai *et al.* ont pu démontrer que la clé réside dans le fait que

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



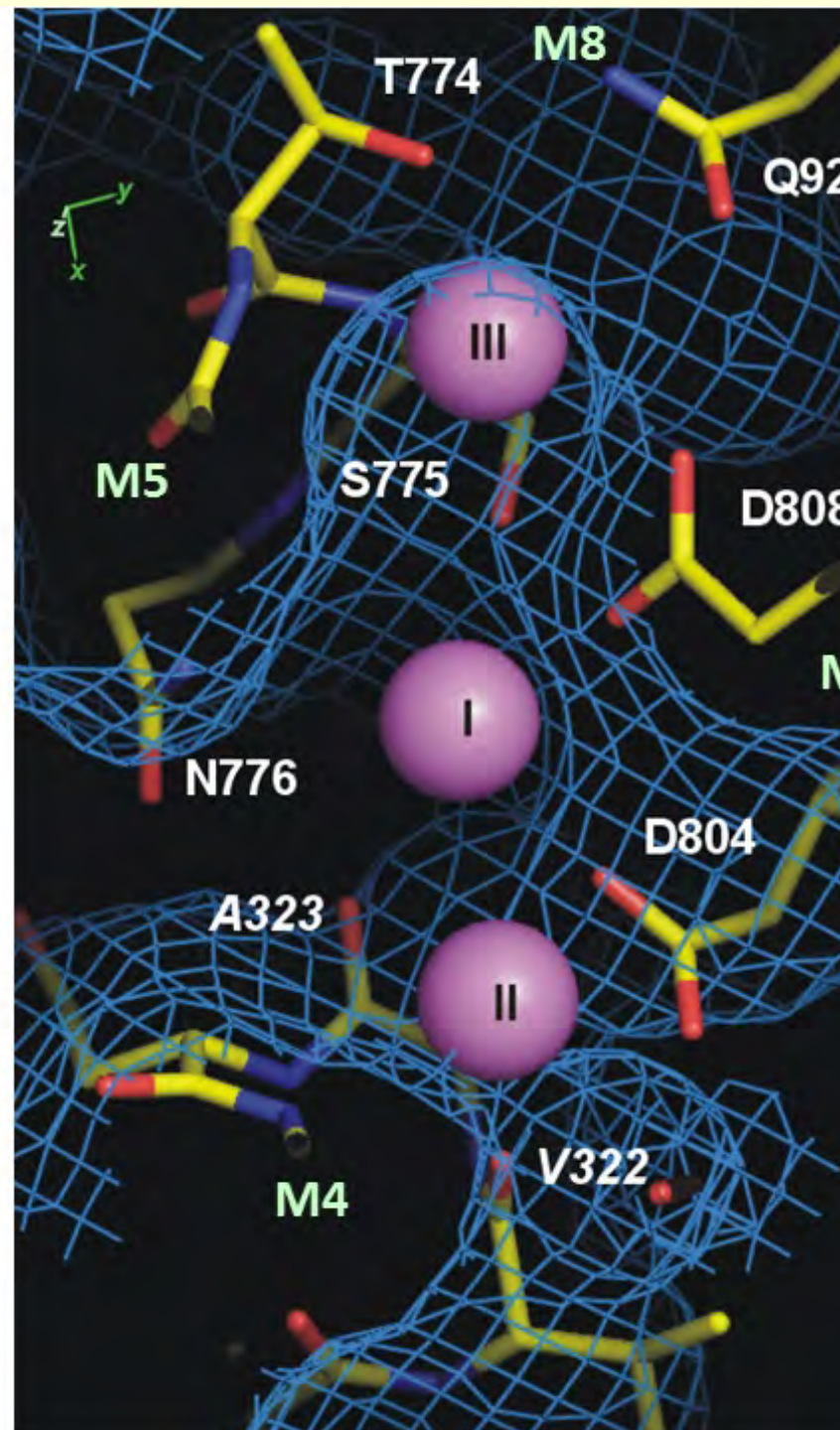
Par exemple, dans la première conformation, elle possède une cavité comportant **trois logements** qui ont exactement la taille d'ions sodium.

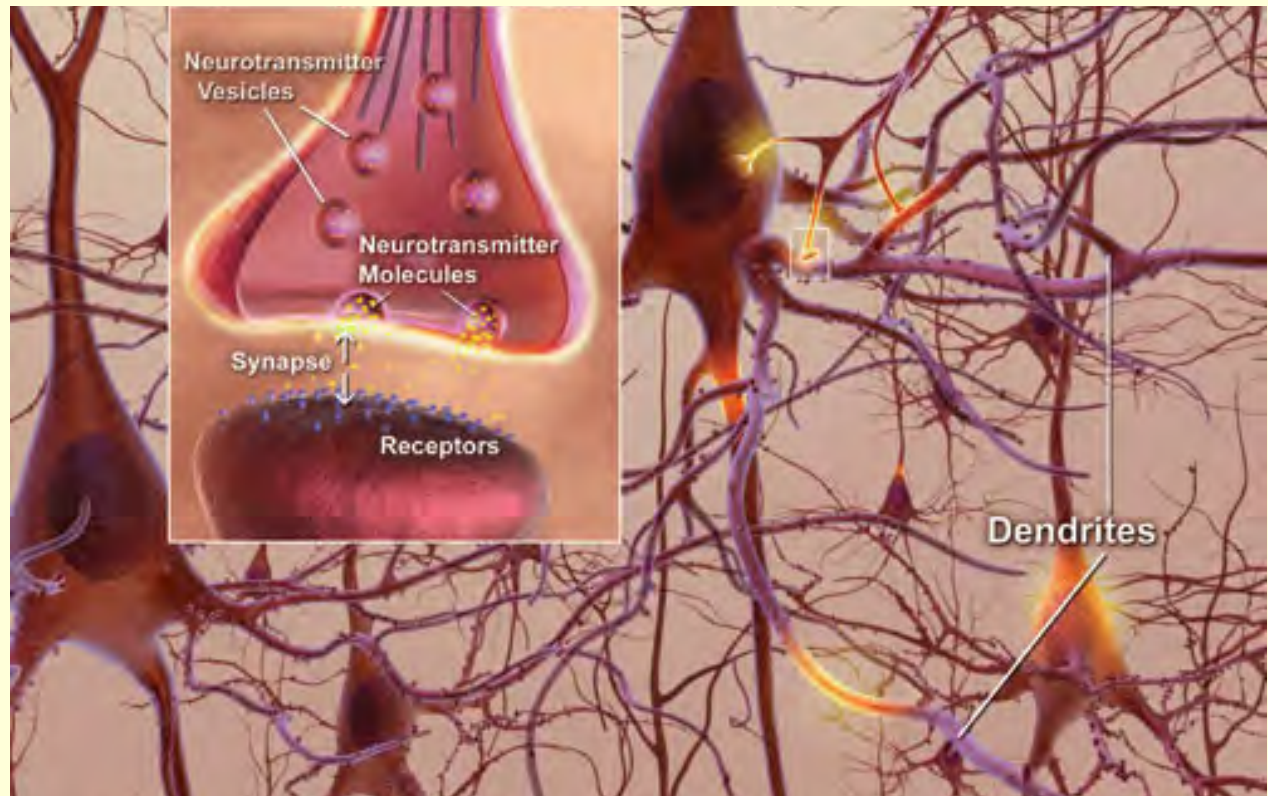
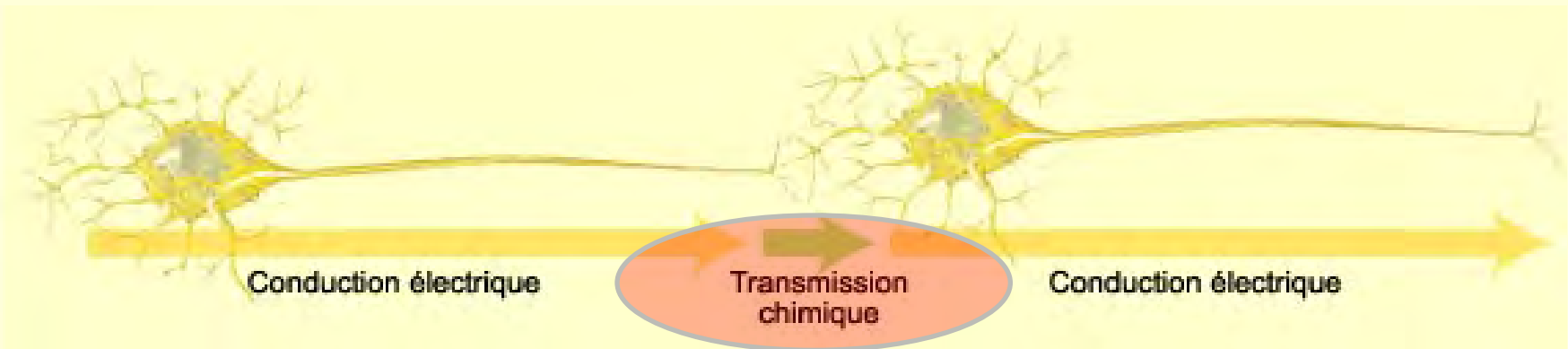
Mais ces logements sont **trop petits** pour accepter des ions potassium.

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...





Presynaptic cell

Postsynaptic cell

action potential



Synaptic vesicles containing neurotransmitter

Presynaptic membrane

Voltage-gated Ca^{2+} channel

1 Ca^{2+}

Synaptic cleft

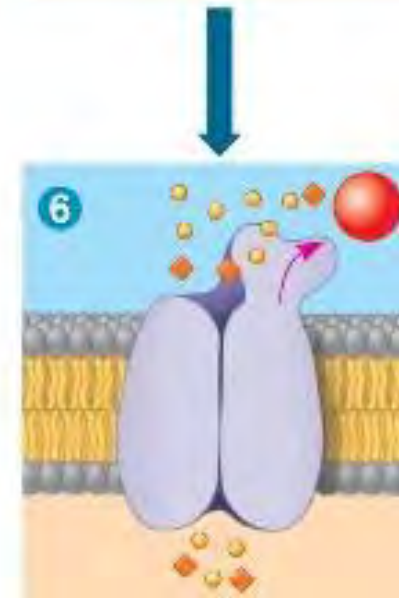
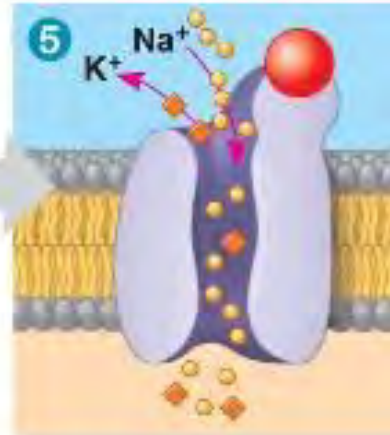
2

3

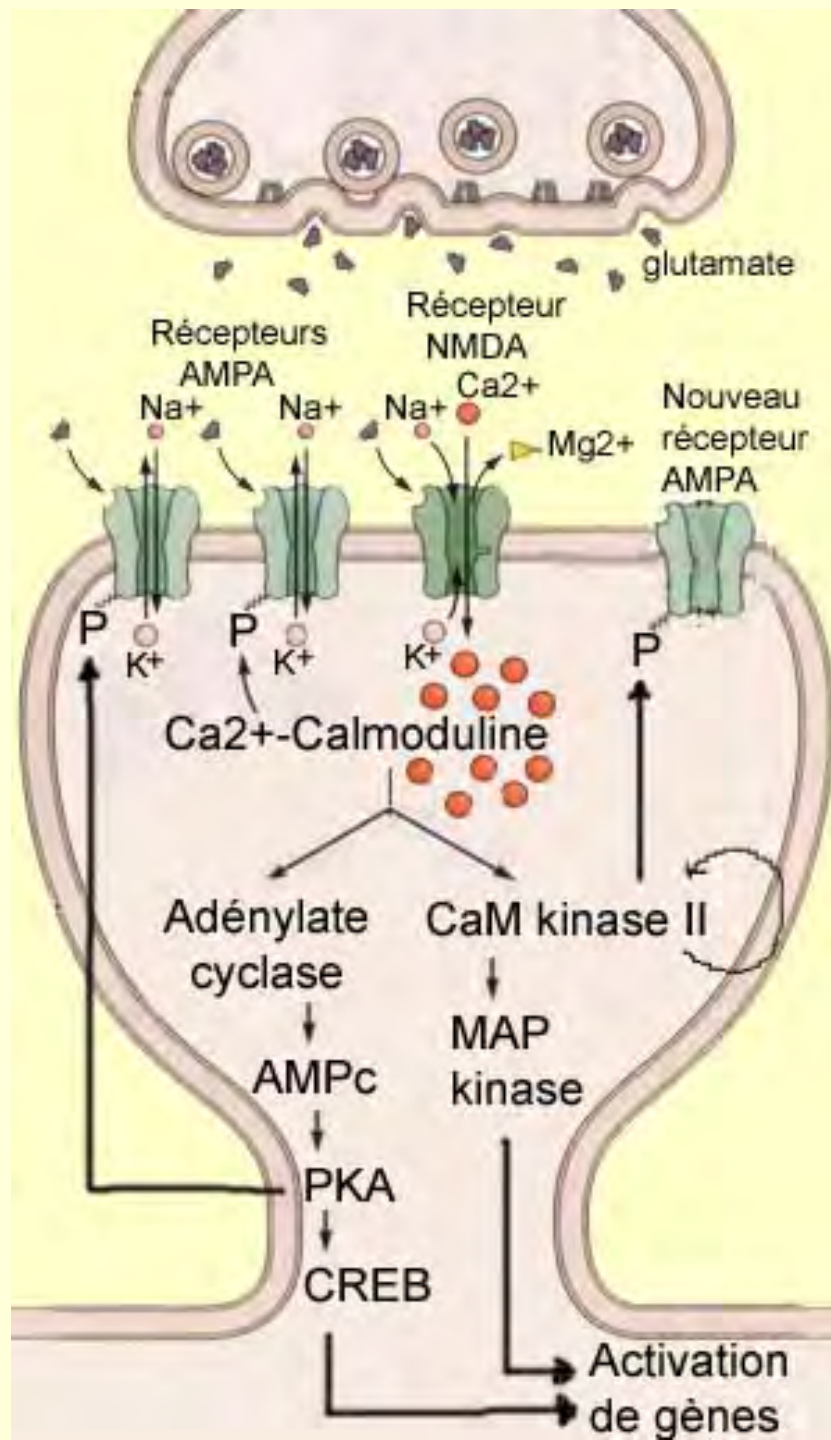
4

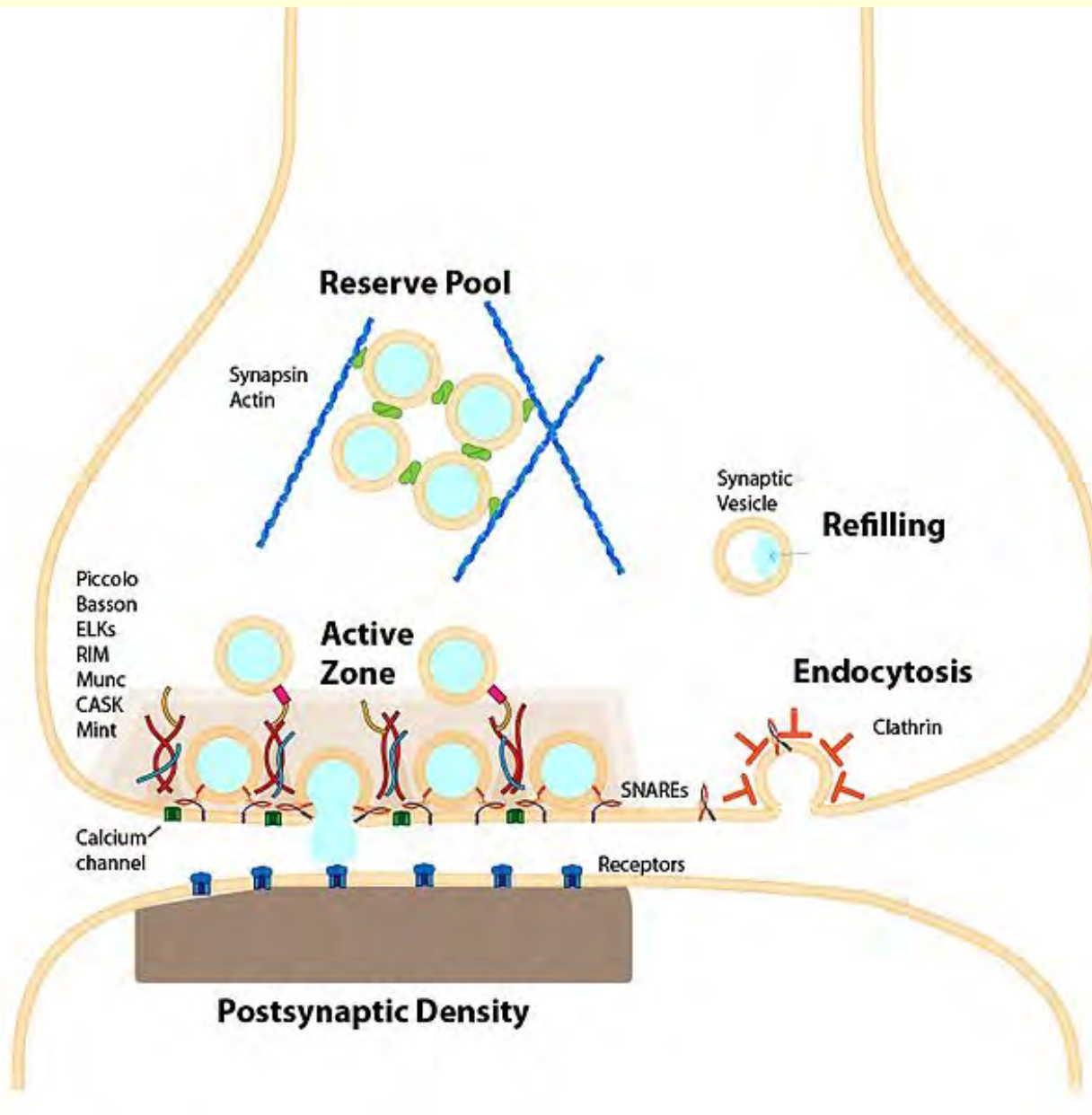
Ligand-gated ion channels

Postsynaptic membrane





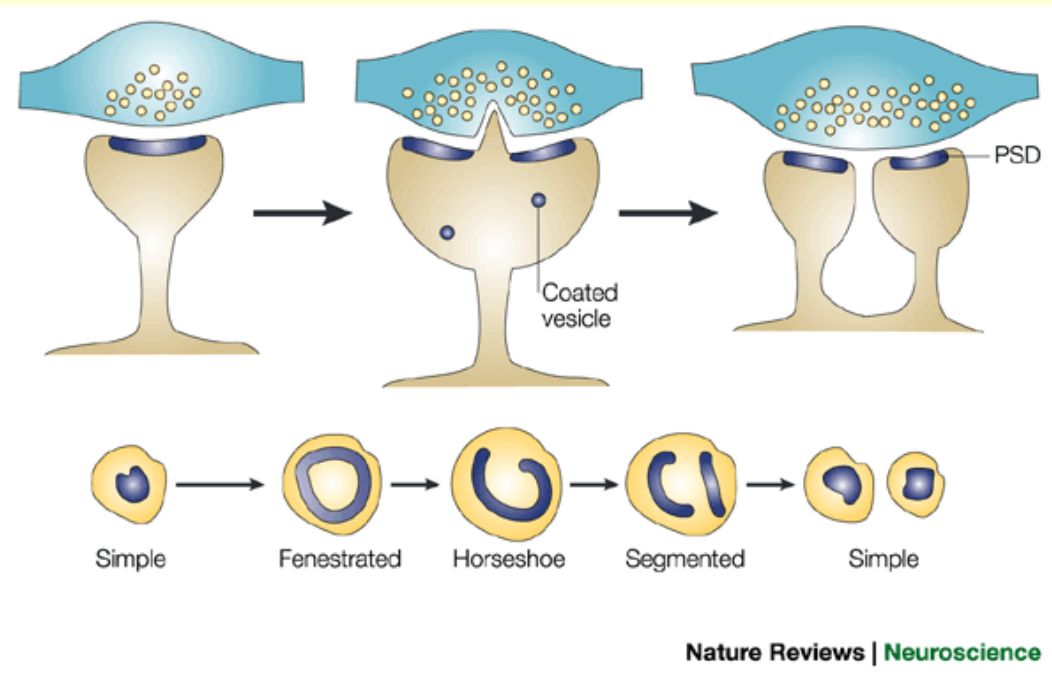




Chez une synapse ayant subie une potentialisation à long terme, la **densité post-synaptique** va, après quelques heures, s'élargir suite à l'accumulation de nouvelles protéines dans cette zone.

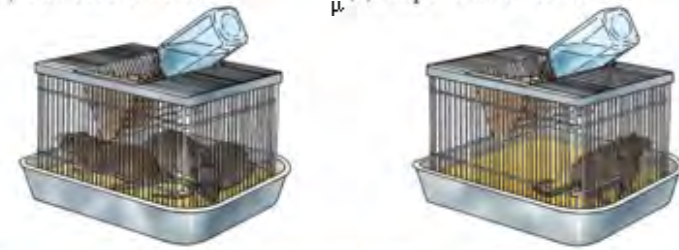
La **zone active de sécrétion** va aussi croître, stimulée de manière rétrograde, i.e. du neurone post-synaptique au neurone pré-synaptique.

Les voies nerveuses qui servent souvent vont même pouvoir **modifier la microstructure complexe des épines dendritiques** pour que le contact synaptique entre deux neurones devienne plus intime.



a) Standard condition

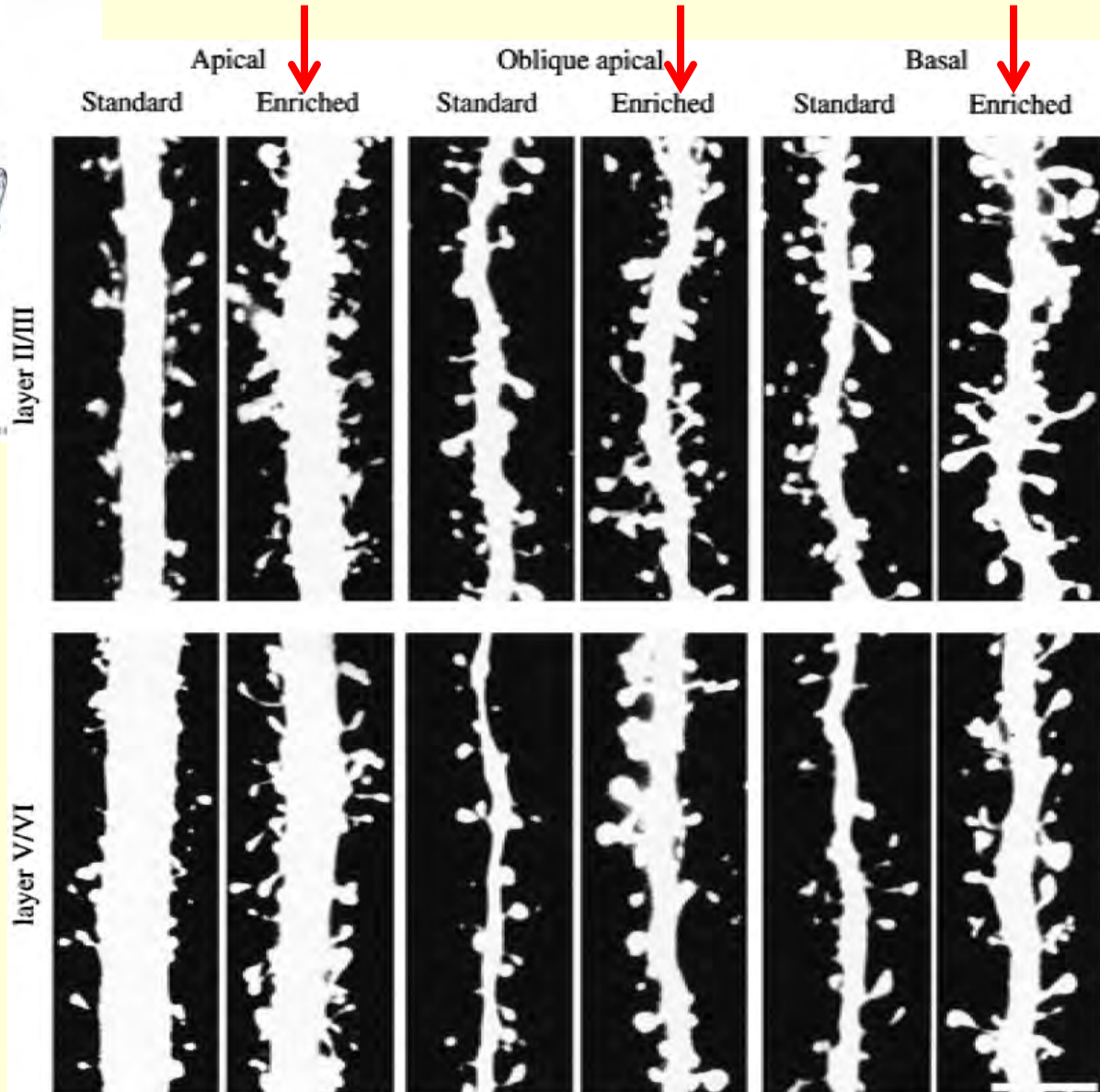
b) Impoverished condition



(c) Enriched condition

Psychology 6e, Figure 17.17

Les neurones pyramidaux du groupe venant de l'environnement enrichi ont davantage d'épines dendritiques que ceux des rats du groupe standard à la fois dans les couches II/III et V/VI.



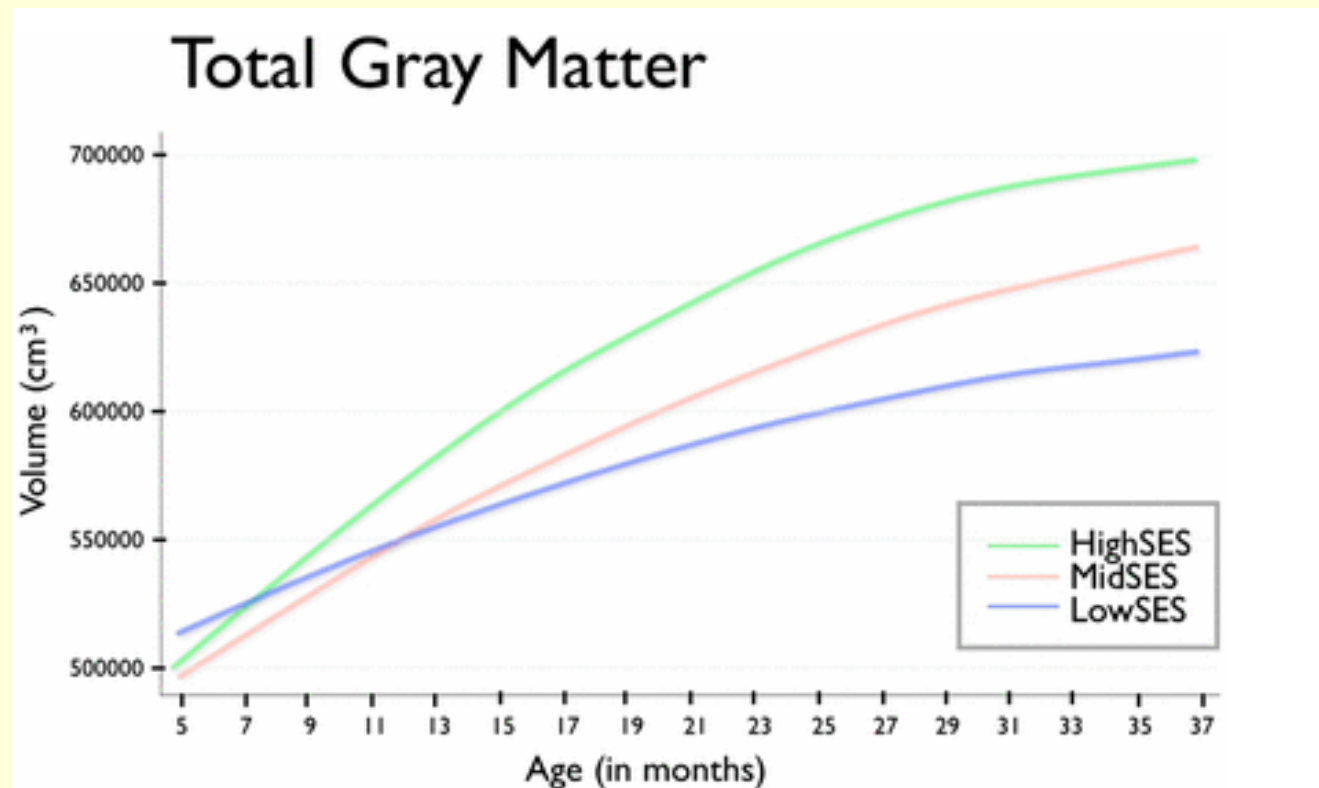
Épines dendritique de neurones du cortex somatosensoriel de rats adultes ayant grandi dans des cages **standard** ou dans un environnement **enrichi** durant 3 semaines.

Wednesday, **February 03, 2016**

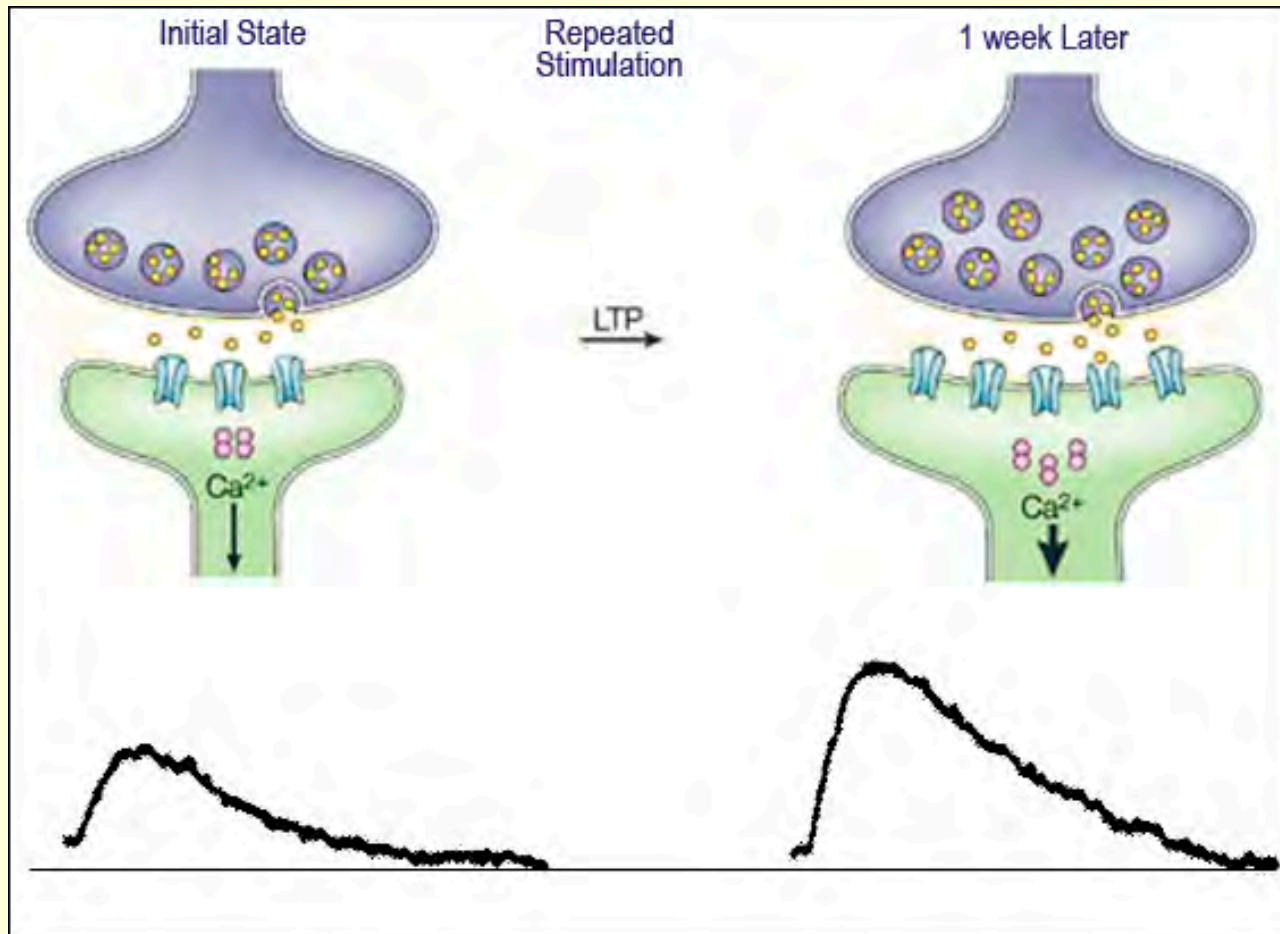
The neuroscience of poverty.

http://mindblog.dericbownds.net/2016/02/the-neuroscience-of-poverty.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29

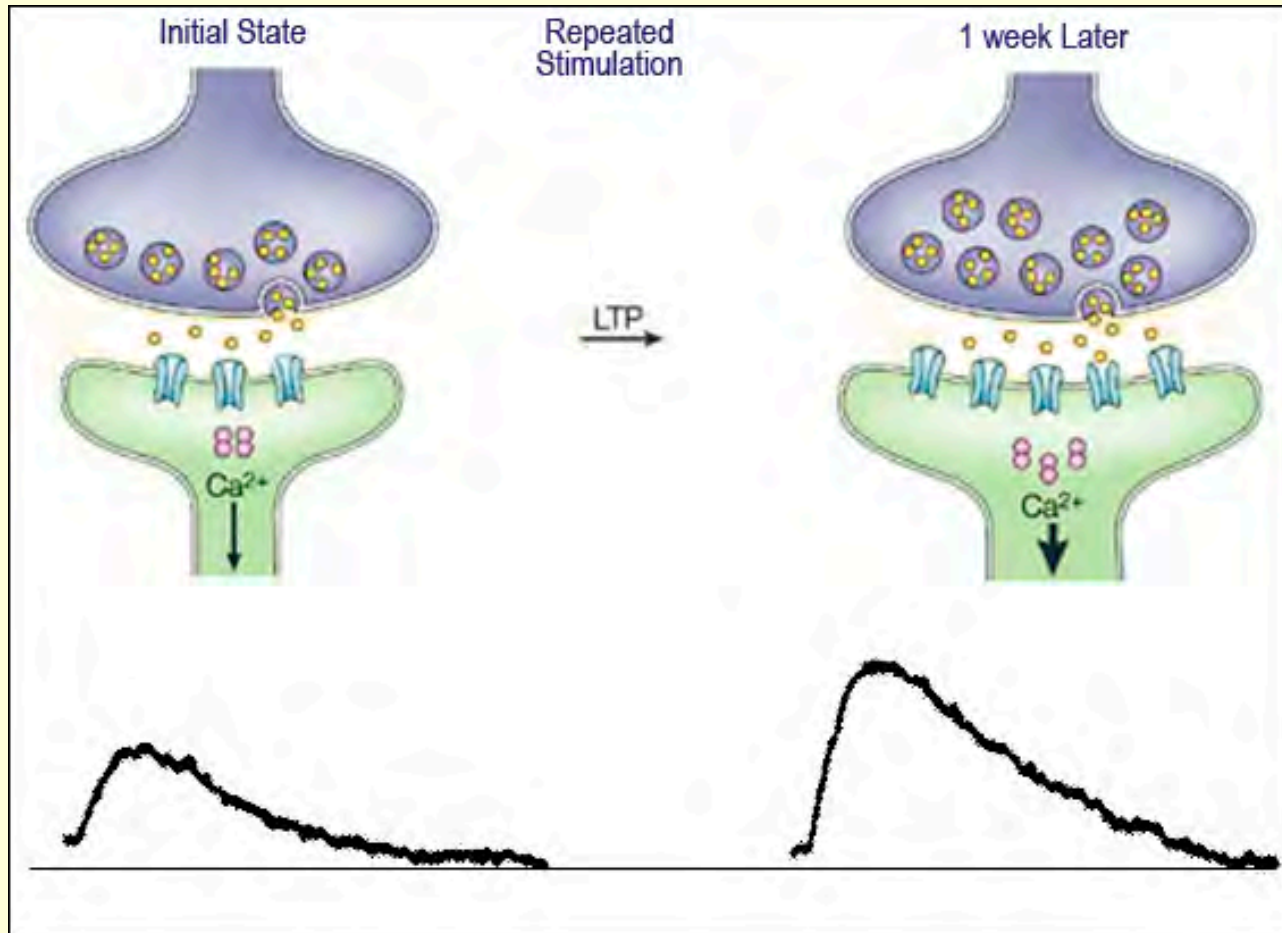
This open source [review article by Alla Katsnelson is sobering](#), and worth a read. The major foci in the brain that appear to show disparities in poor children are the hippocampus and frontal lobe. I pass on this graphic illustrating the decline in total brain gray matter (nerve cell) volume in young children of middle and low socioeconomic status individuals.



On a donc des mécanismes de plasticité synaptique comme la **potentialisation à long terme (PLT)** découverts dans les années 1970 qui rendent possibles les phénomènes d'apprentissage et de mémoire.



On a donc des mécanismes de plasticité synaptique comme la **potentialisation à long terme (PLT)** découverts dans les années 1970 qui rendent possibles les phénomènes d'apprentissage et de mémoire.



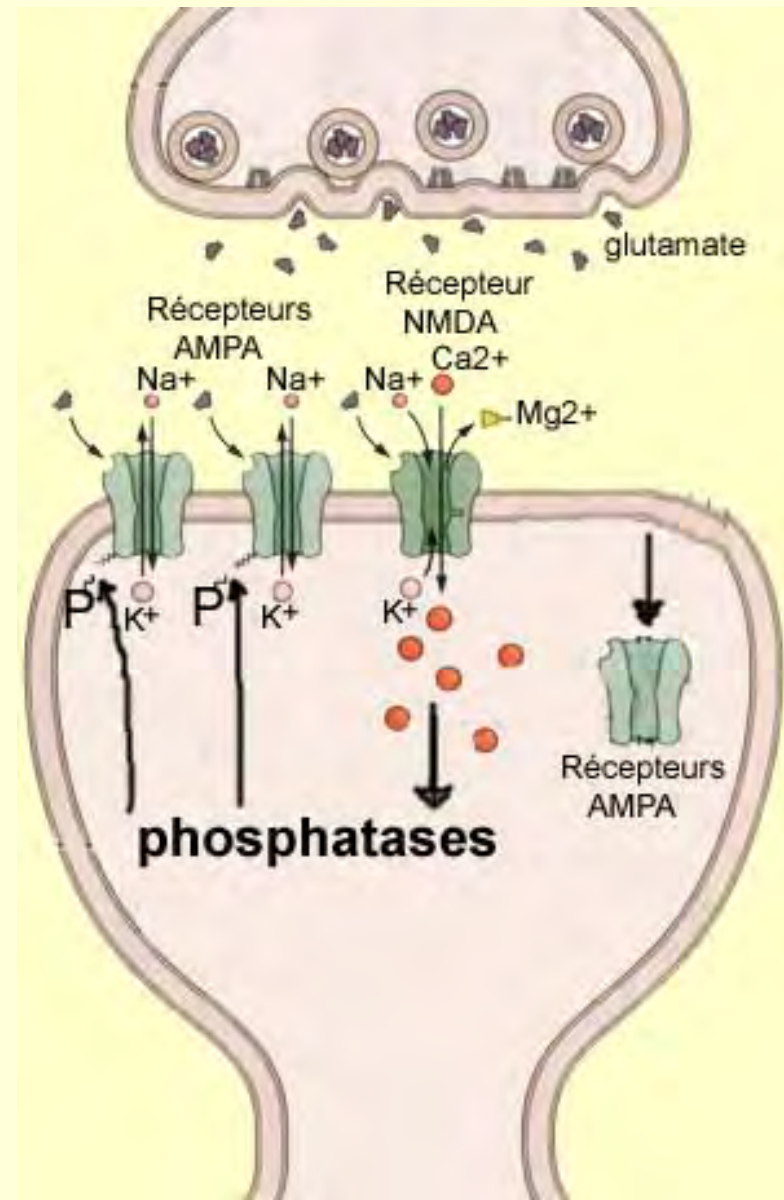
Mais on en connaît beaucoup d'autres...

Il y a aussi la « **dépression à long terme** », ou **DLT**.

Elle peut être produite par des influx nerveux arrivant à la synapse à **basse fréquence (1 à 5 Hertz)**.

La synapse subit alors une transformation inverse à la PLT : la connexion synaptique est **affaiblie**.

Certains modèles de la mémoire procédurale postulent ainsi que les réseaux nerveux du cervelet deviendraient plus performants en "**déprimant**" **les synapses** qui ont conduit à des erreurs lors d'un apprentissage moteur.



La LTD pourrait aussi être mise en jeu pour séparer des circuits qui ont avantage à travailler indépendamment.

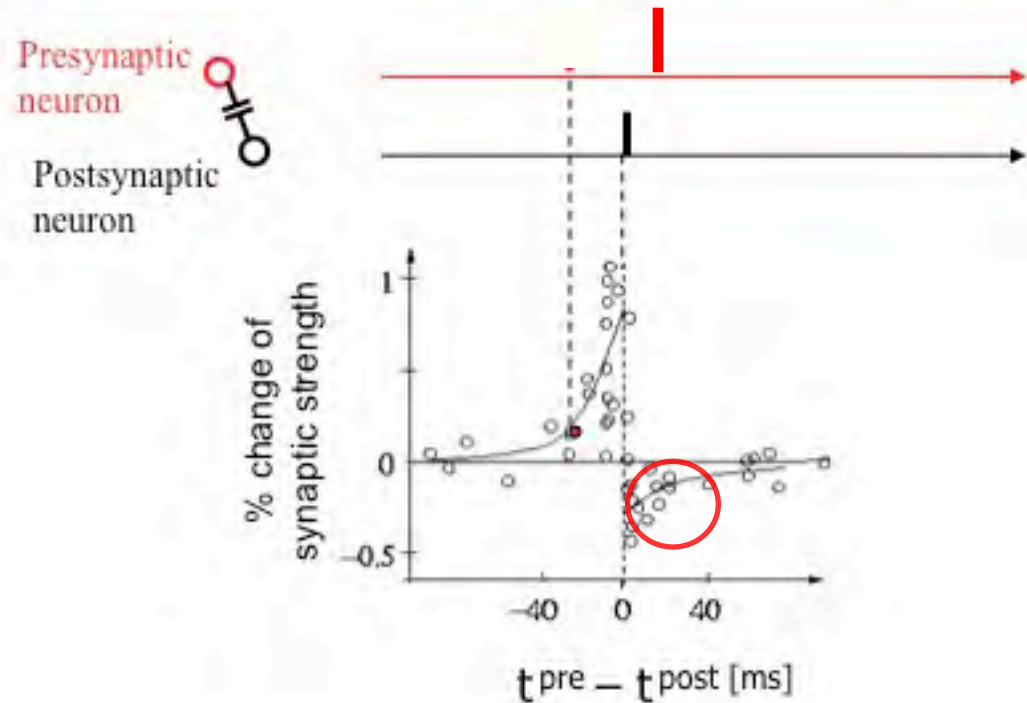
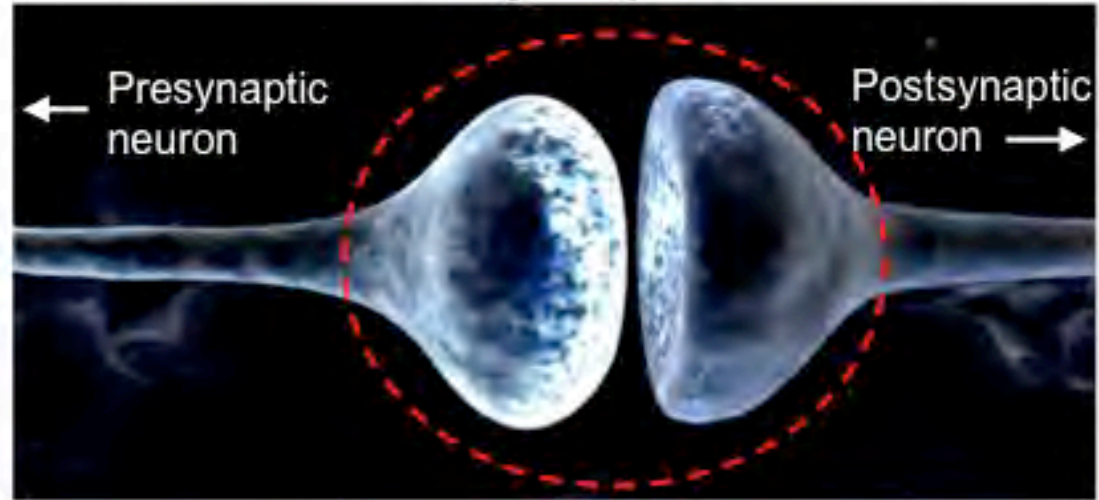
Un 3^e et dernier exemple que je donnerai est la **plasticité dépendante du temps d'occurrence des impulsions** (en anglais « Spike-timing-dependent plasticity » ou **STDP**)

Il s'agit d'un autre processus de modification du poids des synapses mis en évidence plus récemment (début – milieu des années 1990).

Si un neurone **pré-synaptique** tend, en moyenne, à faire feu tout juste **avant** que le neurone **post-synaptique** émette lui aussi un influx nerveux, alors cet input pré-synaptique va devenir **plus efficace**.

Mais si l'input pré-synaptique arrive immédiatement **après** le déclenchement du potentiel d'action du neurone post-synaptique, **alors il sera par la suite moins efficace**.

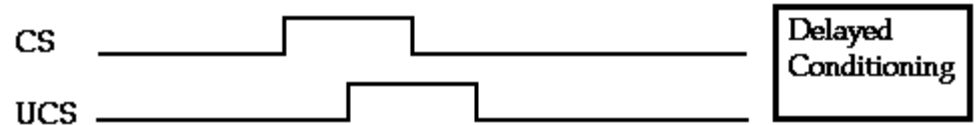
synapse



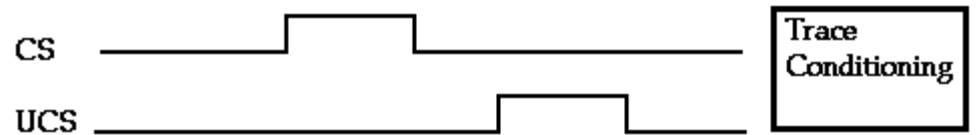
Cela fait écho au niveau cellulaire à ce que l'on observe au niveau comportemental dans le **conditionnement classique**,

avec en plus la même importance fondamentale au niveau de la séquence temporelle des stimuli.

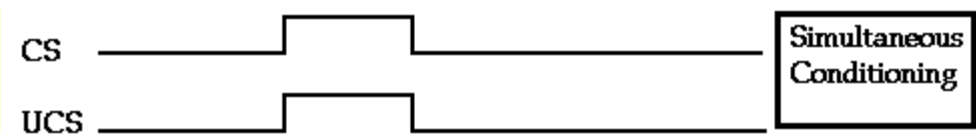
Presynaptic neuron
Postsynaptic neuron



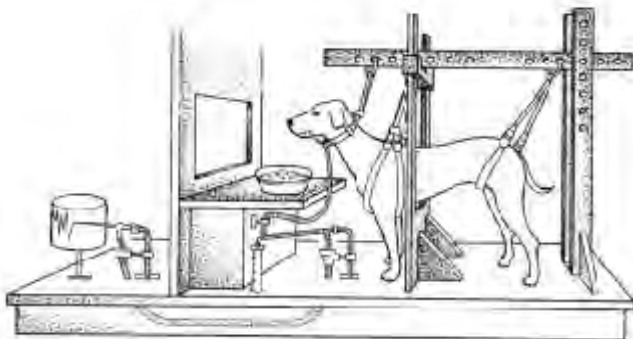
Easily established conditioning



Ease of conditioning depends on length of trace

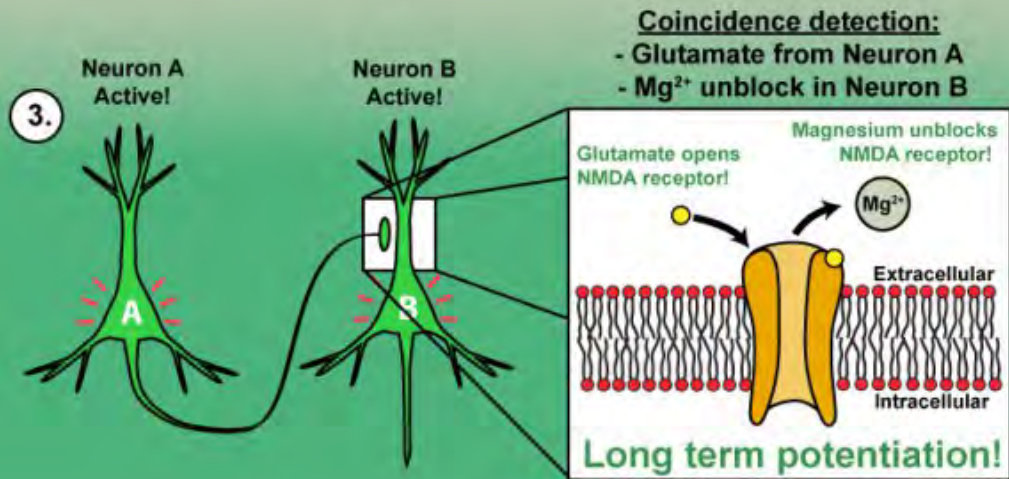
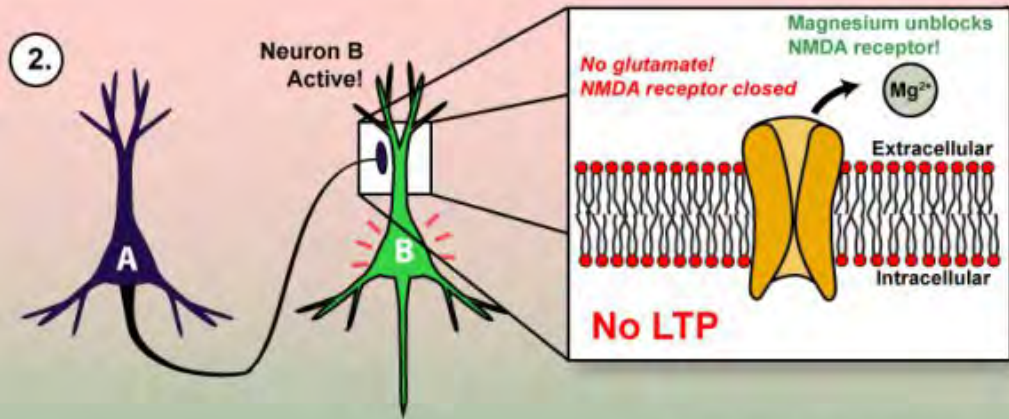
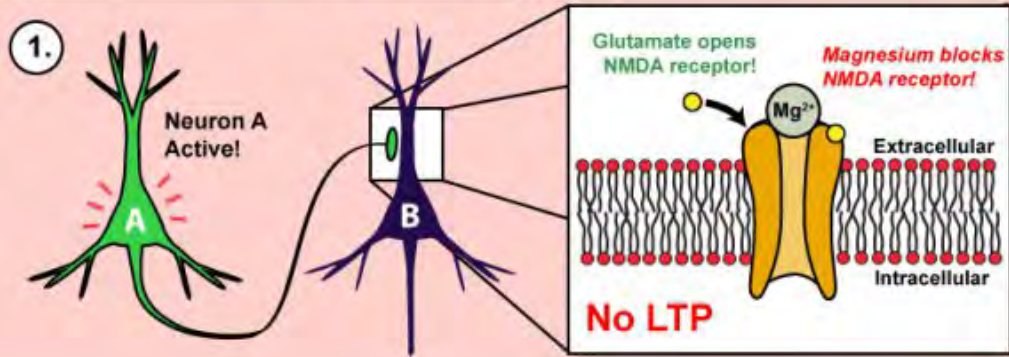


Very little conditioning established



What a Coincidence!

Magnesium, NMDA Receptors, and LTP

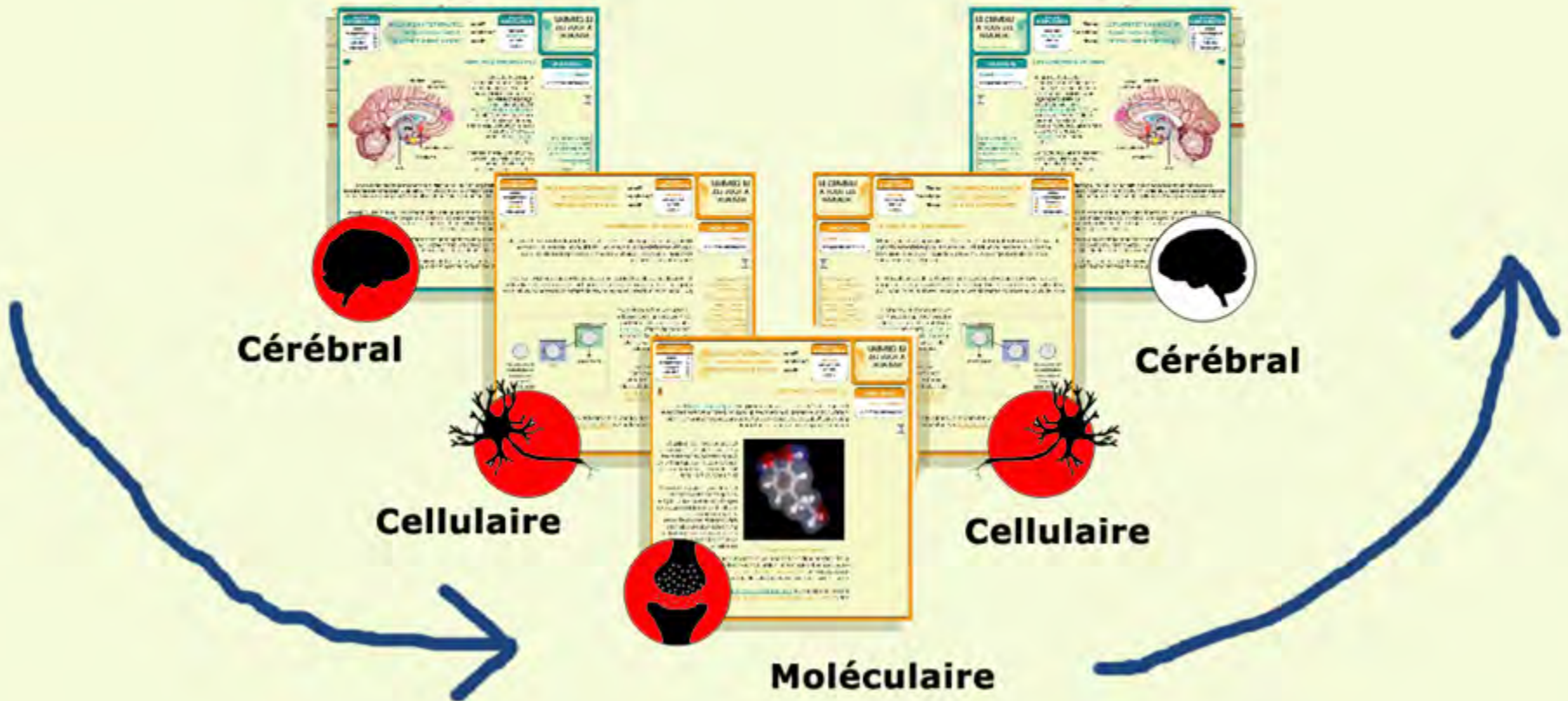


Introduction :

- Métaphores cérébrales
- Perspective évolutive

Conclusion :

- ma métaphore
cérébrale préférée

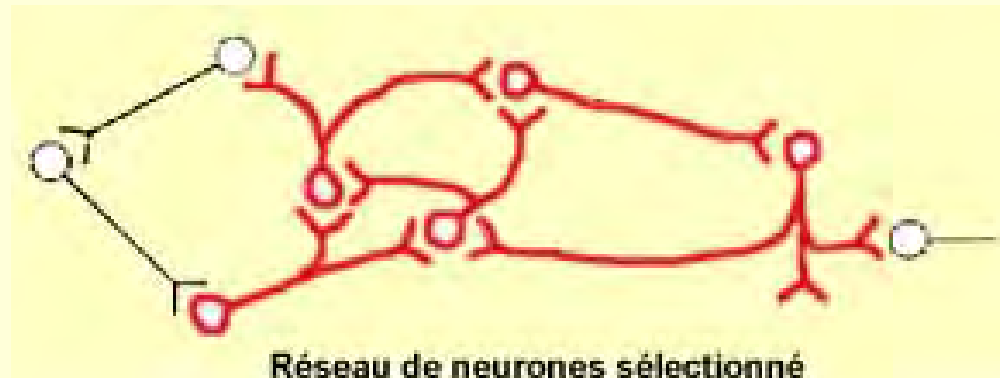




Réseau de neurones sélectionné

Au début du 20e siècle, le biologiste allemand Richard Semon proposait sa théorie de l'engram mnésique (**the engram theory of memory** ([Semon 1923](#)))

Mais la théorie fut presque **complètement ignorée** jusqu'à tard dans les années 1970 où Daniel Schacter, James Eich, and Endel Tulving l'ont ramenée à l'ordre du jour ([Schacter et al. 1978](#)).



Et ça revient en force ces dernières années :

Identification and Manipulation of Memory Engram Cells (2014)

[Xu Liu^{1,2,3}](#), [Steve Ramirez¹](#), [Roger L. Redondo^{1,2}](#) and [Susumu Tonegawa^{1,2}](#)
<http://symposium.cshlp.org/content/79/59.full>

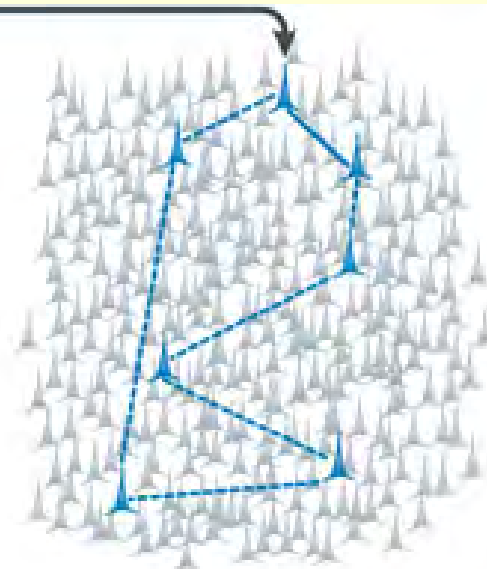
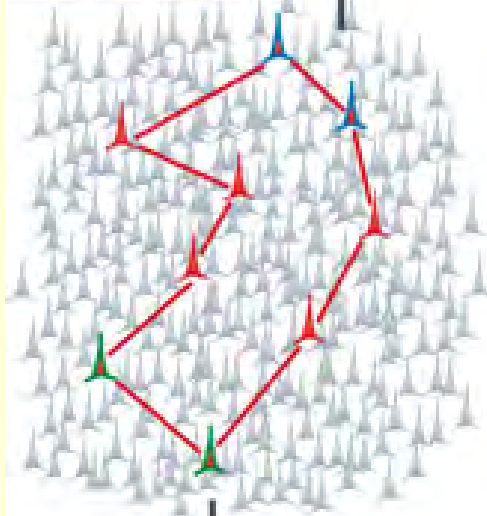
What is memory? The present state of the engram (2016)

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4874022/>

La théorie de Semon contenait implicitement l'idée de "pattern completion" comme mécanisme de rappel

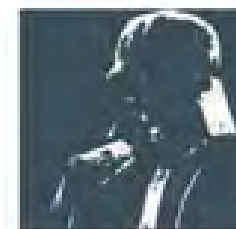
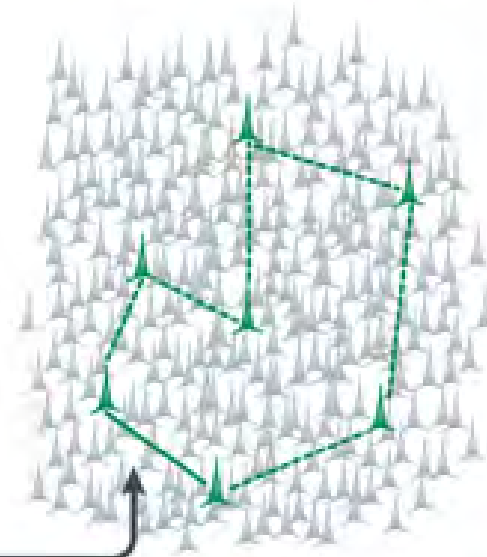


Luke Skywalker

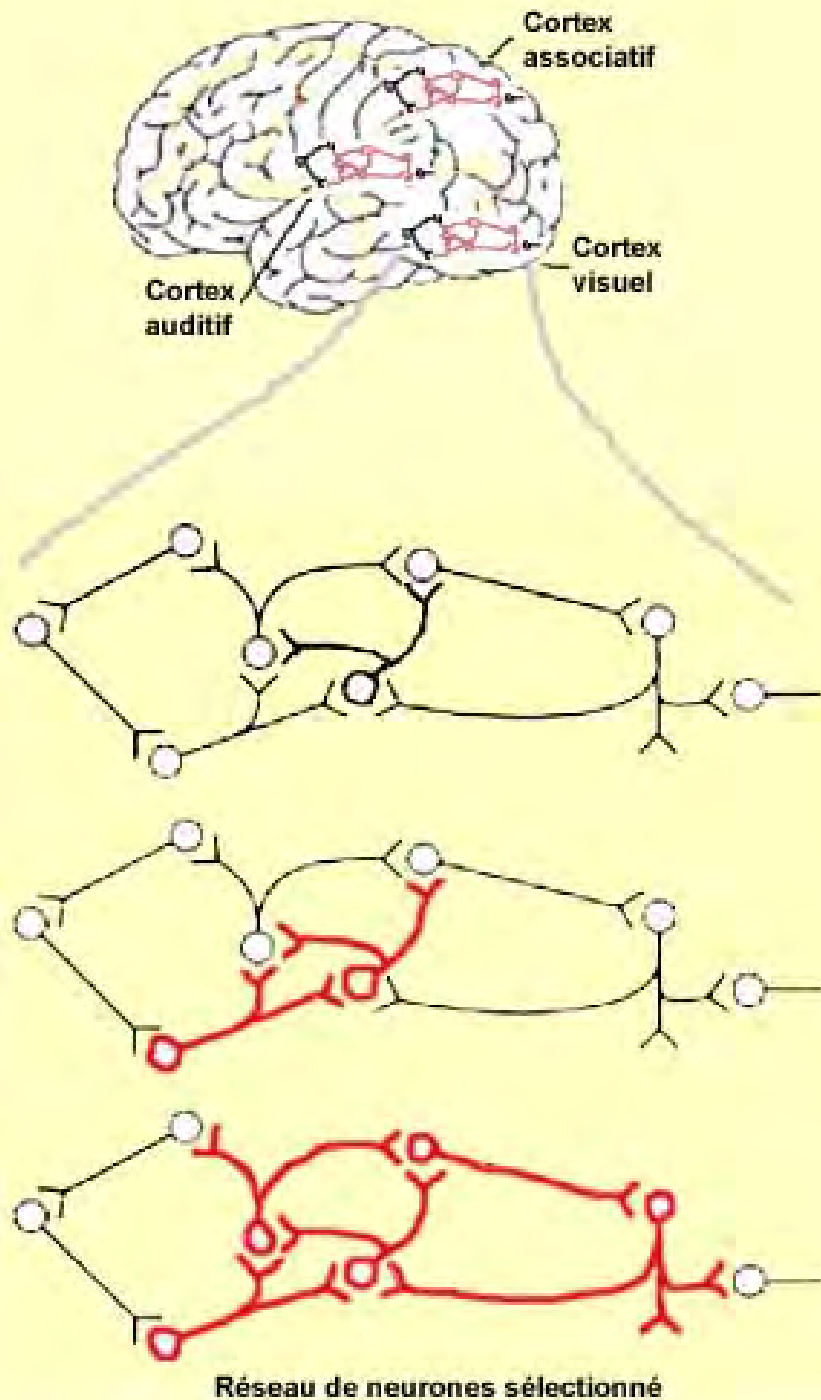


Yoda

“si une partie des stimuli originaux sont rencontrés à nouveau, ces neurones constituant l’engramme sont **réactivés pour évoquer le **rappel de ce souvenir spécifique.**”**



Darth Vader



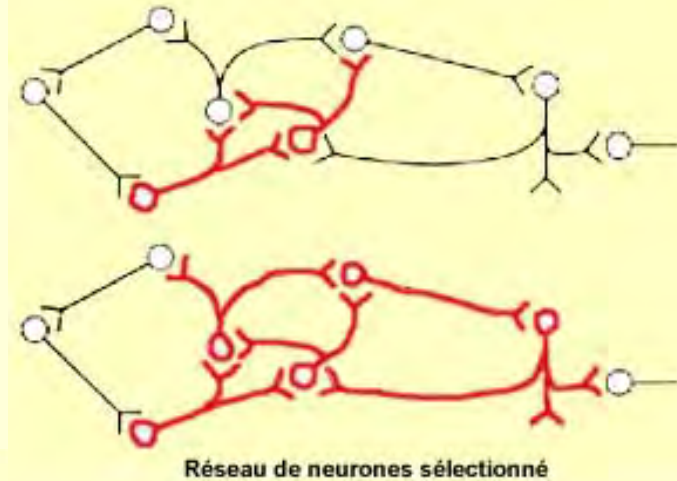
Le substrat physique de notre mémoire au niveau cellulaire serait donc ces **réseaux ou « assemblées de neurones » sélectionnés** (les “cell assemblies” de Donald Hebb).

Par conséquent, notre mémoire n'est pas stockée dans notre cerveau comme l'est celle d'un ordinateur sur un disque dur ou un livre dans un tiroir ou une étagère.

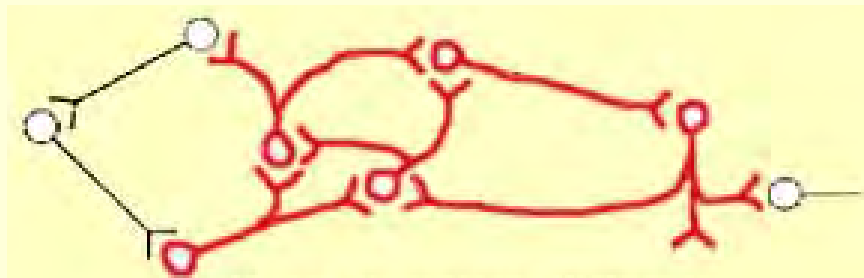


Ces synapses n'étant jamais exactement les mêmes jour après jour...

La mémoire humaine est forcément une **reconstruction**.

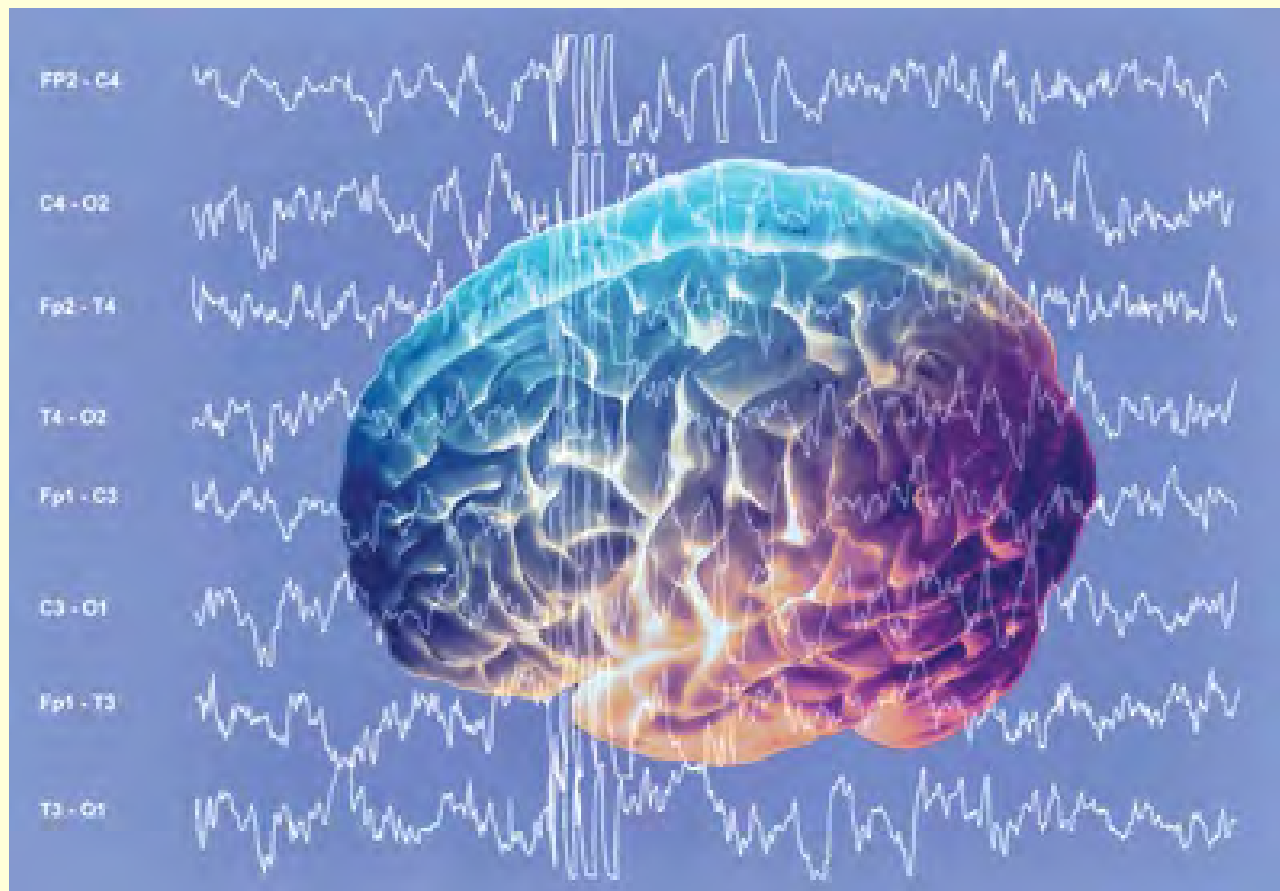


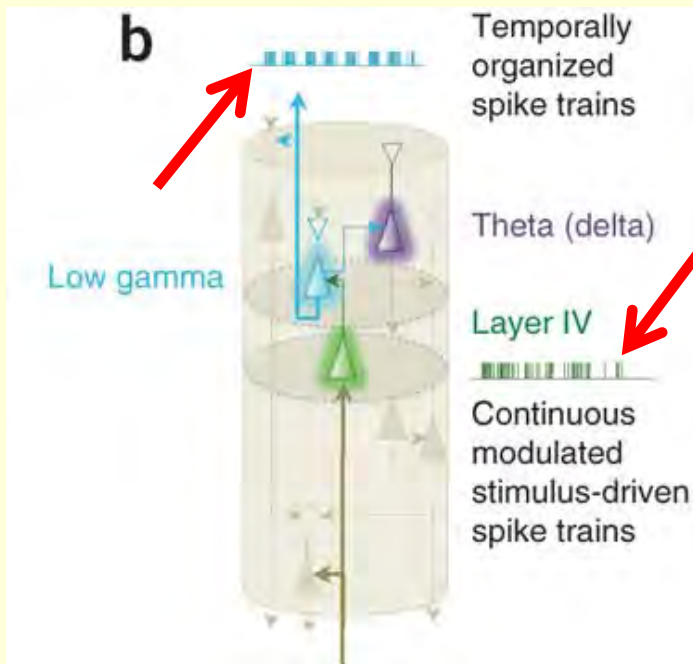
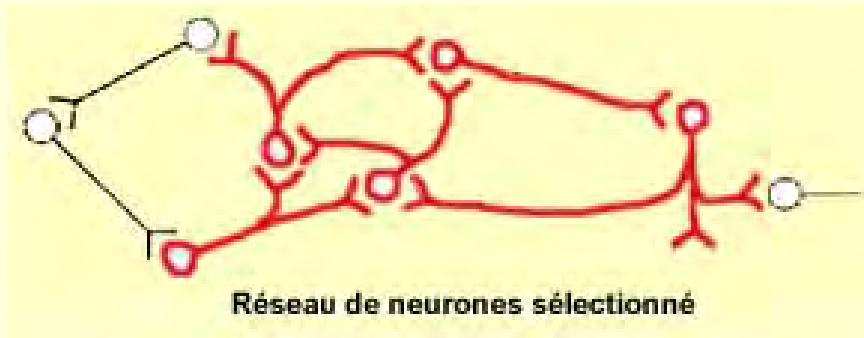
D'où, par exemple, le phénomène des « faux souvenirs ».



Réseau de neurones sélectionné

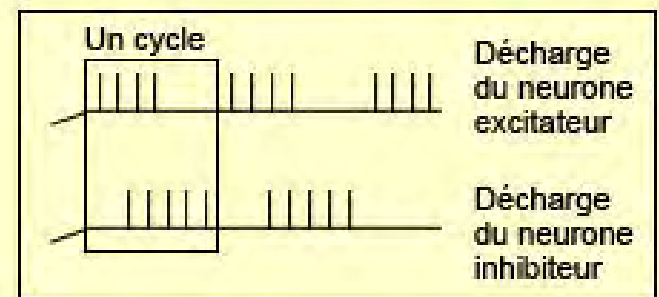
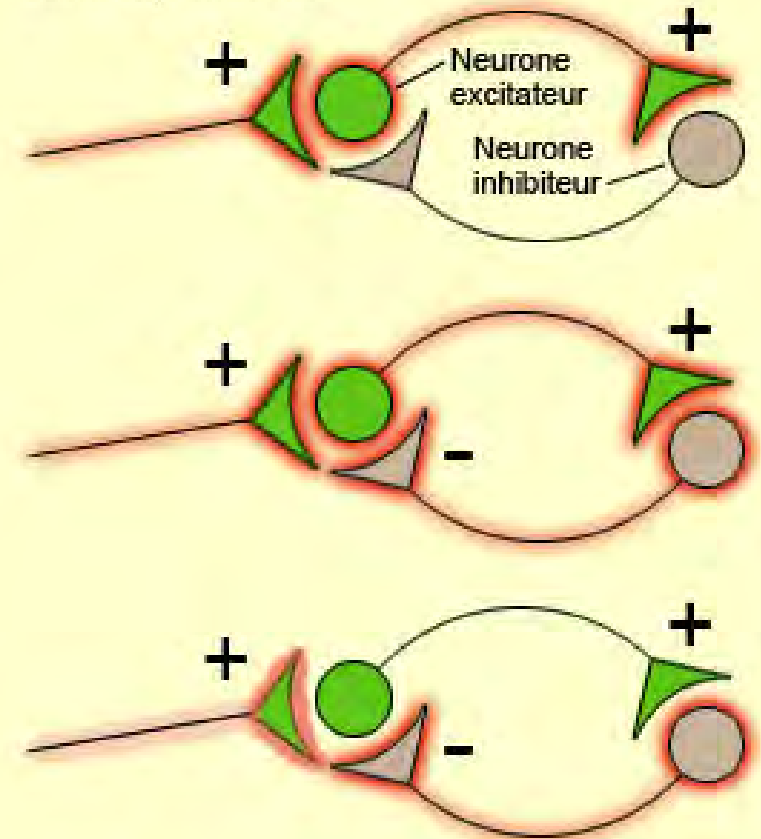
Certains de ces réseaux vont aussi constituer l'autre grande manière qu'utilise le cerveau pour produire ses **rythmes**.



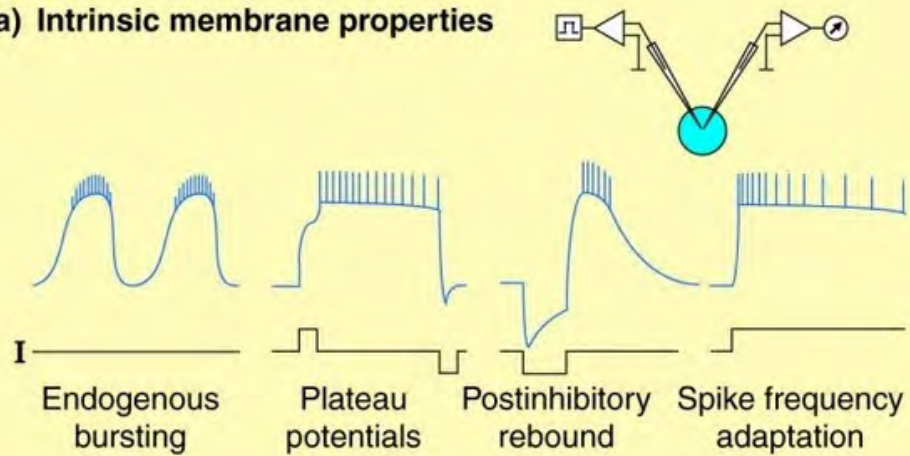


Exemple d'activité rythmique provenant des microcircuits corticaux formés des interneurones et des cellules pyramidales.

Afférence excitatrice active en permanence

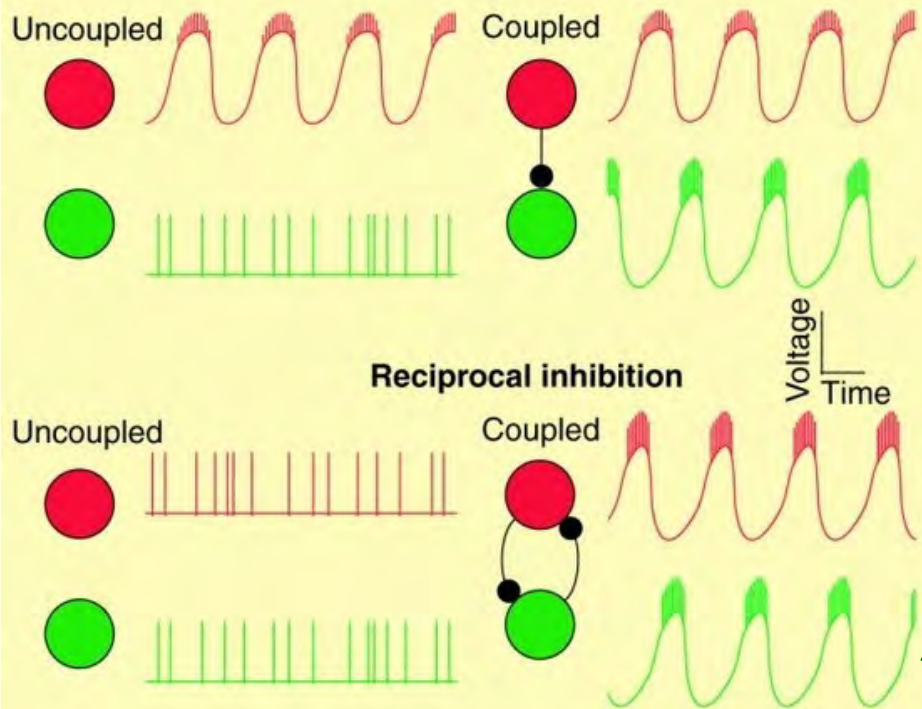


(a) Intrinsic membrane properties

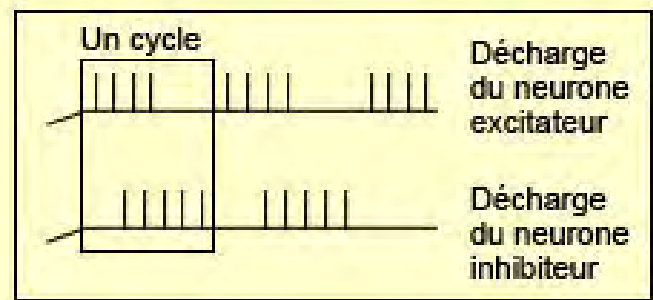
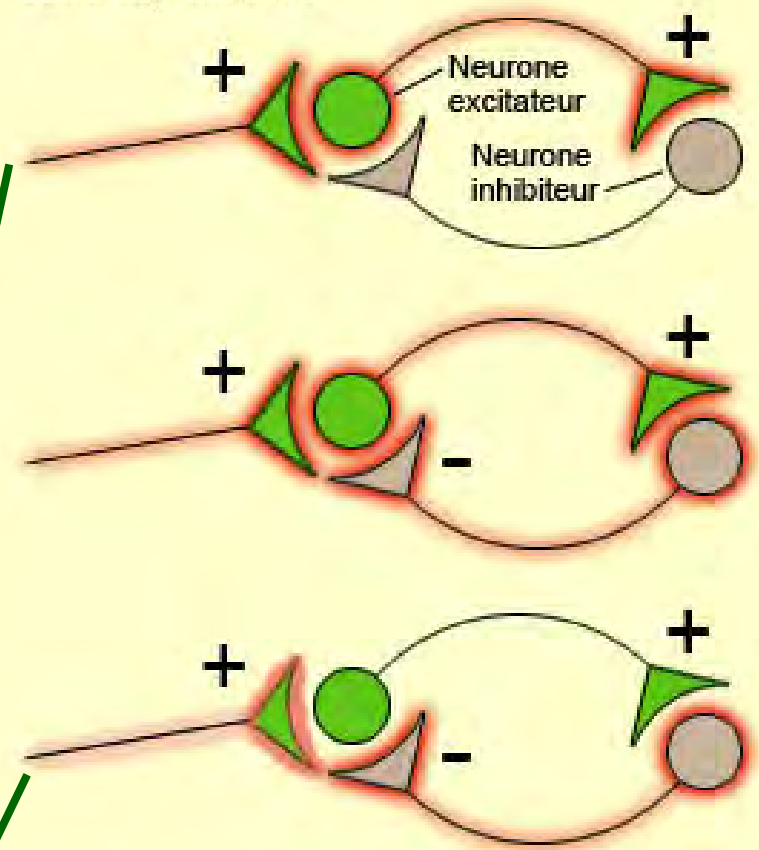


(b) Mechanisms of rhythm generation

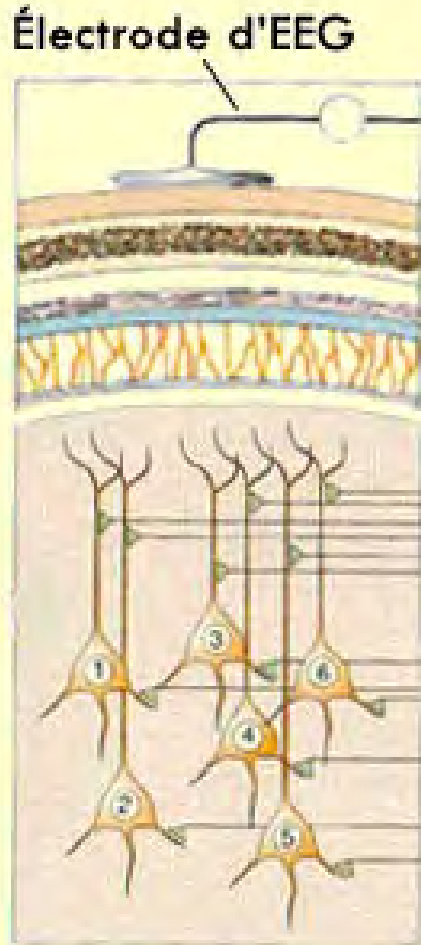
Thalamus / Cortex
Pacemaker / follower



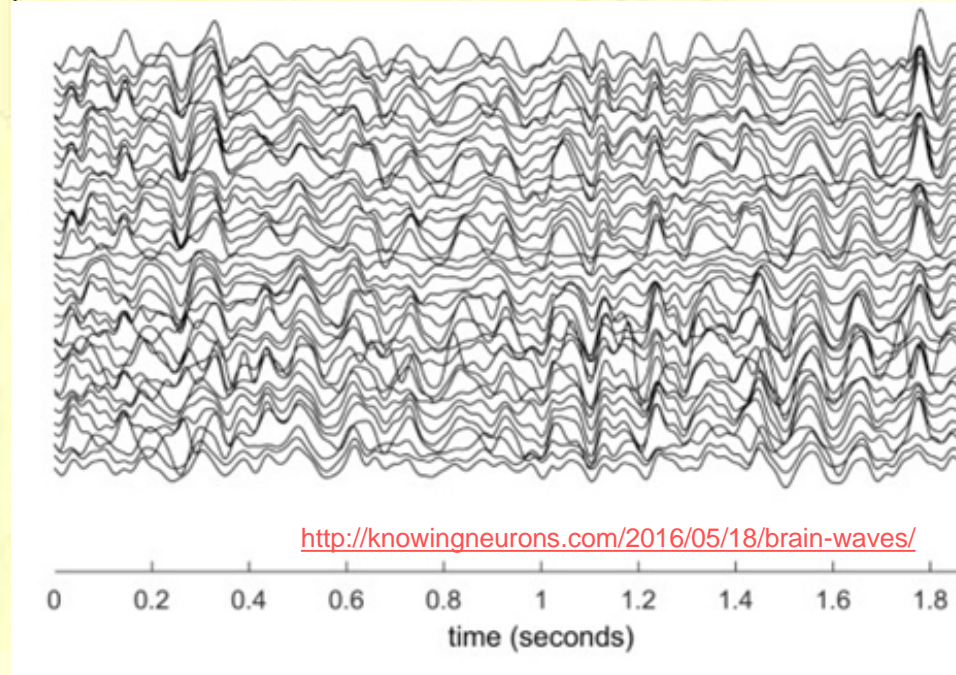
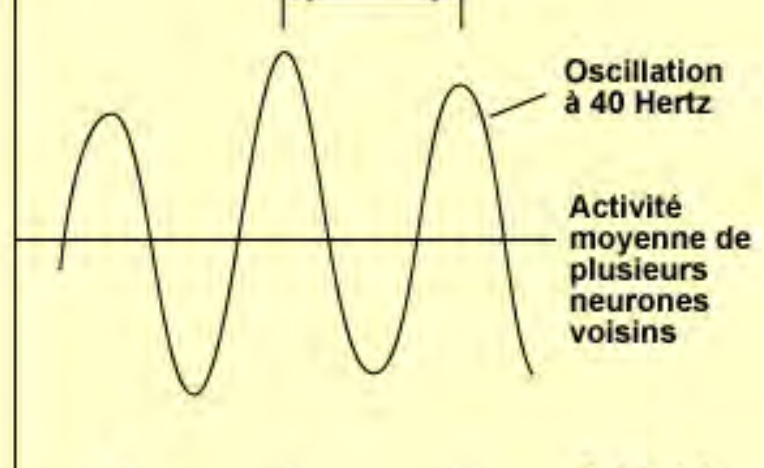
Afférence excitatrice active en permanence



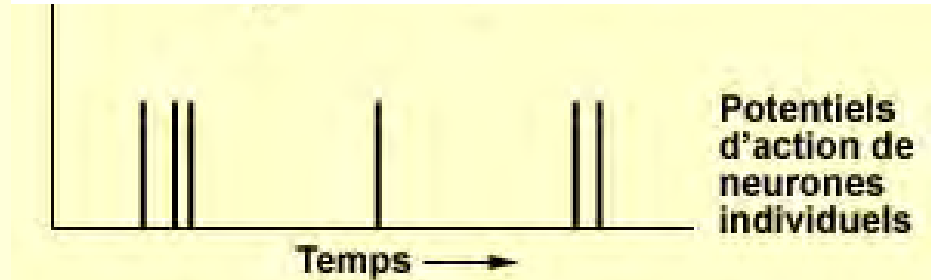
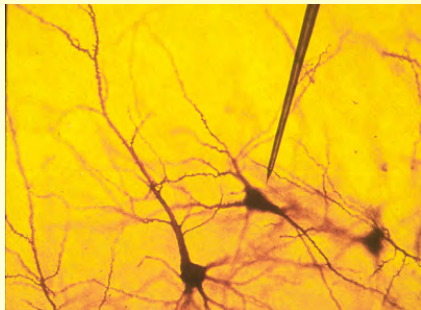
EEG :
niveau « macro »



Potentiels de champ locaux
niveau « meso »



Potentiels d'action :
niveau « micro »

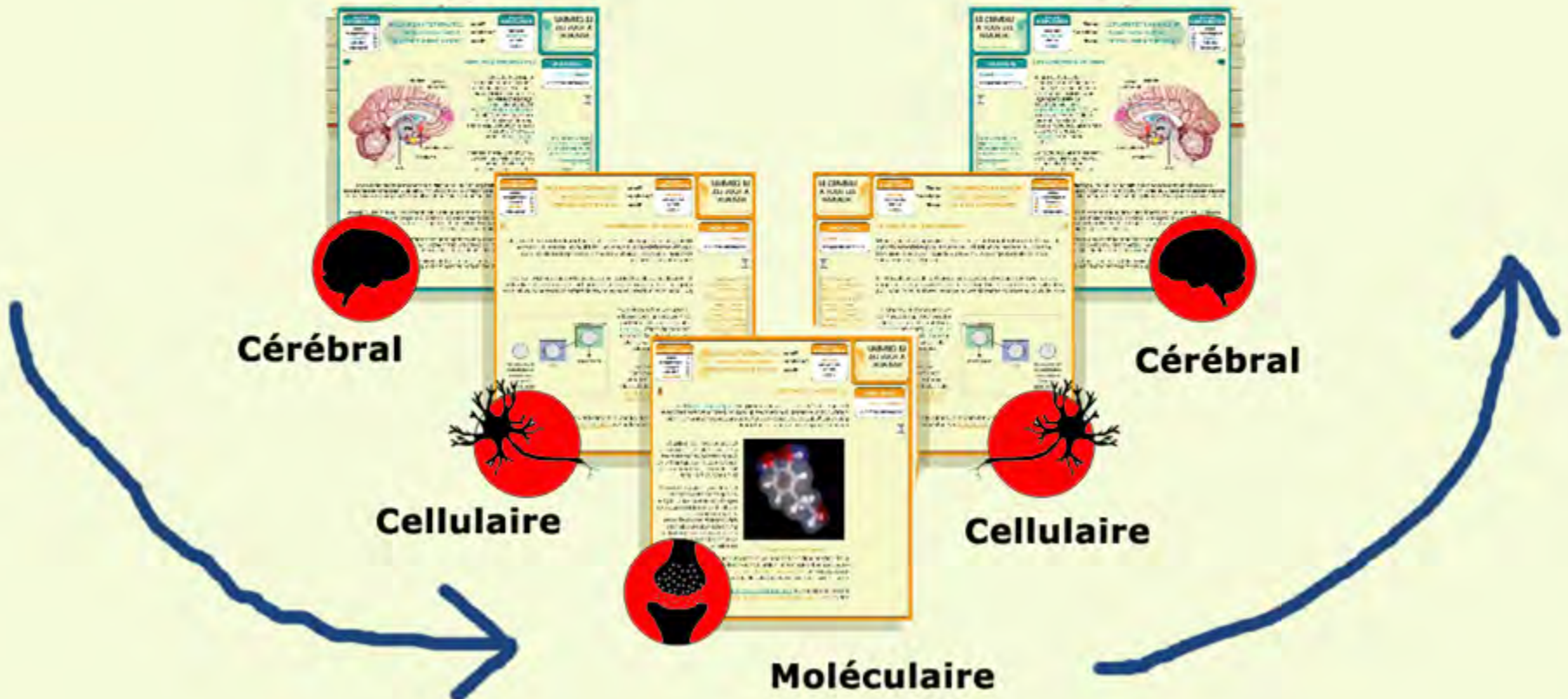


Introduction :

- Métaphores cérébrales
- Perspective évolutive

Conclusion :

- ma métaphore
cérébrale préférée



Bref, il fut un temps, pas si lointain dans l'histoire des neurosciences, où le caractère chaotique de l'ensemble de ces oscillations, **associé à du bruit de fond**, était peu considéré, voire ramené à un épiphénomène sans importance.

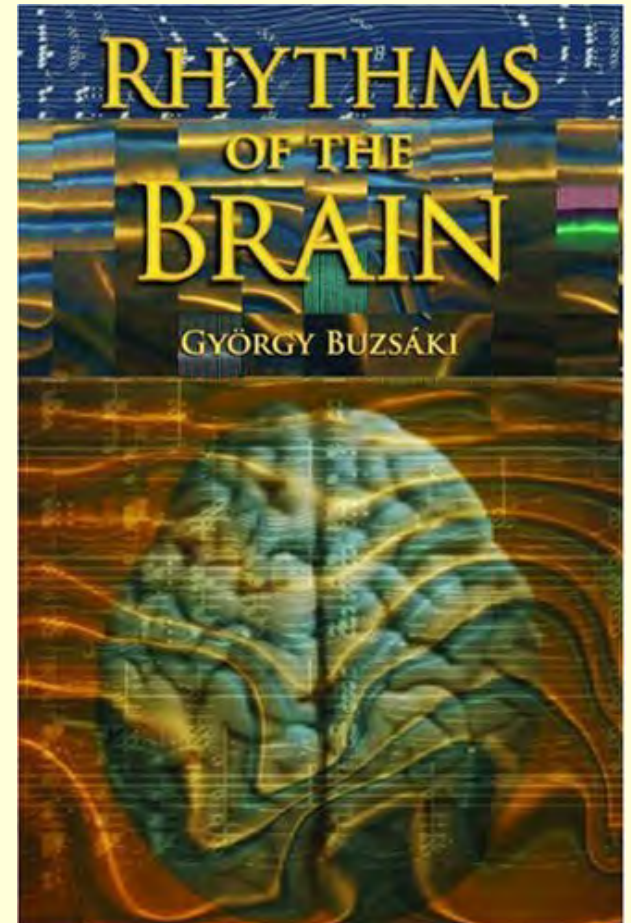
Cette époque est toutefois bien révolue.

En effet, la dimension temporelle de l'activité cérébrale qui se traduit par ces **rythmes cérébraux** est maintenant au cœur des travaux dans des champs de recherche complexes comme le sommeil ou la conscience.

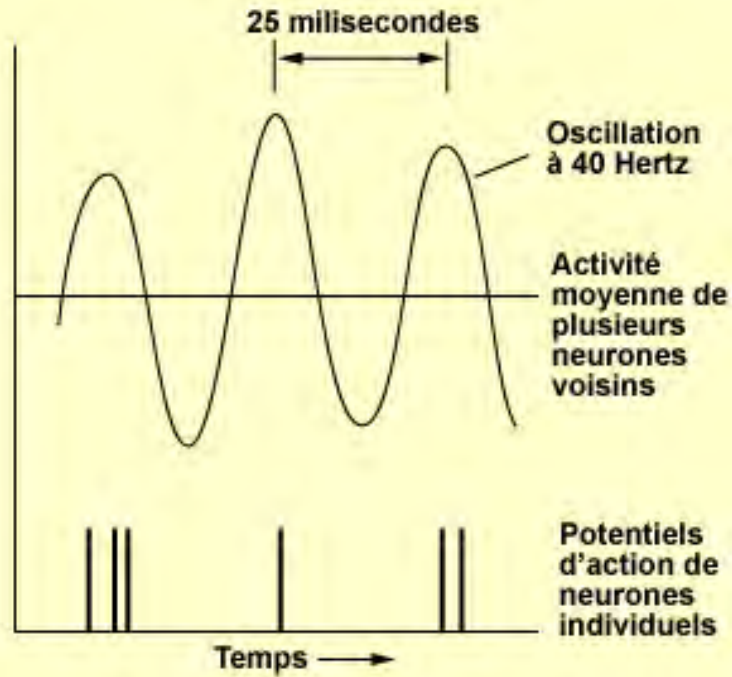
György Buzsáki - My work

<https://www.youtube.com/watch?v=UOwCbtqVzNU>

(2:00 à 4:30)



Fait des distinctions de base, fort importantes comme...



Oscillations

(selon un certain rythme
(en Hertz))

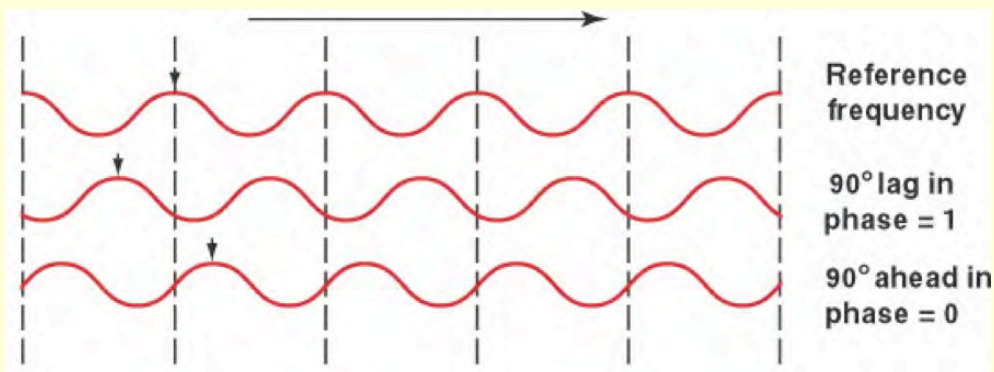
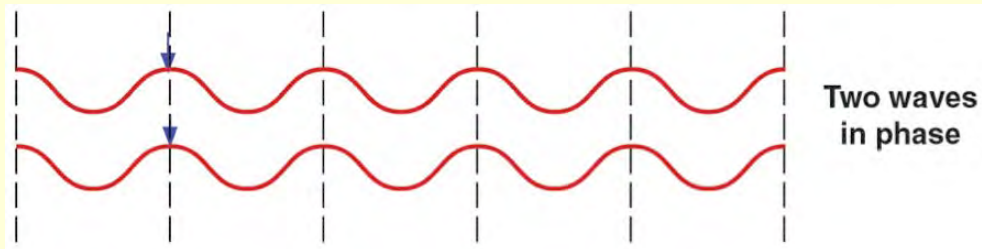
et

Synchronisation

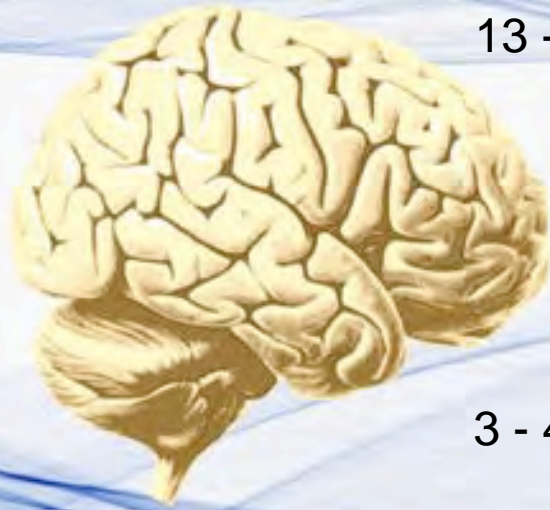
(activité simultanée)

ou non

(sont des phénomènes
différents mais souvent liées)



EEG brainwaves



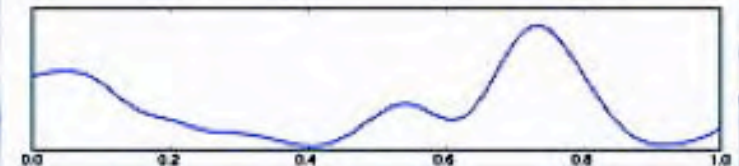
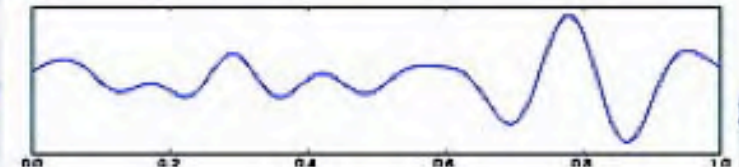
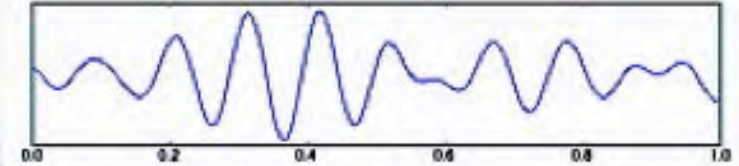
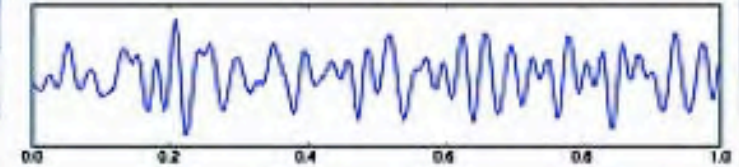
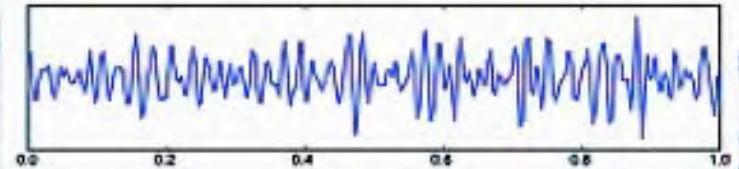
> 30 - 35 Hz **Gamma**
Problem solving,
concentration

13 - 15 à 60 Hz **Beta**
Busy, active mind

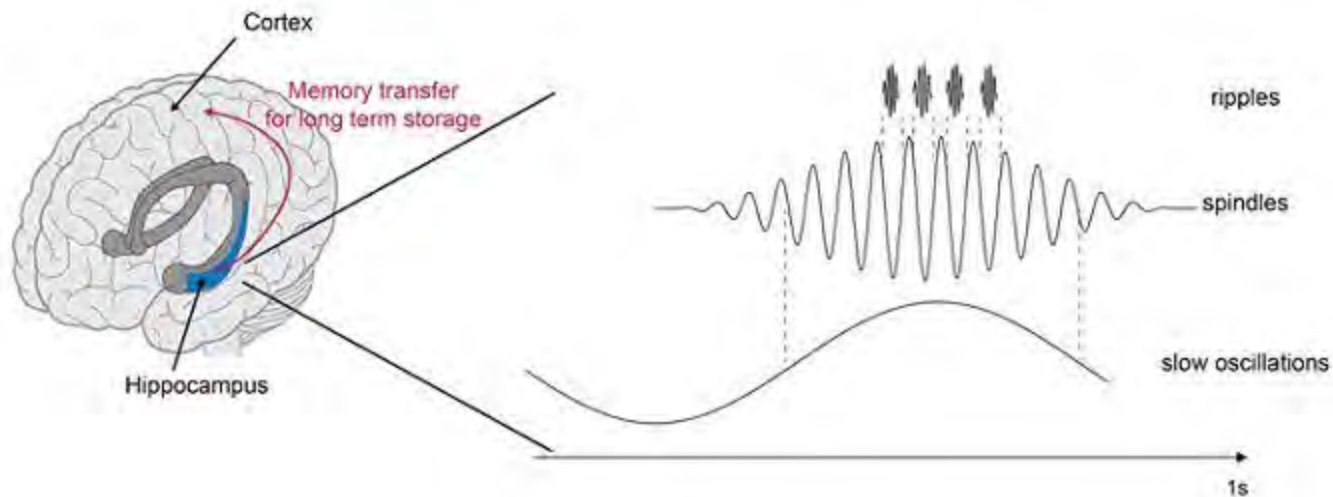
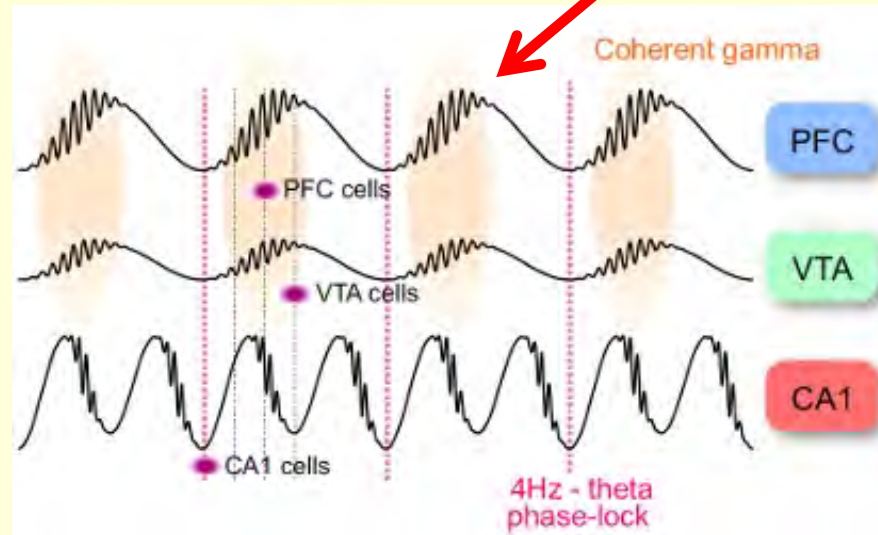
8 à 12 Hz **Alpha**
Reflective, restful

3 - 4 à 7- 8 Hz **Theta**
Drowsiness

0,5 à 3 -4 Hz **Delta**
Sleep, dreaming

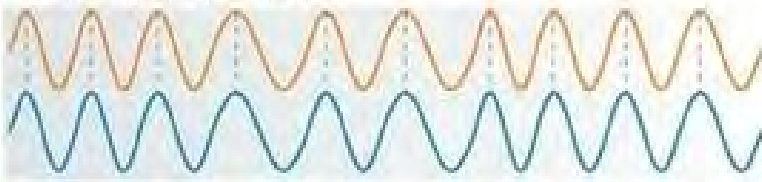


Ces **oscillations** dans les réseaux de neurones sont aussi capables de couvrir plusieurs bandes de fréquences en même temps, qui peuvent ainsi **se superposer**.



A

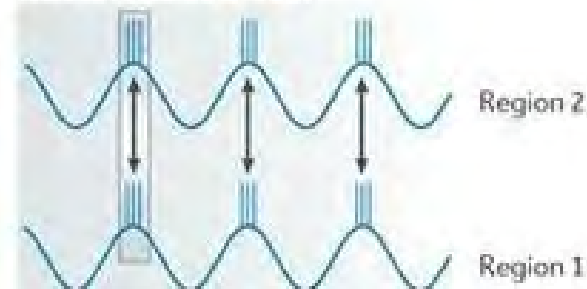
Phase synchronization



Les **oscillations** sont une façon très **économe** pour le cerveau de favoriser une synchronisation d'activité neuronale **soutenue**, rappelle György Buzsáki.

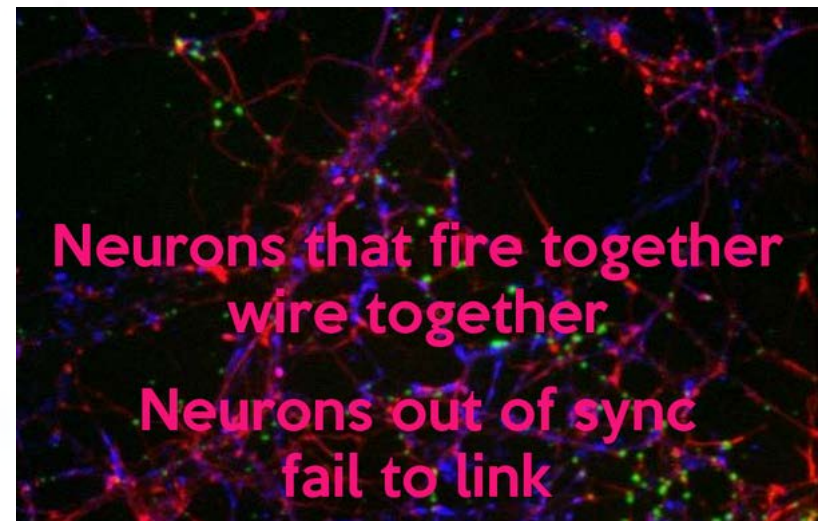
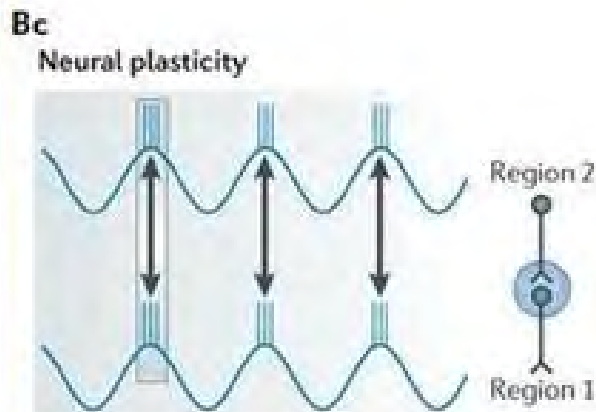
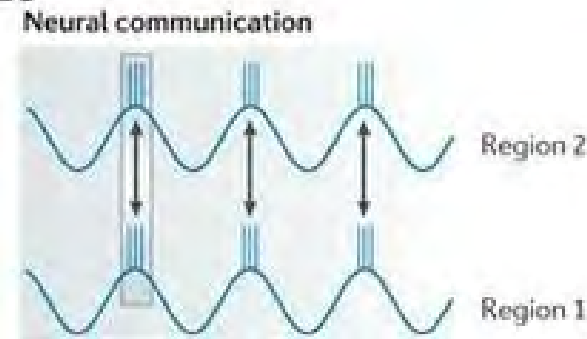
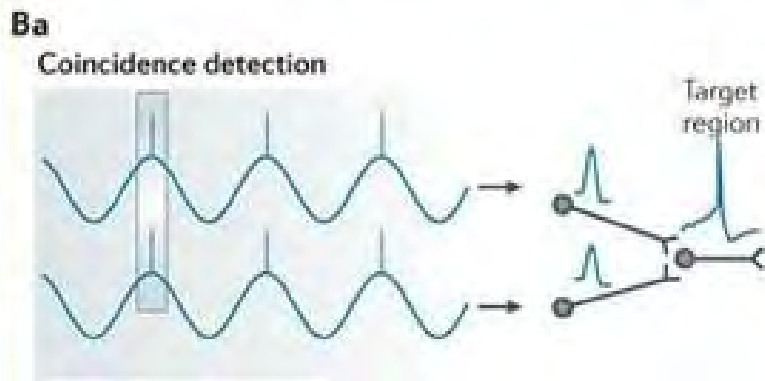
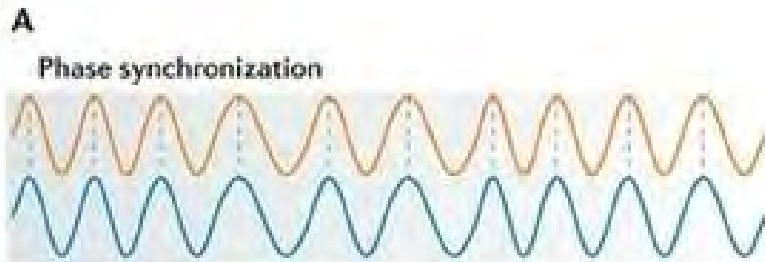
Car lorsque deux populations de neurones oscillent au **même rythme**, il devient beaucoup **plus facile** pour elles de synchroniser un grand nombre d'influx nerveux en adoptant simplement la **même phase** dans leur oscillation.

Neural communication



Du coup, ce sont des assemblées de neurones **entières** qui se « reconnaissent et se parlent ».

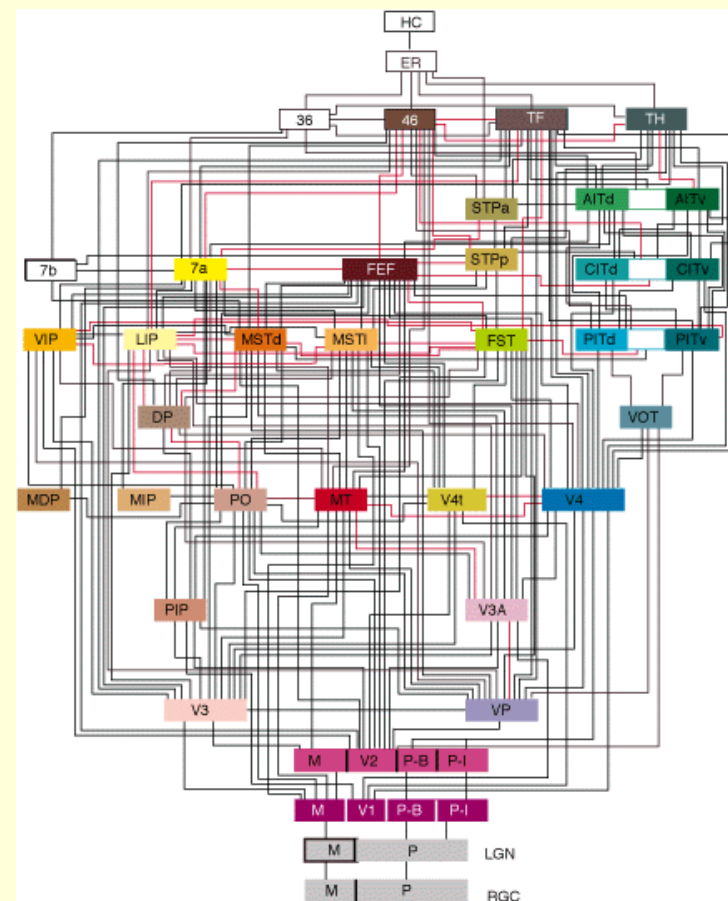
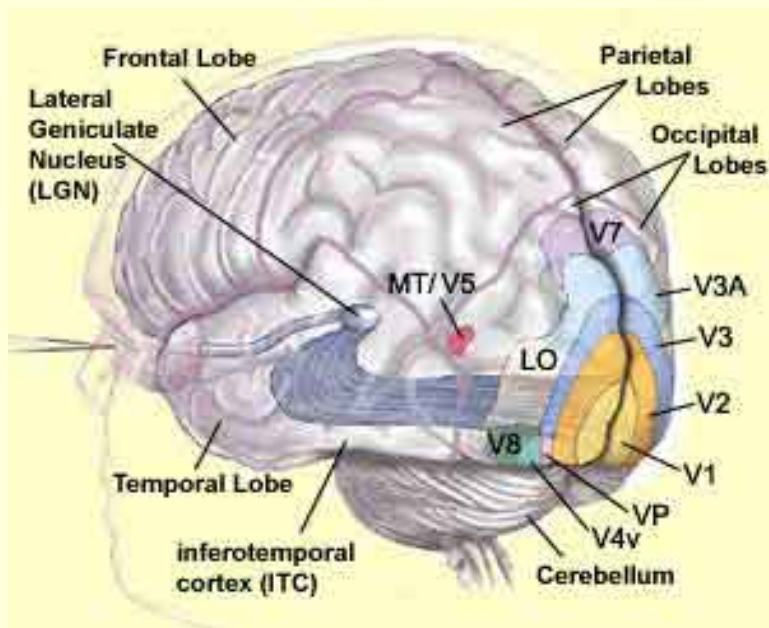
D'autres rôles fonctionnels possibles pour les oscillations neuronales



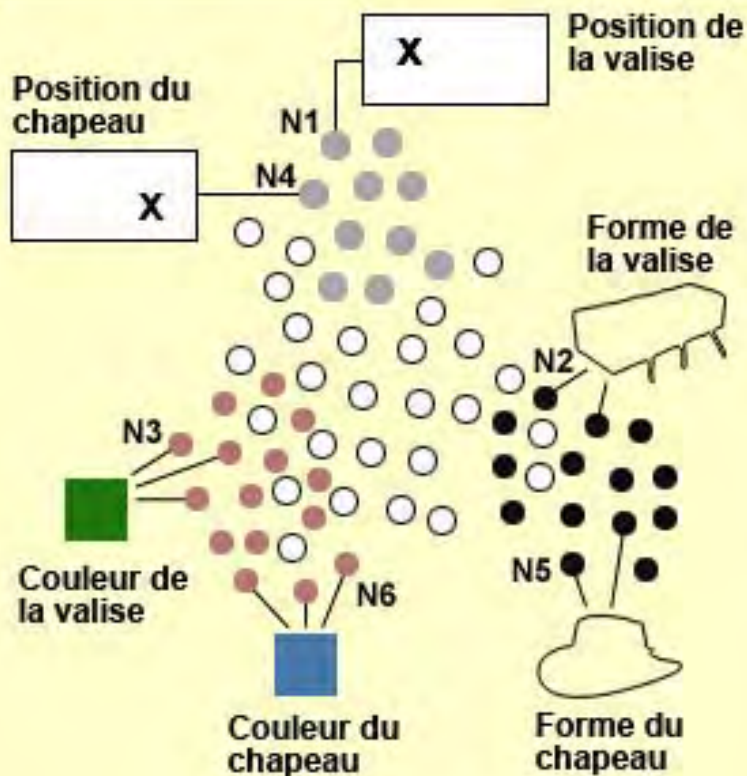
Rodolfo Llinás, qui a travaillé sur le rôle des rythmes neuronaux que l'on observe entre le thalamus et le cortex, rappelle pour sa part

l'importance des oscillations neuronales **pour synchroniser** différentes propriétés d'une perception,

propriétés qui activent souvent des régions distinctes et distantes dans le cerveau.

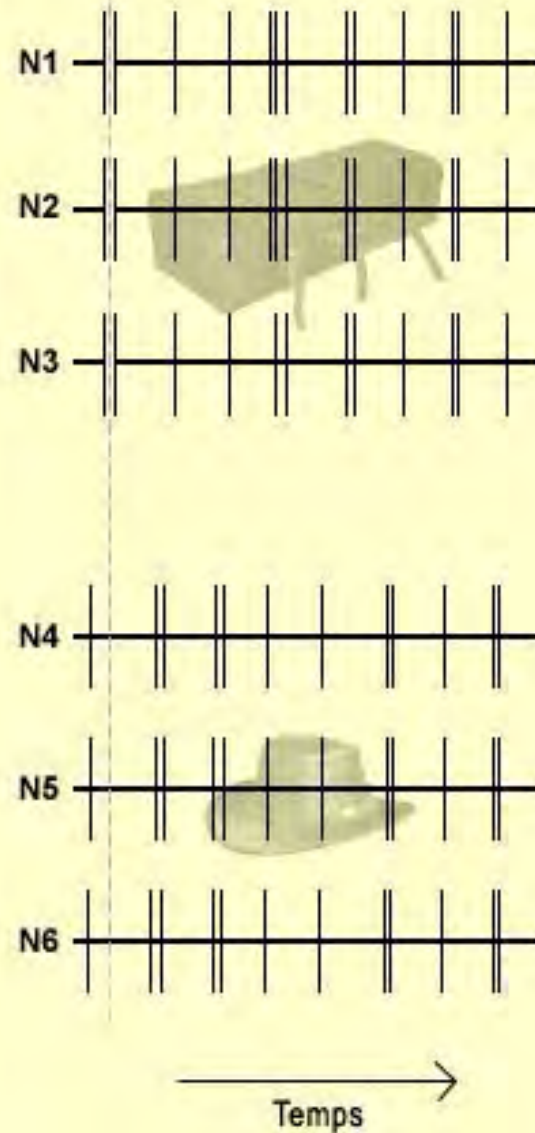
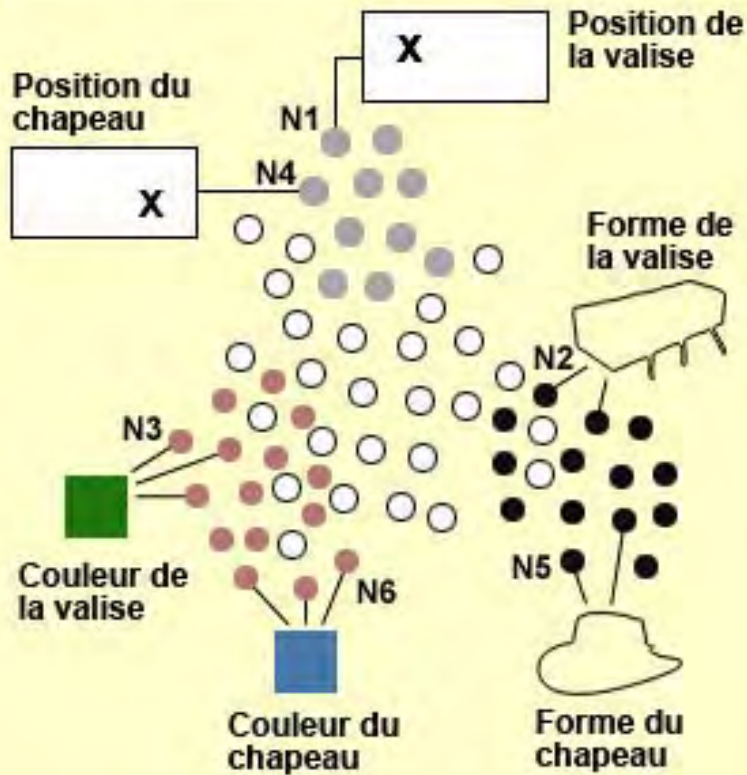


Car si des **régions distinctes** des aires visuelles réagissent à la forme, à la couleur, à l'emplacement, etc...

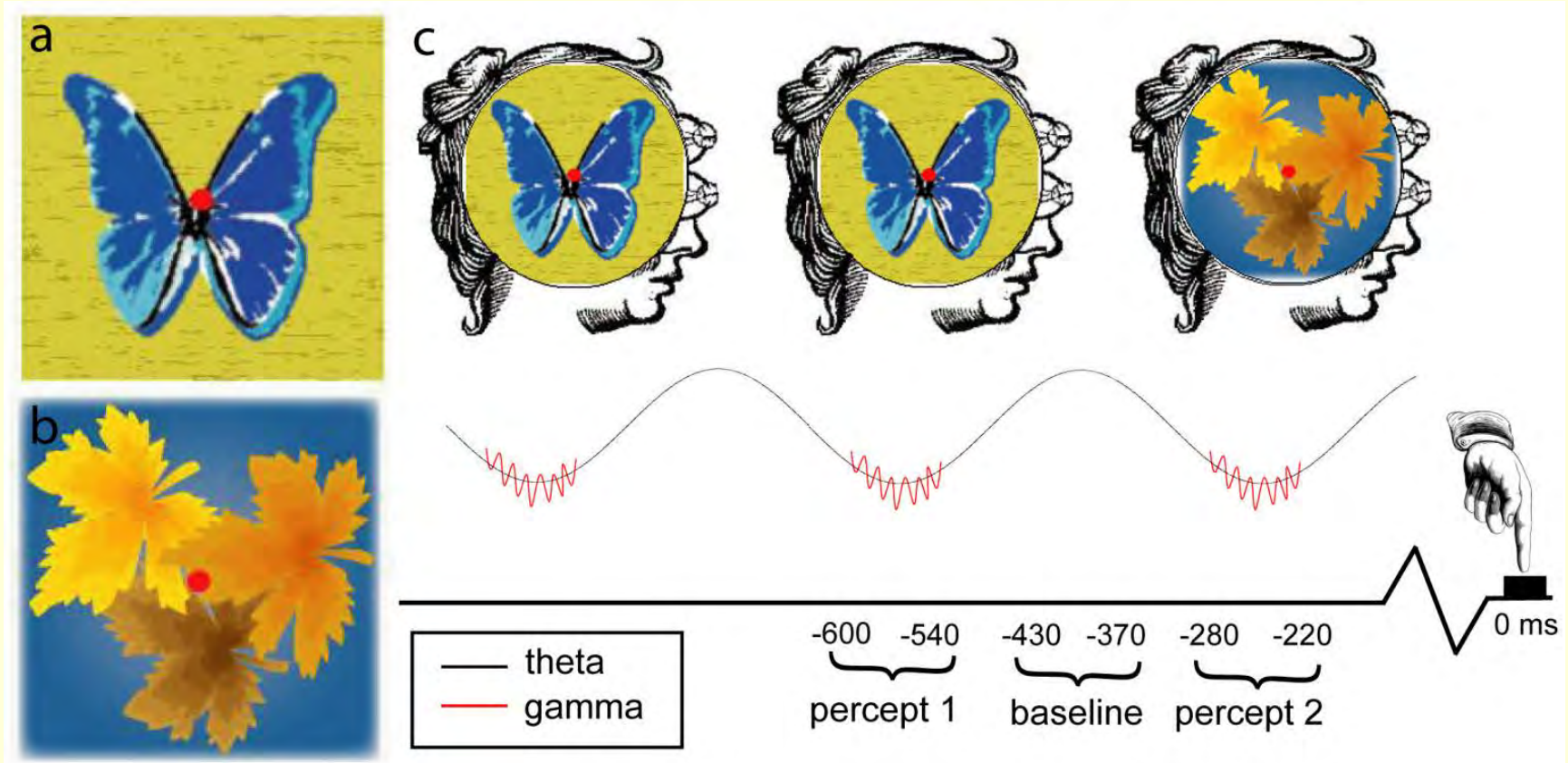


Alors on peut se demander **comment les caractéristiques d'un même objet sont-elles mises ensemble** pour former la perception consciente et distincte que l'on a de chacun des deux objets, sans en mélanger les caractéristiques ?

Voilà qui pose **problème de liaison** ou, selon l'expression anglaise consacrée, un «**binding problem**».

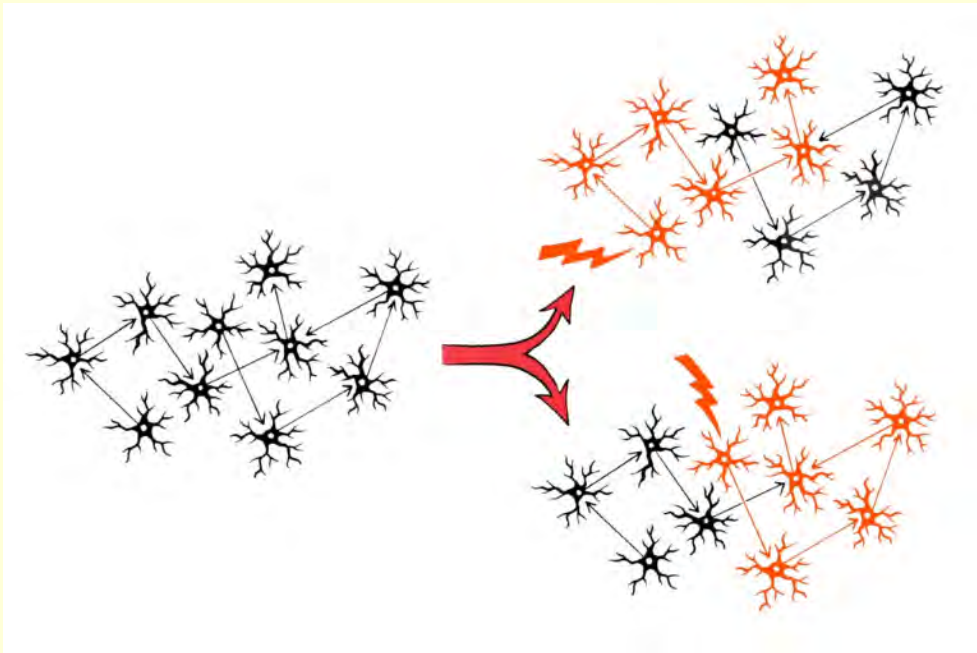


On peut créer une rivalité binoculaire en regardant dans des oculaires qui donnent à voir une **image différente pour chaque oeil**. Dans ces conditions, la perception subjective du sujet **va osciller entre deux états** : il verra tantôt le stimulus présenté à l'œil gauche, tantôt celui présenté à l'œil droit.

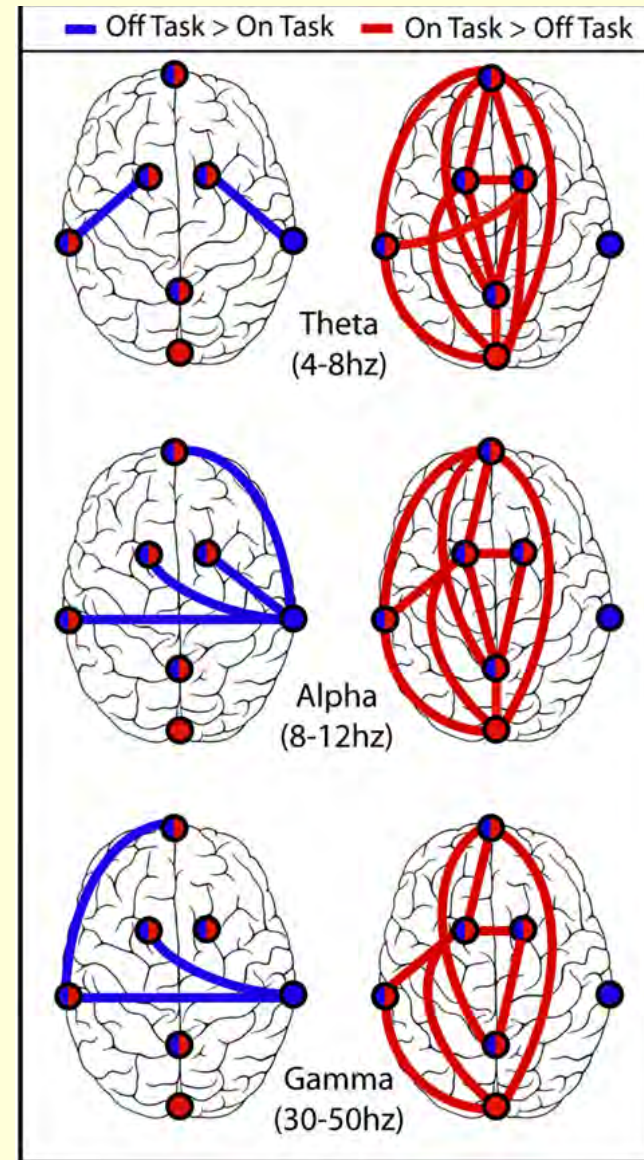


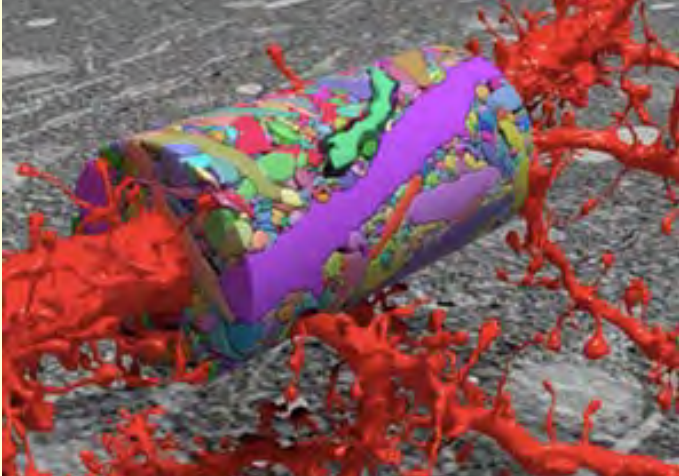
Si l'on fait cette expérience en enregistrant l'activité du cerveau des sujets auxquels on demande d'indiquer lequel des deux stimuli ils **perçoivent** à un moment donné, on observe une variation de l'activité de certaines régions du cerveau en fonction de l'expérience subjective.

On observe donc la formation
d'assemblées de neurones transitoires,
rendues possible par des oscillations
et des synchronisations,



qui se produisent non seulement dans certaines
structures cérébrales, mais dans des réseaux
largement distribués à l'échelle du cerveau entier.

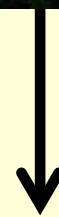
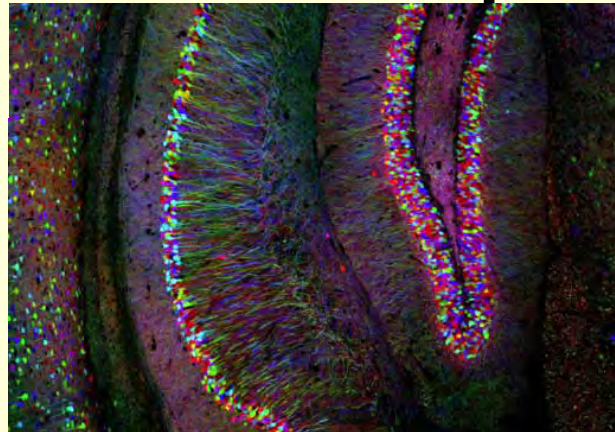




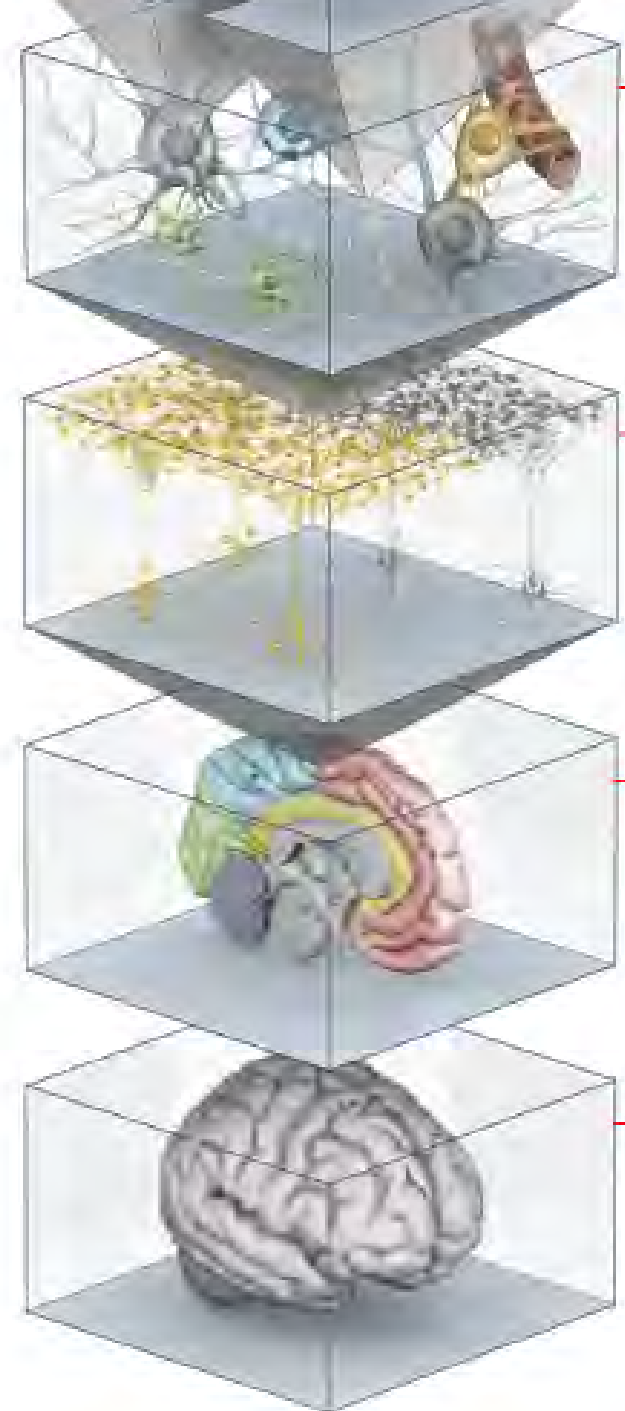
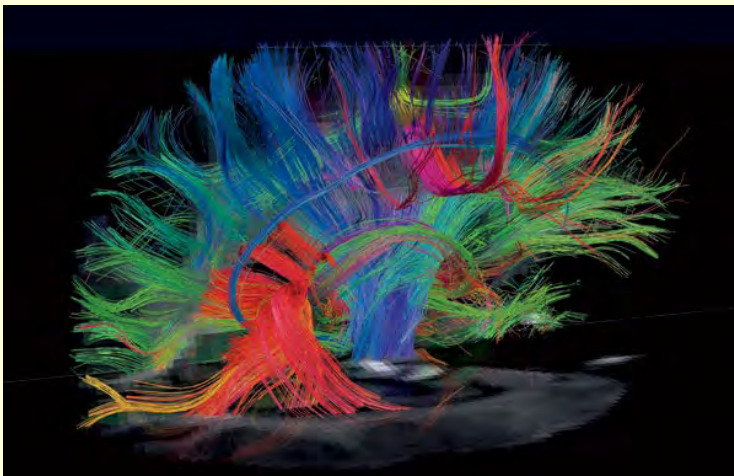
de l'échelle
« micro »



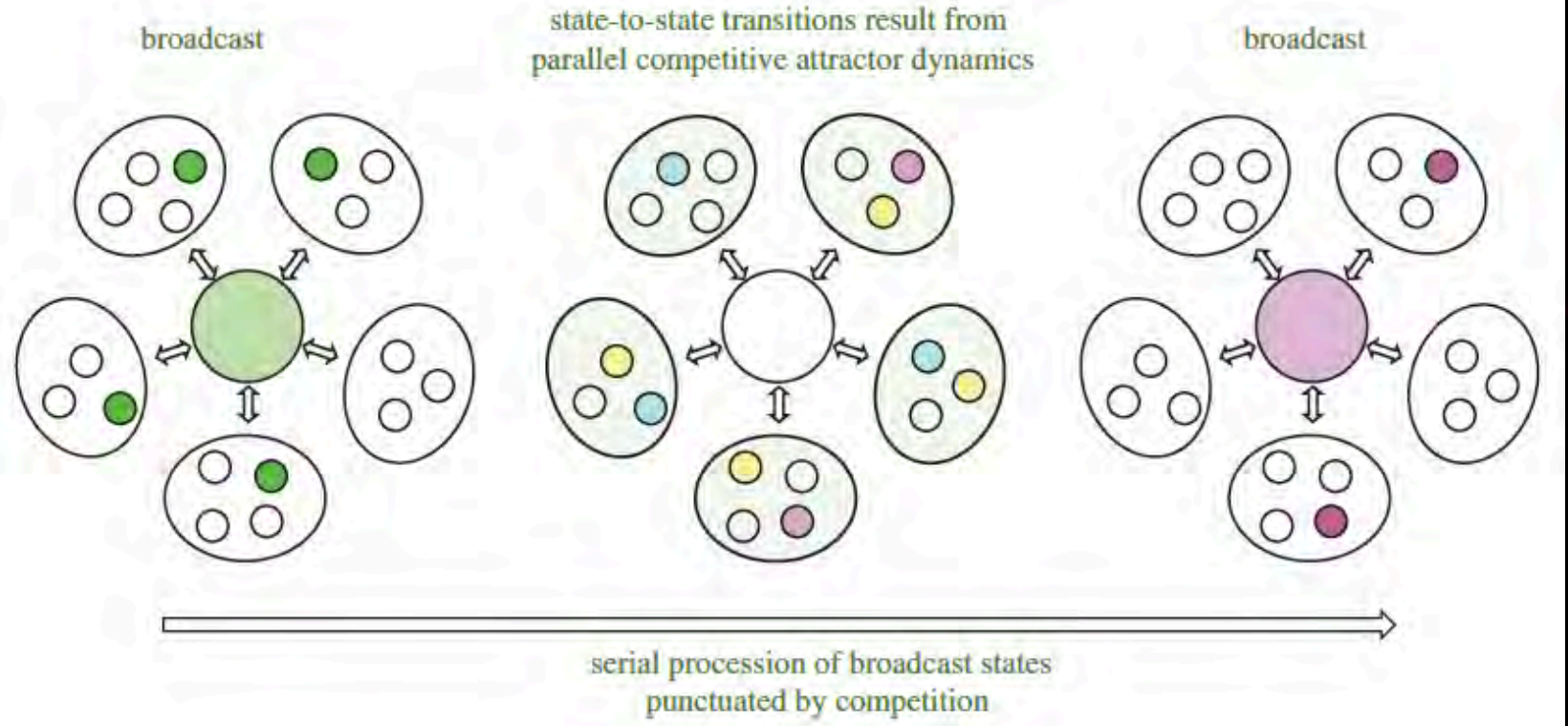
Car il faut se
rappeler que
peu importe
l'échelle que
l'on
considère...



à l'échelle
« macro »



« Connective core » (M. Shanahan)



...le cerveau est anatomiquement « surconnecté » et doit trouver une façon de **mettre en relation** (de « synchroniser » ?) à tout moment les meilleures « assemblées de neurones » pour faire face à une situation.



Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control

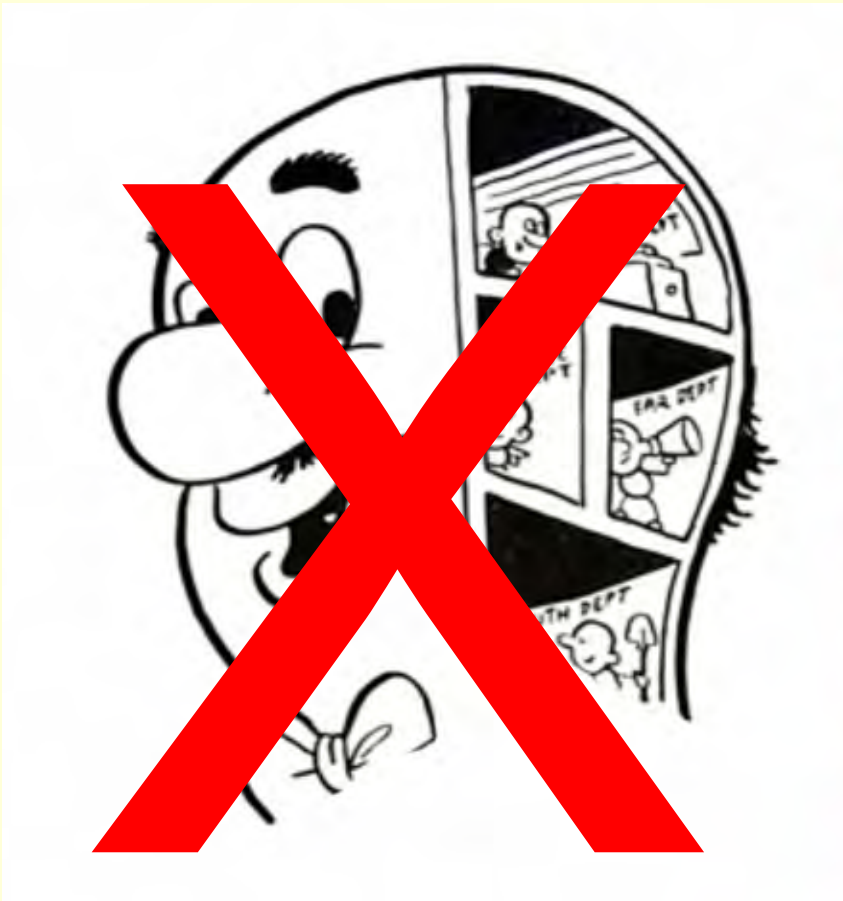
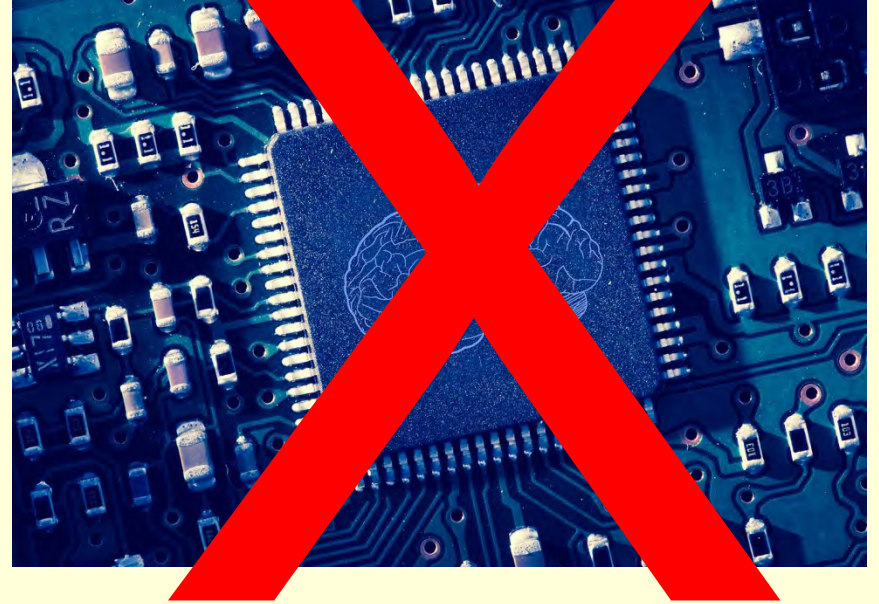
•Michael W Cole, et al. Nature Neuroscience 16, 1348–1355 (2013)

Cette étude détaille la position centrale d'un "flexible hub" permettant de **basculer** d'un réseau fonctionnel à un autre parmi les 9 principaux décrits comprenant 264 sous-régions.





Neuromythe à oublier

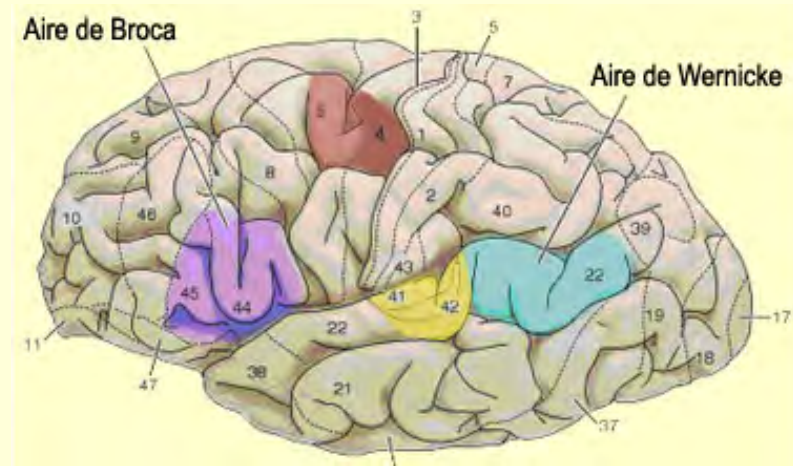
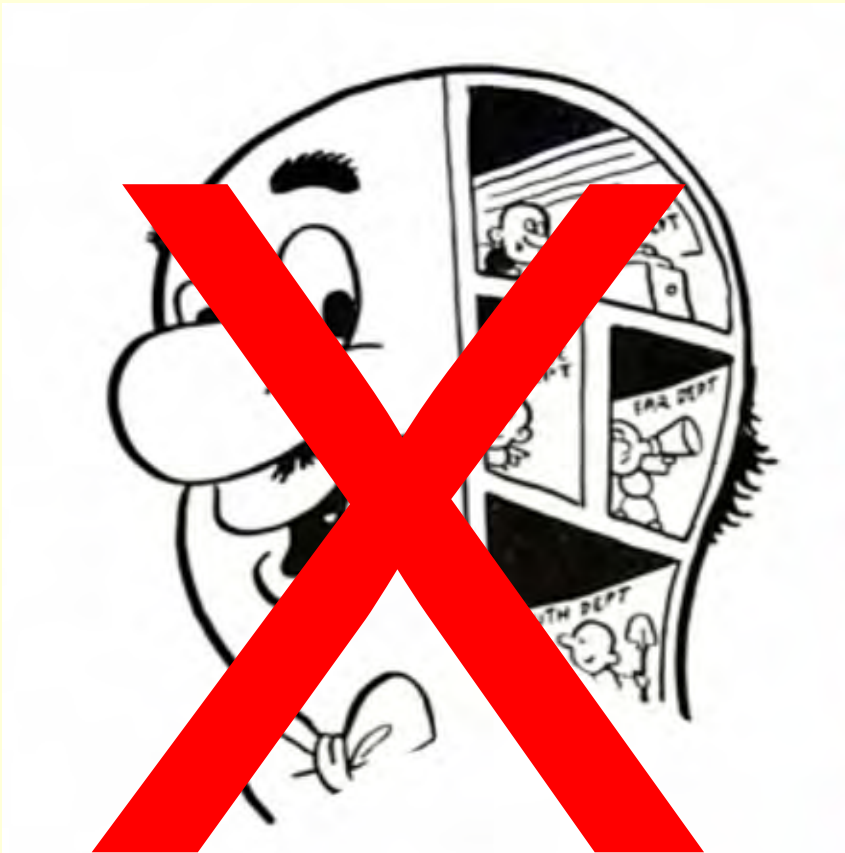


Pas de « centre de.. »
dans le cerveau.

« **There is no boss in the brain.** »

- M. Gazzaniga

Plusieurs données remettent en question une conception très spécialisée des aires cérébrales héritée en grande partie de l'idée de **module spécialisé** (Fodor)...



“For example, Russell Poldrack (2006) estimates [...] that current **evidence for the notion that Broca’s area is a “language” region is fairly weak**, in part because it was more frequently activated by **non-language** tasks than by language-related ones.” (Michael Anderson)



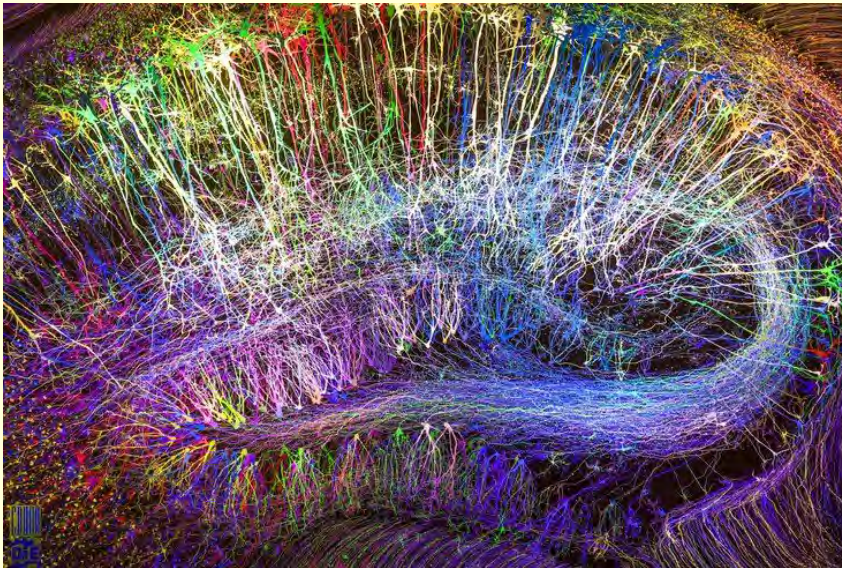
Cela dit, ce n'est pas parce qu'il y a très peu de chance de trouver des « centre de » quoi que ce soit dans le cerveau que l'on ne peut pas y trouver des structures cérébrales bien **différenciées** avec circuits neuronaux capables d'effectuer des calculs particuliers.

Car on trouve effectivement beaucoup de ces structures aux capacités computationnelles particulières mais auxquelles on ne peut accoler une étiquette fonctionnelle unique, comme les circuits de

l'hippocampe

ou du

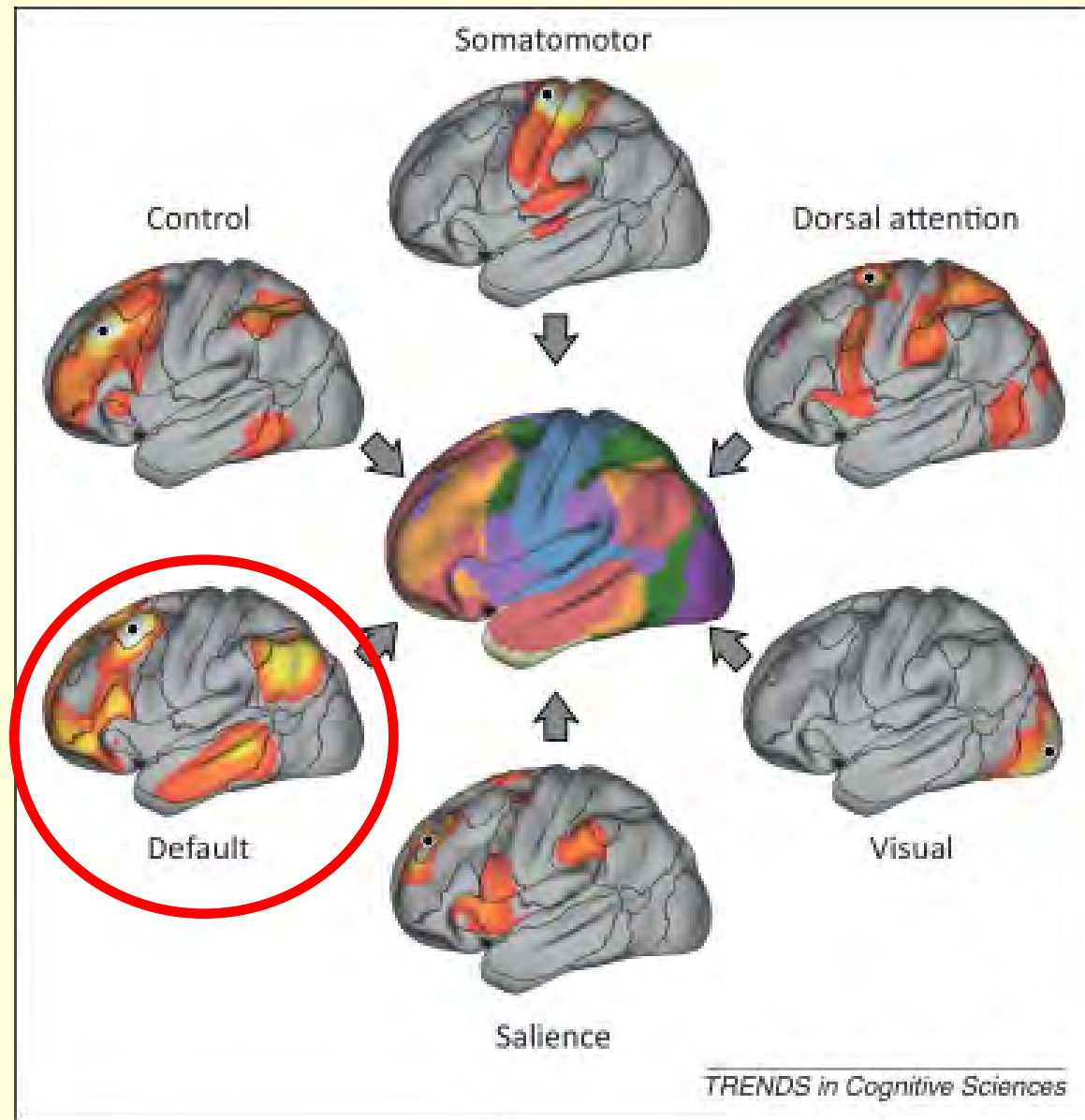
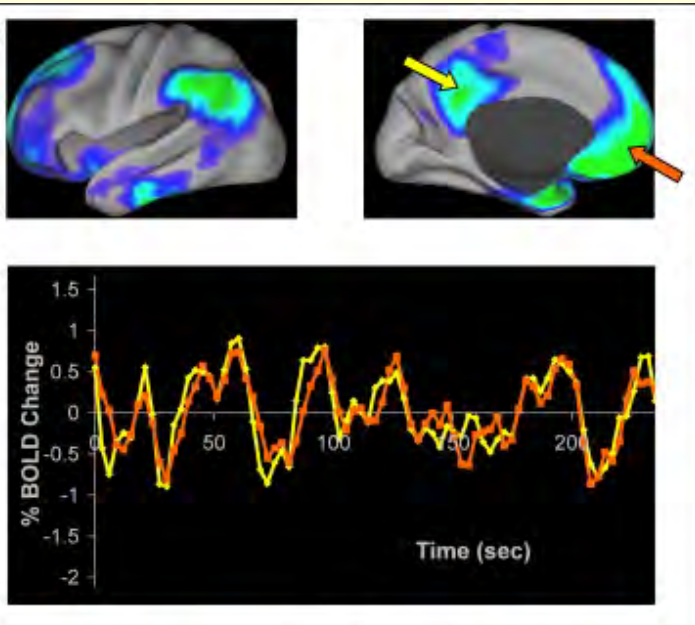
cervelet.



Mais ils vont toujours être en collaboration avec d'autres régions pour **former des réseaux**.

On a pu identifier plusieurs réseaux cérébraux à large échelle actifs dans différentes situations

(corrélation d'oscillations lentes à partir d'une zone prise comme référence)



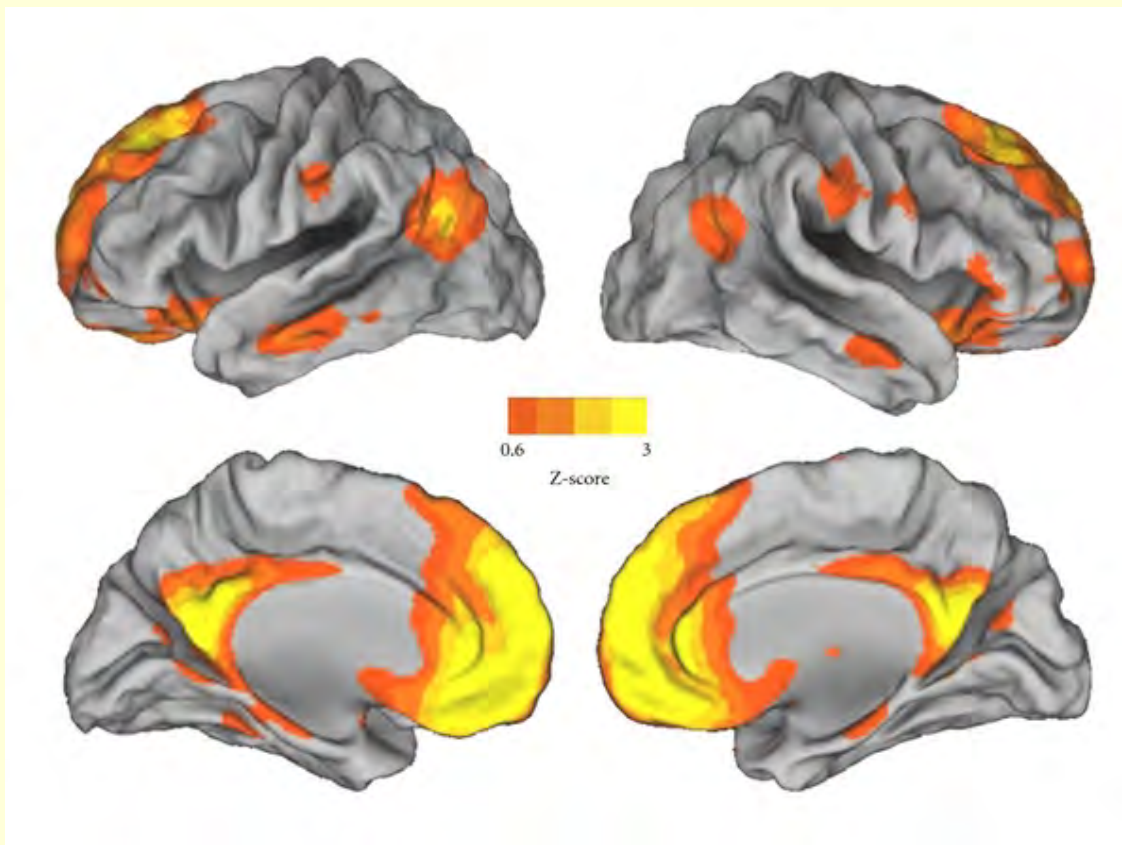
The evolution of distributed association networks in the human brain, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, [13 November 2013](#)

A default mode of brain function.

Raichle, M.E. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. **2001**; 98: 676–682

Raichle et ses collègues ont renversé la perspective jusque-là admise :

au lieu de voir ces régions comme étant simplement désactivées durant les tâches, ils les ont considéré comme étant **plus actives** quand les sujets ne faisaient **aucune tâche**, leur donnant ainsi une raison d'être !

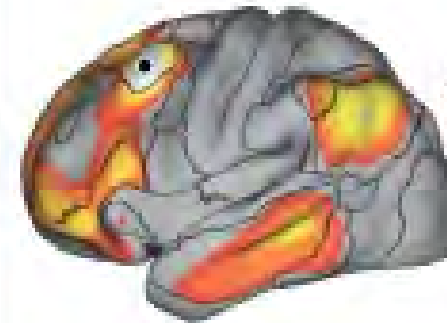


**Is the Default Mode
of the Brain to
Suffer?**

January 19, 2017

<http://nymag.com/scienceofus/2017/01/why-your-mind-is-always-wandering.html>

Soit notre **réseau du mode par défaut** nous repasse des extraits de ce film de notre vie personnelle et sociale quand nous sommes peu sollicité par notre environnement.



Default

Dorsal attention



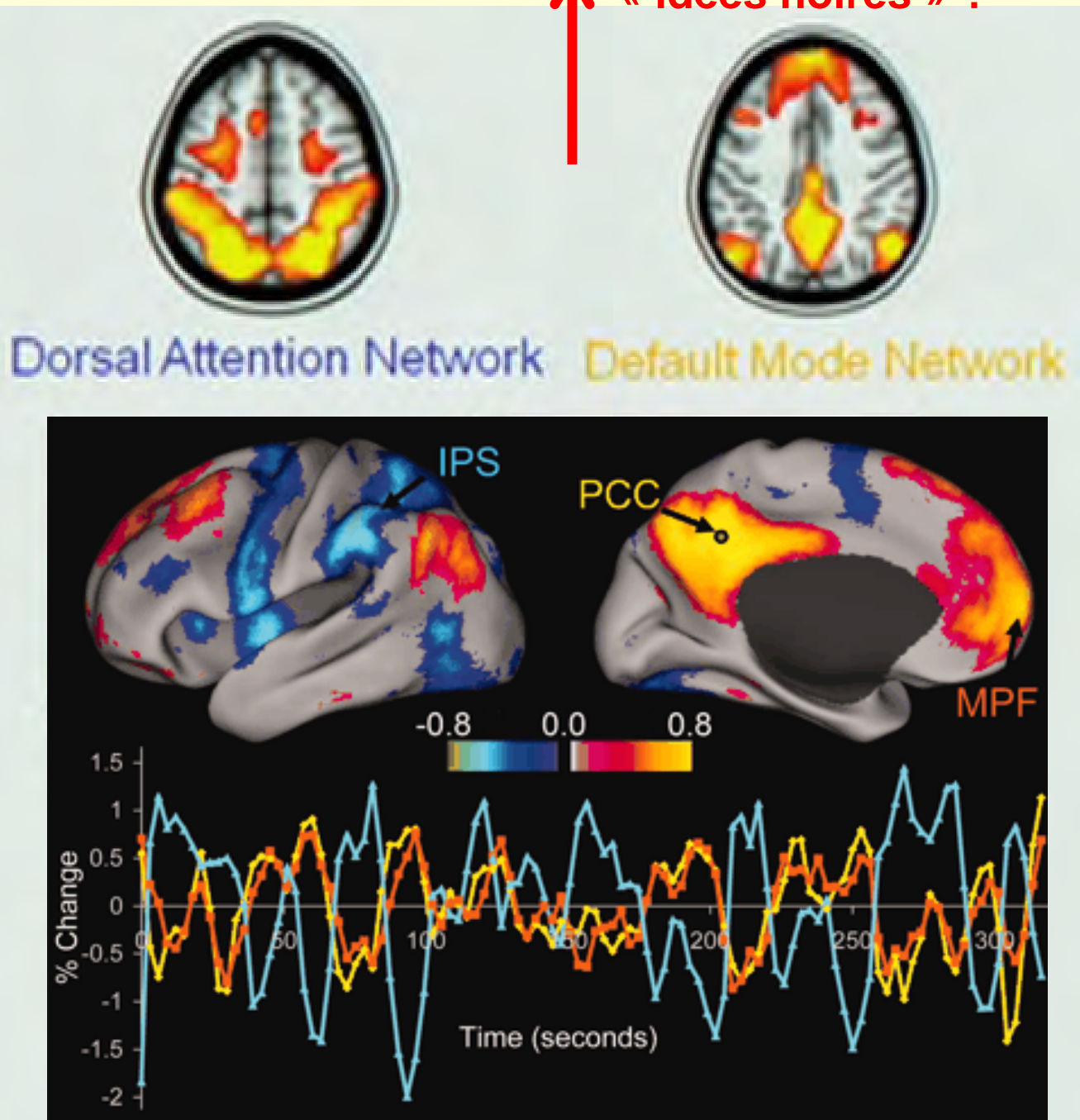
Ou soit, par l'entremise fréquente de régions frontales de notre cortex, nous concentrons notre **attention** sur une tâche cognitive pour la résoudre.

Et c'est ce que l'on observe :

une **anti-corrélation** entre les activités de ces deux systèmes qui est visible dans leur activité spontanée au repos,

The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks
Fox et al (2005) PNAS
<http://www.pnas.org/content/102/27/9673.full>

↑ « idées noires » ?



Modèles impliquant le réseau du mode par défaut en psychiatrie **pour la dépression** :

Depressive Rumination, the Default-Mode Network, and the Dark Matter of Clinical Neuroscience

J. Paul Hamilton, Madison Farmer, Phoebe Fogelman, Ian H. Gotlib

Received: July 28, 2013; Received in revised form: February 9, 2015; Accepted: February 11, 2015; Published Online:

February 24, 2015

<http://www.biologicalpsychiatryjournal.com/article/S0006-3223%2815%2900143-2/abstract>

Default mode network mechanisms of transcranial magnetic stimulation in depression.

[Liston C](#)¹, [Chen AC](#)², [Zebley BD](#)³, [Drysdale AT](#)⁴, [Gordon R](#)⁴, [Leuchter B](#)⁴, [Voss HU](#)⁵, [Casey BJ](#)⁴, [Etkin A](#)², [Dubin MJ](#)⁴. Biol Psychiatry. 2014 Oct 1;76(7):517-26. doi:

10.1016/j.biopsych.2014.01.023. Epub **2014 Feb 5**.

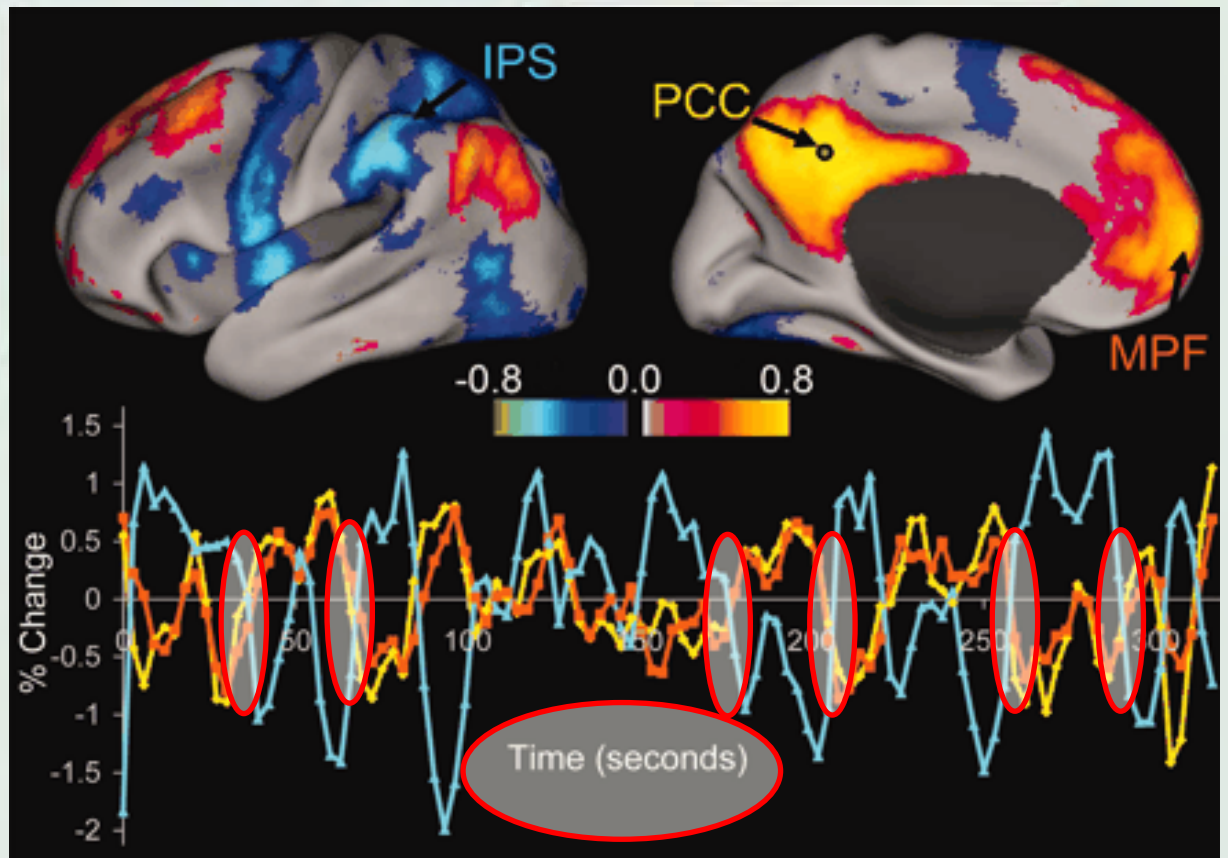
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24629537>



Dorsal Attention Network



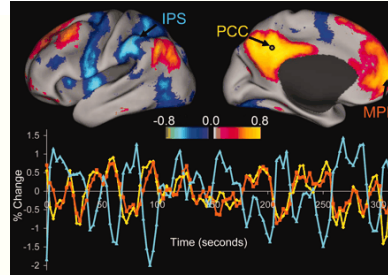
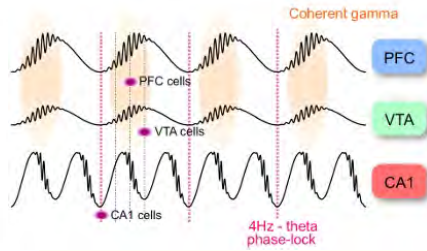
Default Mode Network



The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks
Fox et al (2005) PNAS
<http://www.pnas.org/content/102/27/9673.full>

time-scale

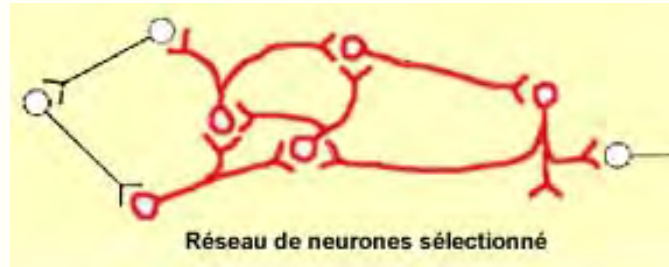
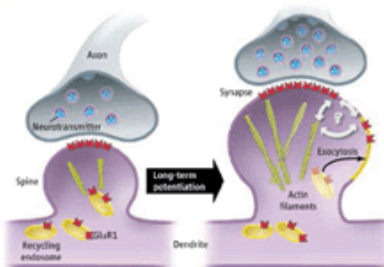
$10^{-3} s$



Processus dynamiques :

Attention,
perception,
action

$10^{-1} s$



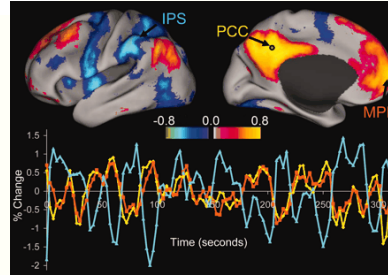
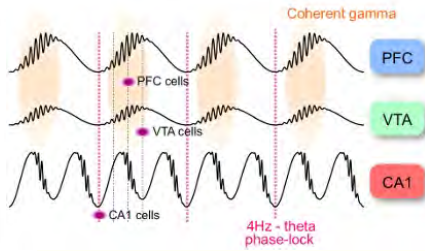
Apprentissage

$10^0 s$

$10^{10} s$

time-scale

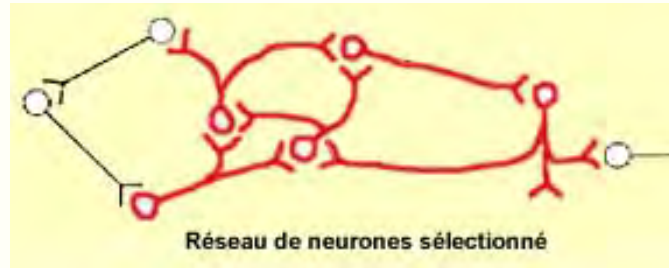
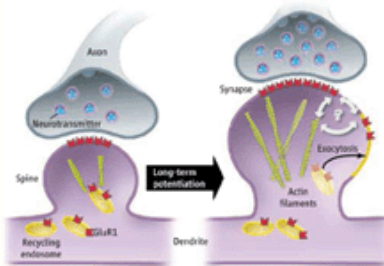
$10^{-3} s$



Processus dynamiques :

Attention, perception, action

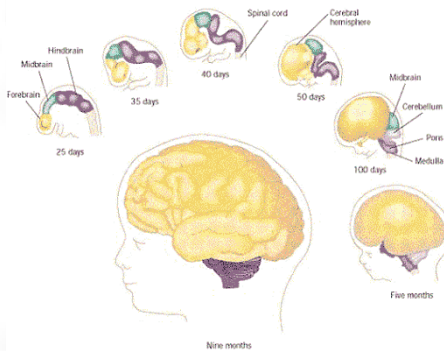
$10^{-1} s$



Apprentissage

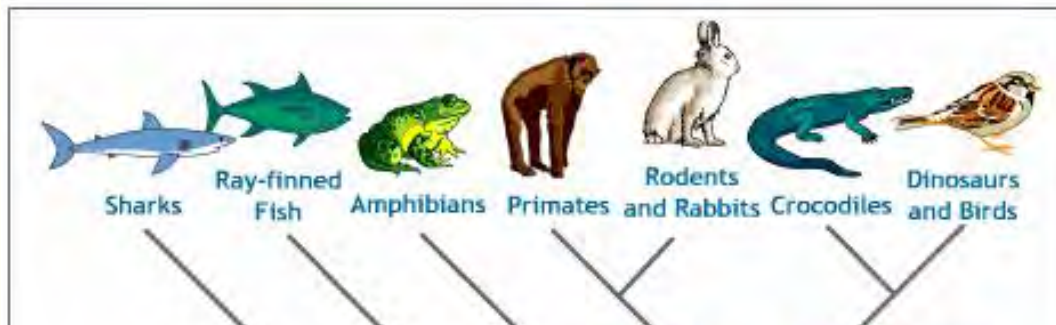
$10^1 s$

$10^0 s$



Développement

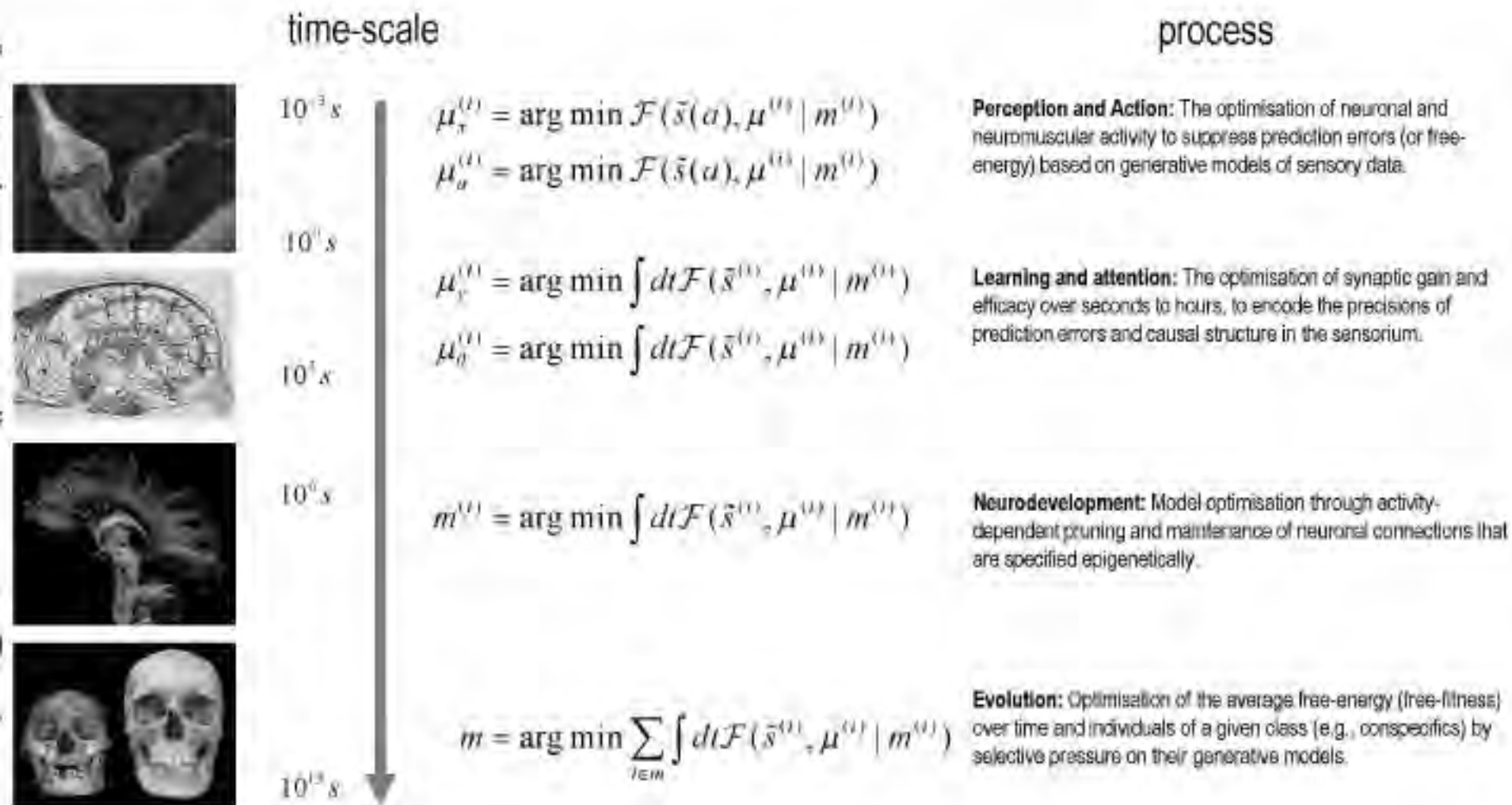
$10^{10} s$



Évolution

Embodied Inference: or “I think therefore I am, if I am what I think”

Karl Friston



Free-energy optimisation at different scales

Embodied Inference: or “I think therefore I am, if I am what I think”

Karl Friston

time-scale

process

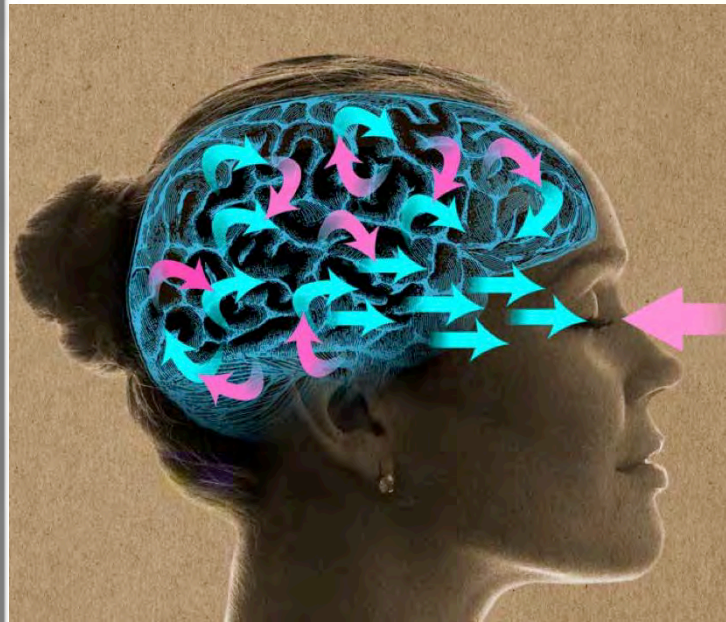
Le « cerveau prédictif »
(« predictive processing »)

Perception and Action: The optimisation of neuronal and neuromuscular activity to suppress prediction errors (or free-energy) based on generative models of sensory data.

Learning and attention: The optimisation of synaptic gain and efficacy over seconds to hours, to encode the precisions of prediction errors and causal structure in the sensorium.

Neurodevelopment: Model optimisation through activity-dependent pruning and maintenance of neuronal connections that are specified epigenetically.

Evolution: Optimisation of the average free-energy (free-fitness) over time and individuals of a given class (e.g., conspecifics) by selective pressure on their generative models.



$10^{-3} s$

$10^{11} s$

$10^1 s$

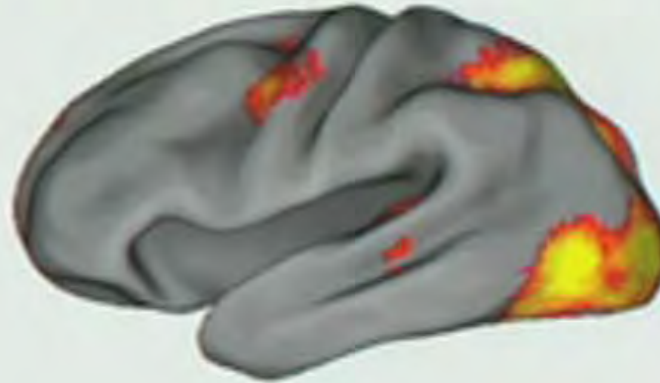
$10^6 s$

$10^{13} s$

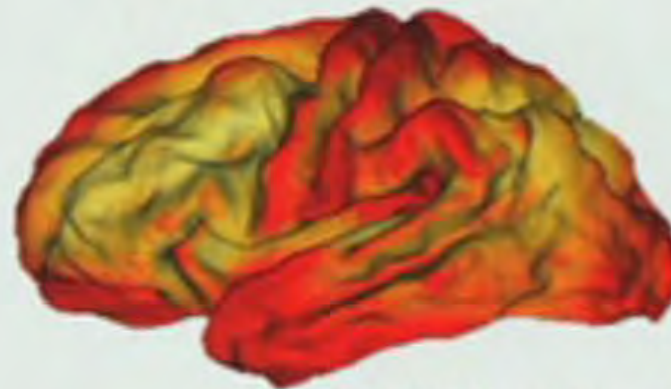
Free-energy optimisation at different scales

An Historical View

Reflexive
(Sir Charles Sherrington)



Intrinsic
(T. Graham Brown)



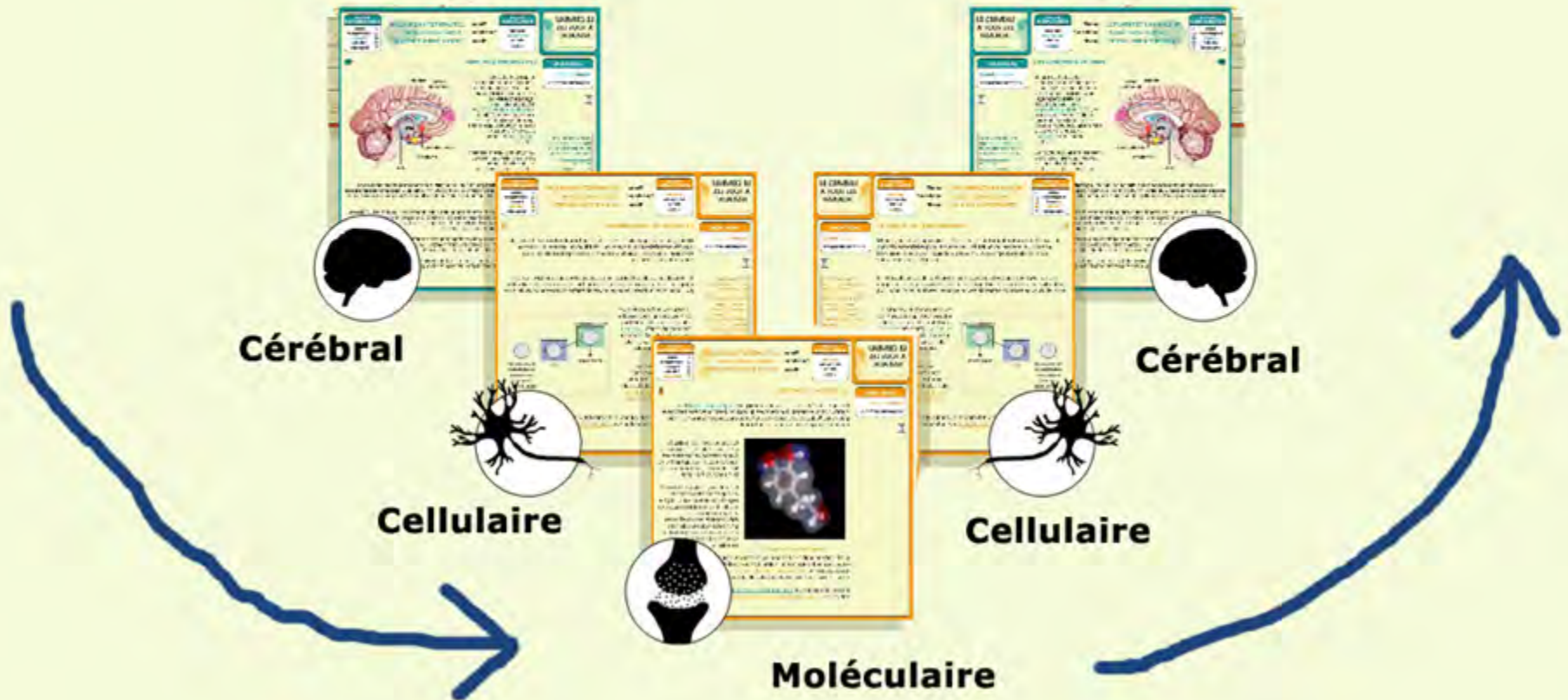
« Il pleut tout
le temps
dans notre
cerveau ! »

Introduction :

- Métaphores cérébrales
- Perspective évolutive

Conclusion :

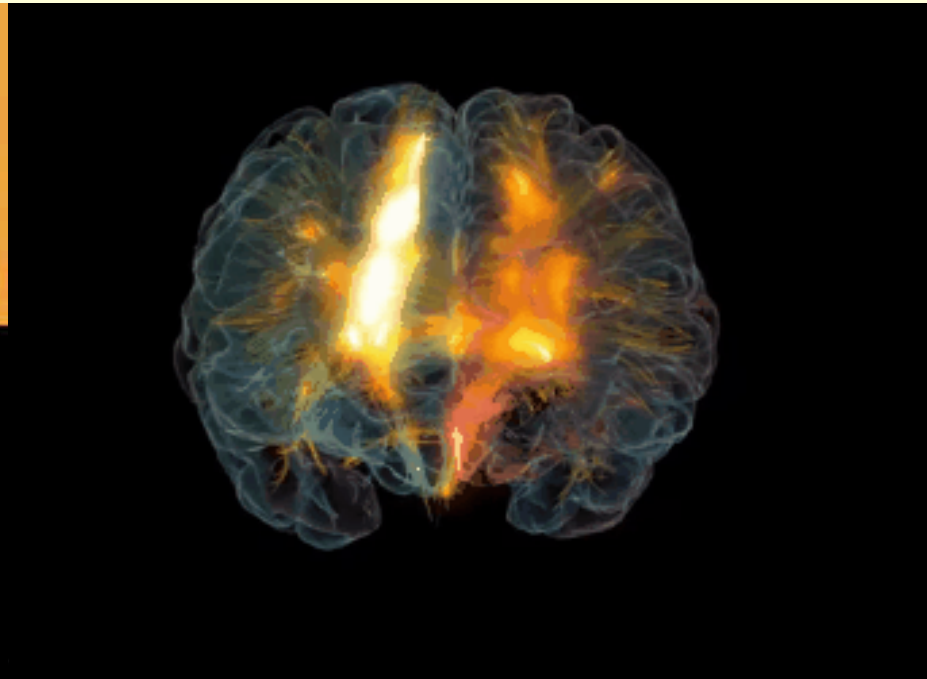
- **ma métaphore
cérébrale préférée**





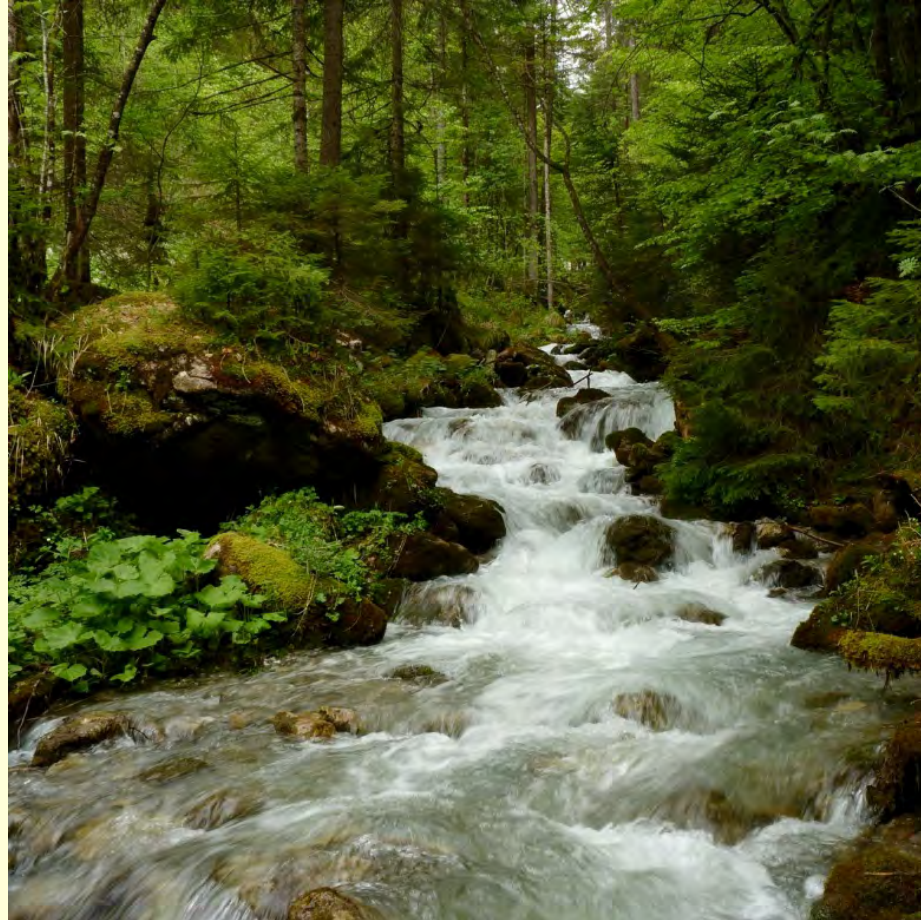
Bonne métaphore

Il faut penser le cerveau en terme **d'activité dynamique**,
comme des musiciens de jazz !



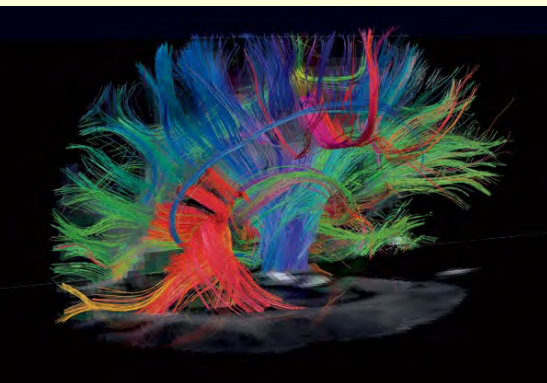
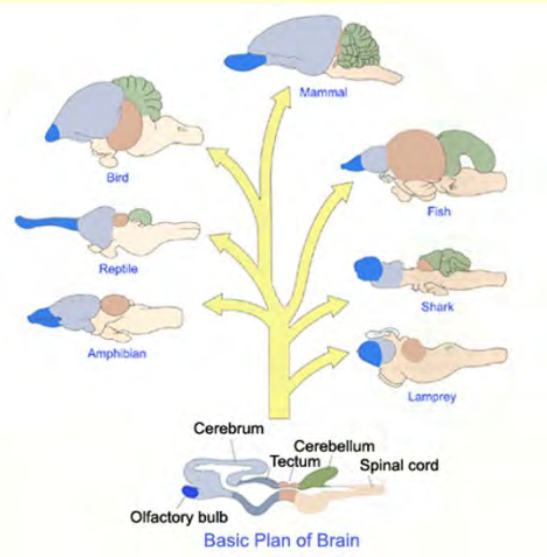
Mais ma métaphore préférée demeure...

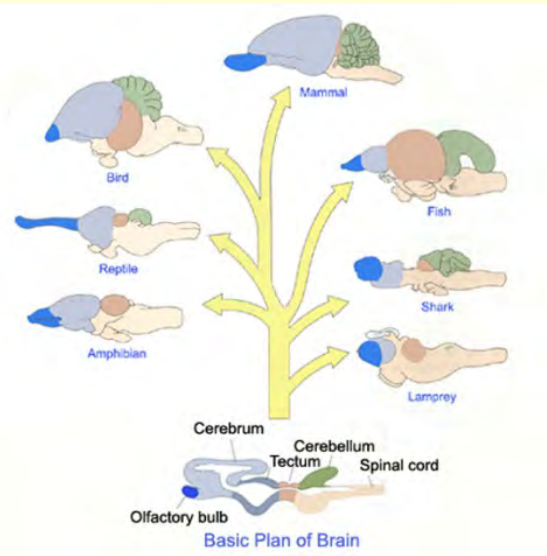




Le flux de l'eau est l'activité électrique du cerveau qui fluctue constamment.

Et ces fluctuations sont contraintes par le système nerveux humain issu de sa longue histoire évolutive.

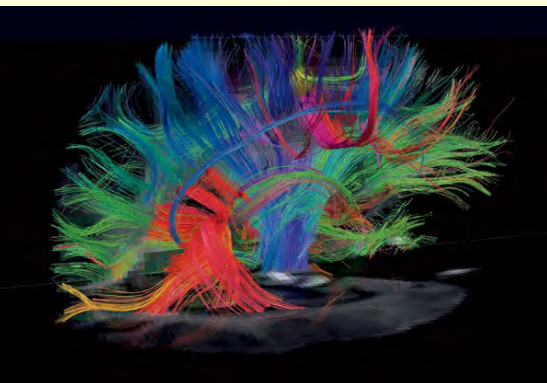




Mais sur une échelle de temps plus longue, le lit de la rivière est **érodé** par l'eau et **se modifie**.



Tout comme les petites routes de nos circuits nerveux sont modifiées par notre histoire de vie.



Je vous remercie
de votre attention !

