

Jeudi 11 juin

**Séance 1 : ~~Du Big Bang aux sociétés humaines,~~
~~en passant par l'évolution des systèmes nerveux~~**

Séance 2 : Ancienne et nouvelle « grammaire » de la communication neuronale

[dîner]

Séance 3 : Nos mémoires

Séance 4 : Cartographier notre connectome

Vendredi 12 juin

Séance 5 : Des réseaux qui oscillent à l'échelle du cerveau

Séance 6 : Les « fonctions supérieures »

[dîner]

Séance 7 : Le corps-cerveau-environnement

Séance 8 : Vers une « neuropédagogie » ?

Jeudi 11 juin

Séance 2 : Ancienne et nouvelle « grammaire » de la communication neuronale

Modèles et théories en science;

Une cellule spécialisée particulière, le neurone;

Conduction électrique et transmission chimique;

Intégration neuronale;

Cellules gliales;

Synapses chimiques et électriques;

Récepteur NMDA;

[Bonus : L'optogénétique]

C'est pas mal complexe

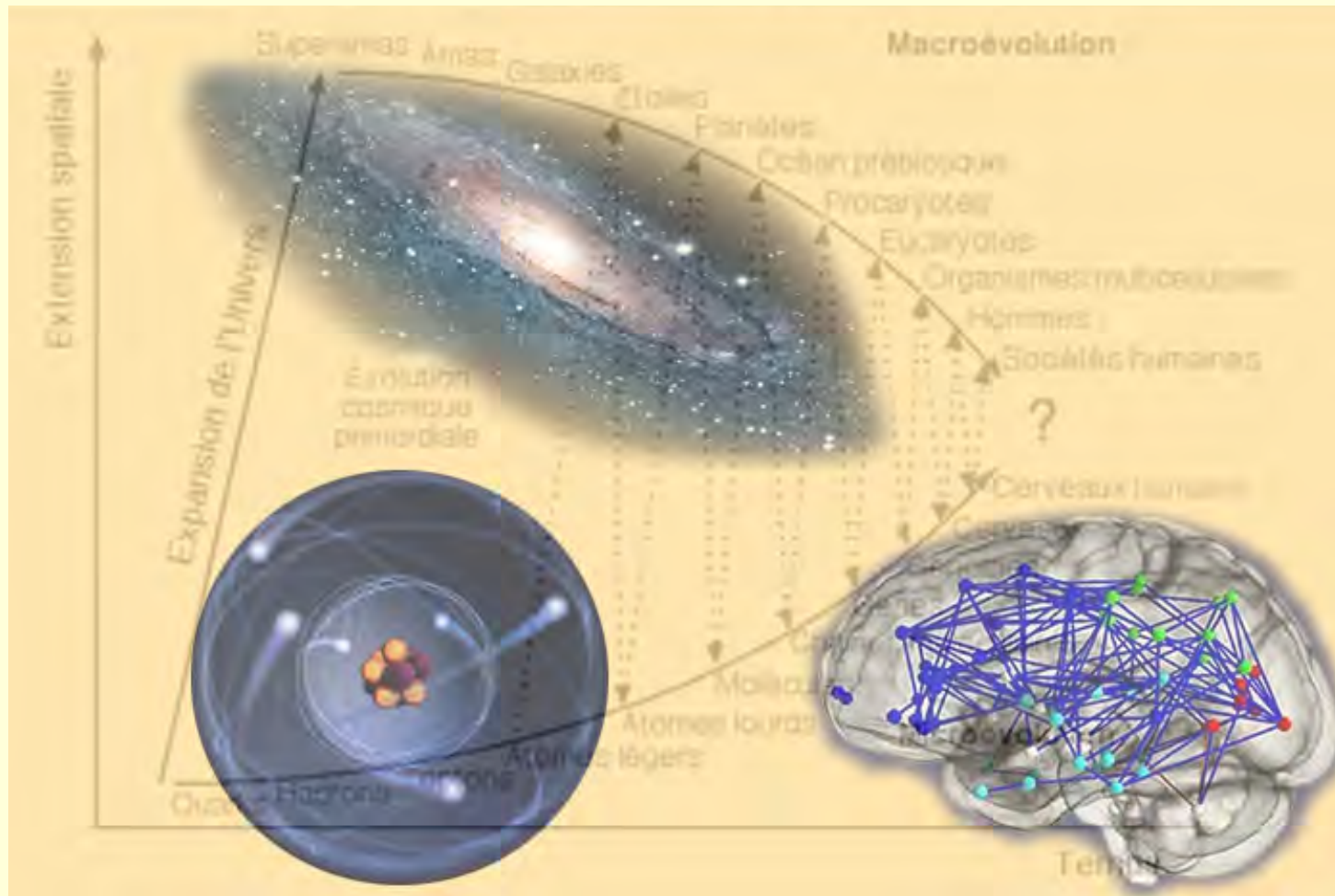


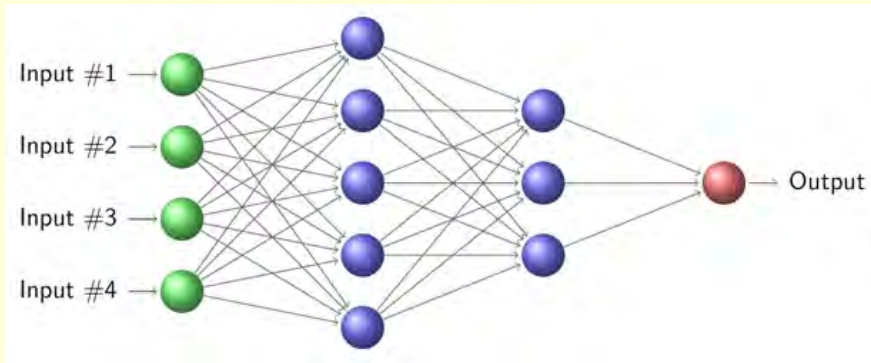
Ça va nous prendre des modèles...

Mais qu'est-ce qu'un modèle, déjà ?

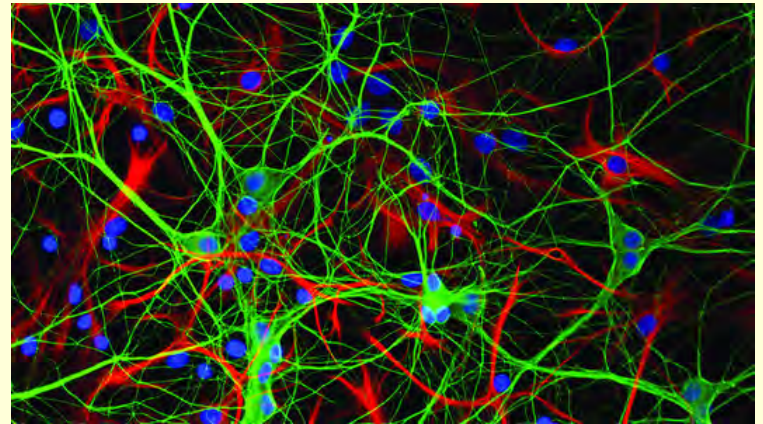
Un **modèle scientifique** est une représentation simplifiée

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





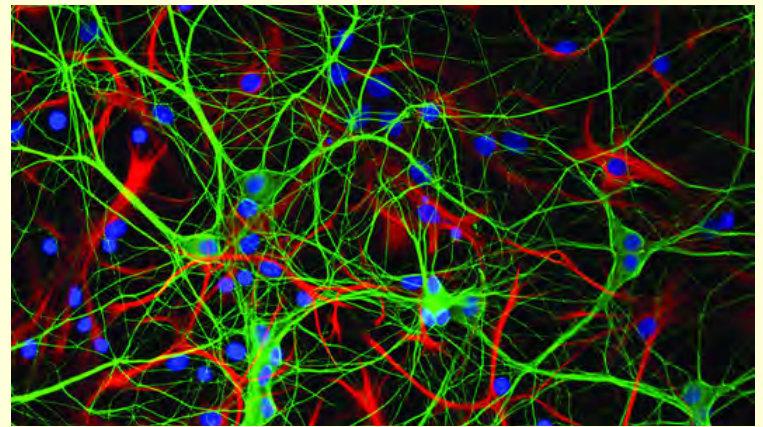
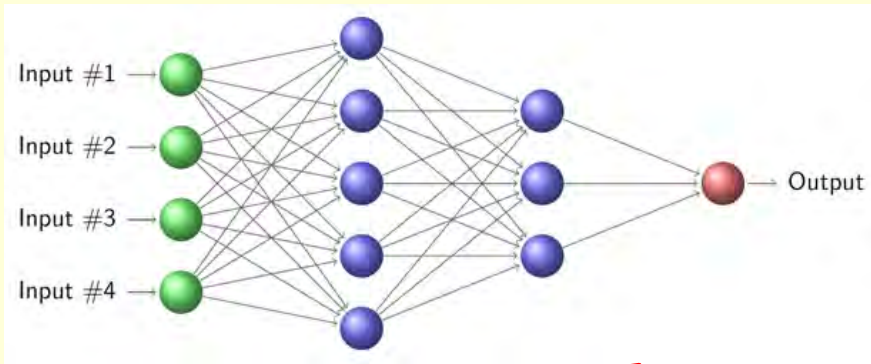
objet M



objet O

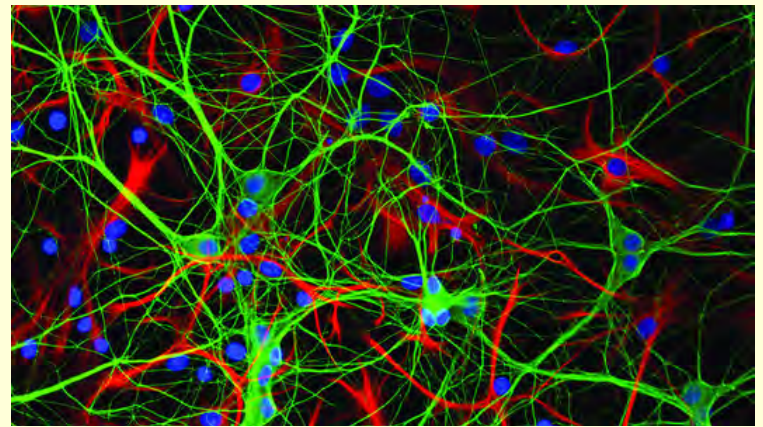
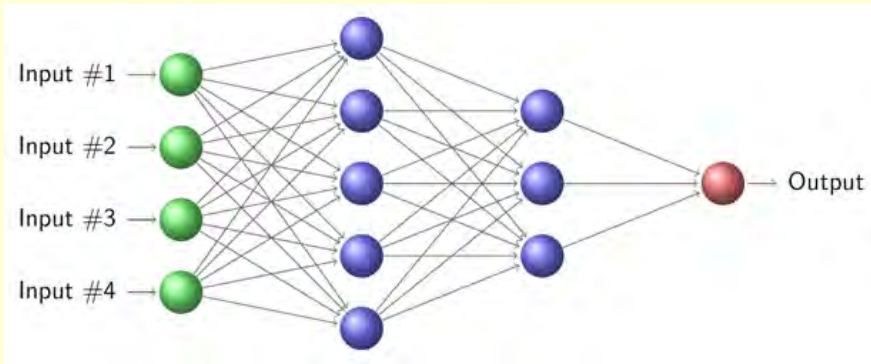
« Pour un observateur, un objet M est un modèle d'un objet O dans la mesure où l'observateur peut utiliser M pour répondre à des questions qui l'intéressent au sujet de O »

- Marvin Minsky, 1965



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

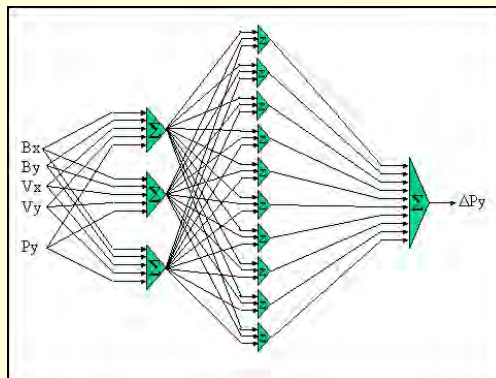
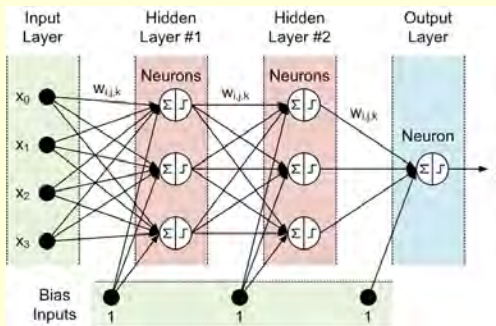
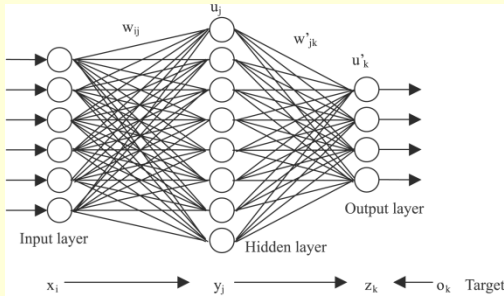
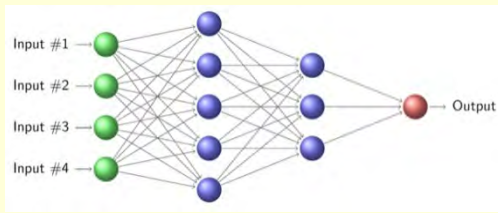
« Tous les modèles sont faux, certains sont utiles ».



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.

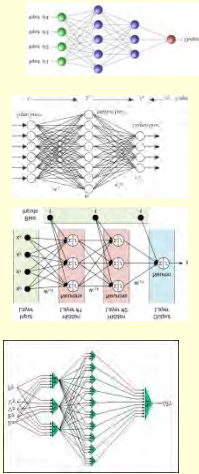


Mais ces modèles et ces hypothèses ne sont **pas isolés**.

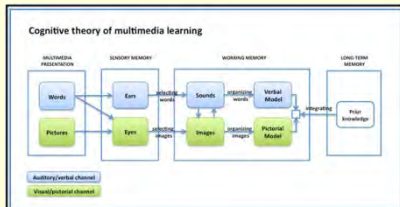
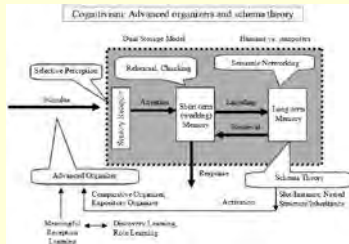
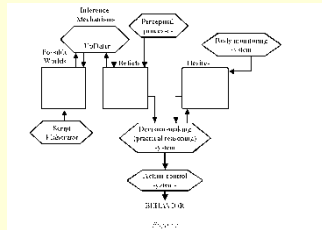
Ils s'inscrivent généralement dans une **théorie scientifique** plus large.

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

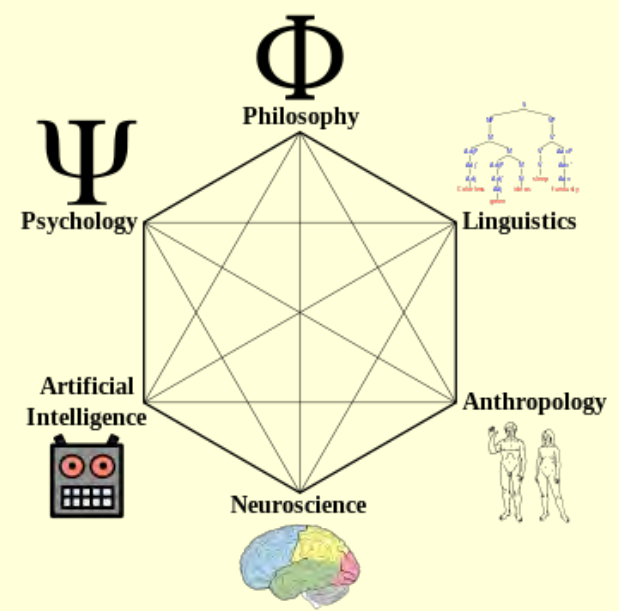
Modèles



Exemple :
la théorie
connexionniste



Exemple :
la théorie
cognitiviste



Différentes théories

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

On parle de **paradigmes scientifiques**,

une notion introduite par Thomas Kuhn en 1962,

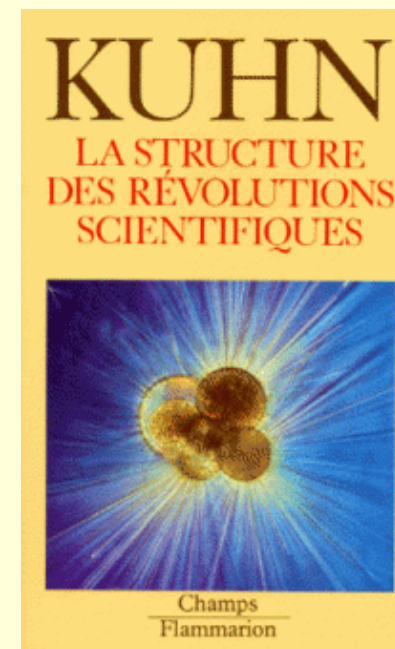
pour désigner l'idée qu'il y a, à une époque donnée,

« **UNE** » **théorie plus largement acceptée** au sein de la communauté scientifique dans un domaine particulier.

Ce que Kuhn appelle aussi la « science normale ».

Les grandes lois ou les mécanismes explicatifs de ce paradigme dominant pourront être **dérangées périodiquement**

par des données dites « a-normales » qui, lorsqu'elles deviennent trop nombreuses, provoquent des **révolutions scientifiques**.

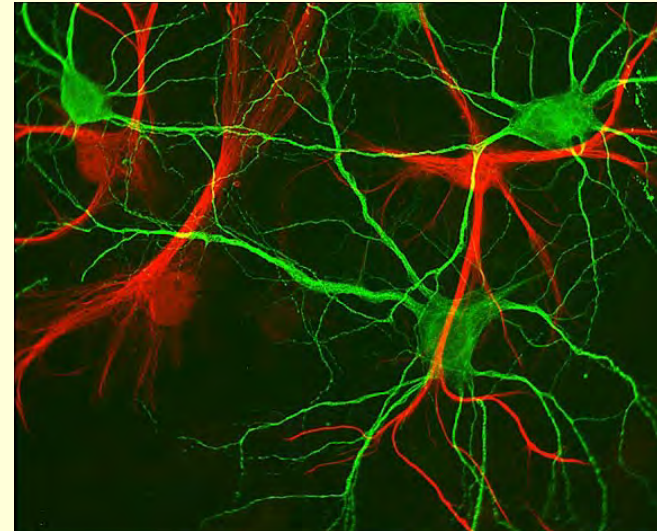


[on y reviendra au début de la 1^{ère} séance de mercredi matin...]

« Ancienne et nouvelle grammaire » de la communication neuronale

La théorie du neurone

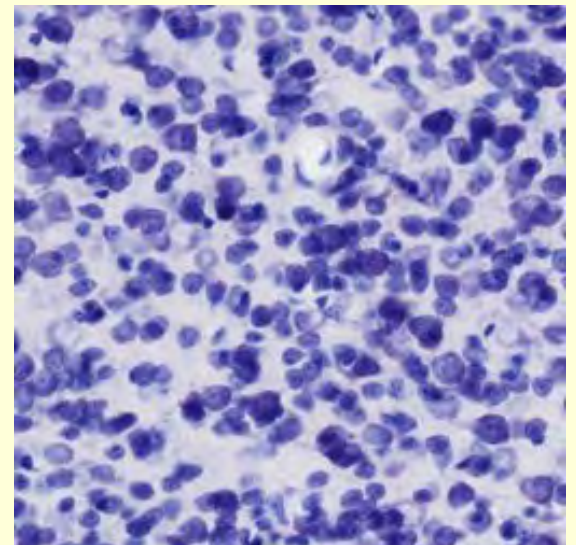
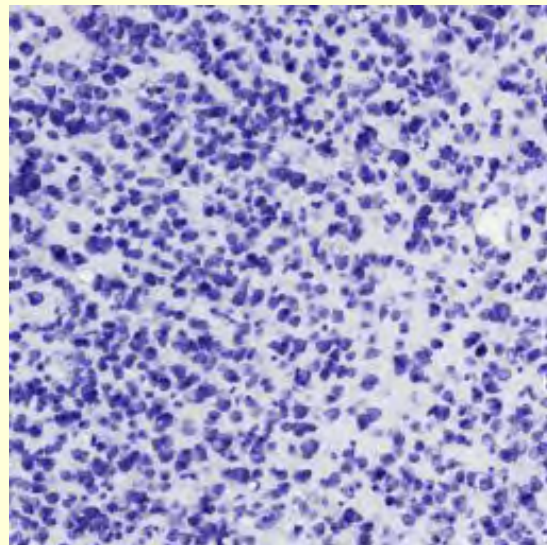
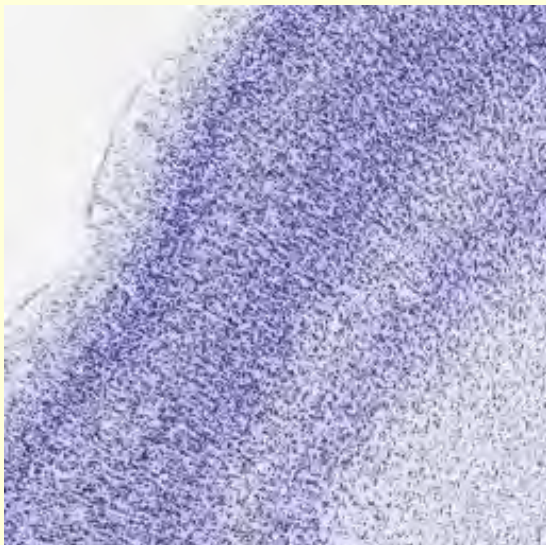
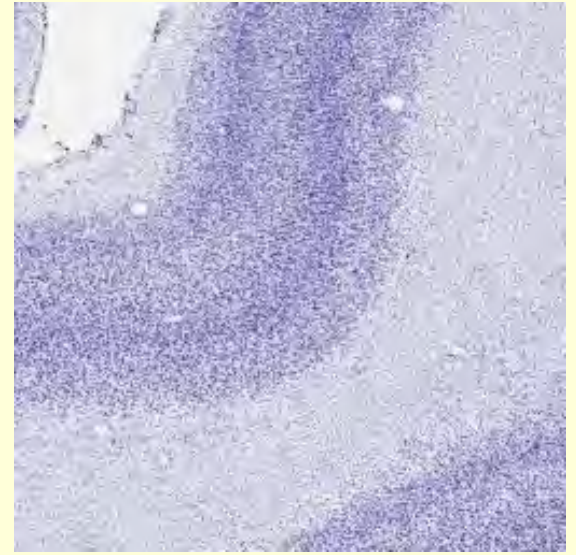
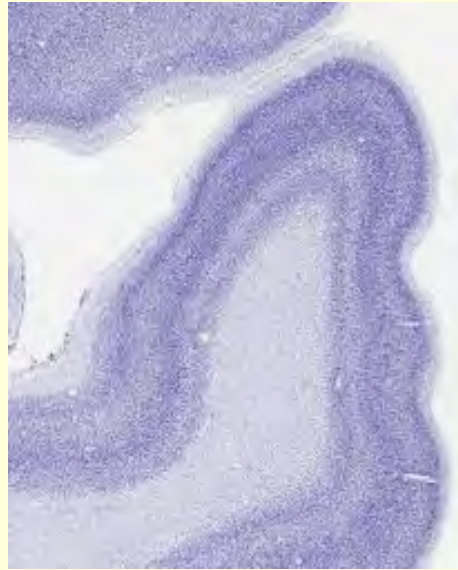
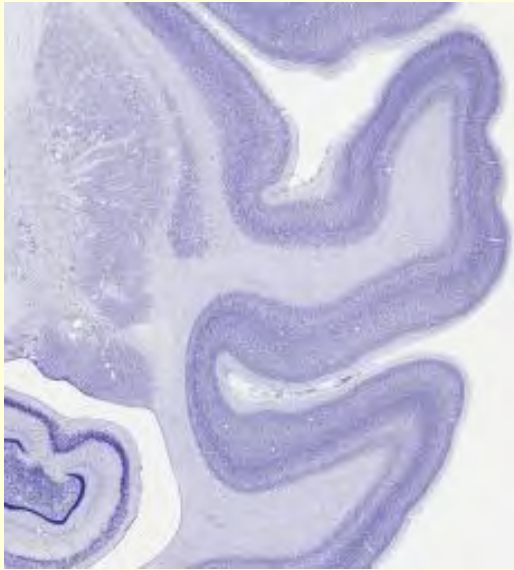
- Ce qu'on peut garder
- Tout ce qu'on sait maintenant qui lui manque



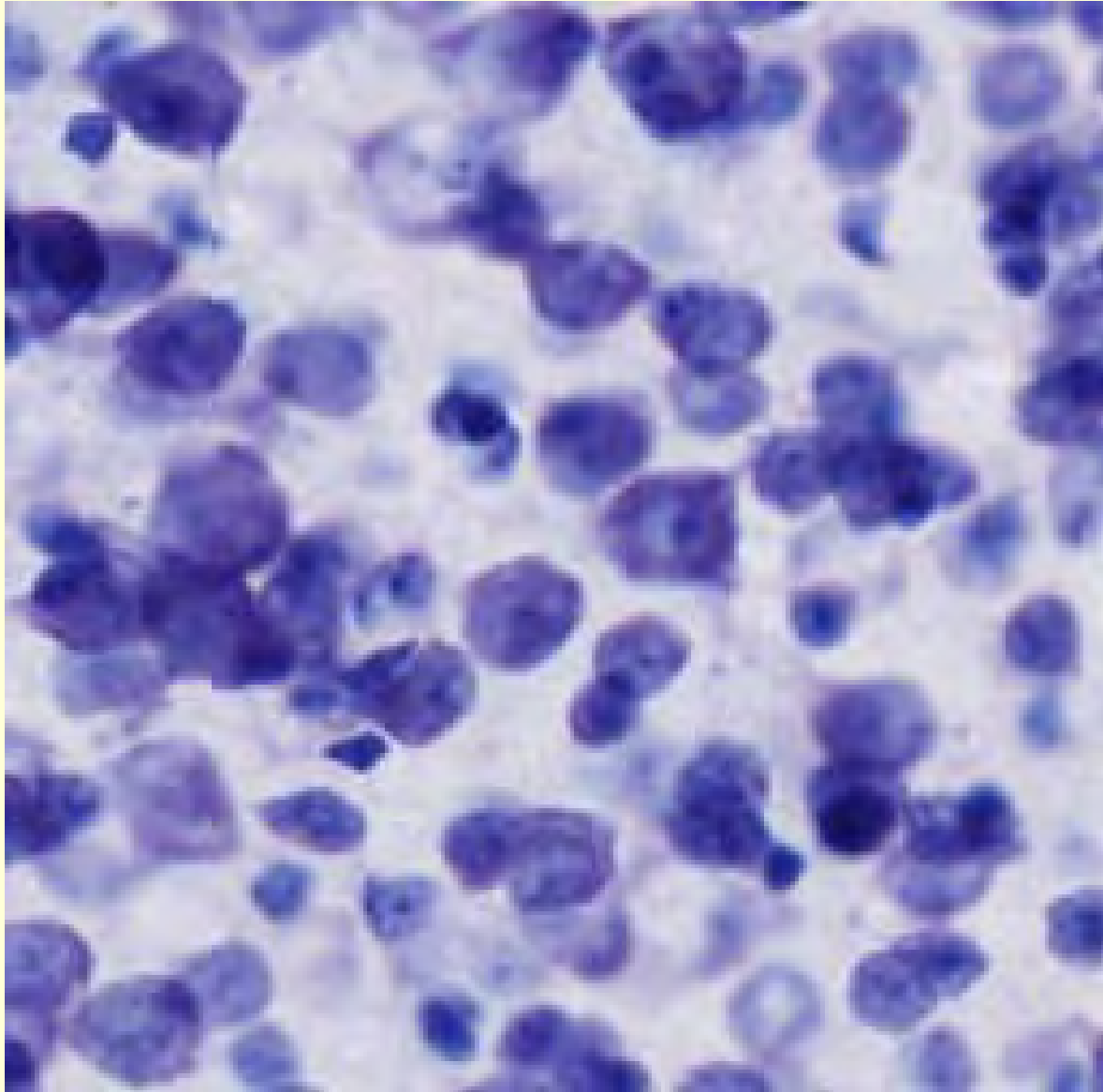
Où comment se rappeler qu'une théorie scientifique n'est **pas une vérité immuable**, mais une explication acceptée par la communauté scientifique à une époque donnée et toujours **susceptible d'être invalidée ou complétée**.

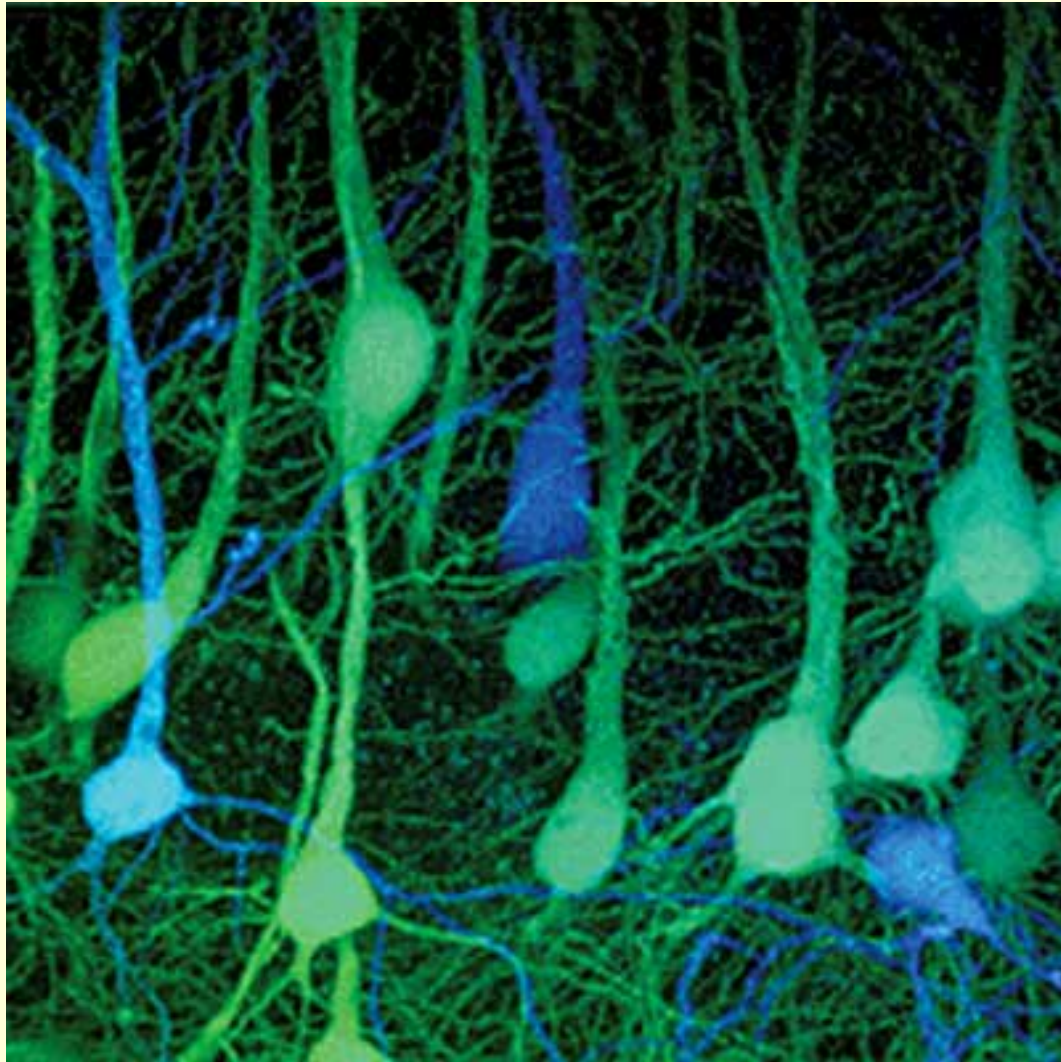


zoom in sur sa région foncée, aussi appelée matière grise...



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





Si on mettait bout à bout tous ces petits câbles, on a estimé qu'on pourrait faire plus de **4 fois le tour de la Terre** avec le contenu d'un seul cerveau !

Chaque neurone peut faire jusqu'à 10 000 connexions avec d'autres neurones.

85 000 000 000 neurones !







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

l'UPop Montréal vous propose une activité spéciale sur le Mont-Royal
La complexité à pied : quand le Mont-Royal devient notre cerveau !

Départ : samedi 16 mai, 14h., statue des tam-tams

Tous les détails au www.upopmontreal.com



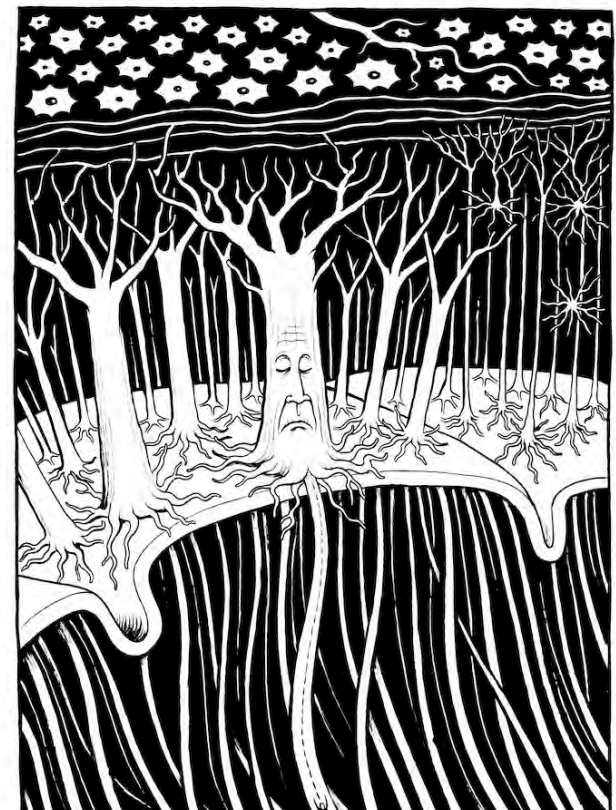
neurones univers mécanique quanti
Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur...
Les trois infinis :
le petit, le grand et le complexe

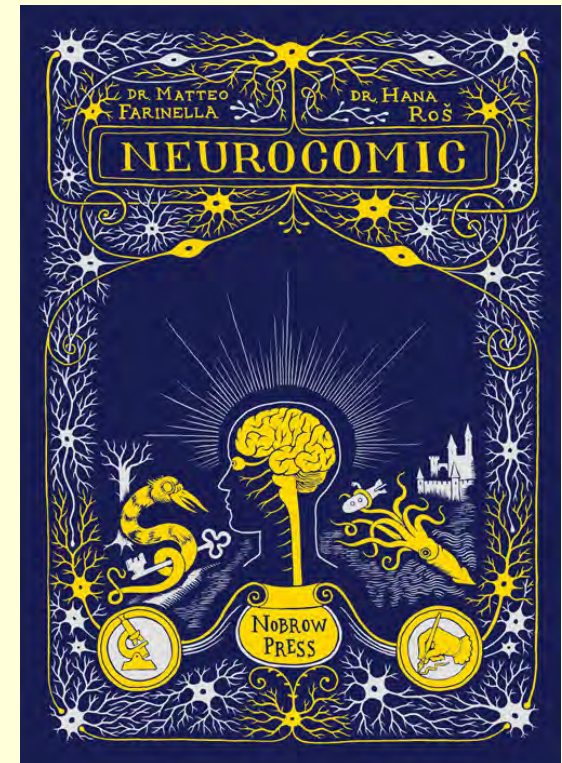
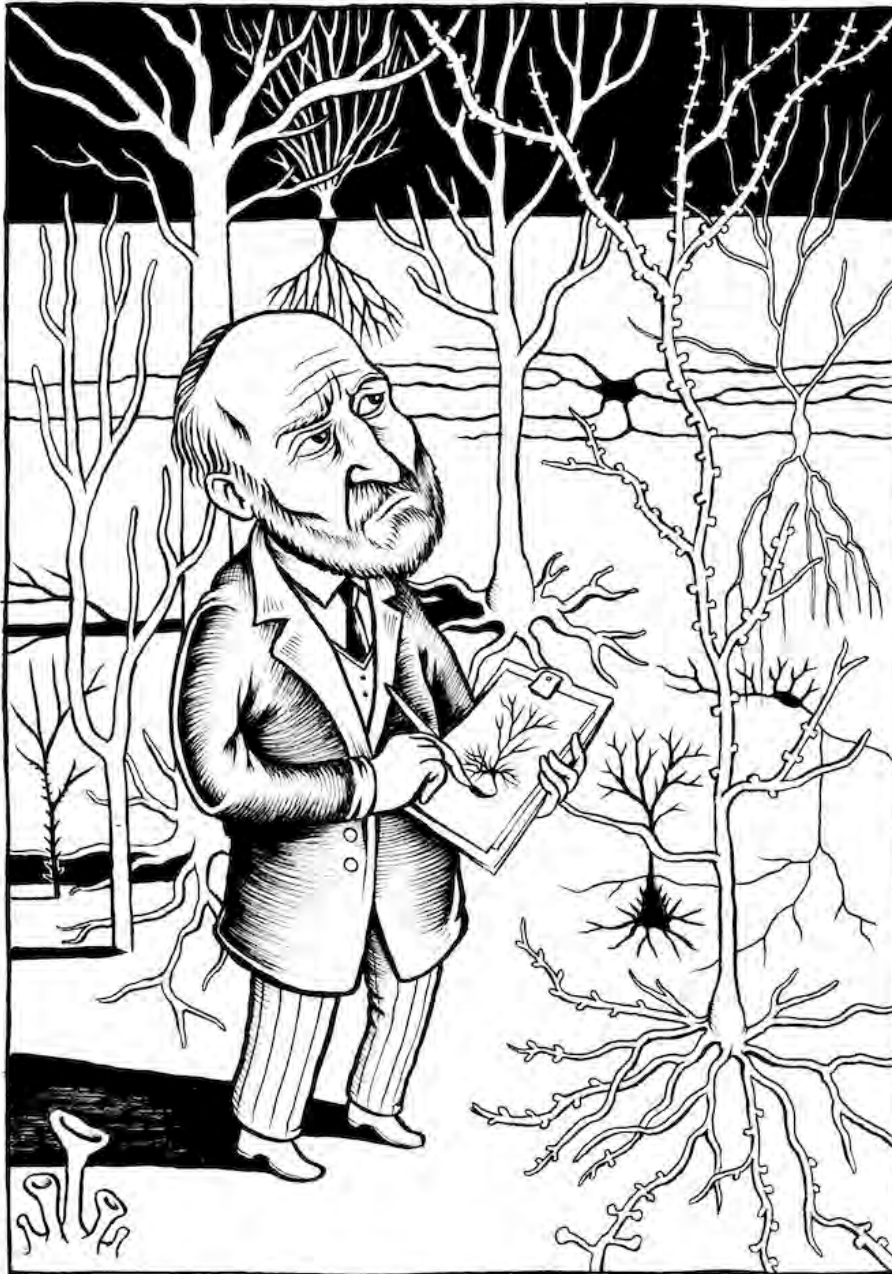
l'UPop Montréal vous propose une activité spéciale sur le Mont-Royal

La complexité à pied : quand le Mont-Royal devient notre cerveau !

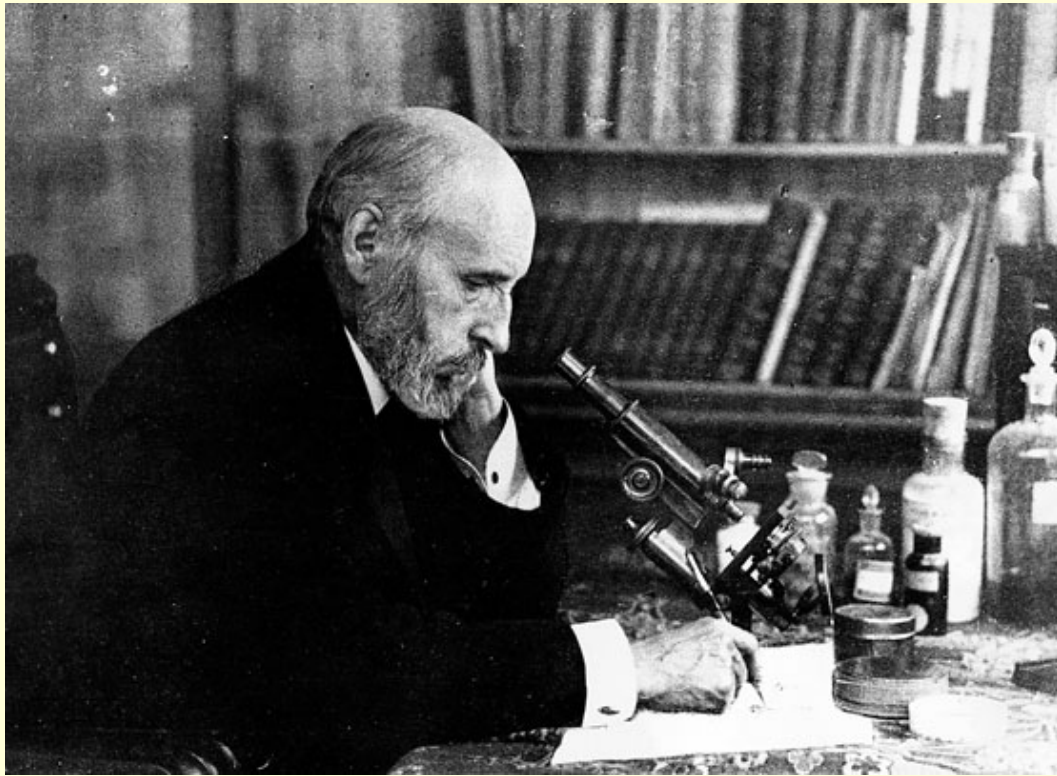
Départ : samedi 16 mai, 14h., statue des tam-tams

Tous les détails au www.upopmontreal.com



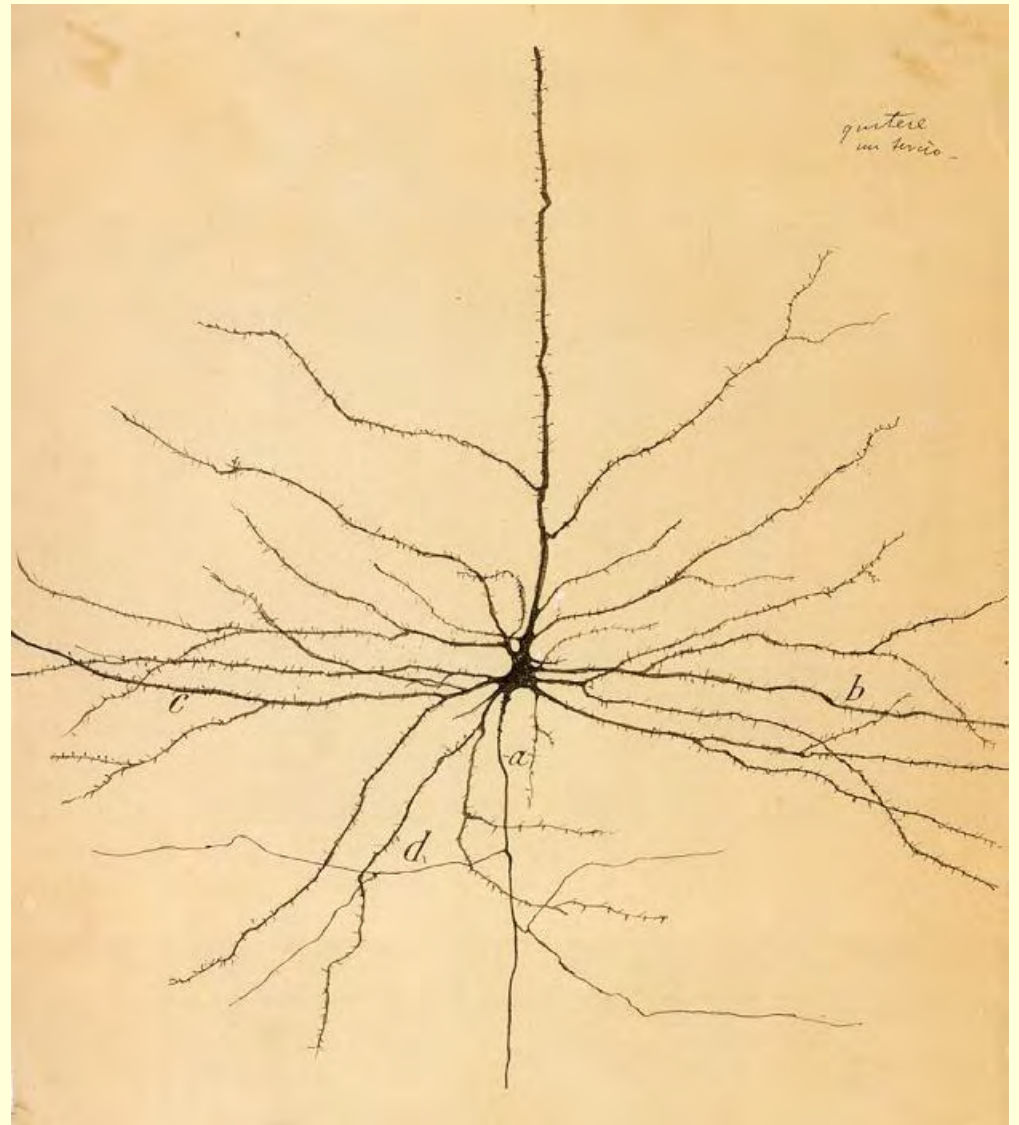


http://www.brainpickings.org/index.php/2014/04/02/neurocomic-nobrow/?utm_content=buffer78bdd&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer



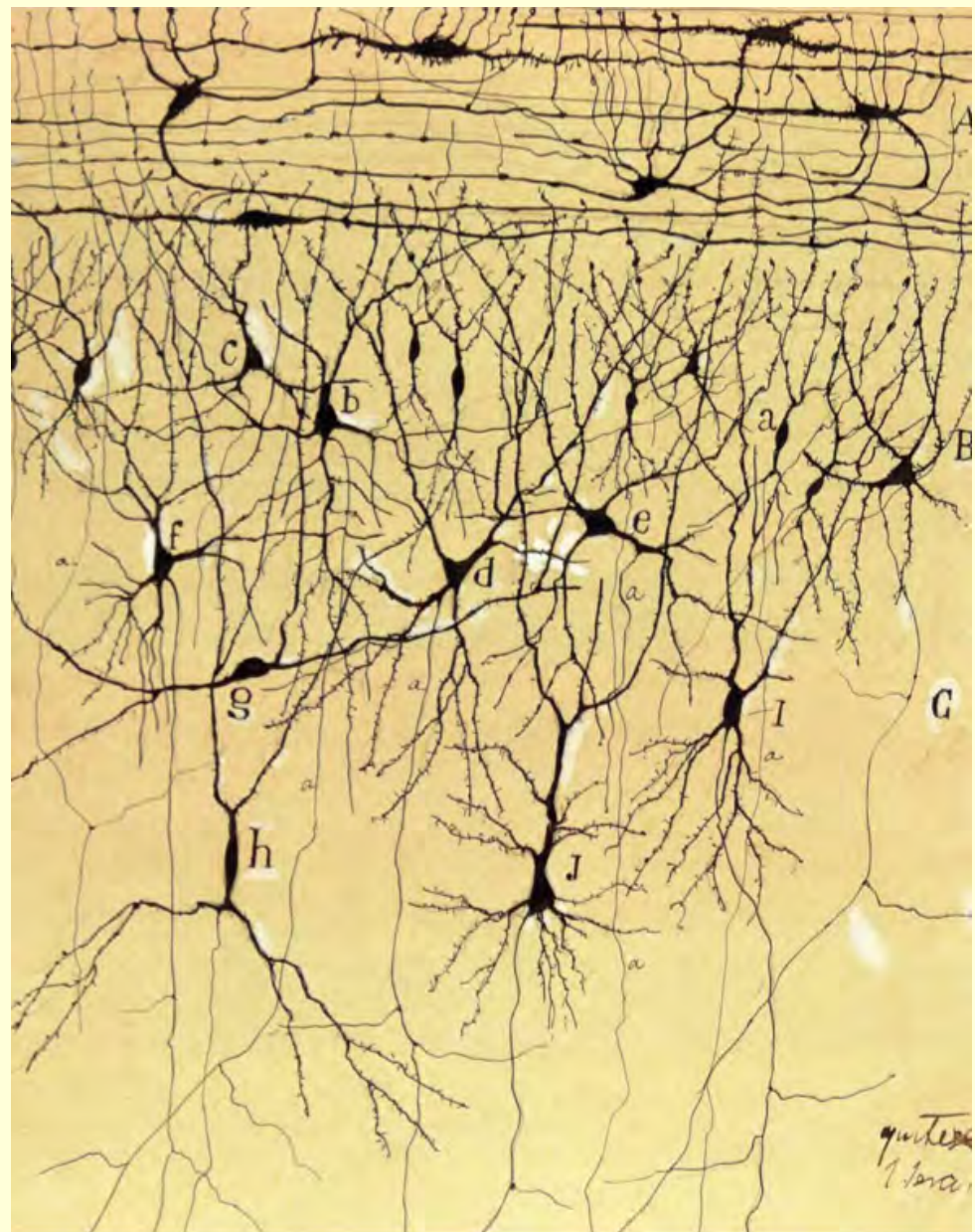
Ramon y Cajal

une des plus anciennes techniques de coloration, la coloration de Golgi, permettait déjà de voir ces prolongements au début du XXe siècle



Neurone pyramidal du cortex moteur

permettait aussi d'observer
que ces cellules nerveuses
sont organisées en **couches**
d'épaisseur variables selon
les différentes régions du **cortex**



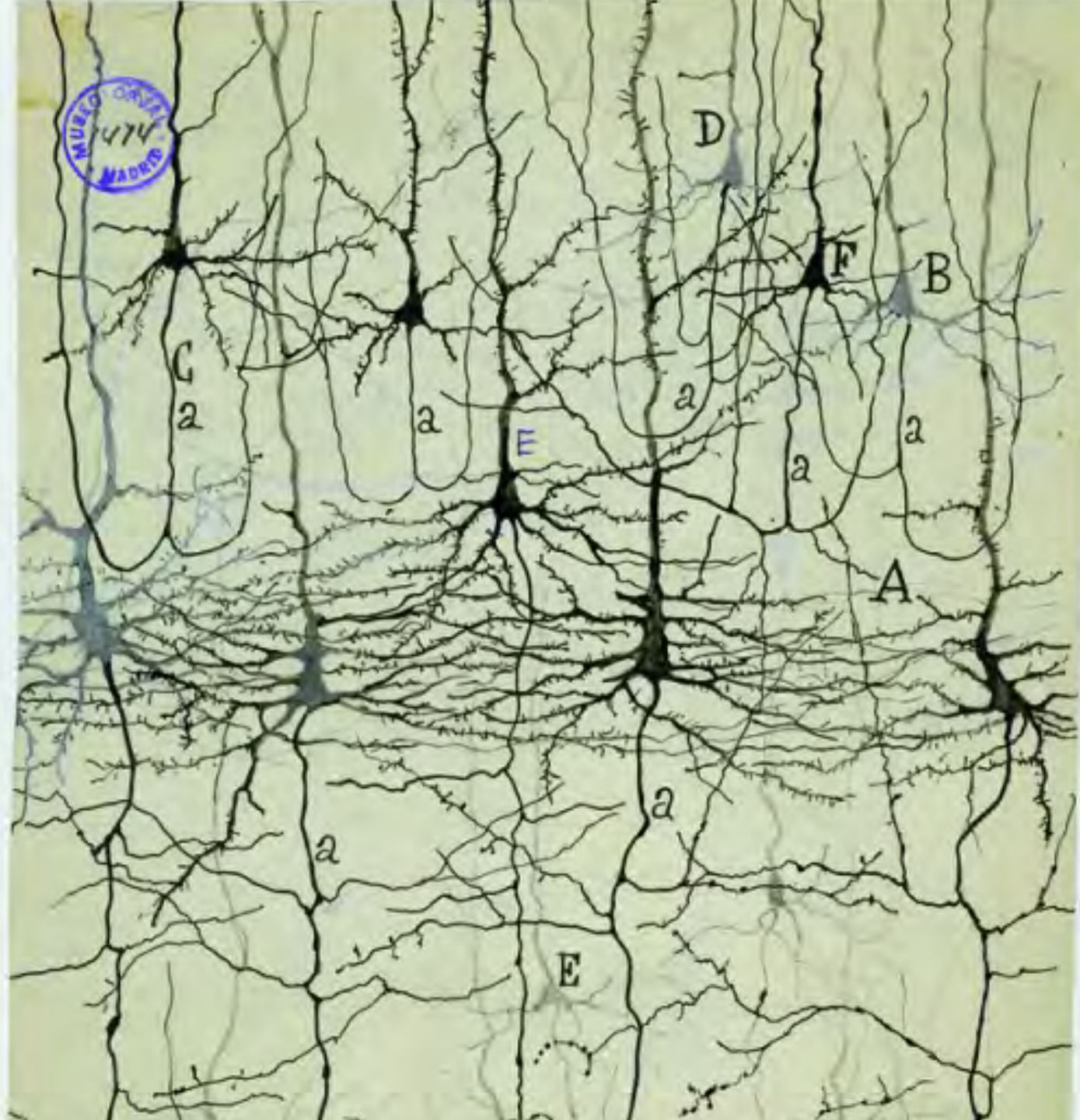
Santiago Ramón y Cajal
Capas 1ª y 2ª de la corteza olfativa de la circunvolución del hipocampo del niño, n. 1901
© Herederos de Ramón y Cajal

« Cortex olfactif de la région de l'hippocampe, 1901

Mais à cette époque,

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

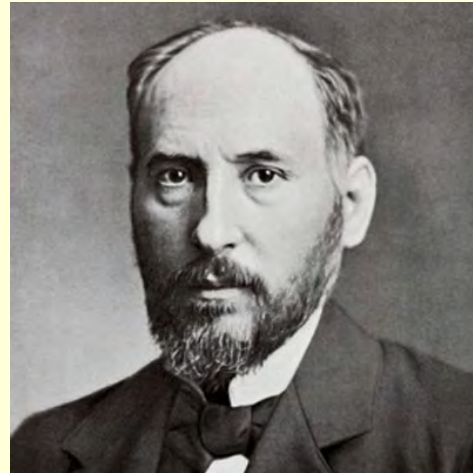
ne comportant **pas de cellules isolées.**



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

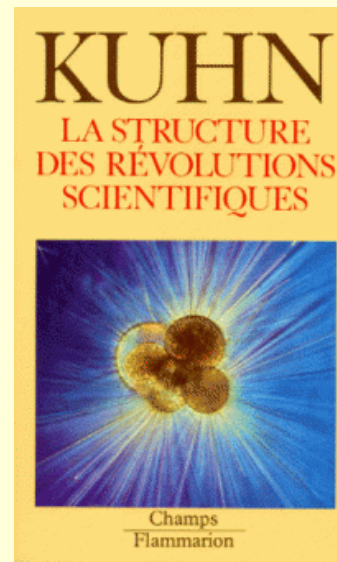


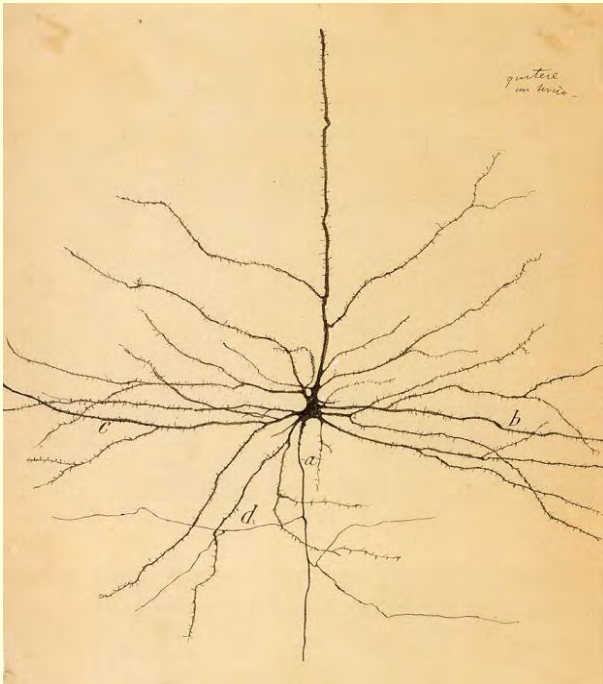
Dans son discours de réception du prix, Golgi défendit la **théorie réticulaire**.



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

qui fut bientôt admise.





Neurone pyramidal du cortex moteur

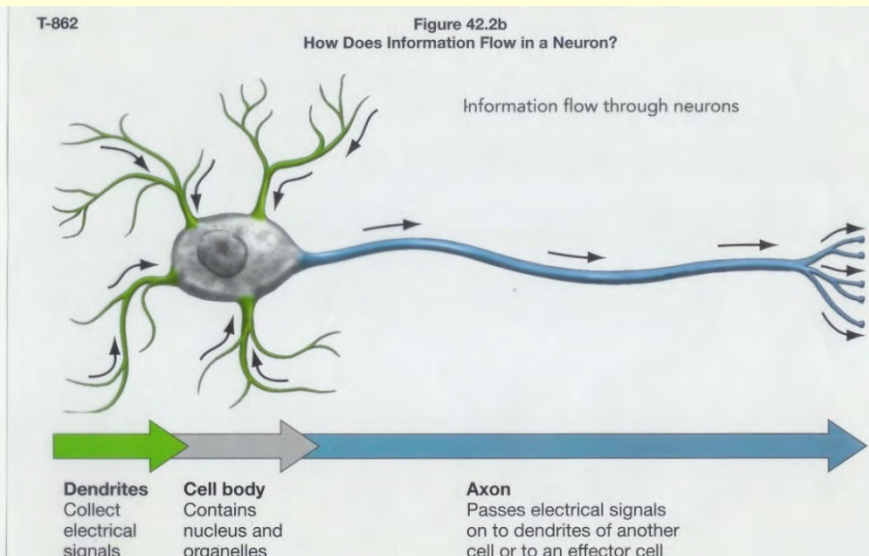
La théorie (ou doctrine) du neurone :

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).



Dendrites

Collect electrical signals

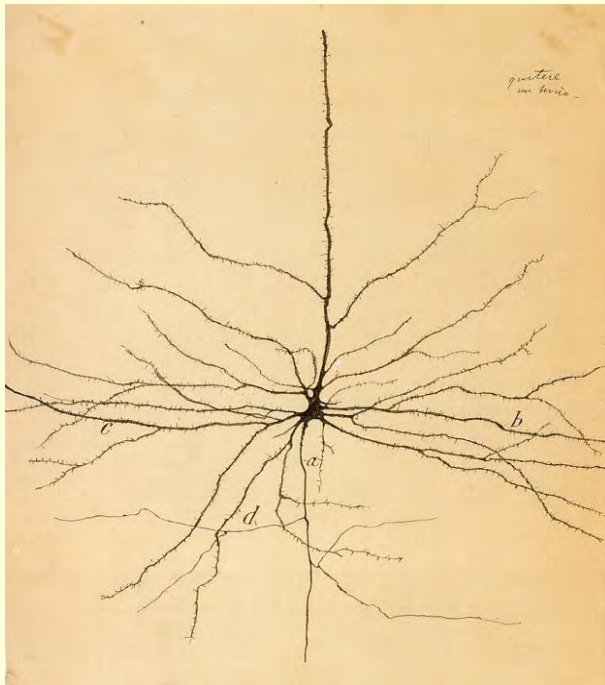
Cell body

Contains nucleus and organelles

Axon

Passes electrical signals on to dendrites of another cell or to an effector cell

- La théorie du neurone
 - **Ce qu'on peut garder**
 - Tout ce qu'on sait maintenant qui lui manque...



Neurone pyramidal du cortex moteur

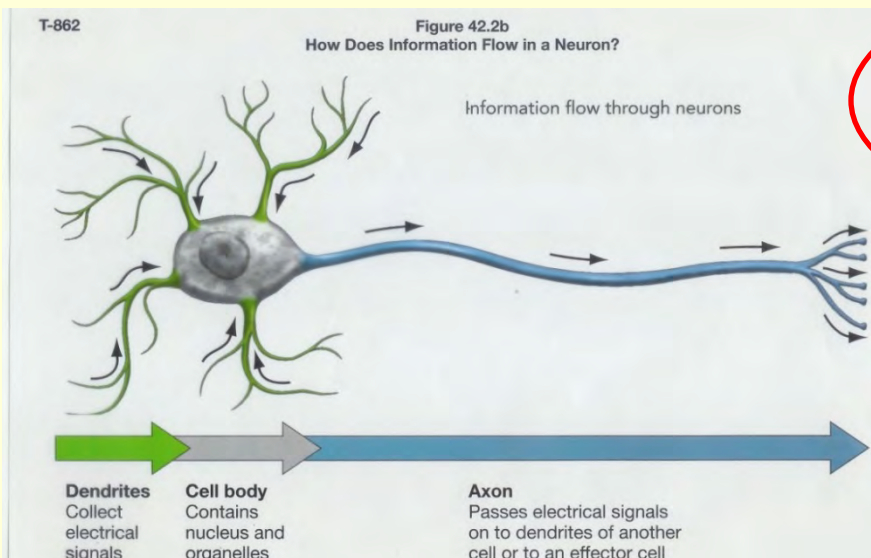
La théorie (ou doctrine) du neurone :

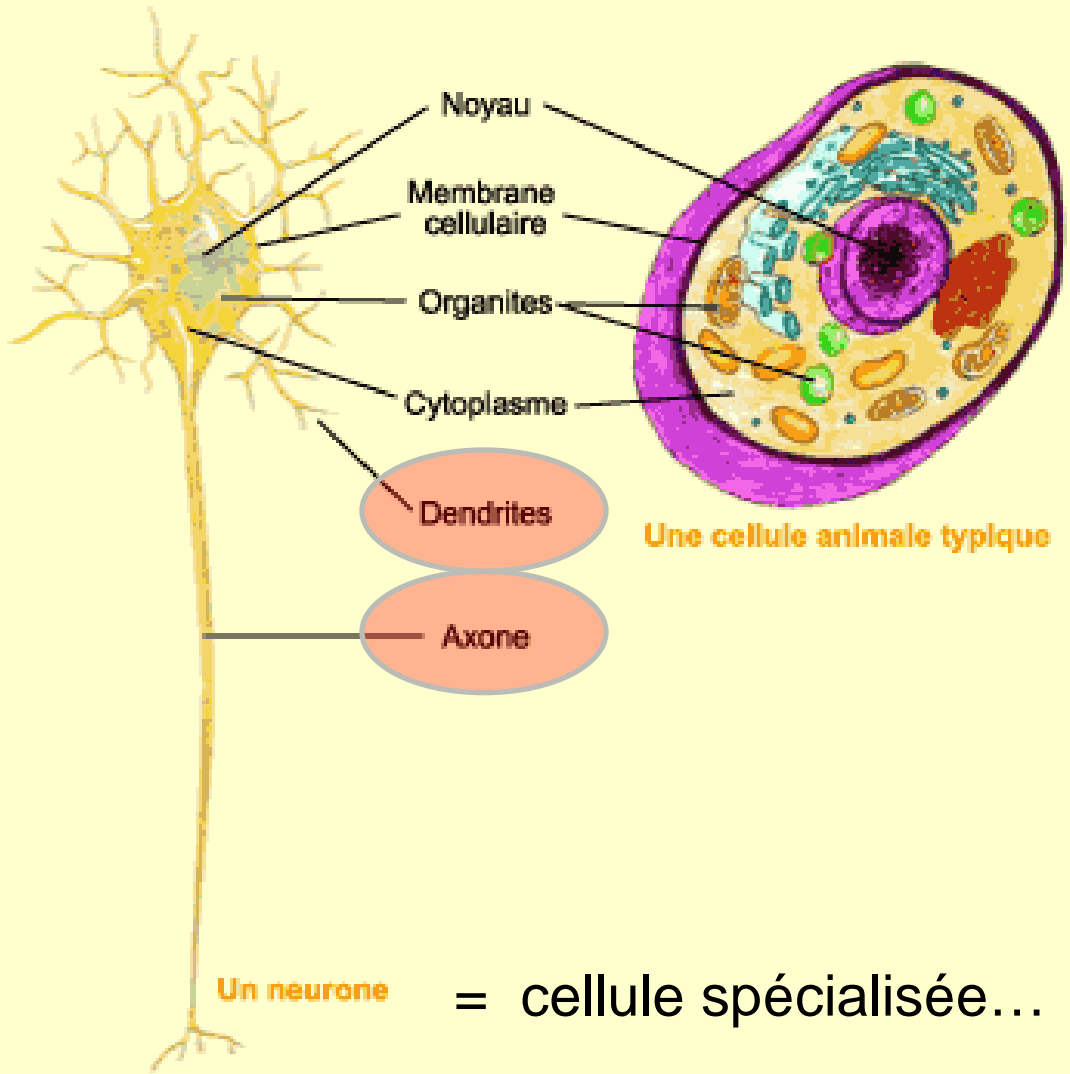
1) **Le neurone** est l'unité structurelle et fonctionnelle de base du système nerveux;

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).

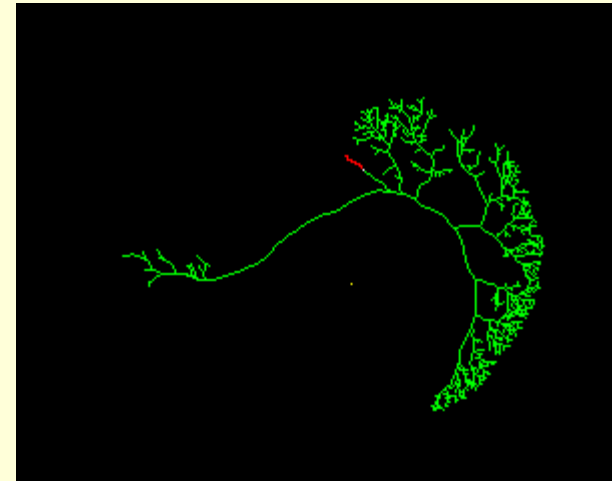
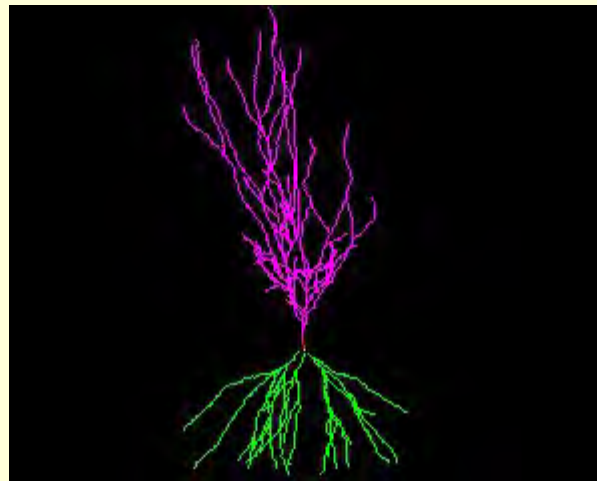
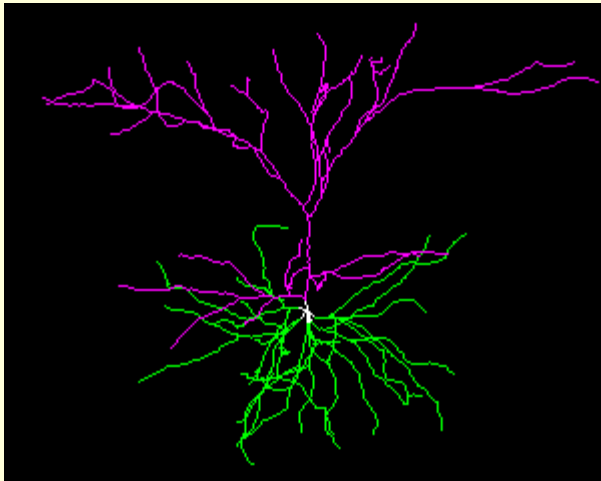




Les mille et un visages du neurone

L'image typique d'un neurone utilisée pour en présenter les prolongements particuliers (axone et dendrites) fait parfois oublier l'incroyable diversité de formes que peuvent prendre les cellules nerveuses.

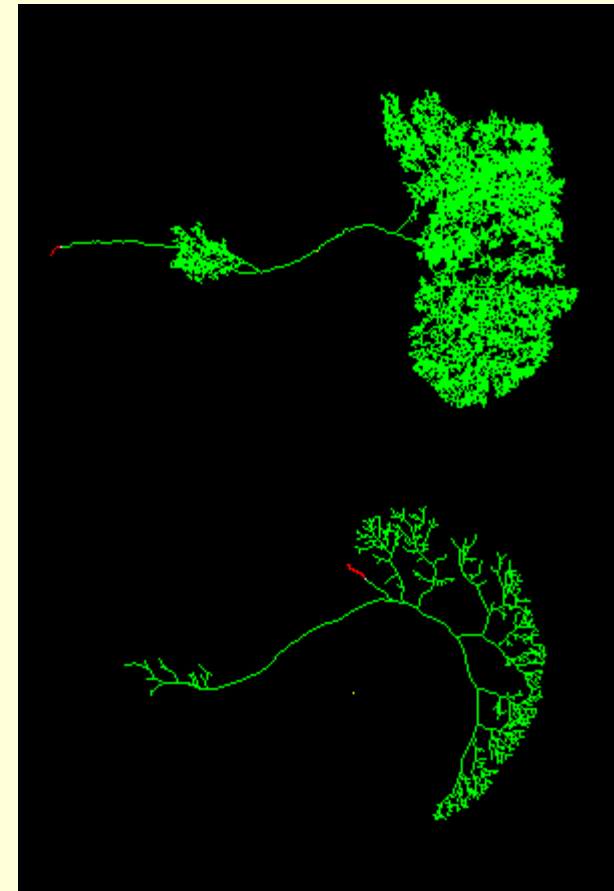
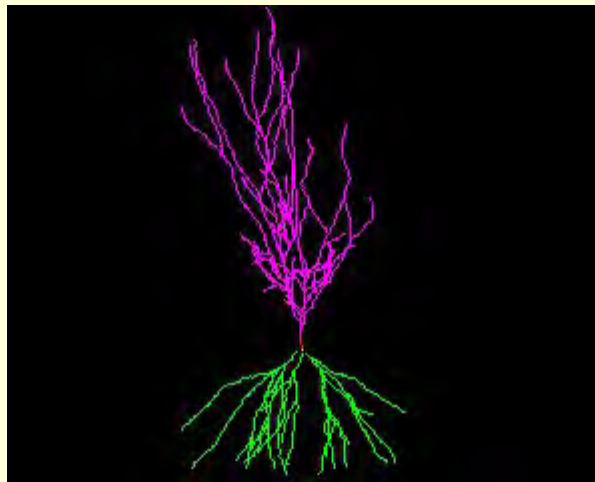
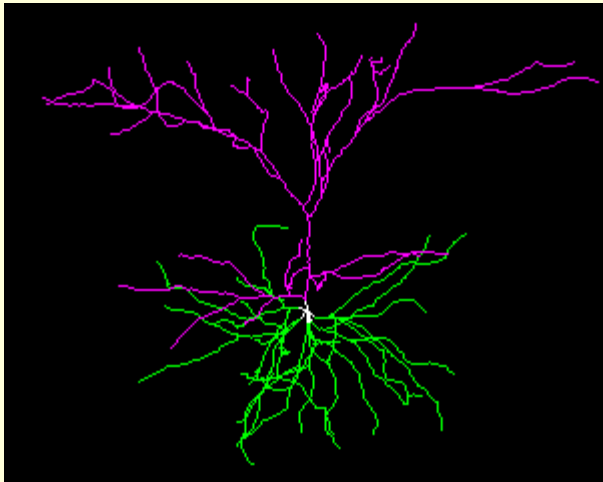
Pour vous en convaincre, allez faire un tour sur le site web www.NeuroMorpho.Org

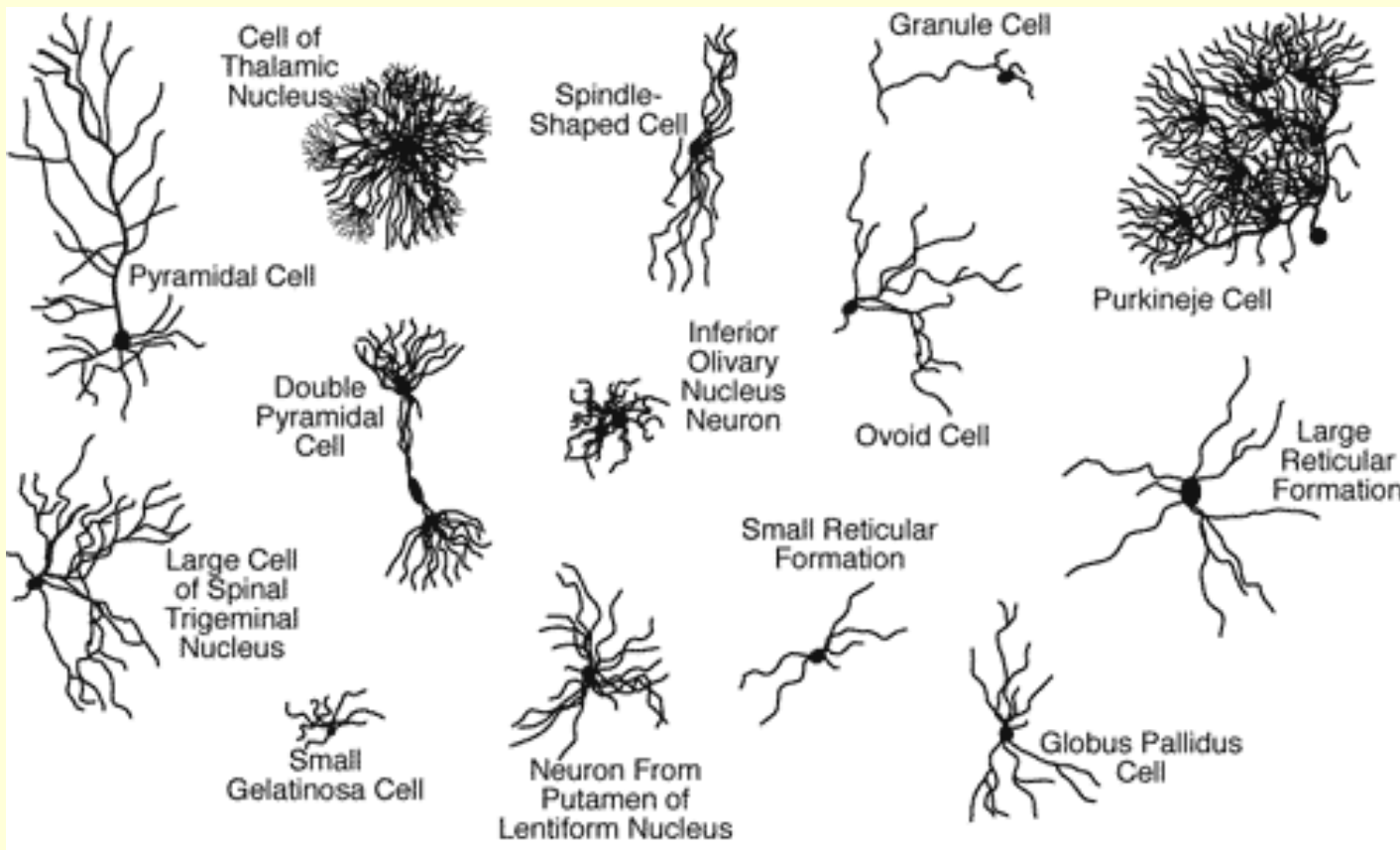


“More than 10 000 **digitally reconstructed neurons** associated with peer-reviewed publications.

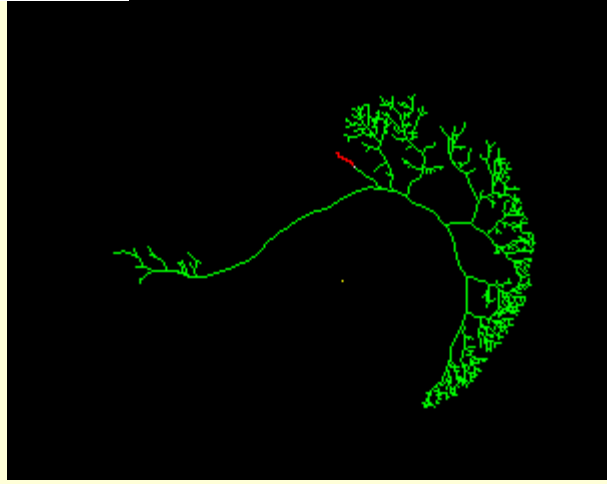
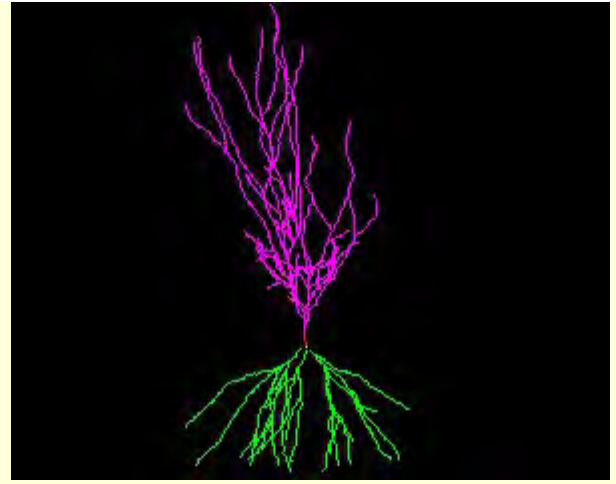
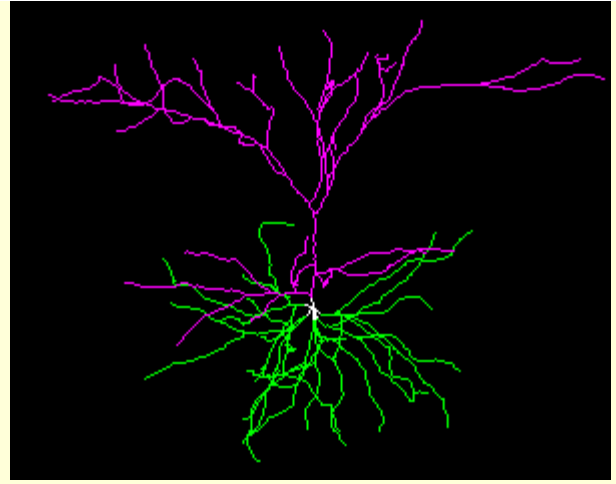
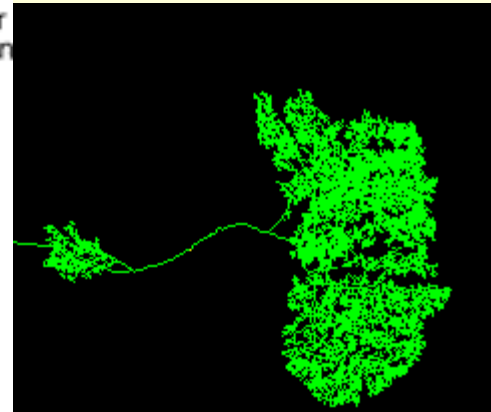
Contributions from over 100 laboratories worldwide and is continuously updated.

The largest collection of publicly accessible 3D neuronal reconstructions.”



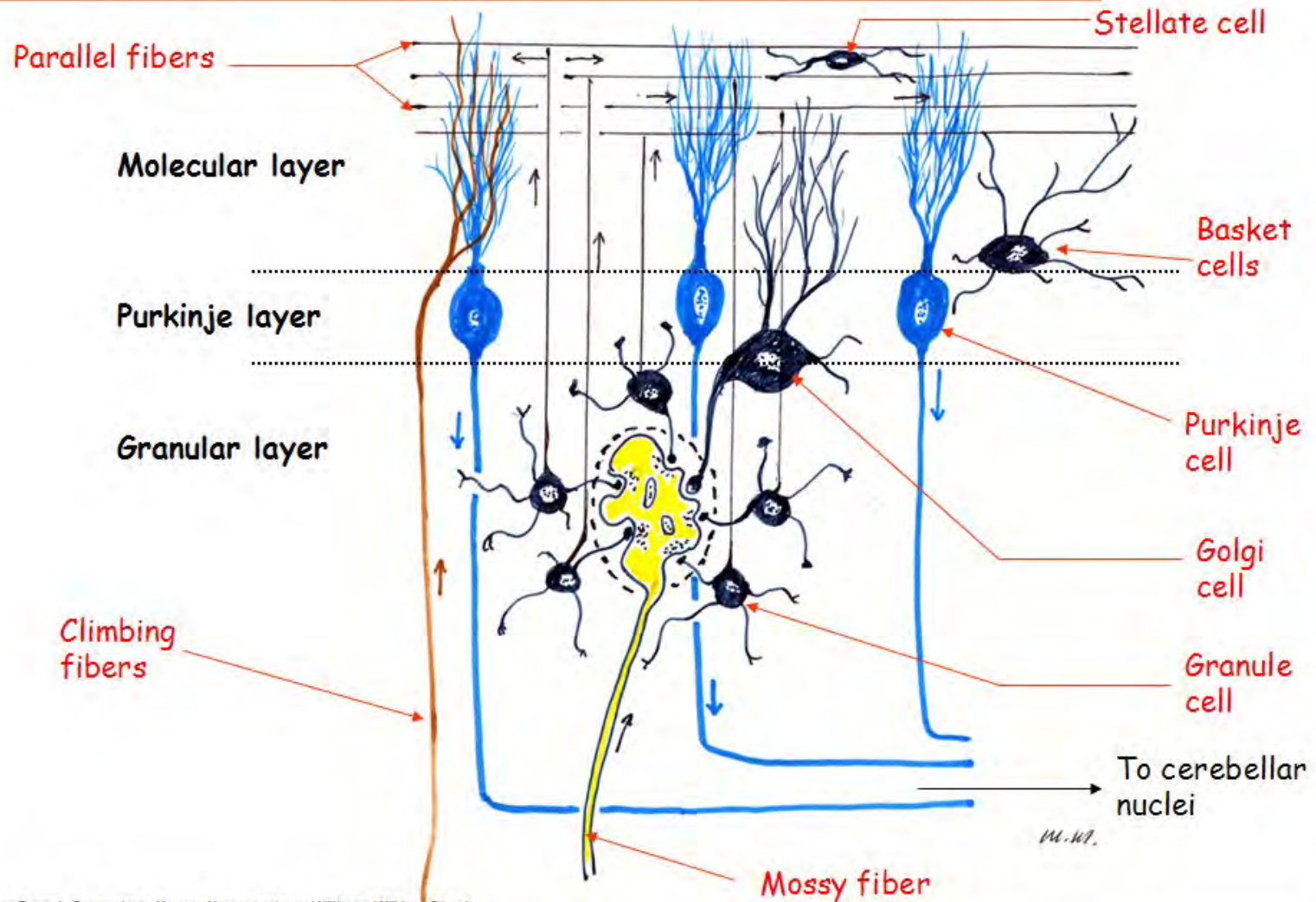


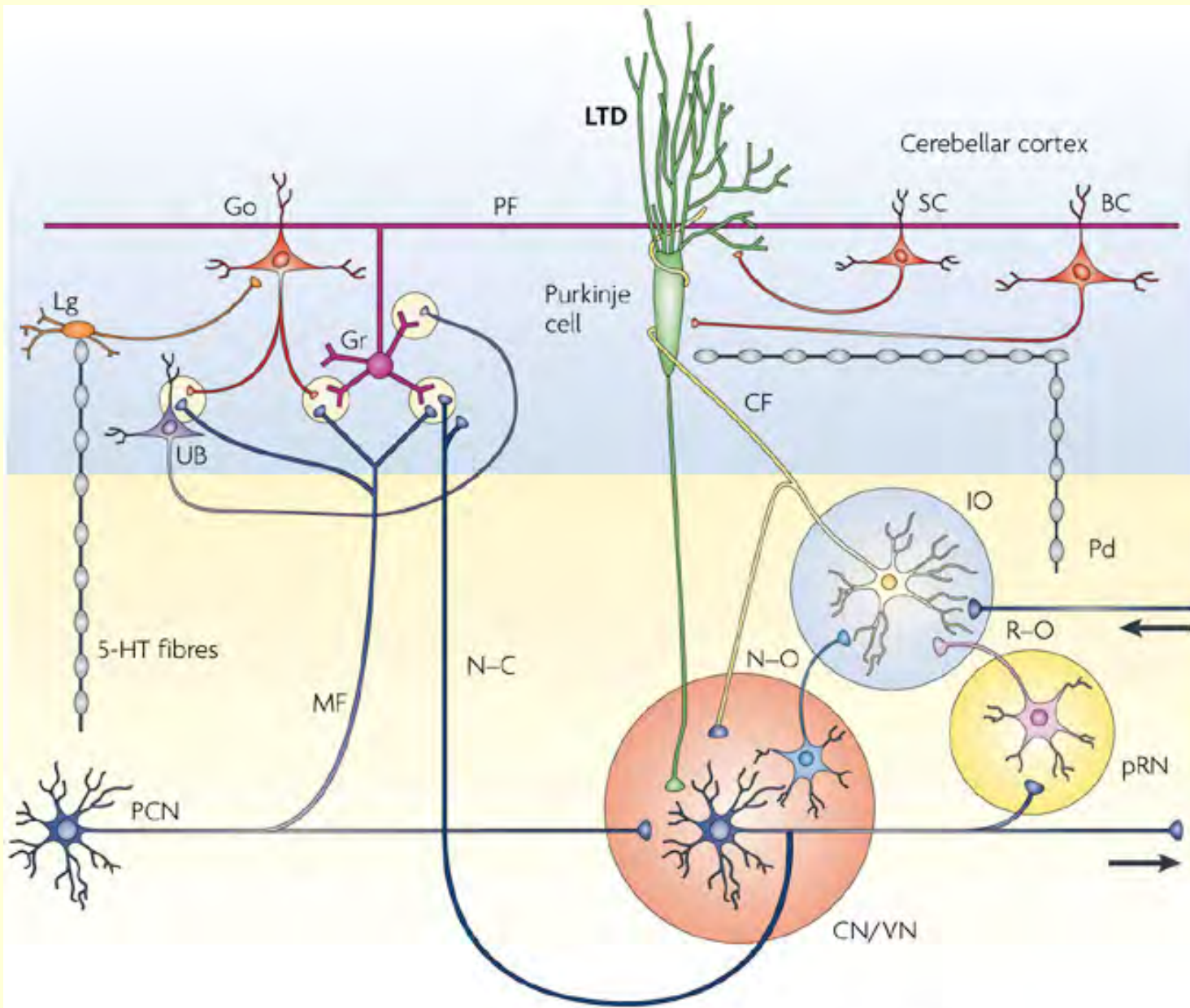
Très grande variabilité de forme et de taille dont la géométrie varie selon le rôle du neurone dans le circuit nerveux...



...et selon son pattern de connexion avec les autres neurones, qui lui-même dépend de la fonction de cette voie nerveuse.

Functional Organization of Cerebellum



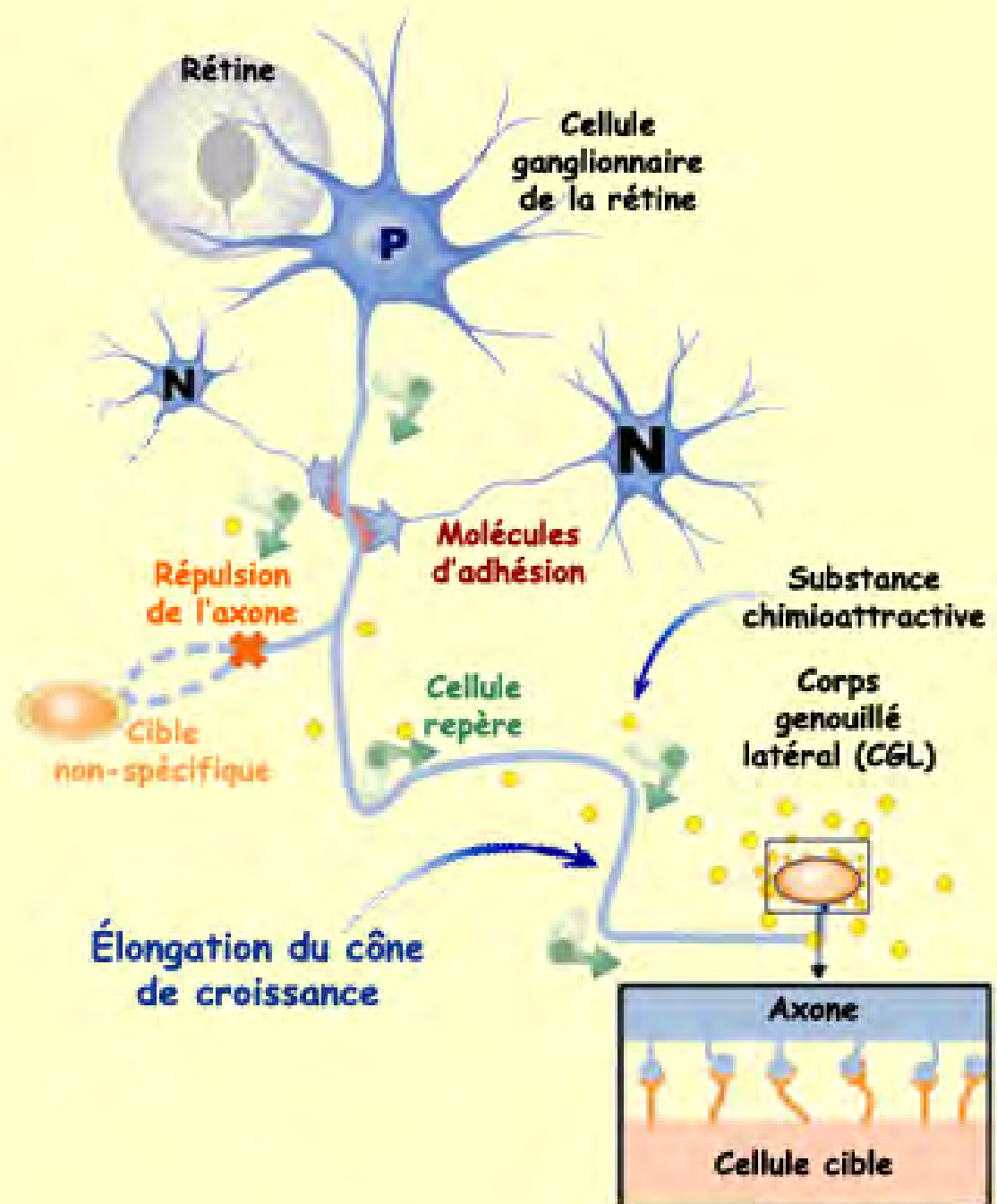


Tout cela se met en place durant le développement embryonnaire par des processus de guidage complexes impliquant d'innombrables molécules.

[on ne va pas aborder le développement du cerveau par manque de temps mais...]

...mais en 2 diapos,
disons seulement
que :

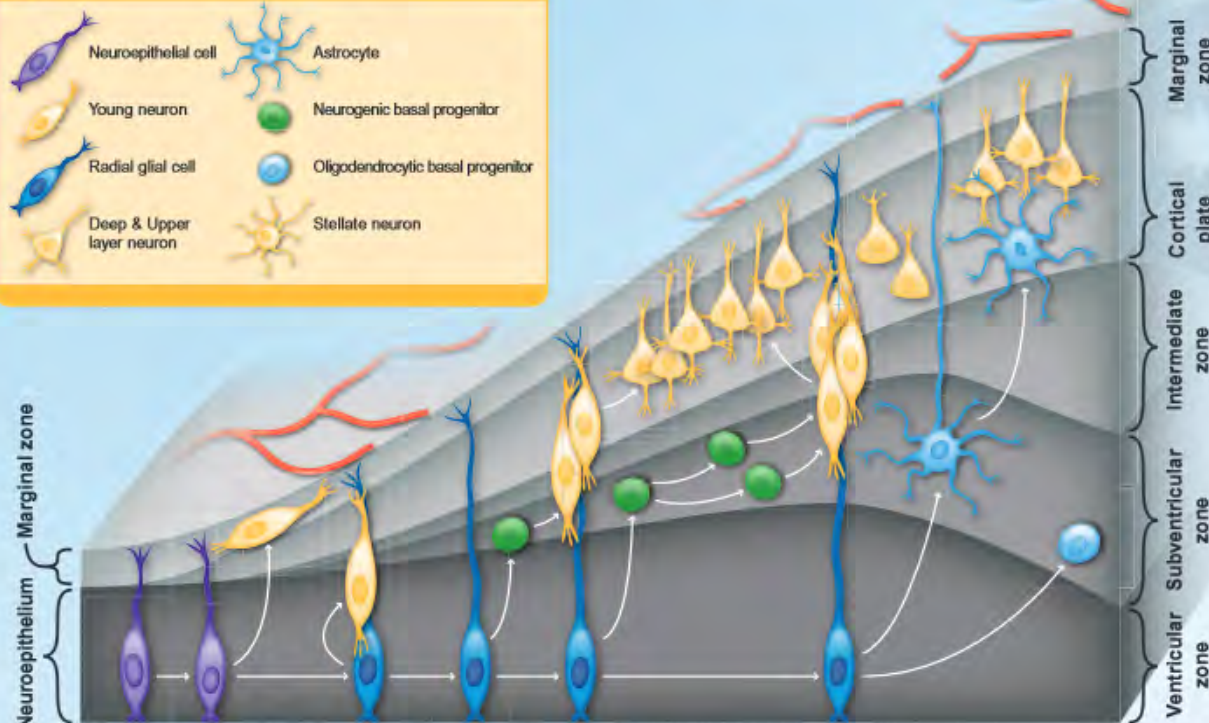
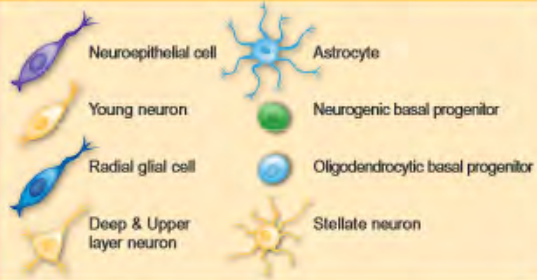
1) différents
mécanismes vont
permettre aux
axones d'atteindre
leur **cellule cible**;



2) cela va globalement donner lieu à une véritable chorégraphie permettant par exemple ici aux 6 couches du cortex de se structurer correctement.

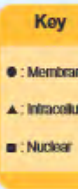
Temporal development of the neocortex

Key

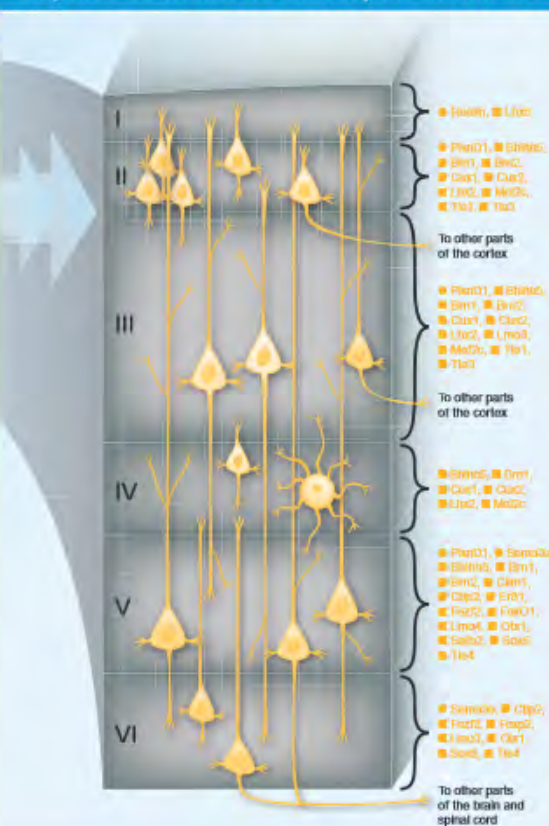


TIME EMBRYONIC BIRTH

- | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|---|---------------------------|
| Neuroepithelial cell | Early born young neurons | Radial glia | Basal progenitor | Young neuron | Deep layer neuron | Radial glia (generating astroglia) | Upper layer neuron |
| ● Nlch1 | ▲ Olig2 | ● ERG2 | ● GLAST | ▲ p115 ^{cas} | ● Ctip2 | ■ Ring1B | ■ Cux1 |
| ■ AP2y | ▲ Sox2 | ● Nlch3 | ▲ Nlch3 | ▲ Olig2 | ● Fezf2 | ■ Olig2 | ■ Cux2 |
| ■ Emx1 | ▲ Sox2 | ▲ Pals1 | ▲ Par3 | ■ NeuroD | ● NeuL1 | ■ Sox1 | ■ Cux2 |
| ■ Emx2 | ▲ Sox2 | ▲ Par6 | ▲ AP2y | ■ p115 ^{cas} | ● Sox5 | ■ Sox2 | ■ Sox2 |
| ■ Hes1 | ▲ Sox2 | ▲ Emx1 | ▲ Emx2 | ■ Tbr1 | ● Tbr1 | ■ Sox2 | ■ Sox2 |
| ■ Hes5 | ▲ Sox2 | ▲ Sox1 | ▲ Hes1 | | | | |
| ■ Nf87 | ▲ Sox2 | ▲ Sox2 | ▲ Hes5 | | | | |
| ■ NICD | ▲ Sox2 | ▲ Sox2 | ▲ Nf87 | | | | |
| ■ P-H3 | ▲ Sox2 | ▲ Sox2 | ▲ P-H3 | | | | |
| ■ Pax6 | ▲ Sox2 | ▲ Sox2 | ▲ Neurog1 | | | | |
| ■ Talpess | ▲ Sox2 | ▲ Sox2 | ▲ Neurog2 | | | | |
| | | | ▲ Pax6 | | | | |
| | | | ▲ Talpess | | | | |



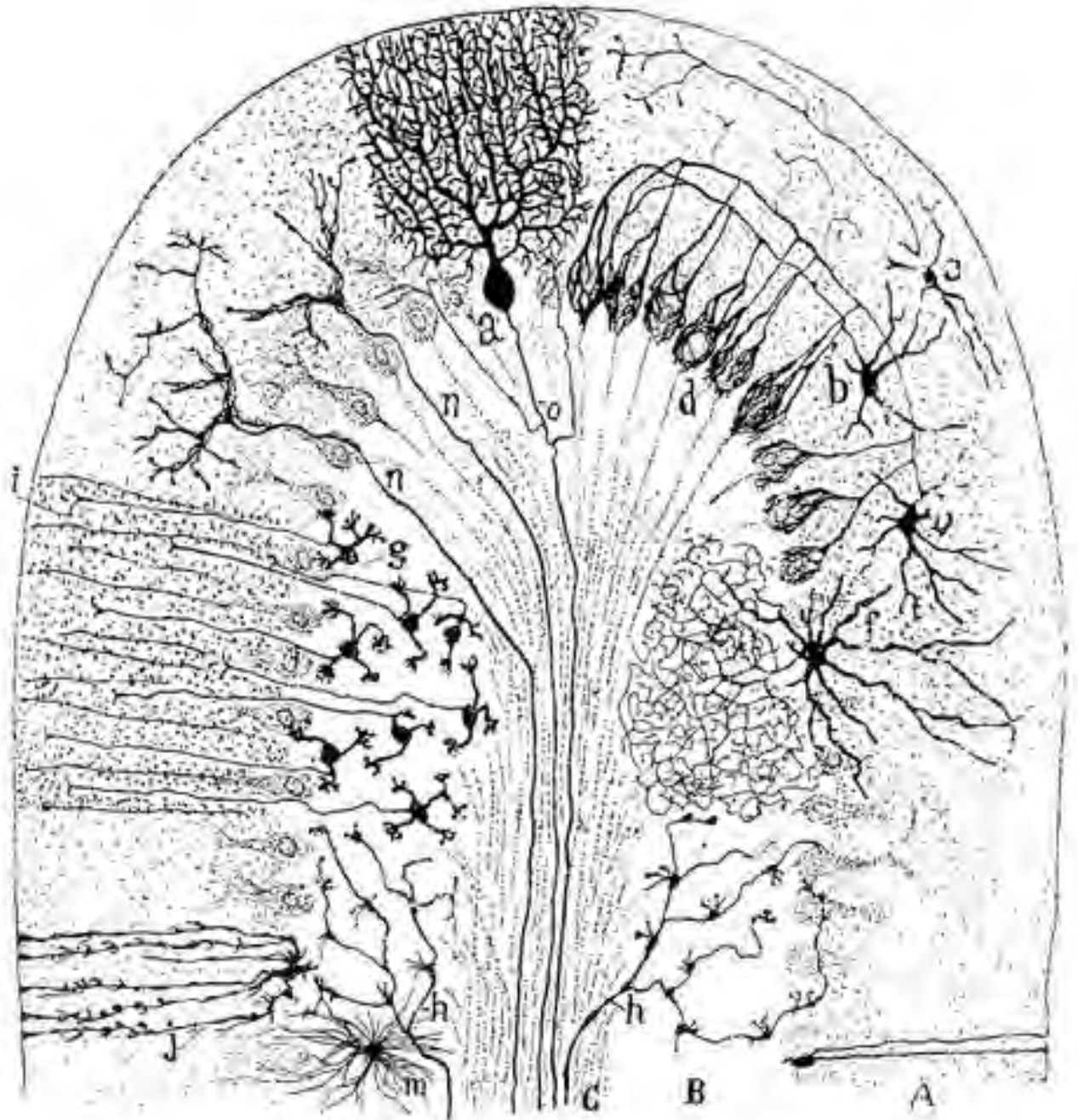
Layered structure of developed neocortex

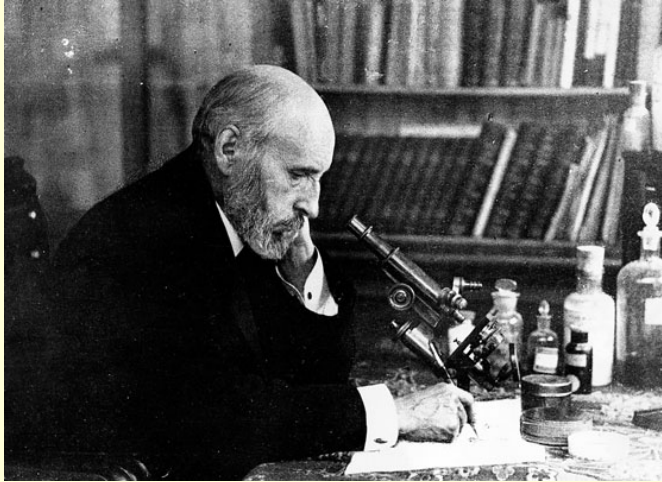


The developed neocortex consists of six layers (enumerated by Roman numbers). Layer I harbors few cells and most neurons are located between layers II-VI. Generally, neurons of the deeper layers have been generated earlier than those of the upper layers. They differ in morphology, connectivity and their axonal projection from each other. Selective expression of transcription factors is responsible for this specification. Some transcription factors are expressed only during specific phases, while others persist. This allows for the identification of the distinct subtypes of glutamatergic neurons based on their transcription factor expression. Not depicted are a variety of GABAergic interneurons (originating from the ventral telencephalon), responsible for local inhibition.

References:
 Galkovitz F. Cellular and molecular control of neurogenesis in the mammalian telencephalon. *Curr Opin Cell Biol.* 2005; 17(1):630-47.
 Heintsch C, Blum R, Casco S, Messadell C, Tripodi P, Sánchez R, Tiedt S, Schroeder T, Cebal M, Banninger B. Directing astroglia from the cerebral cortex into subtype specific functional neurons. *PLoS Biol.* 2010; 8(5):e1000373.
 Kishimoto T, et al. Astrocyte fate: The cell cycle of astrocytes and adult stem cells. *Ann N Y Acad Sci.* 2009; 1176:1-12.

Revenons à la **théorie du neurone** avec le premier dessin connu des neurones du cervelet, de Santiago Ramon y Cajal (1852-1934).





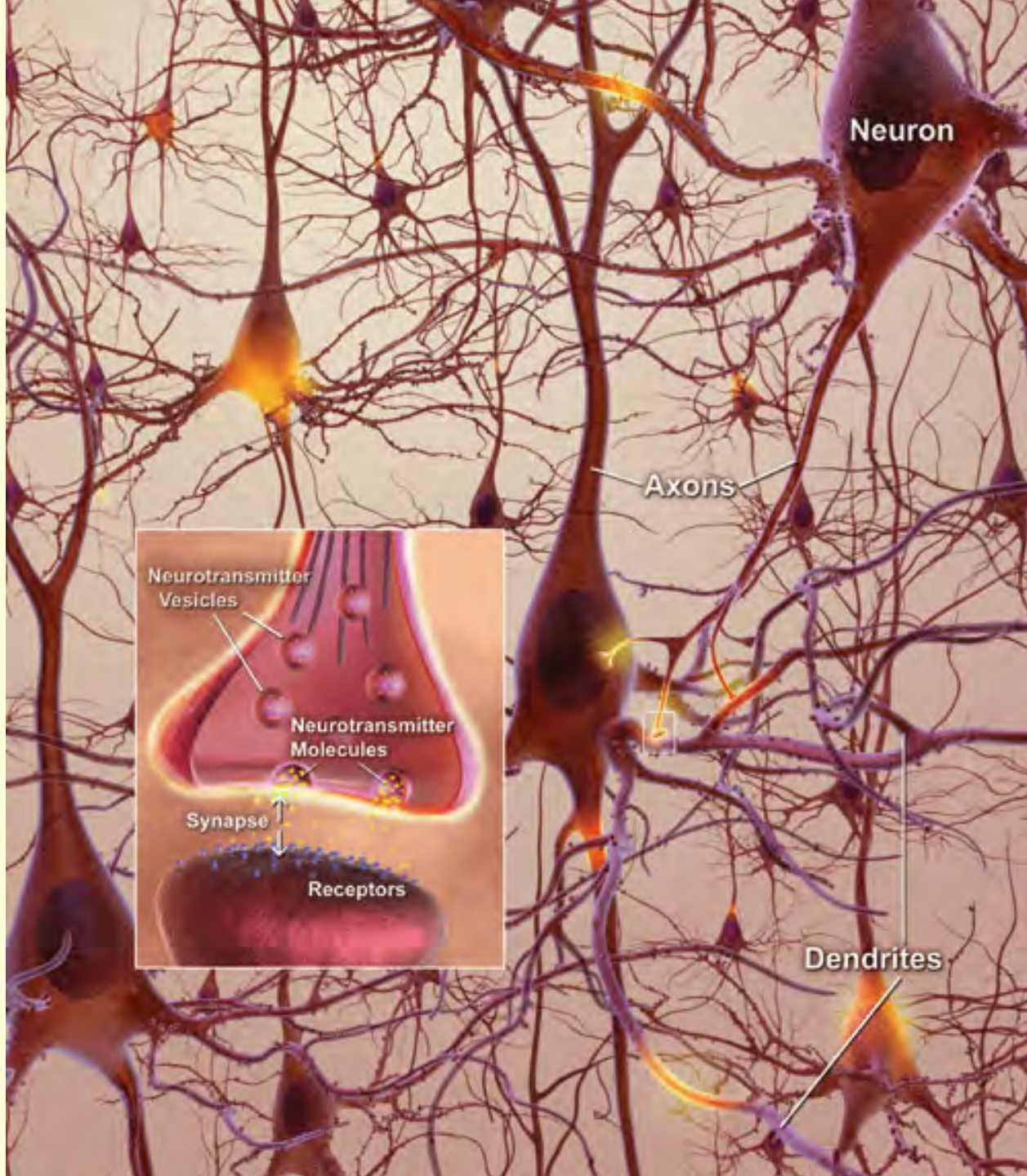
La théorie (ou doctrine) du neurone :

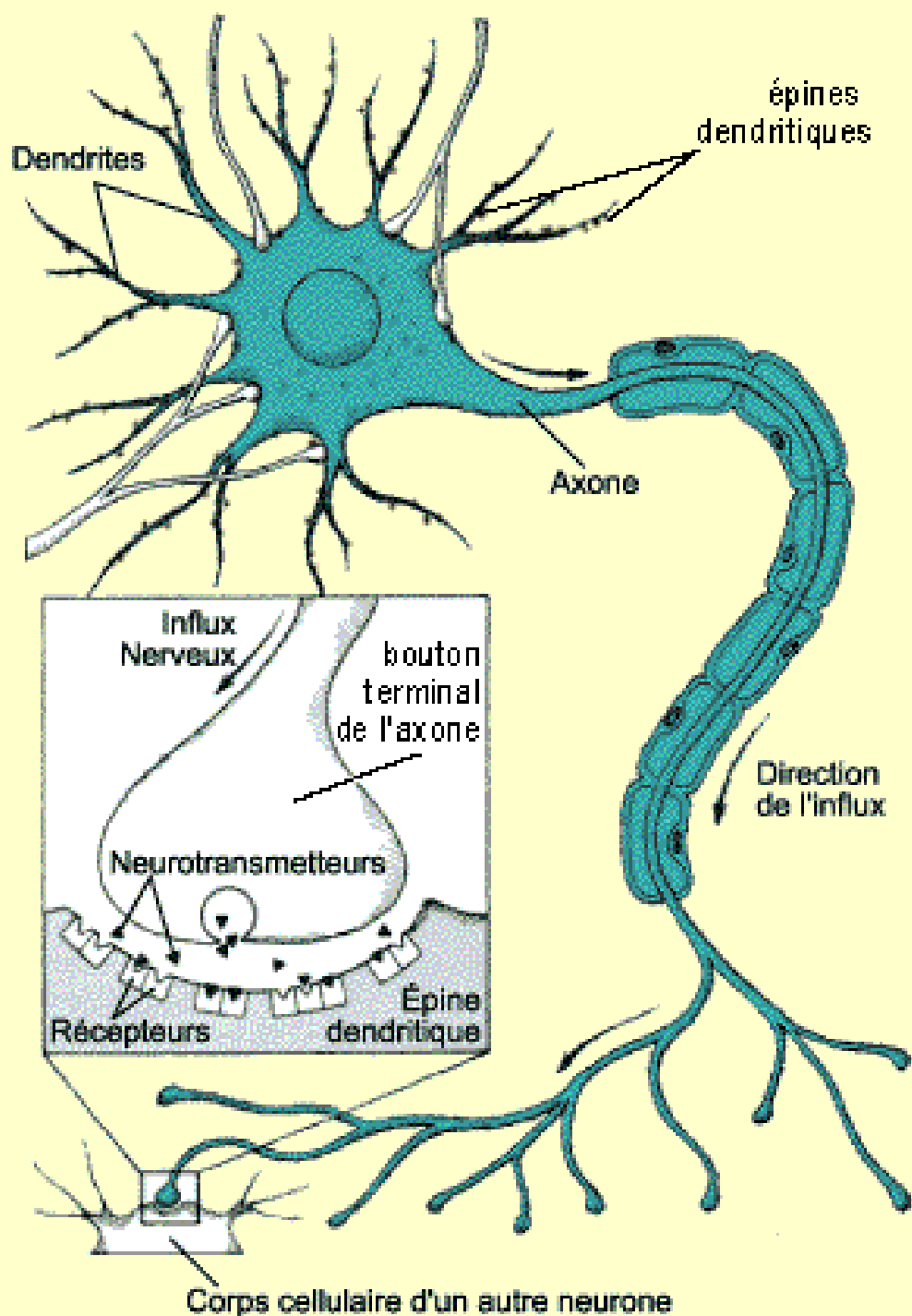
1) **Le neurone** est l'unité structurelle et fonctionnelle de base du système nerveux;

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**;

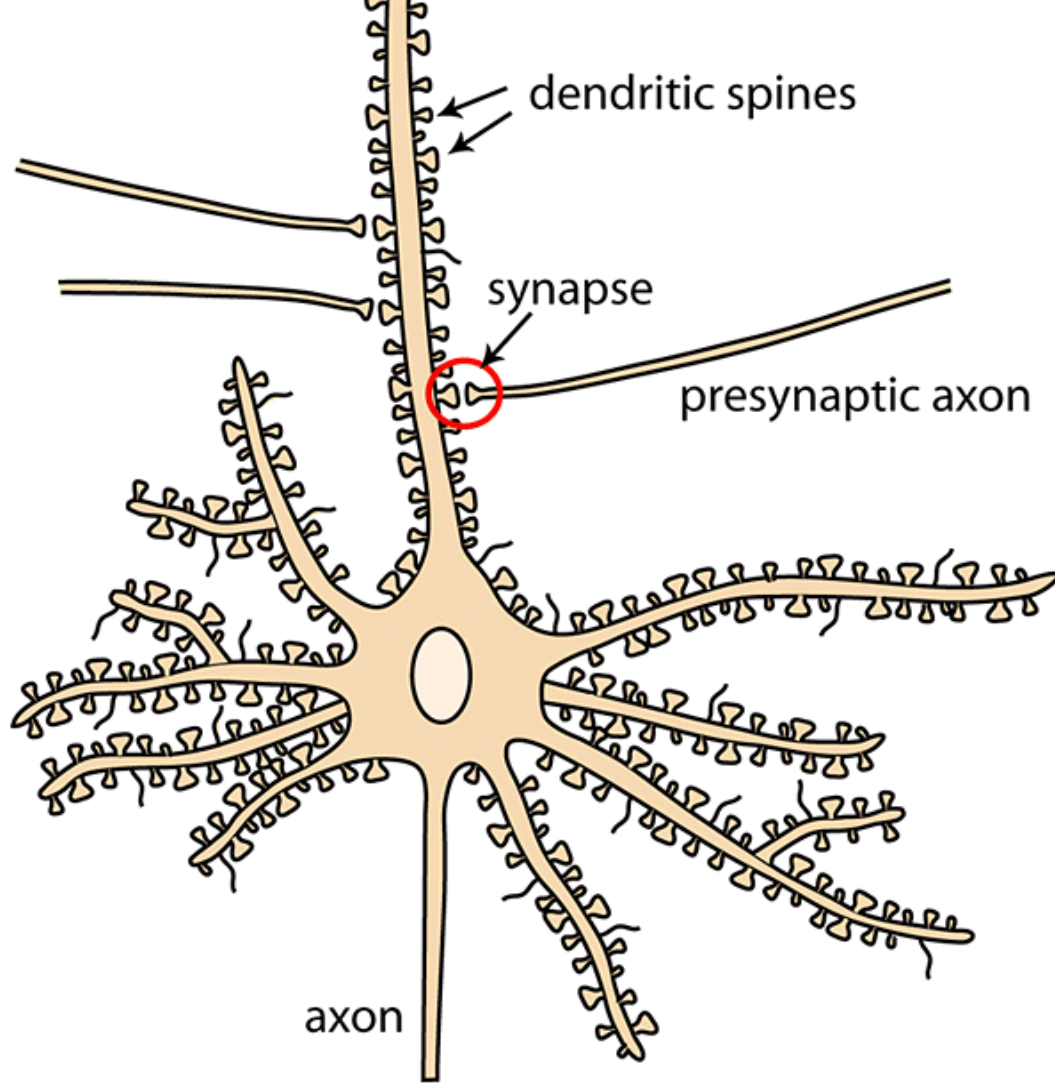
4) L'information circule le long d'un neurone **dans une direction** (des dendrites à l'axone, via le corps cellulaire).





Donc lorsque deux neurones ont une connexion (ou synapse) entre eux, ils ne se touchent pas

(comme on va le détailler tantôt en parlant de la plasticité synaptique...)

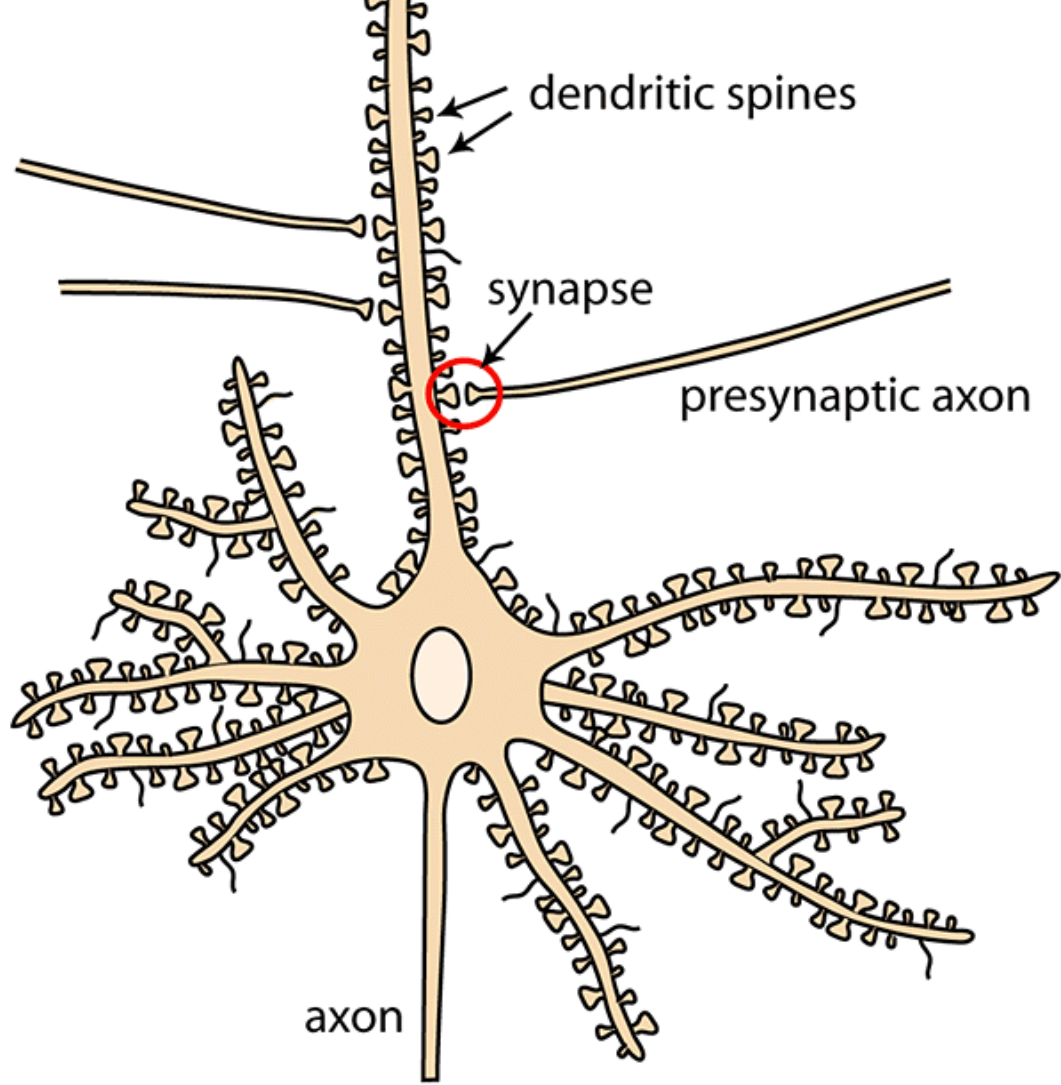


Smrt & Zhao. Frontiers

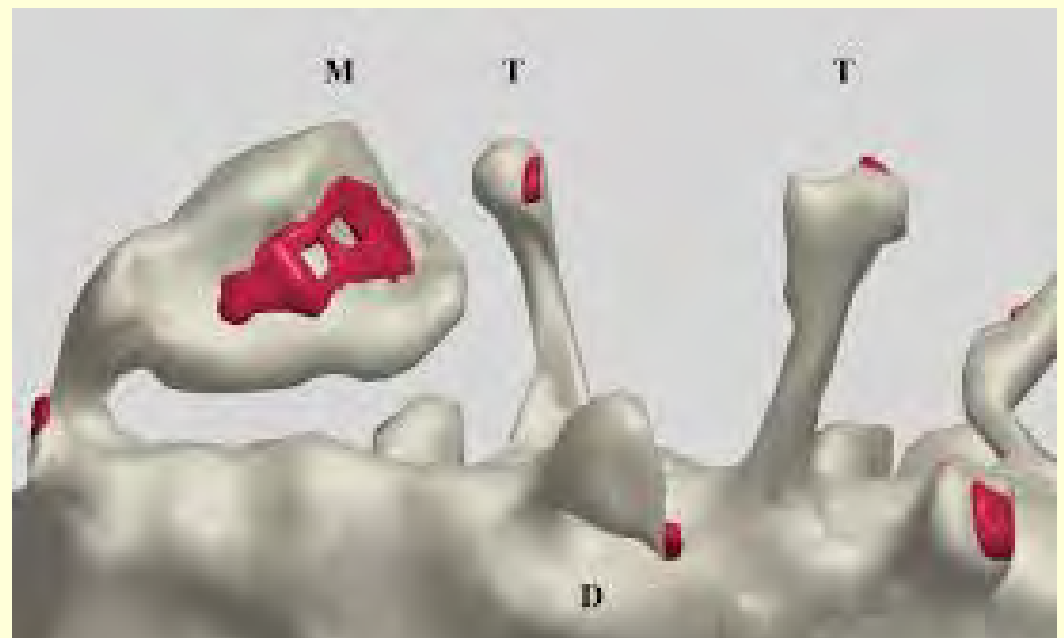
Les **dendrites** du neurone qui « reçoit la connexion » possèdent des milliers "**d'épines**" dendritiques qui bourgeonnent à leur surface.

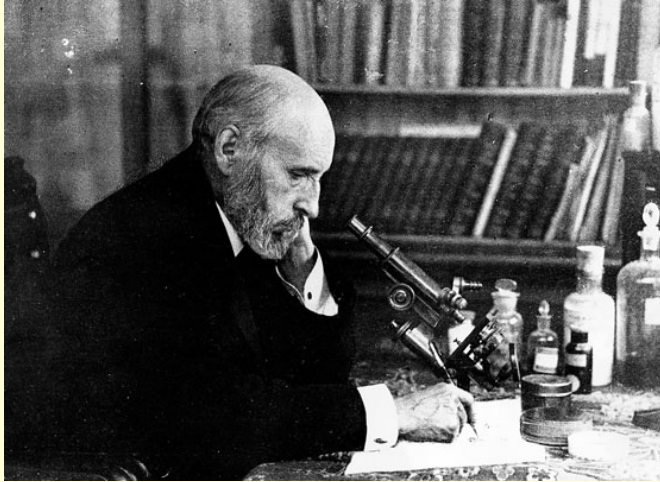
C'est vis-à-vis ces épines que se situent les **boutons terminaux des axones**, sorte de renflements d'où sont excrétés les neurotransmetteurs.

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



Smrt & Zhao. Frontiers in Biology 2010





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**;

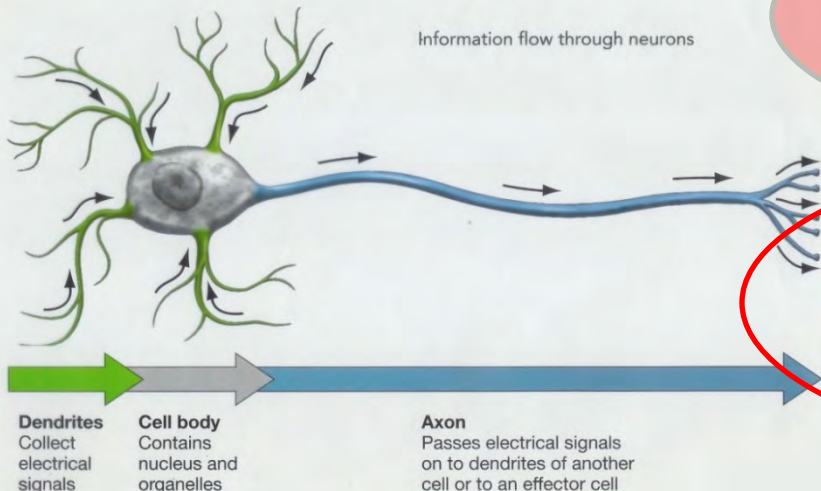
3) Un neurone est composé de 3 parties : les **dendrites, le corps cellulaire et l'axone**;

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

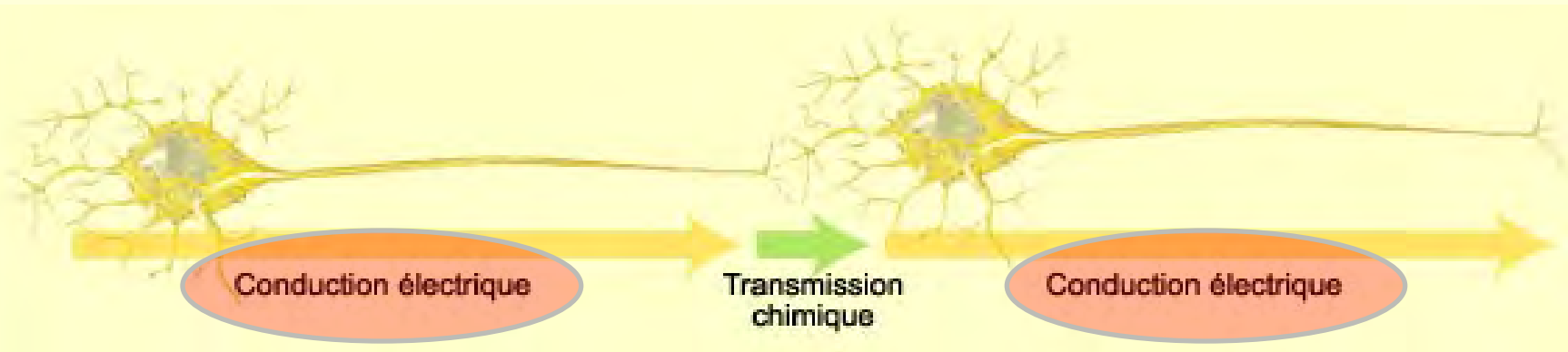
T-862

Figure 42.2b
How Does Information Flow in a Neuron?

Information flow through neurons



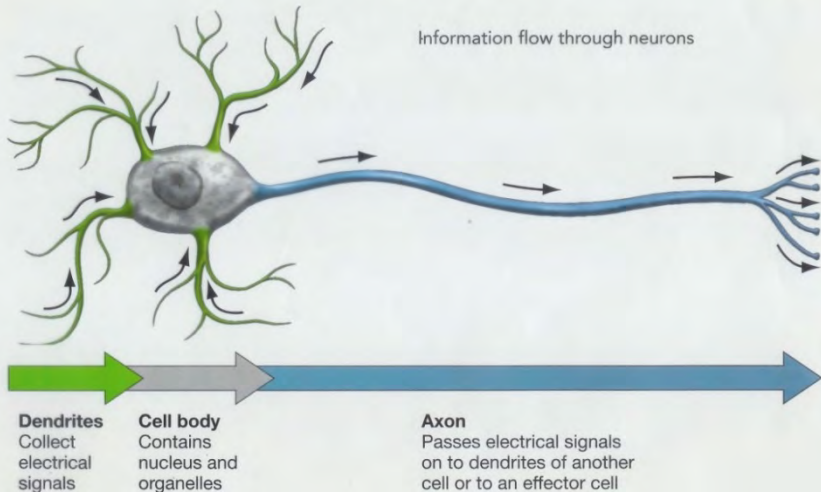
Les neurones ont des dendrites et des axones pour communiquer rapidement avec d'autres neurones



T-862

Figure 42.2b
How Does Information Flow in a Neuron?

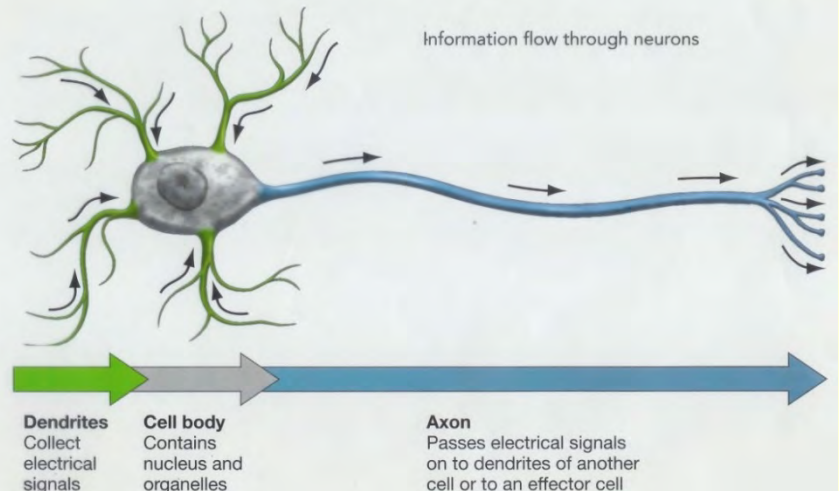
Information flow through neurons

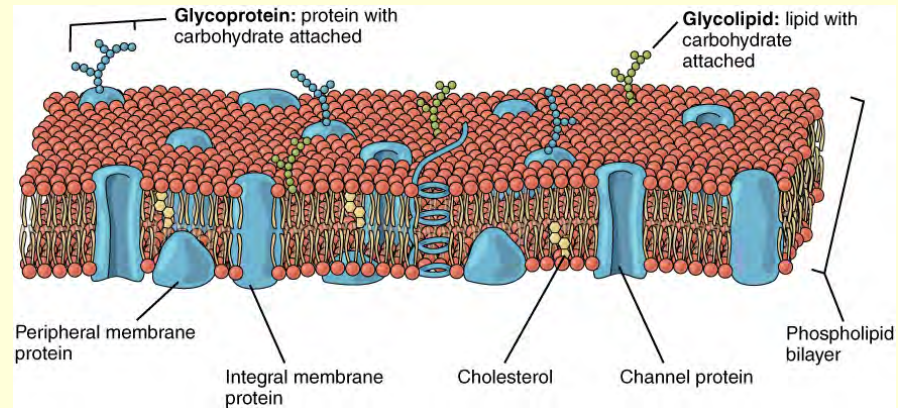
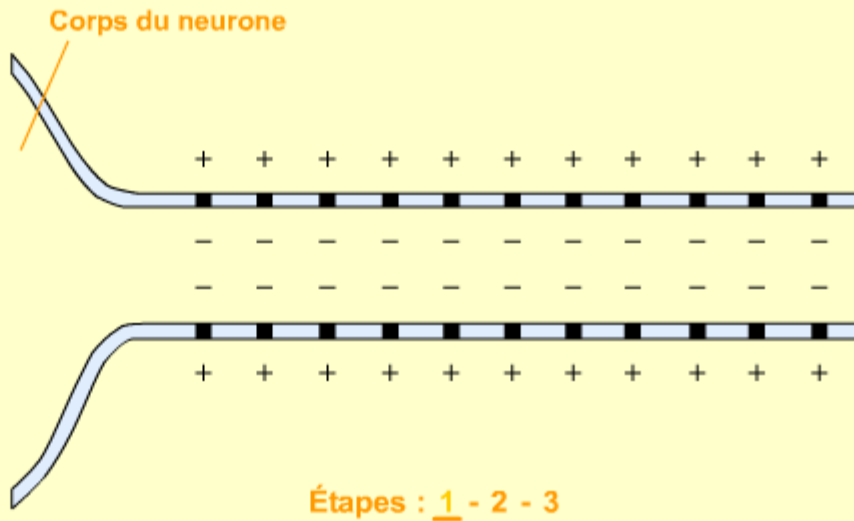
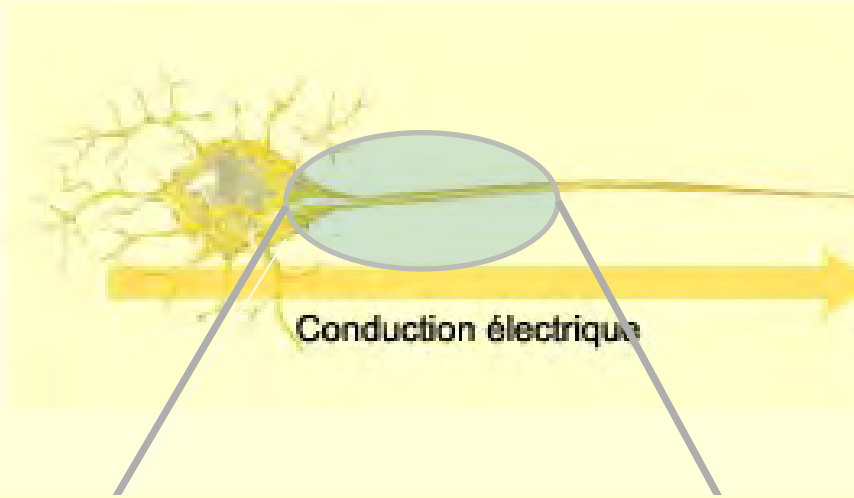


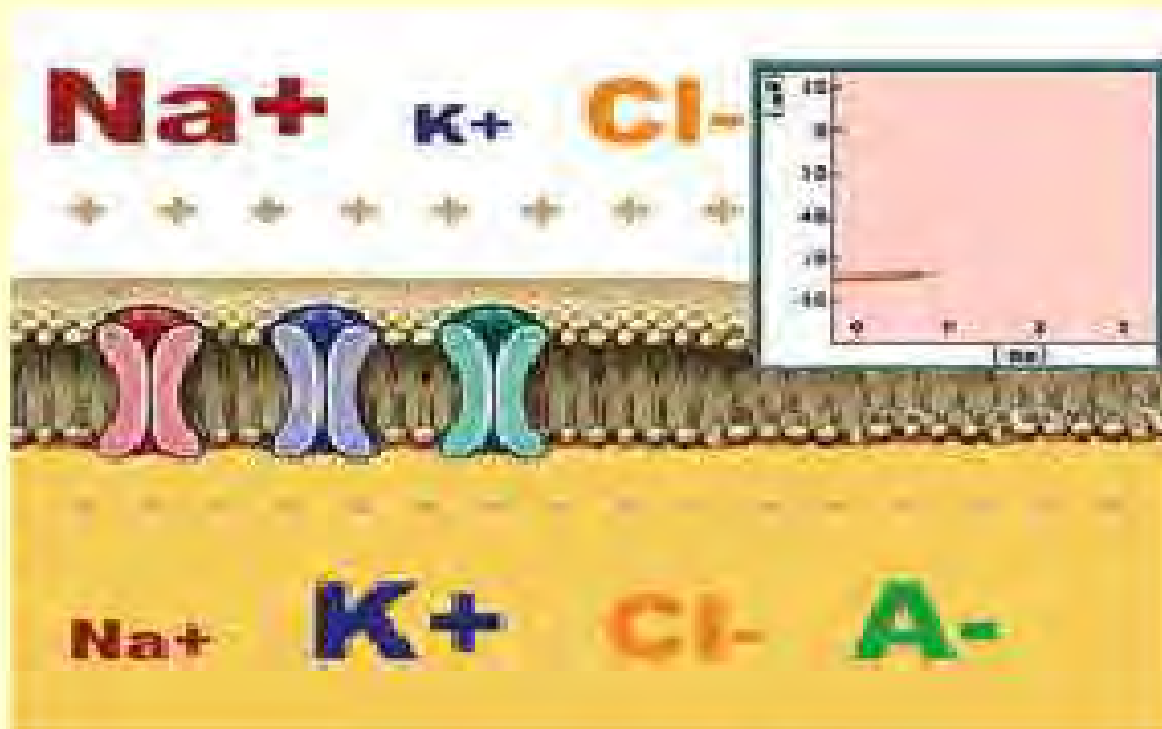
T-862

Figure 42.2b
How Does Information Flow in a Neuron?

Information flow through neurons

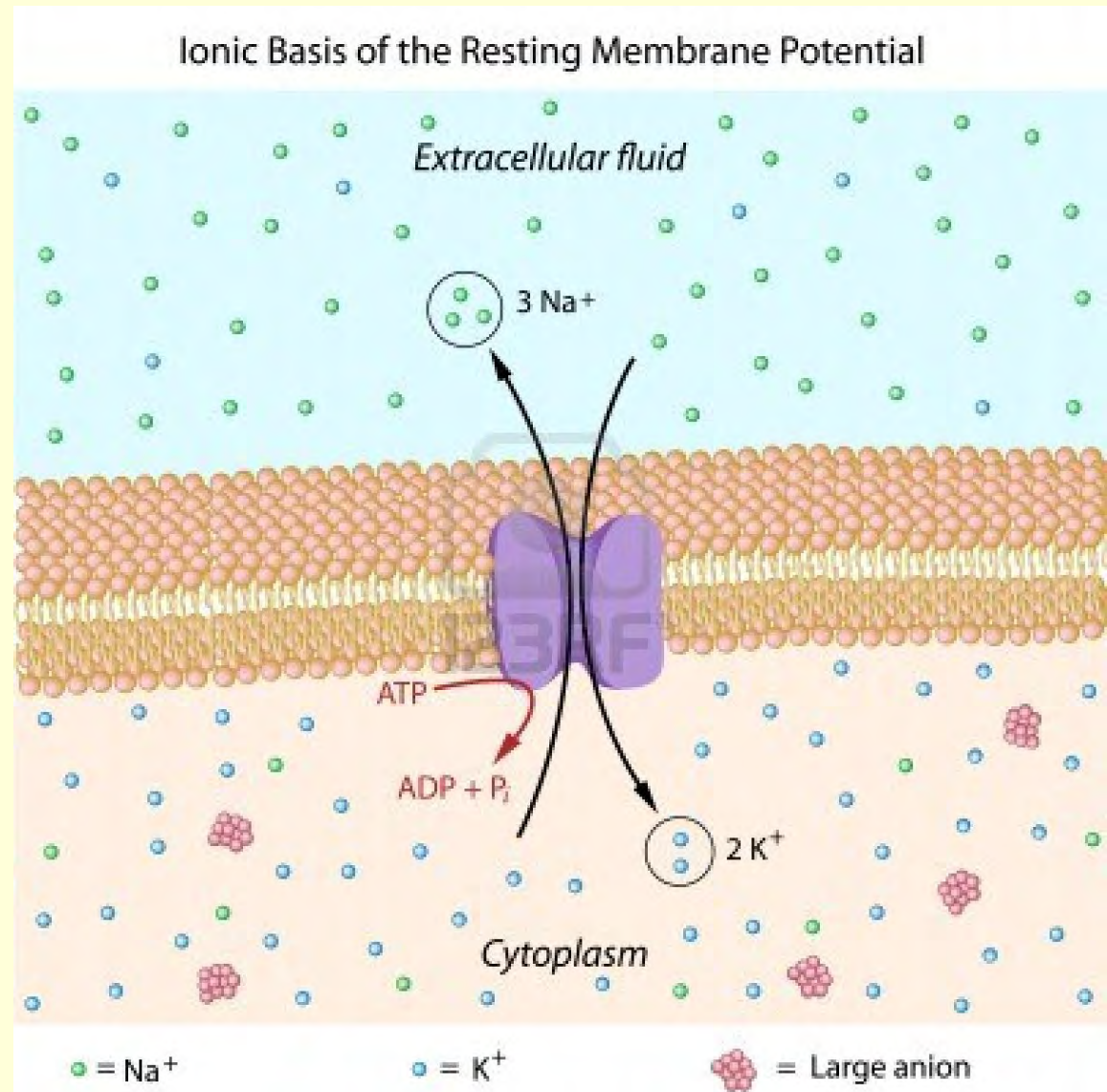


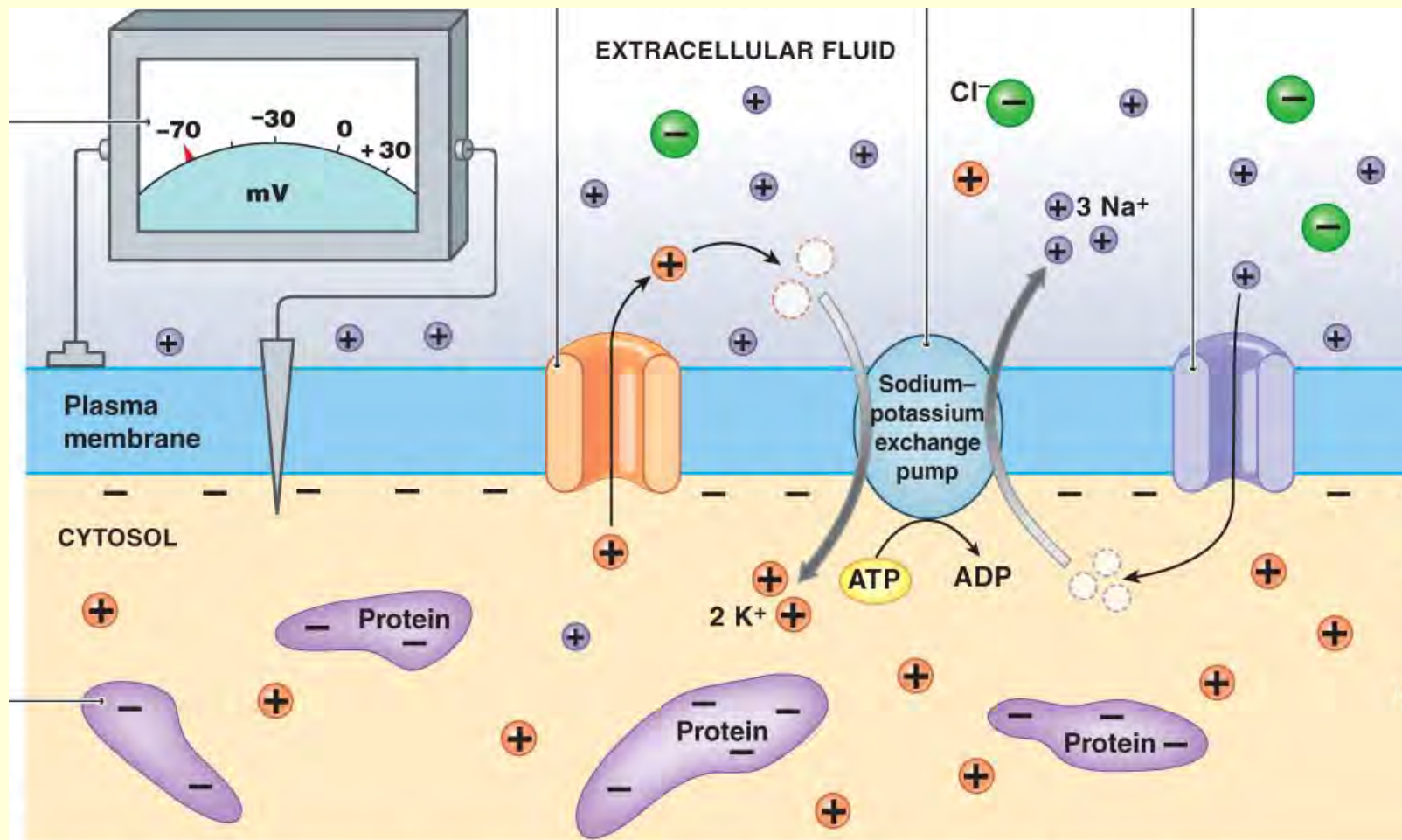




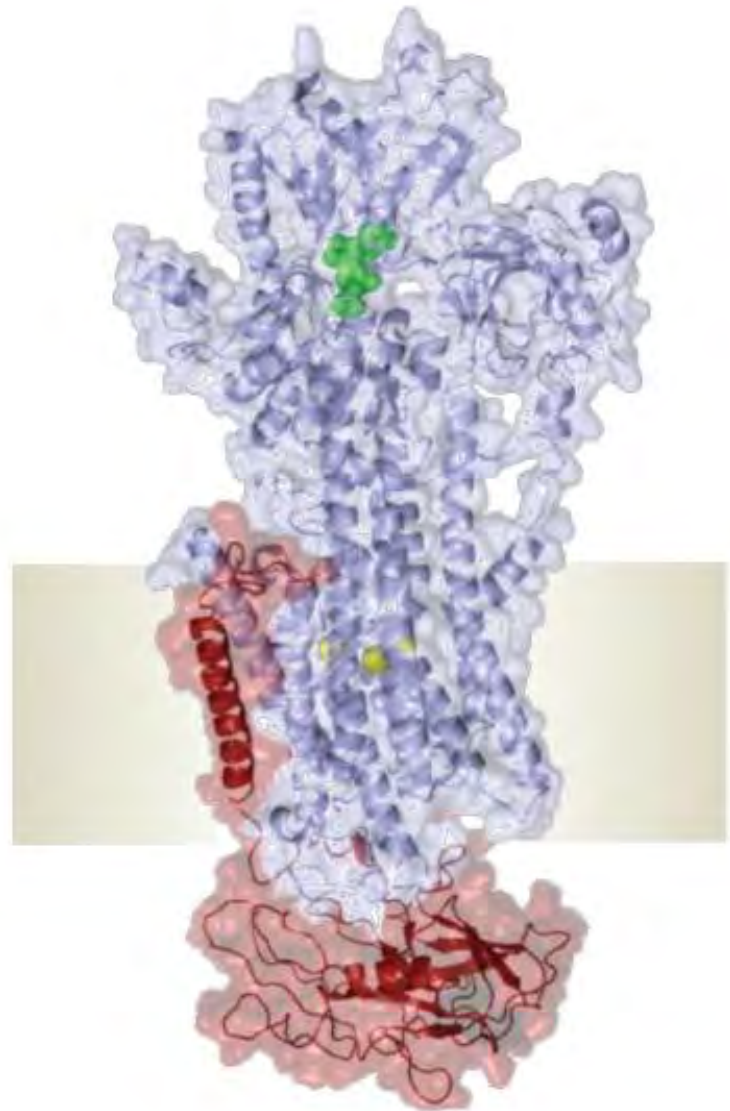
Étapes : 1 - 2 - 3 - 4

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





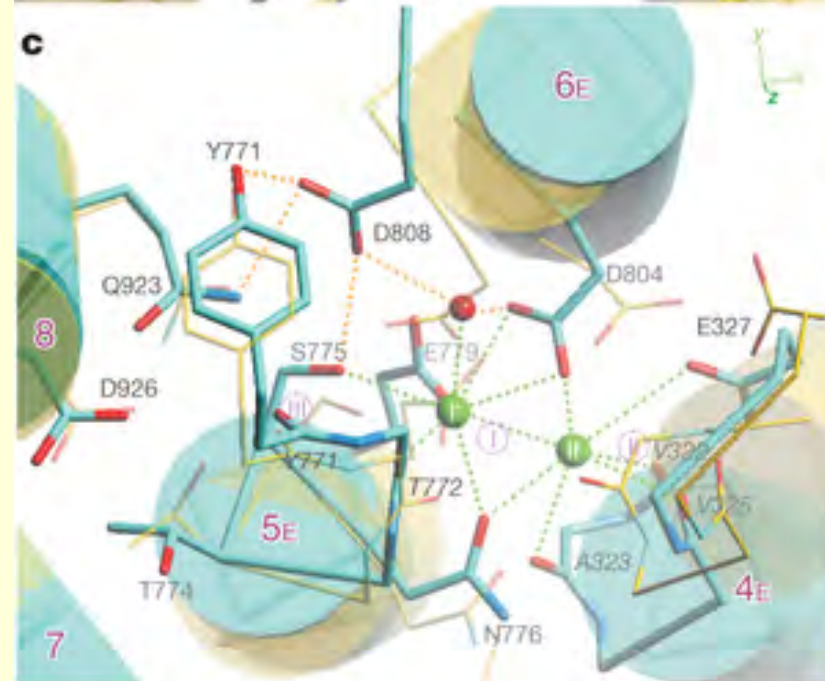
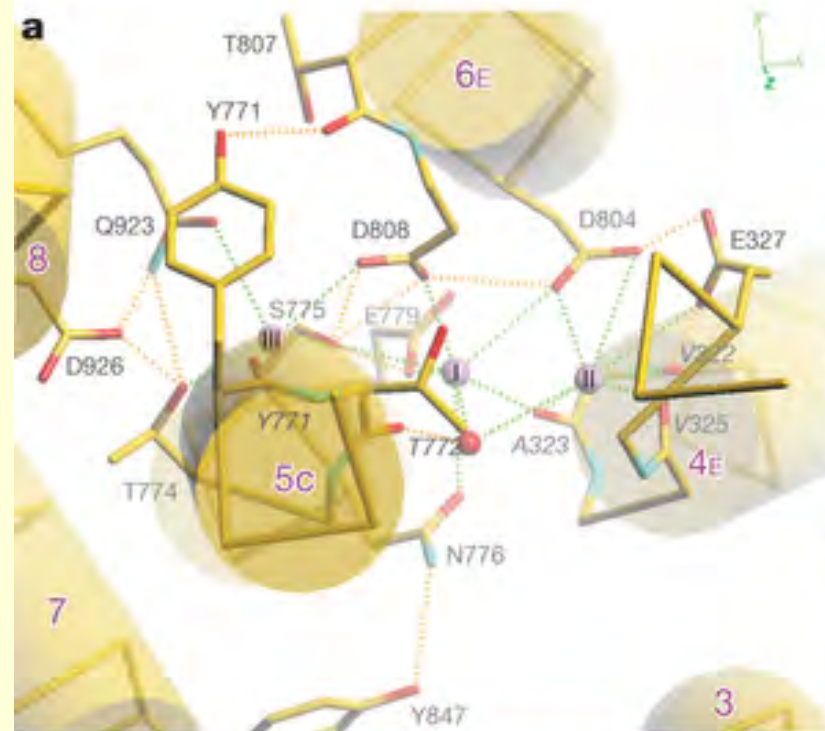
C'est seulement en **2009**,
que sa structure globale
a pu être observée.



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.**



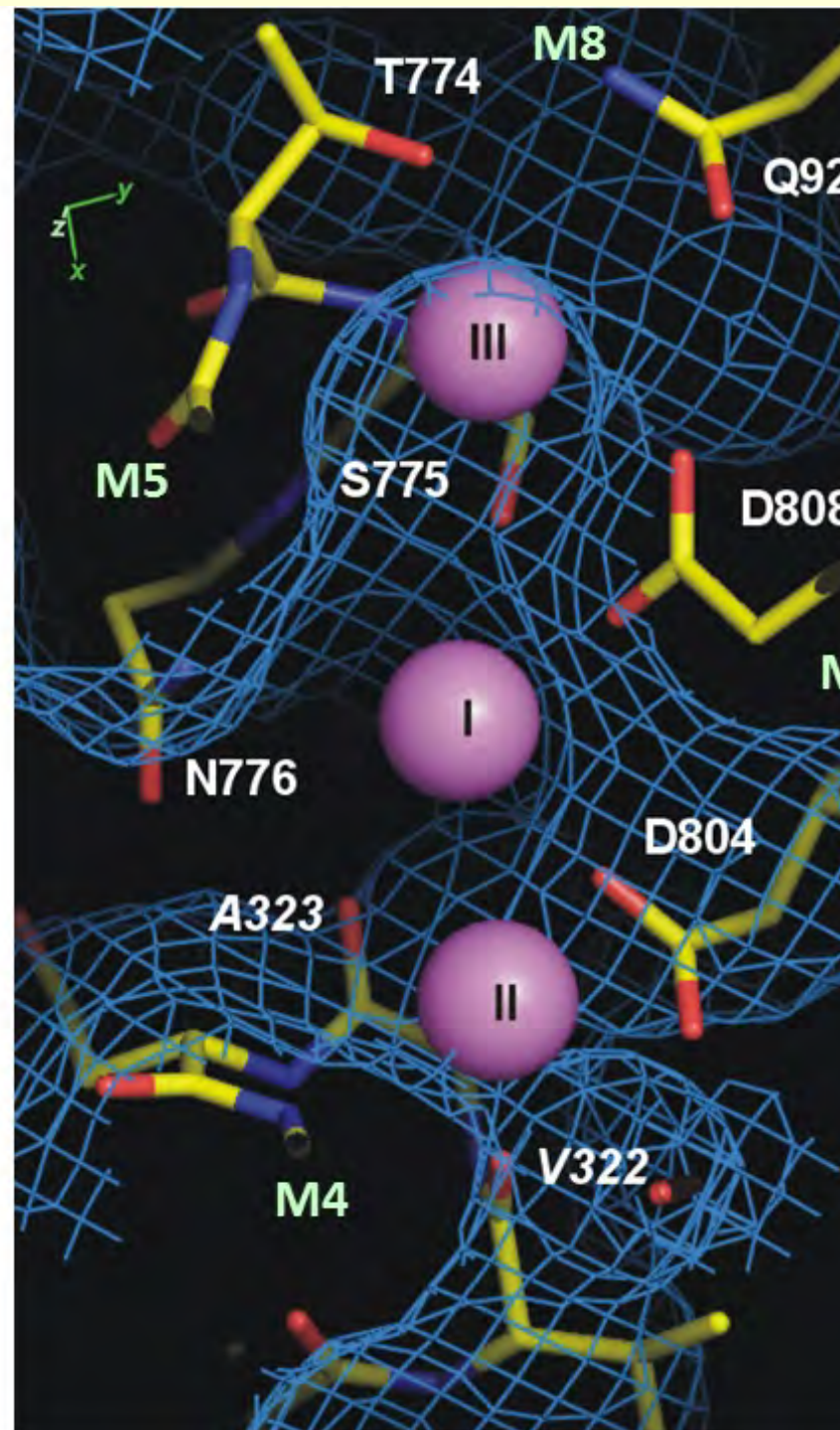
Par exemple, dans la première conformation, elle possède une cavité comportant **trois logements** qui ont exactement la taille d'ions sodium.

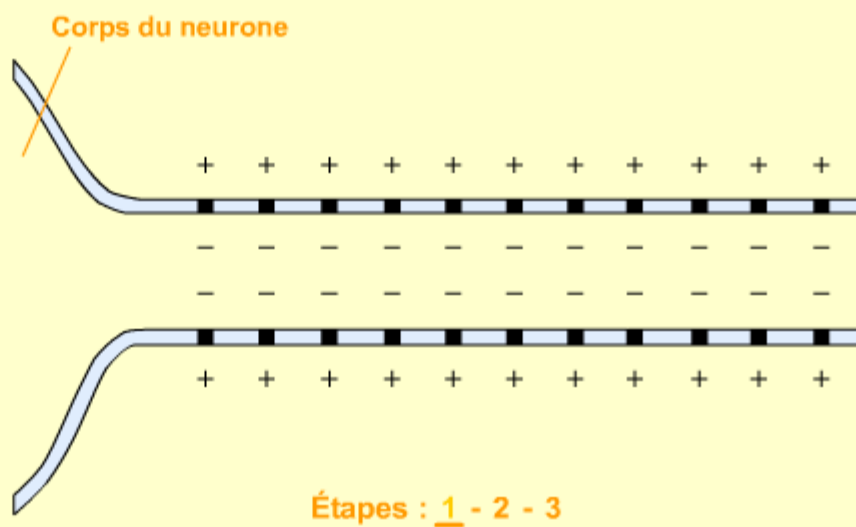
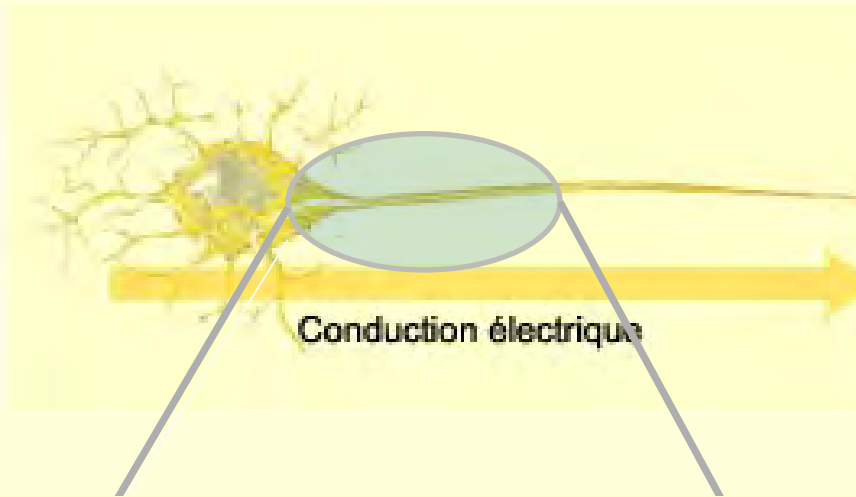
Mais ces logements sont **trop petits** pour accepter des ions potassium.

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

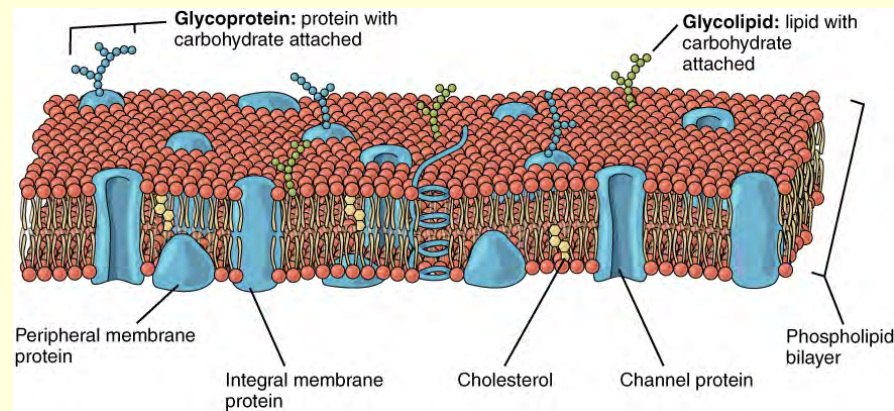
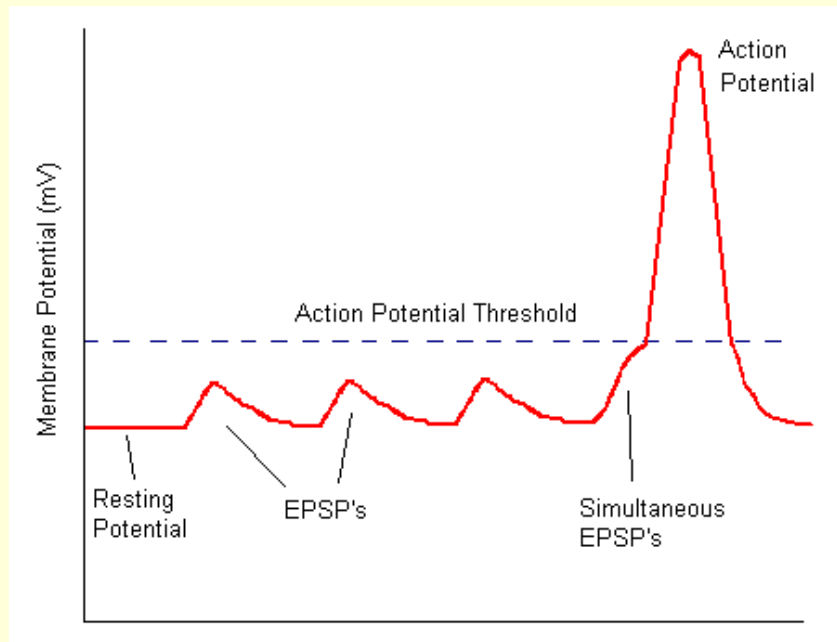
Et de créer ainsi le potentiel de repos qui rendra possible les potentiel d'action.

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

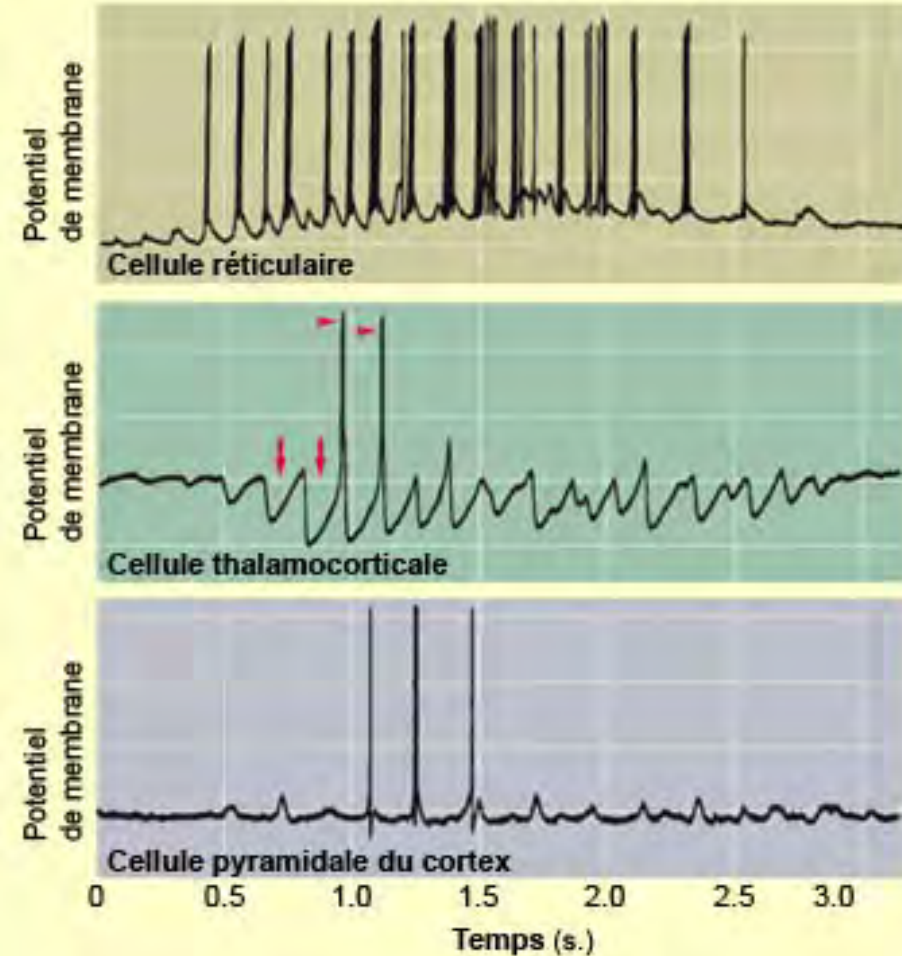
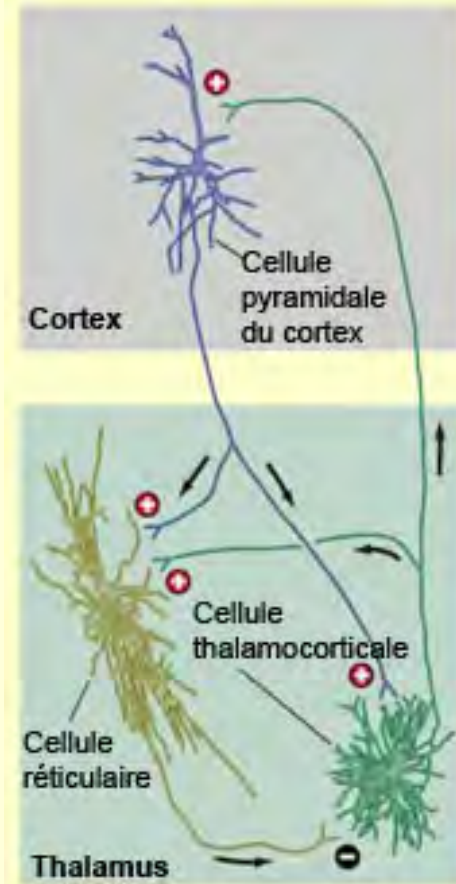
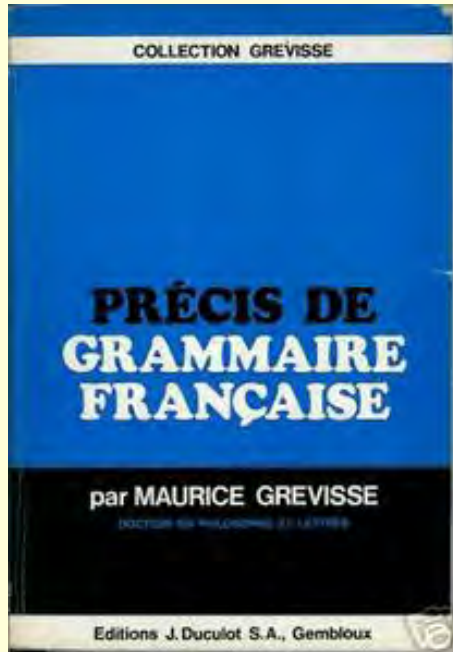




le « **potentiel d'action** », que l'on visualise ainsi sur un oscilloscope, se déclenche de manière « **tout ou rien** » quand l'excitation atteint un certain **seuil**

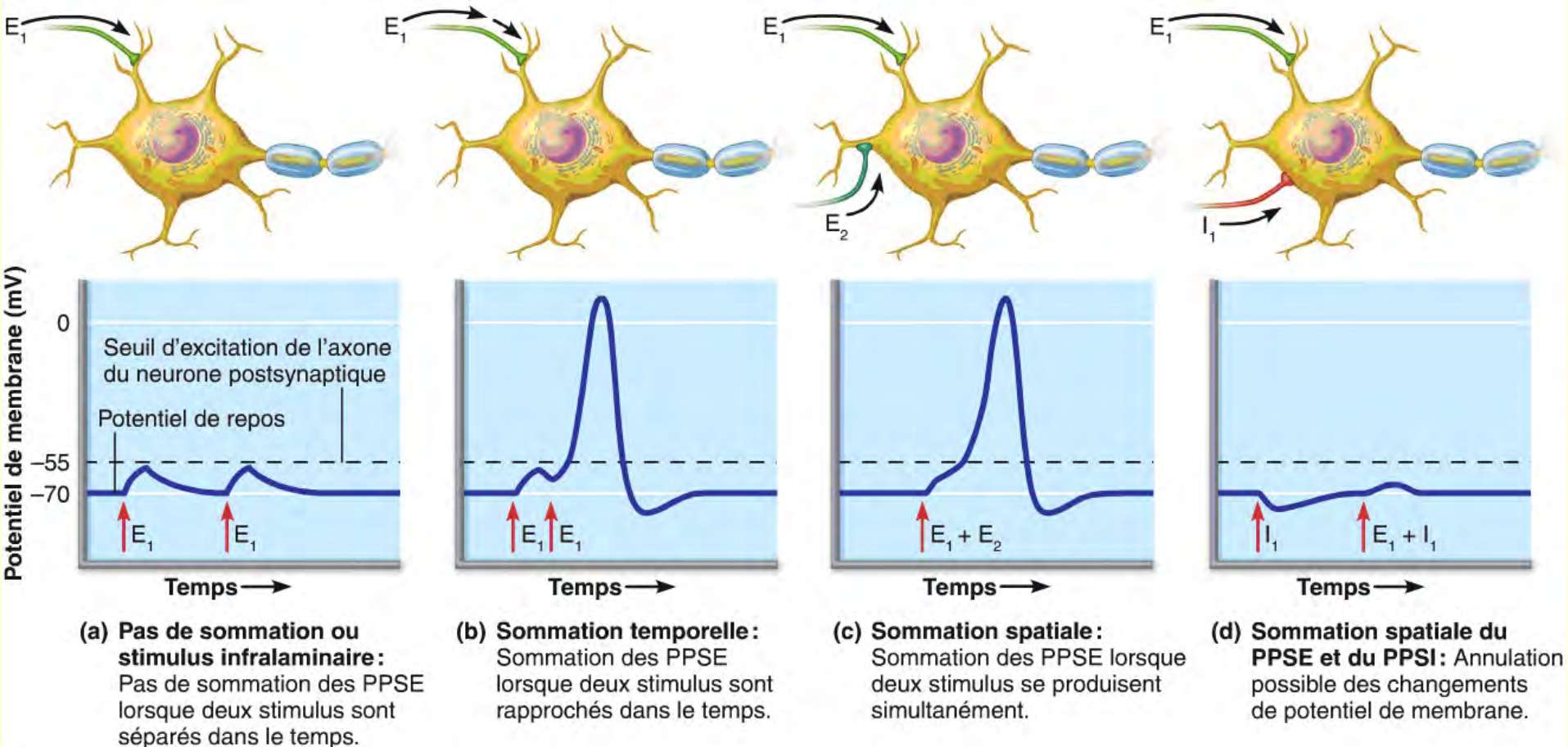


Intégration neuronale

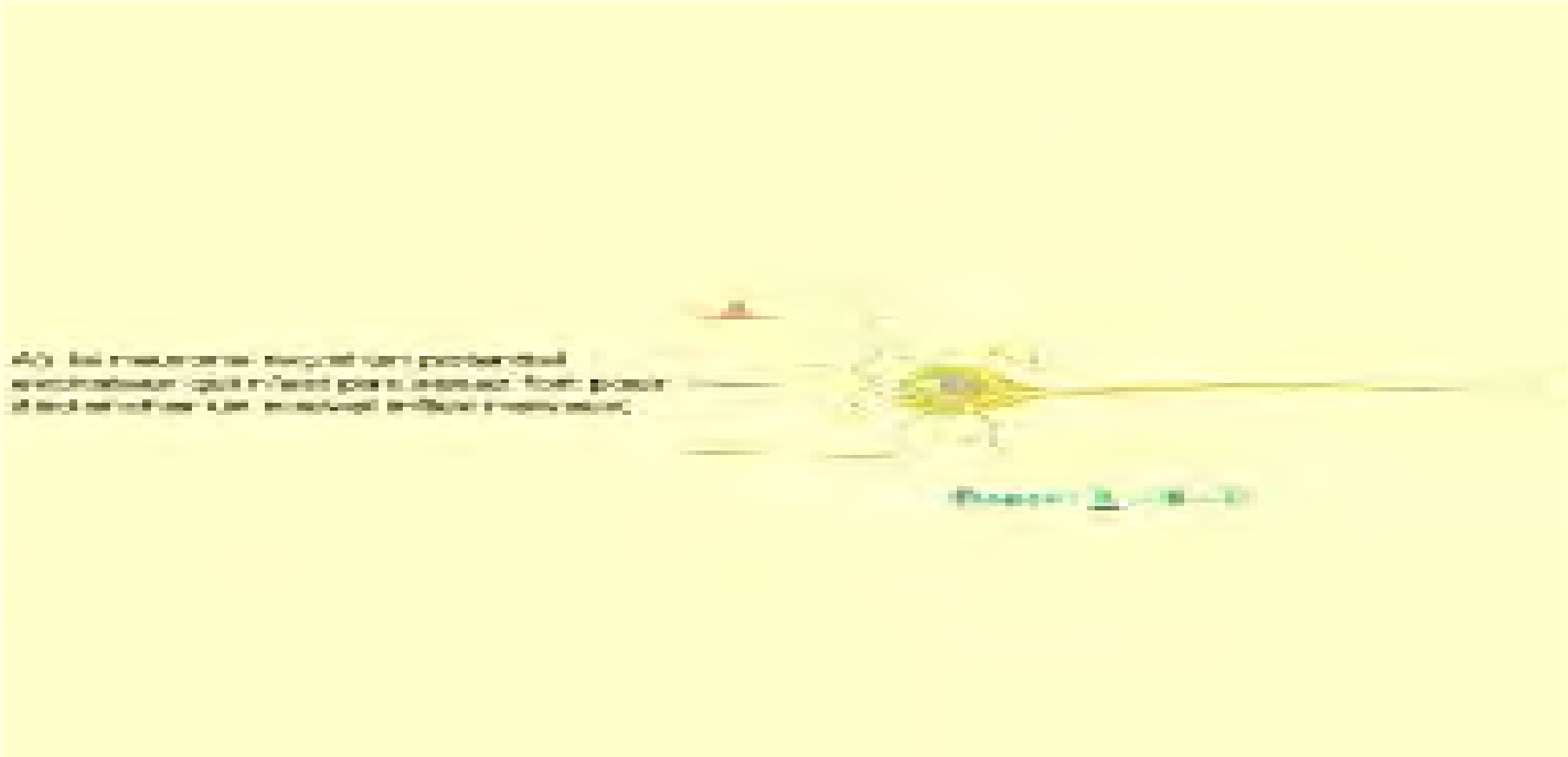


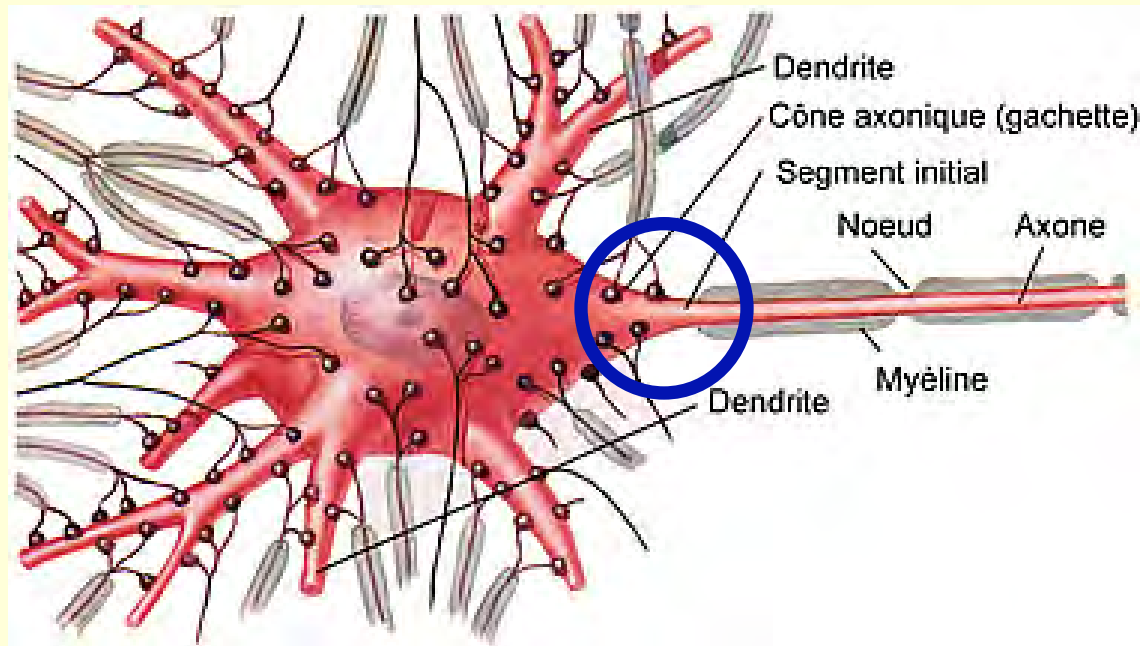
Grâce à leurs prolongements, les neurones créent des **réseaux très interconnectés** où l'activité d'un neurone peut influencer l'activité de plusieurs autres

« 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. »



*« 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. »*

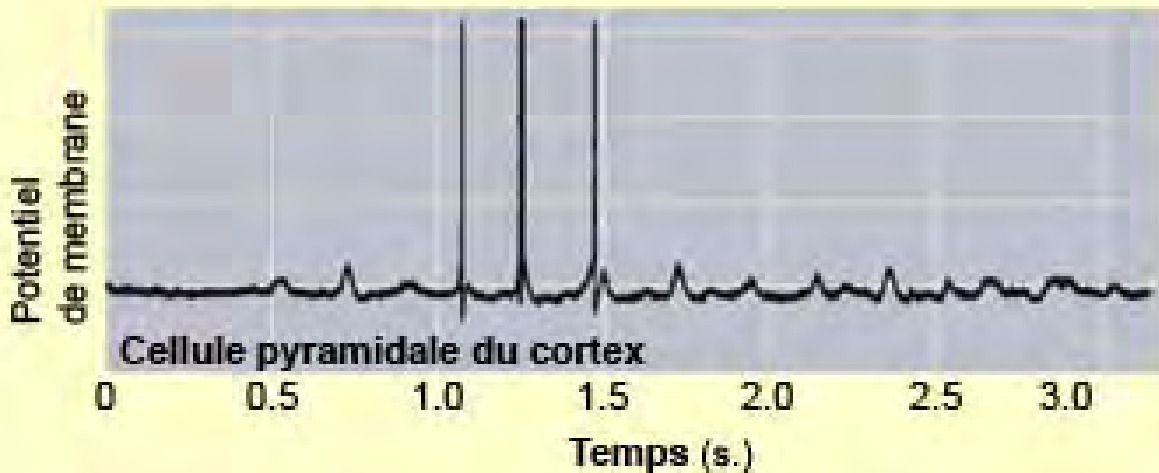
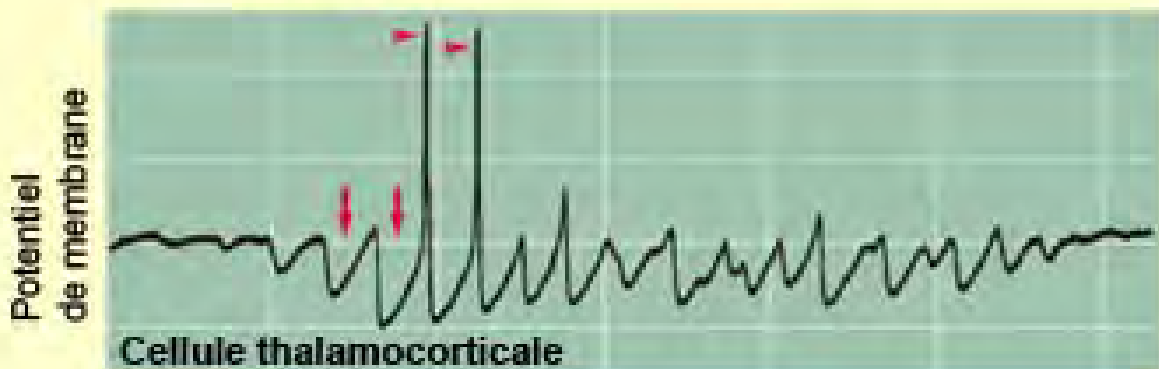
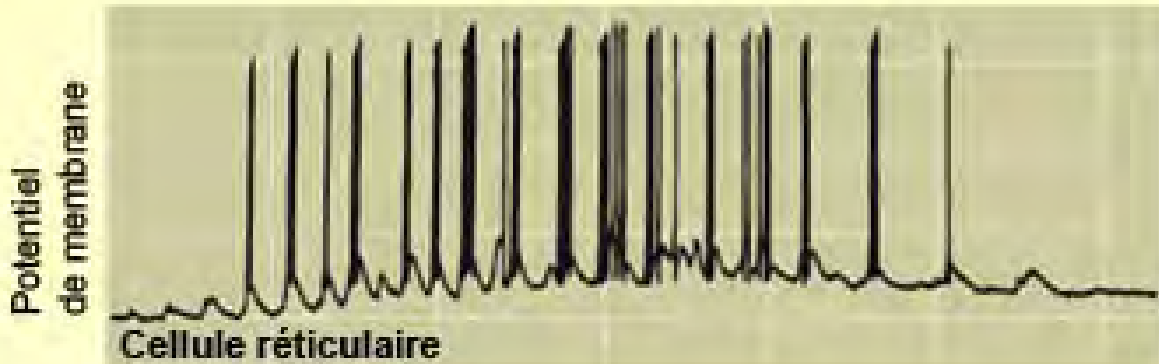
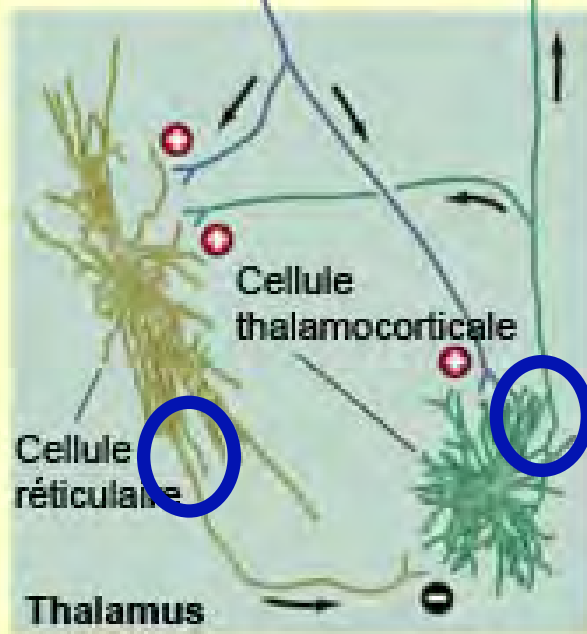
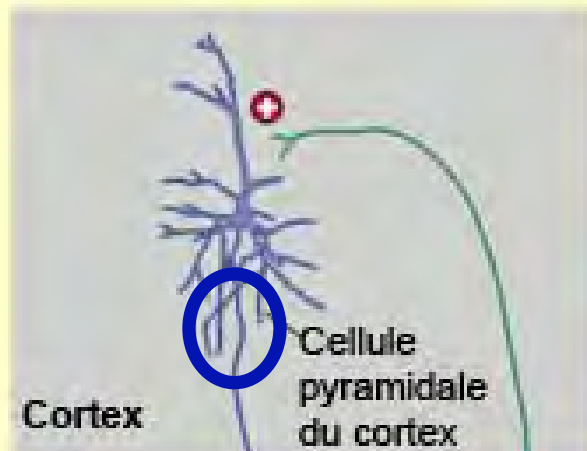


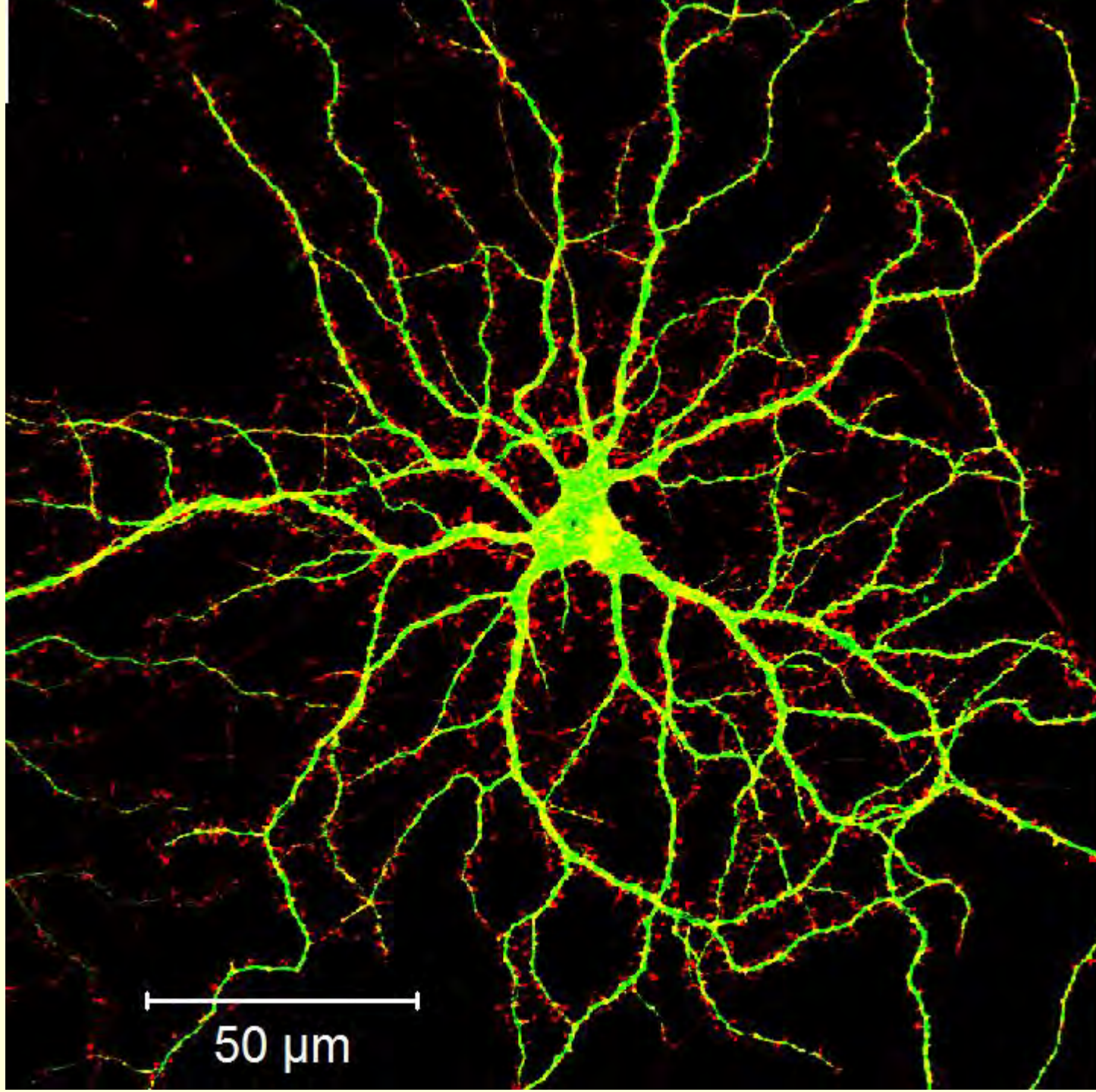


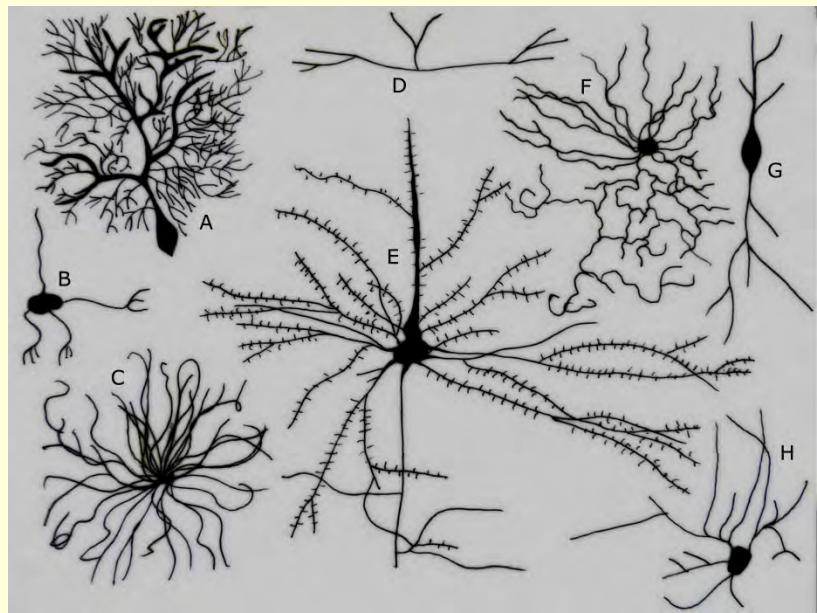
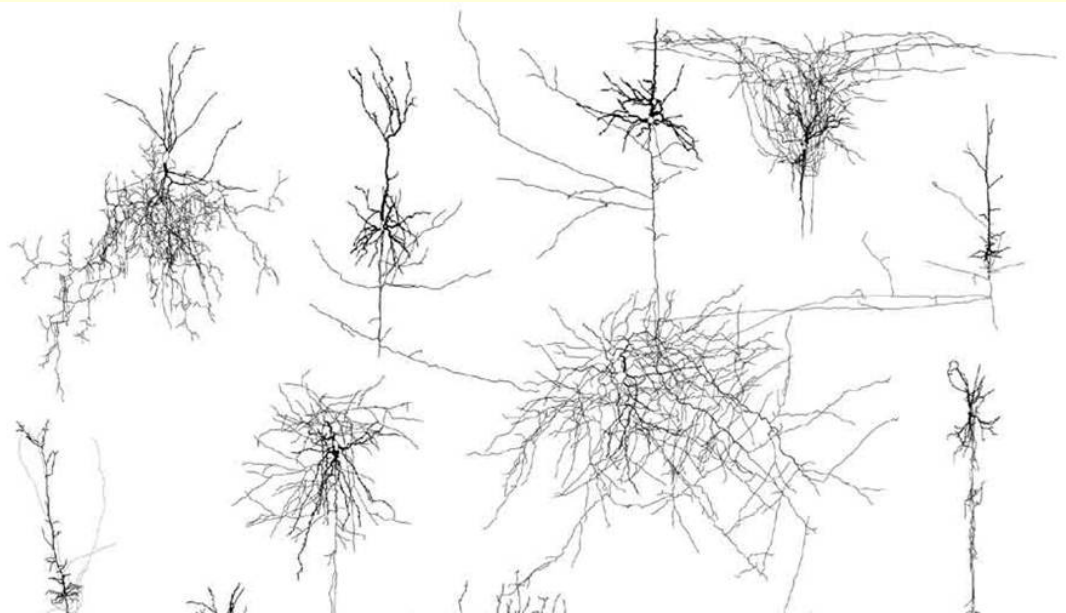
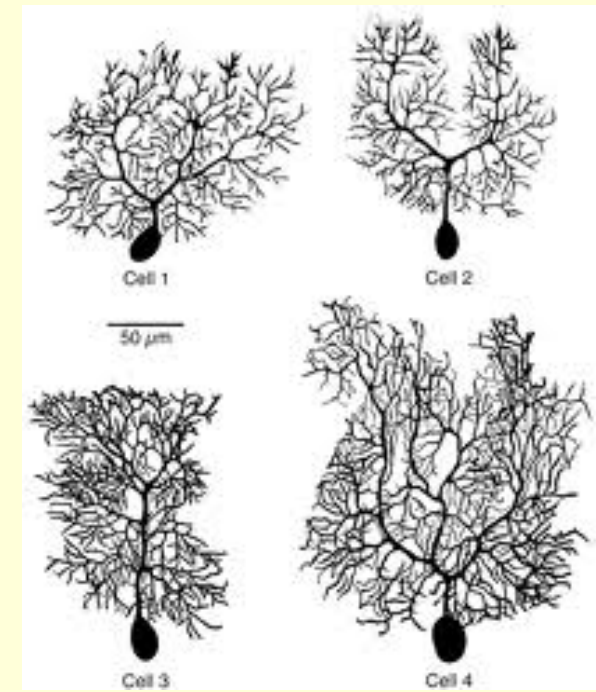
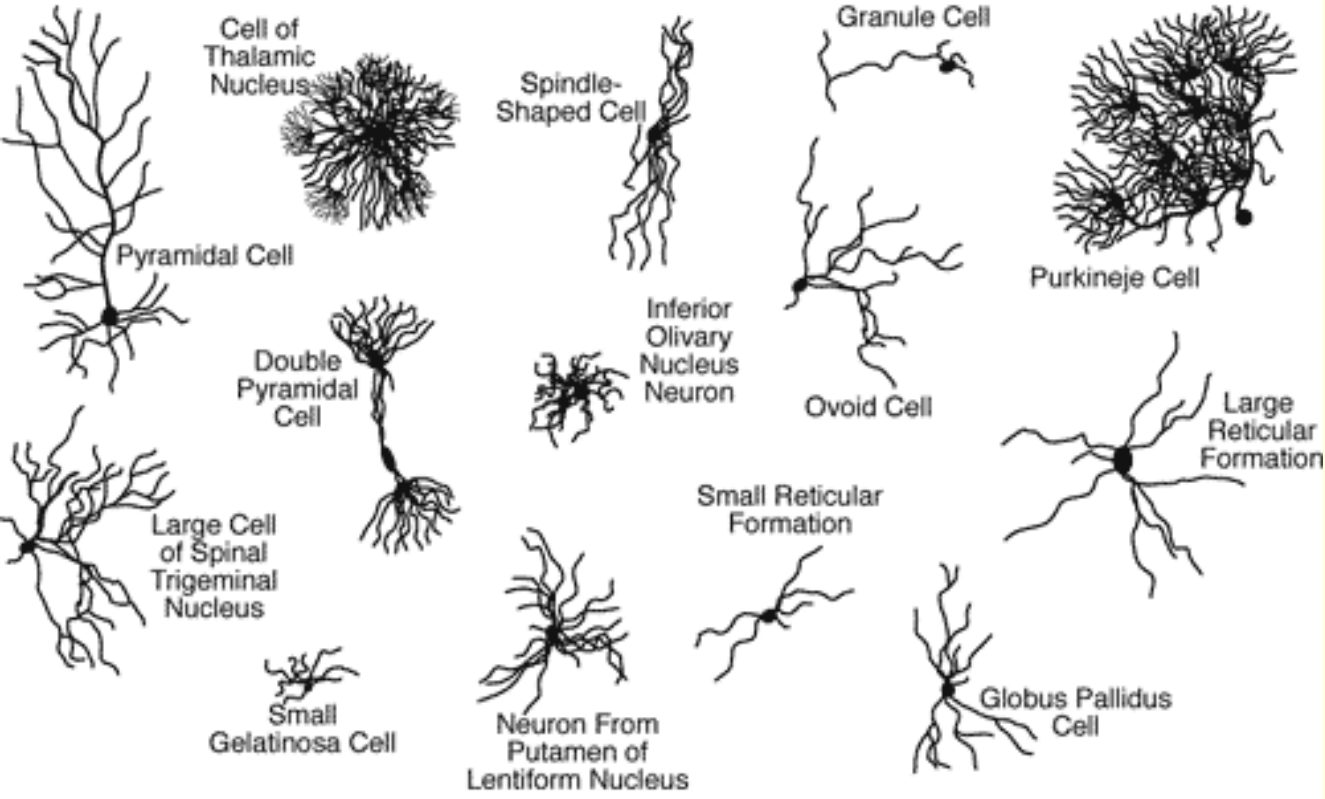
De petits potentiels excitateurs ou inhibiteurs sont donc **constamment générés** sur les dendrites et le corps cellulaire du neurone suite à la fixation des neurotransmetteurs sur leurs récepteurs.

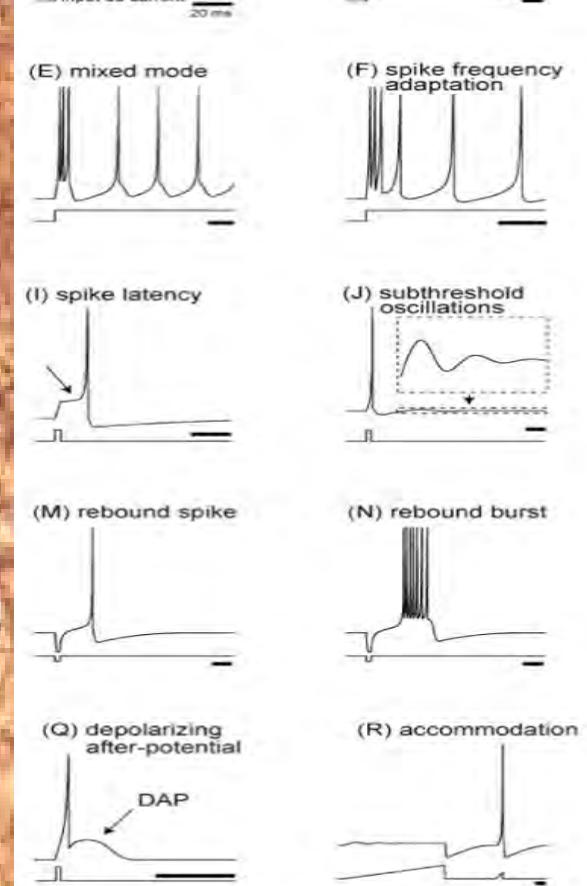
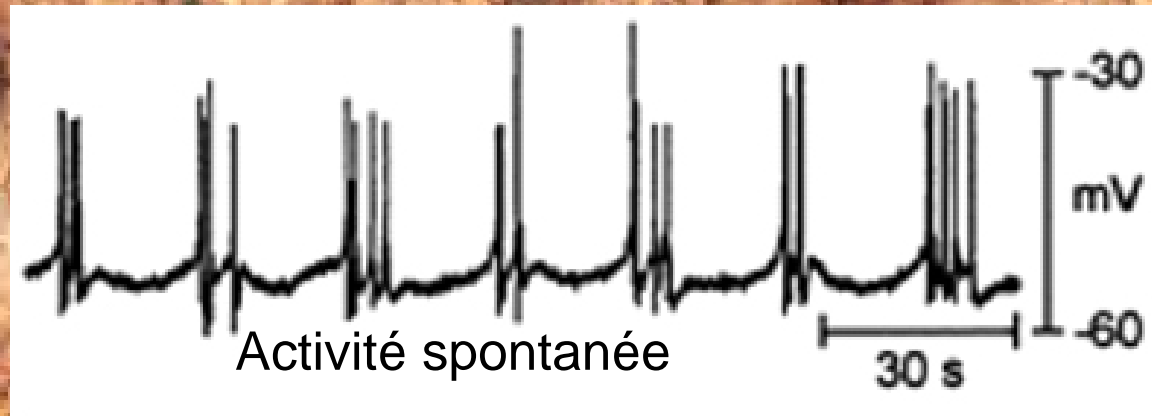
La diffusion passive de ces potentiels post-synaptique (leur intensité diminue avec le trajet) amène une **sommation de leurs effets excitateurs ou inhibiteurs**.

Et plus la dépolarisation se fera au niveau proximal des dendrites (près du corps cellulaire, de la **zone gâchette**), plus cette dépolarisation sera susceptible d'engendrer un potentiel d'action.









85 000 000 000 neurones

Chaque neurone peut faire jusqu'à 10 000 connexions avec d'autres neurones.

On est toujours dans



La théorie (ou doctrine) du neurone :

Et l'on va considérer rapidement où l'on en est aujourd'hui dans notre compréhension de cette « information » qui circule d'un neurone à l'autre...

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**;

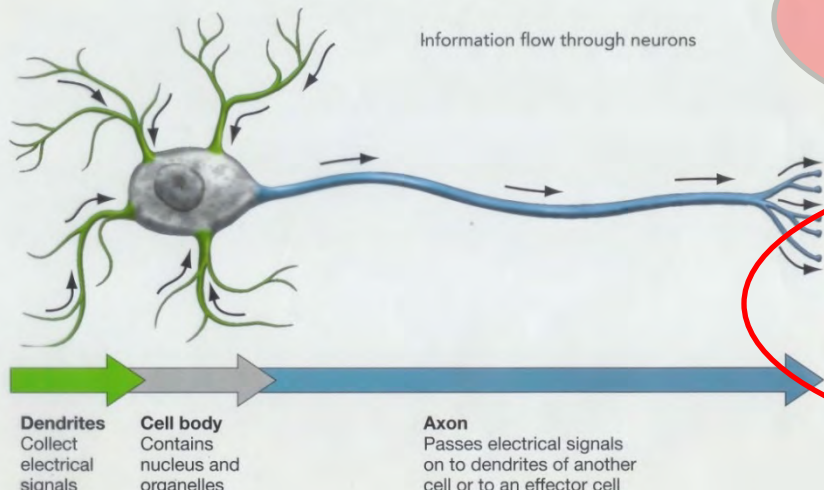
3) Un neurone est composé de 3 parties : les **dendrites, le corps cellulaire et l'axone**;

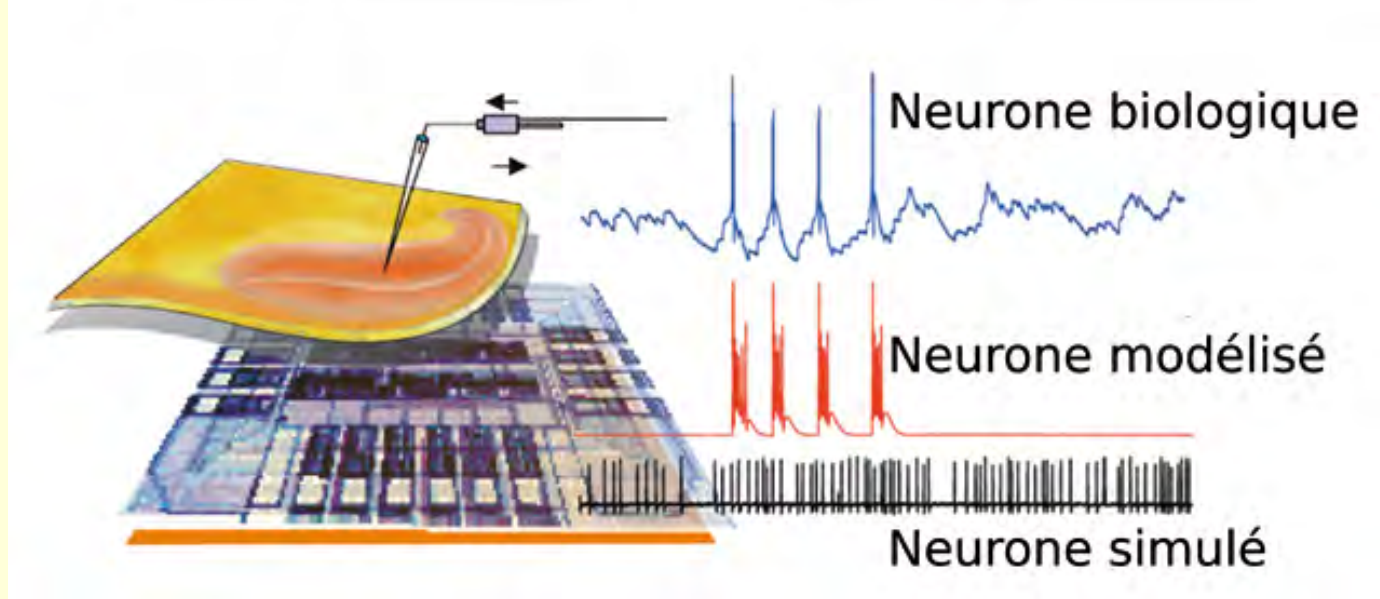
4) L'information circule le long d'un neurone **dans une direction** (des dendrites à l'axone, via le corps cellulaire).

T-862

Figure 42.2b
How Does Information Flow in a Neuron?

Information flow through neurons





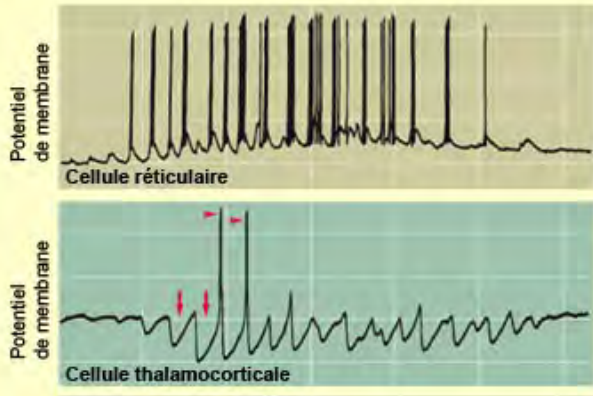
Les neurosciences computationnelles

(du latin computare = compter)

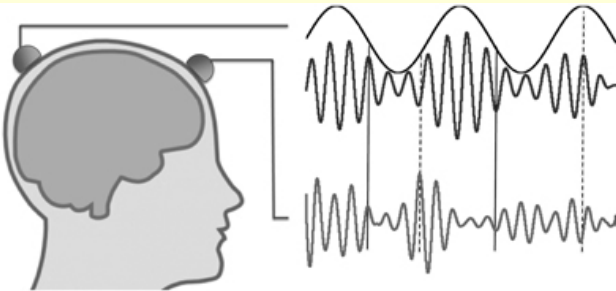
Introduites lors d'une conférence tenue en **1985** en Californie, les neurosciences computationnelles regroupent un ensemble d'approches **mathématiques, physiques et informatiques** appliquées à la **compréhension du système nerveux**

“computation = coding + dynamics”

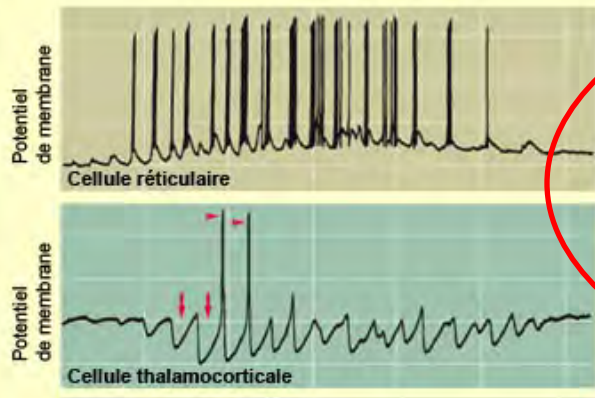
Les deux termes de droite de cette équation sont les deux grandes questions des neurosciences computationnelles :



Comment sont encodées les variables computationnelles que l'on peut isoler dans l'activité nerveuse ?



Comment le comportement dynamique des réseaux de neurones émerge-t-il des propriétés des neurones ?



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

alors que la synchronisation relative entre les neurones était considérée moins importante.

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.

On va en parler mardi pm,
deuxième séance...

Prenons l'exemple de l'intégration neuronale
pour la **vision** chez le chat.

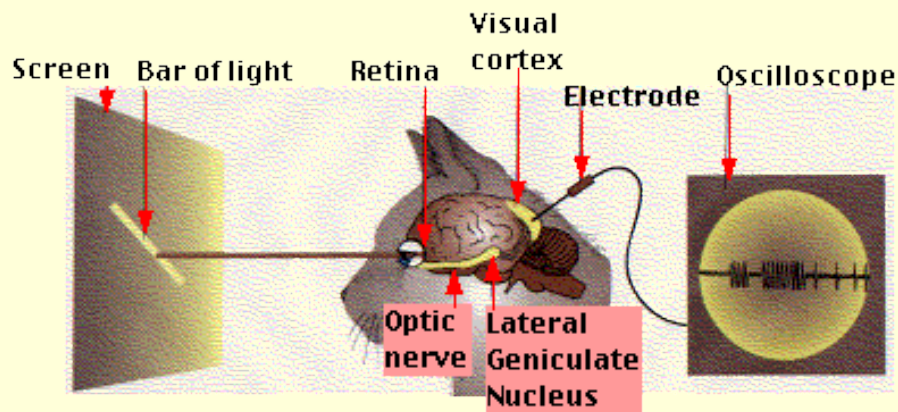
Et décrivons un peu les « champ récepteurs »
des neurones du cortex visuel primaire.



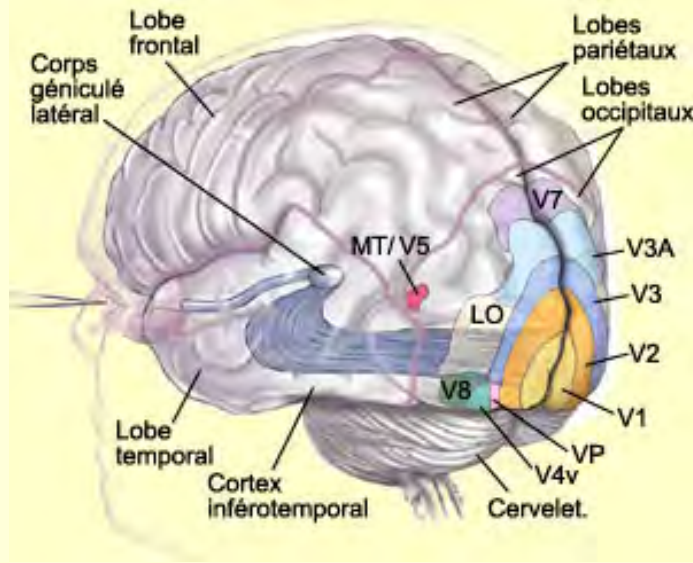


Fin des années 1950, début des années 1960, **David Hubel et Torsten Wiesel** réussissent à enregistrer dans des cellules du cortex visuel du chat pendant qu'il lui présentent des stimuli lumineux.

Les points lumineux ne donnent pas grand-chose; puis une diapo retirée fait **un trait de lumière** qui fait réagir un neurone du cortex visuel primaire...



Le cortex visuel primaire est situé dans le lobe occipital.



Contrairement aux champs récepteurs circulaires des neurones ganglionnaires de la rétine.

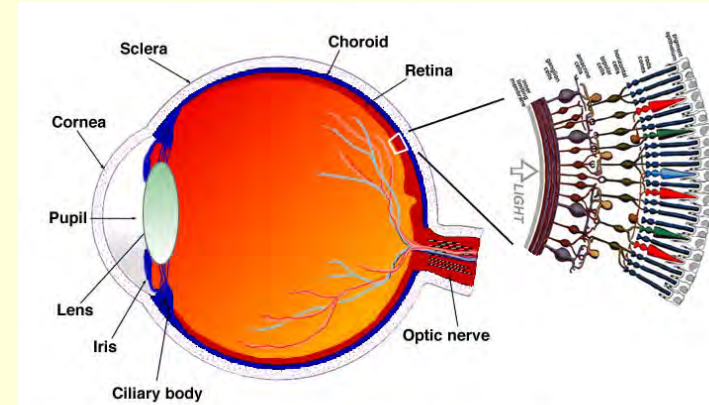
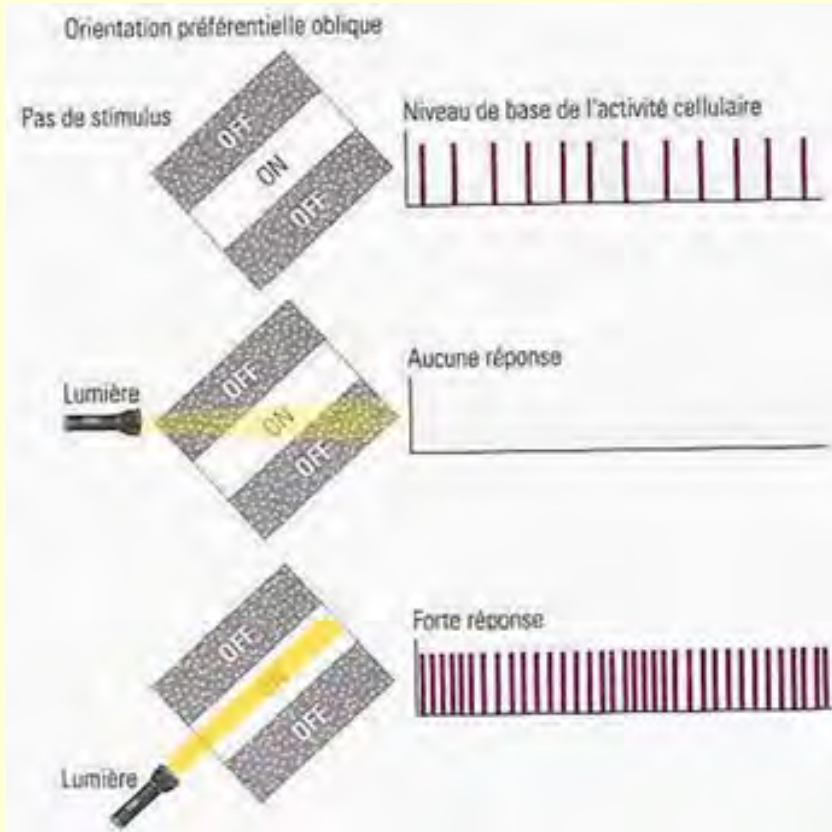
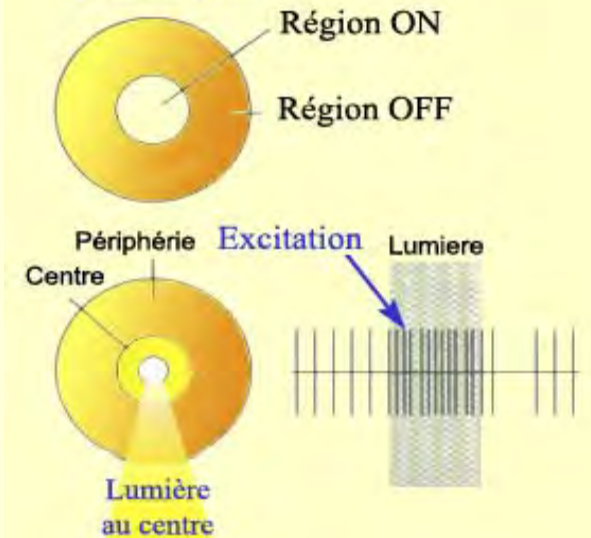


Fig. 1.1. A drawing of a section through the human eye with a schematic enlargement of the retina.

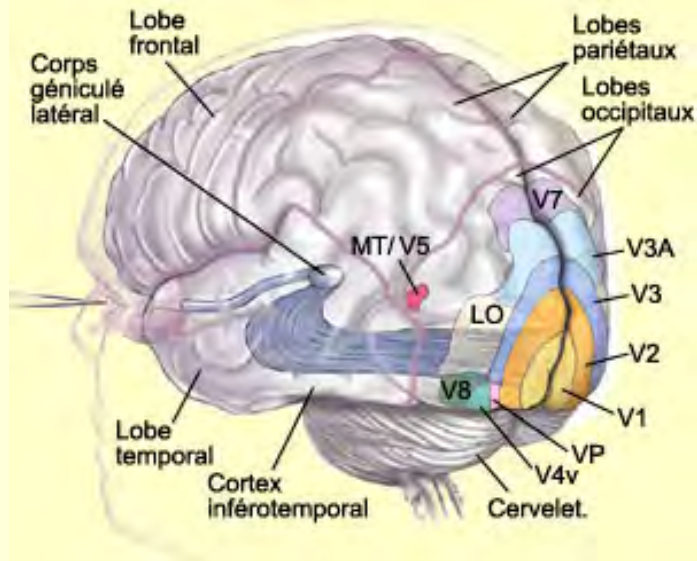
Le champ récepteur d'une cellule simple du cortex visuel était donc un trait de lumière avec un angle particulier à un endroit particulier.



Cellule à centre ON

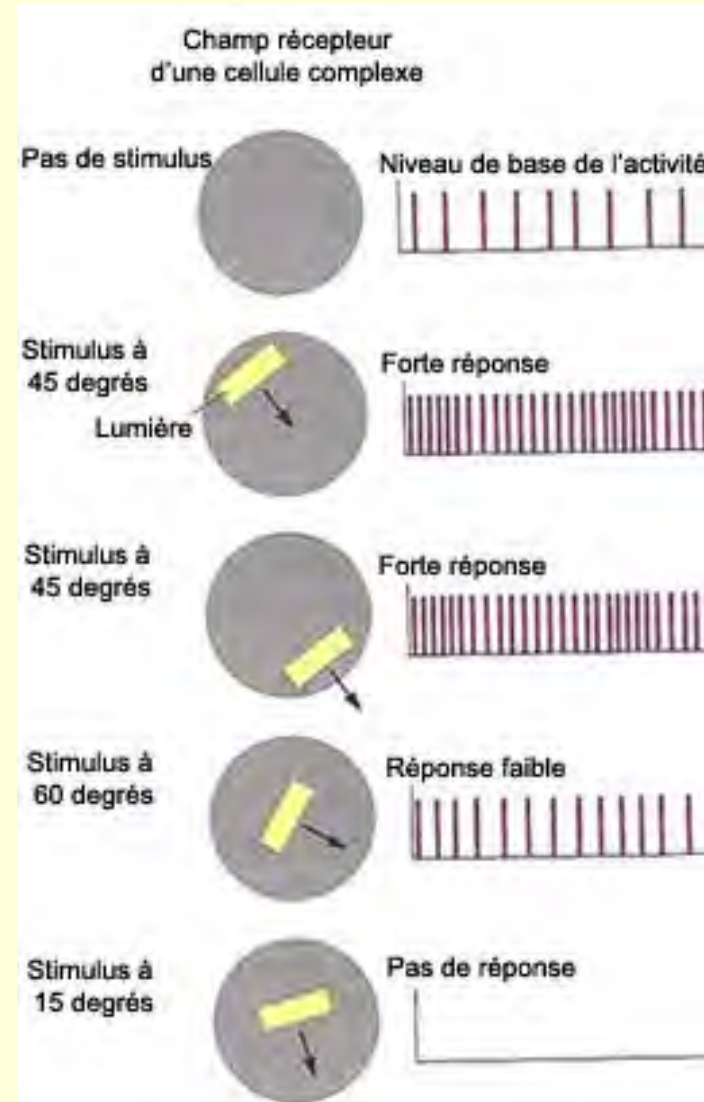
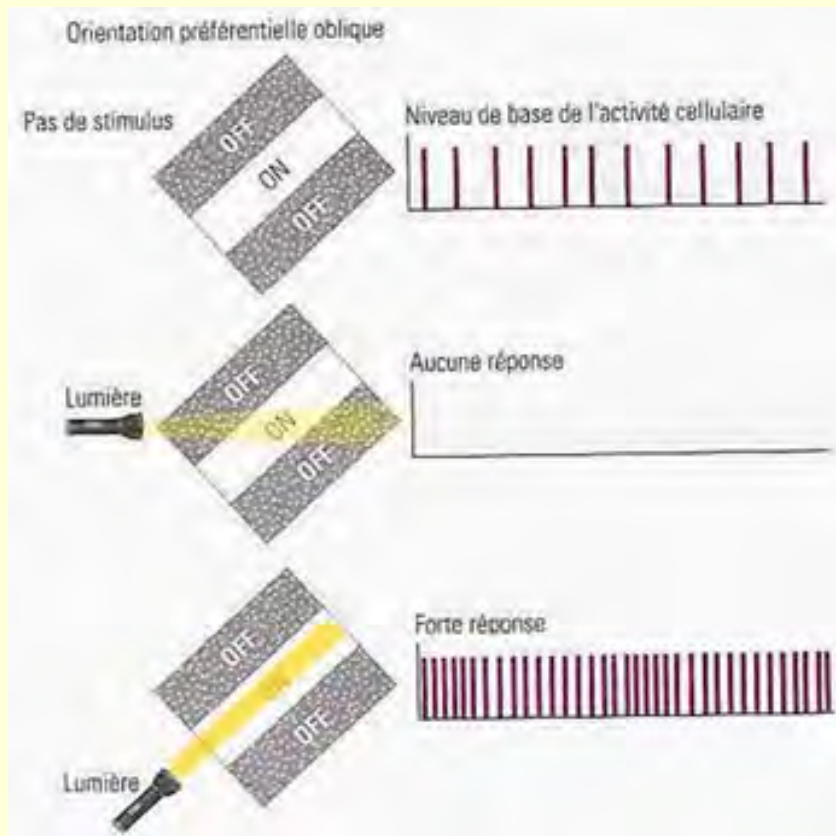


Le cortex visuel primaire est situé dans le lobe occipital.

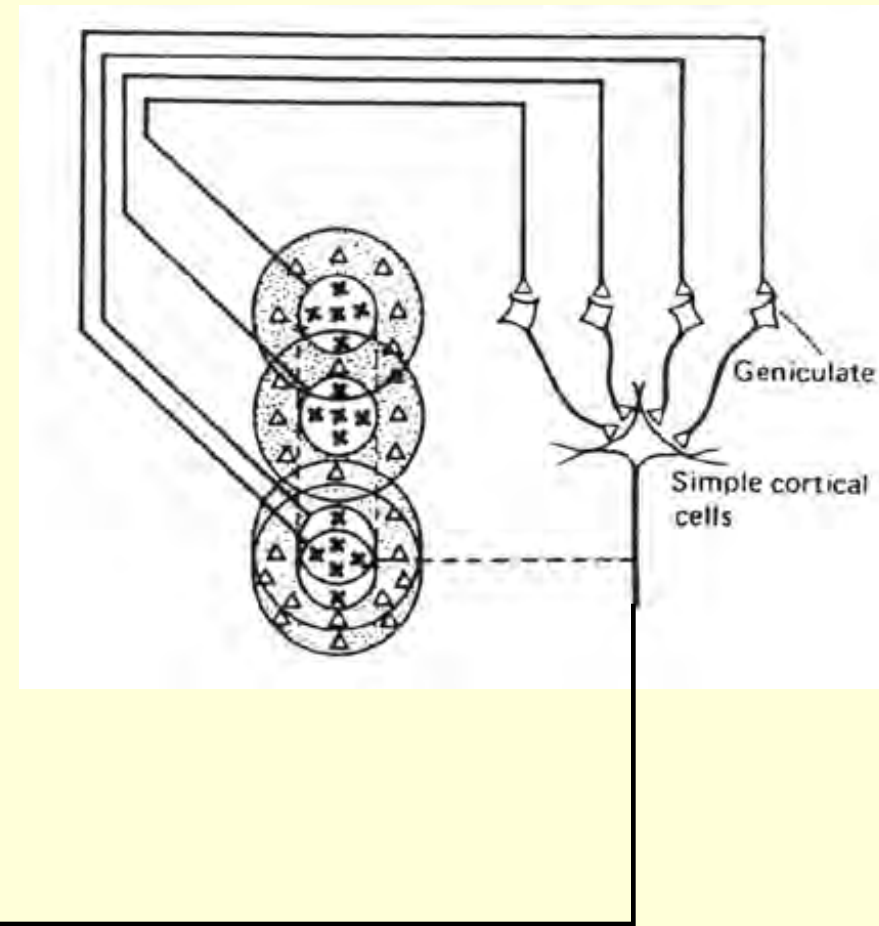
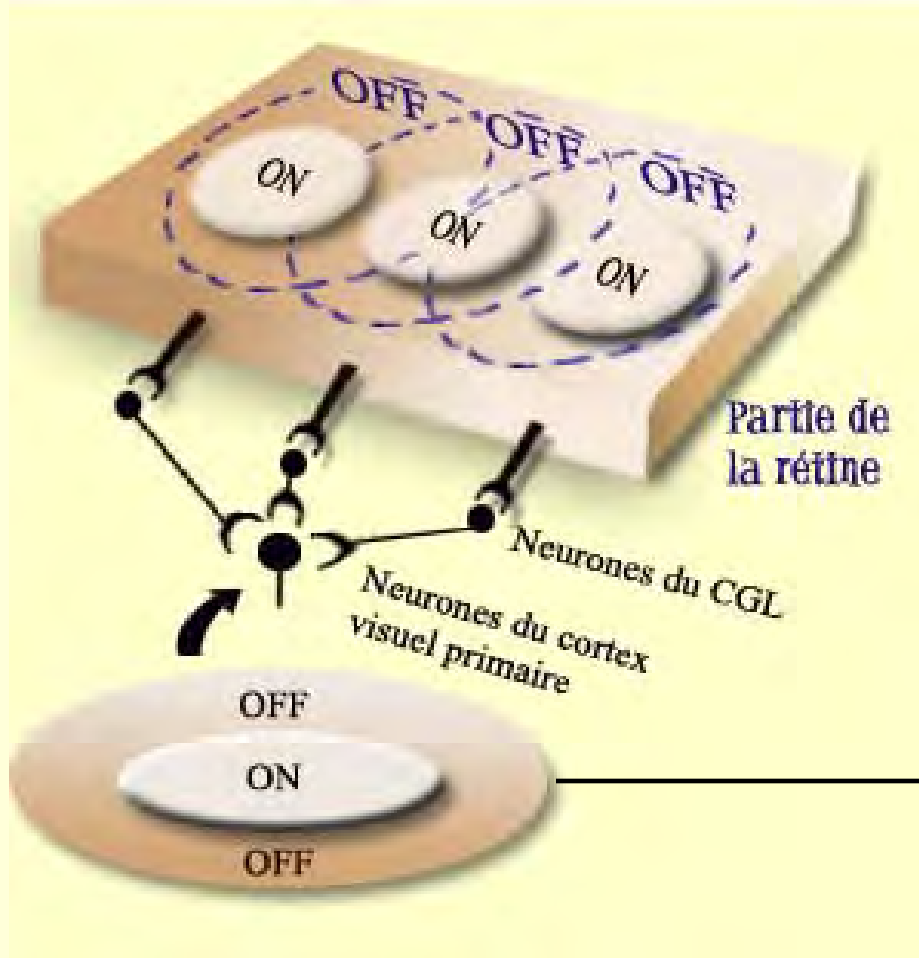


Et quand on passe dans des neurones de l'aire visuelle secondaire (V2)...

Le champ récepteur d'une cellule simple du cortex visuel était donc un trait de lumière avec un angle particulier à un endroit particulier.

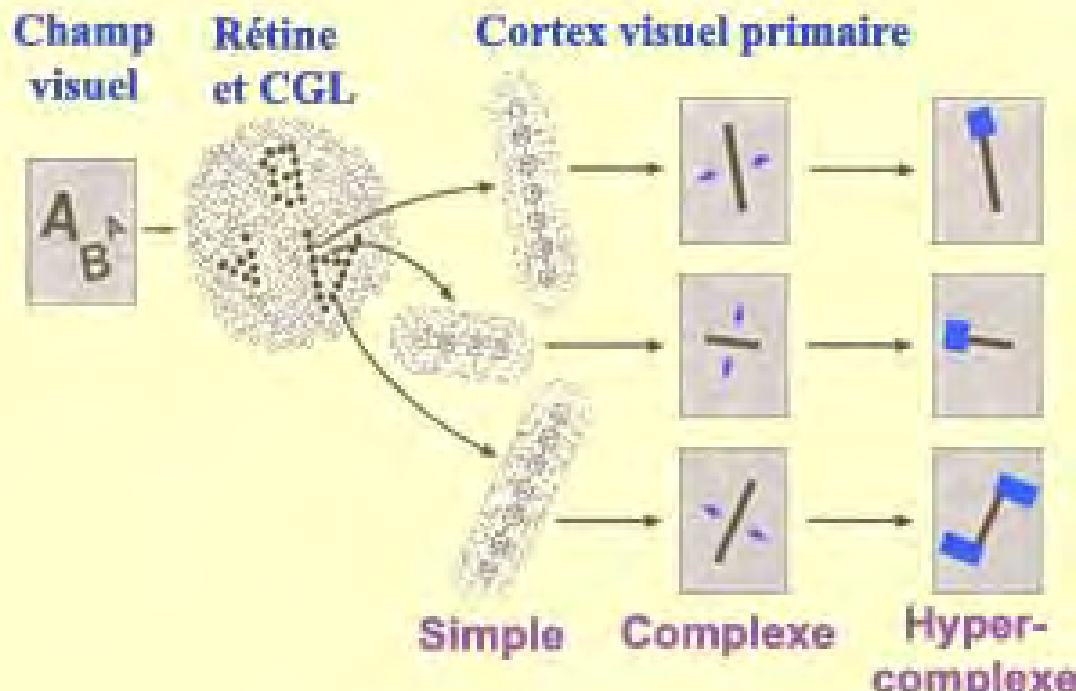
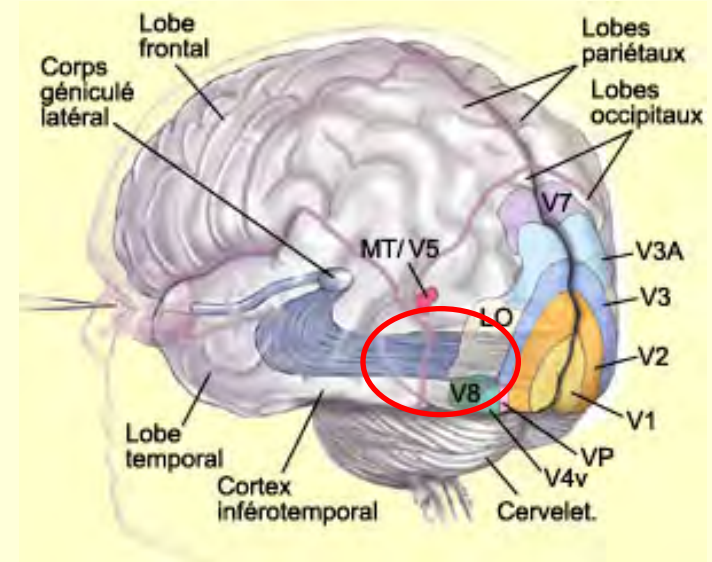
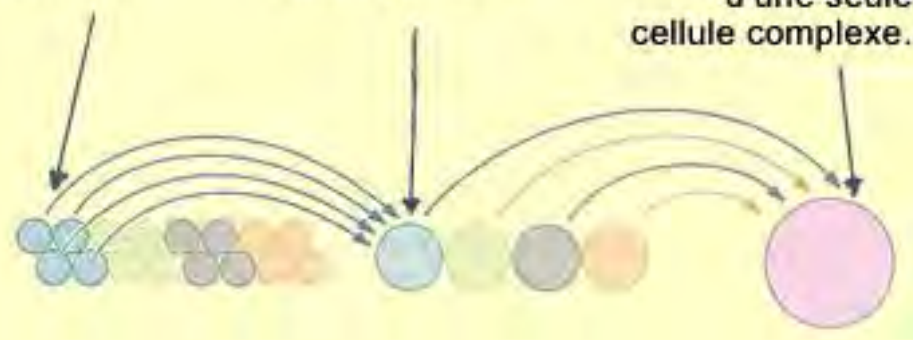


Comment passer de champs récepteurs simples à complexes ?
Par des jeux de « **convergence neuronale** »...



Comme on va en parler mercredi après-midi...

Les champs récepteurs de nombreuses cellules du corps genouillé latéral...
 ... s'additionnent pour former le champs récepteur d'une cellule simple du cortex visuel primaire...
 ... et les champs récepteurs de nombreuses cellules simples du cortex s'additionnent pour former le champ récepteur d'une seule cellule complexe.



ROW
SUT

Voilà pour ce rapide survol de ce qui tient toujours avec la « théorie du neurone »

+

un aperçu de l'intégration neuronale.

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).

- La théorie du neurone
 - Ce qu'on peut garder
 - **Tout ce qu'on sait maintenant qui lui manque...**

On va maintenant mettre la hache dedans et voir ce qui ne tient plus la route...

La théorie (ou doctrine) du neurone :

1) **Le neurone** est l'unité structurelle



neurone **dans une direction** (des dendrites à l'axone, via le corps cellulaire).

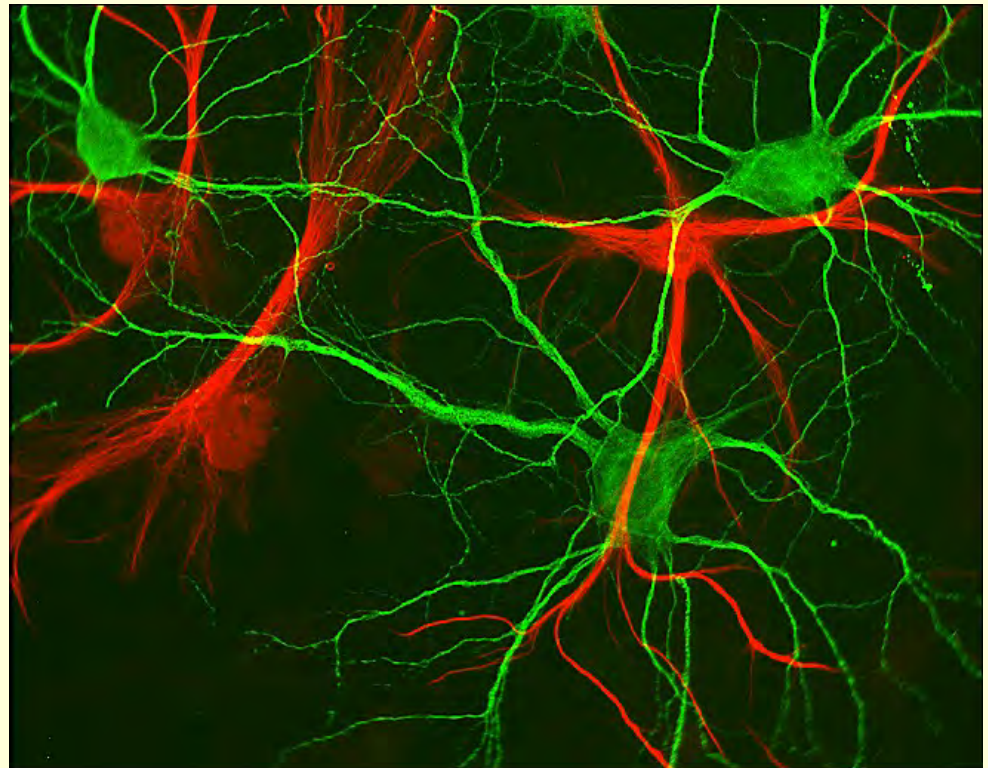
La théorie du neurone :

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

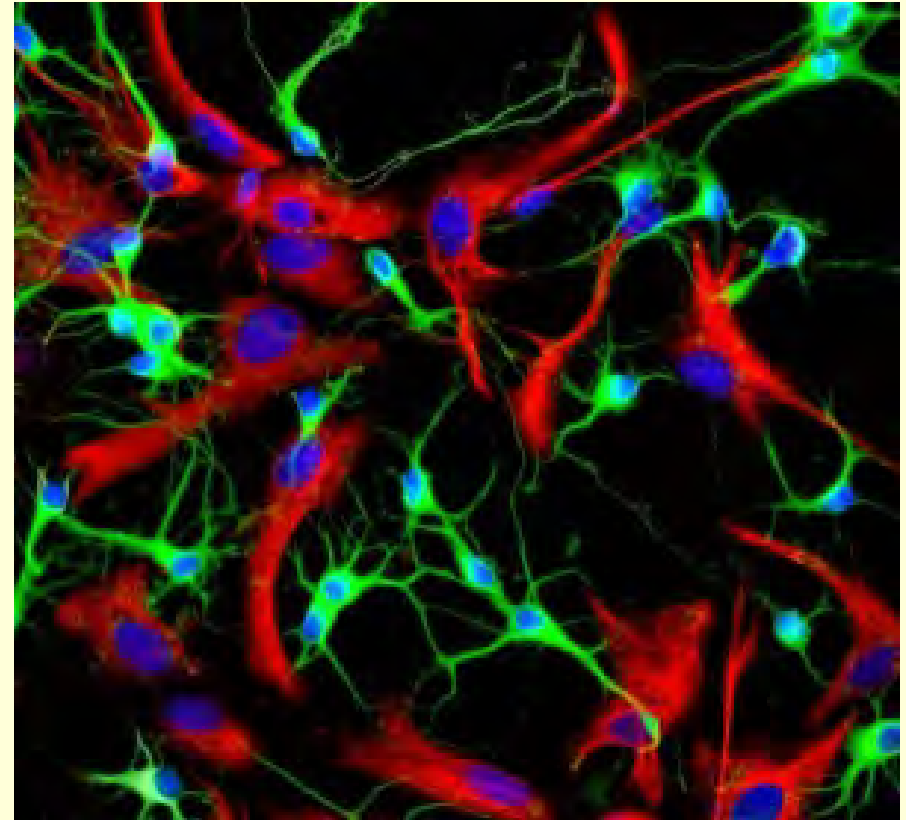
Il y a aussi « l'autre moitié du cerveau » :

les cellules gliales !

(en rouge ici,
et les neurones en vert)



Les cellules gliales, encore en rouge ici



85 000 000 000
cellules gliales

+

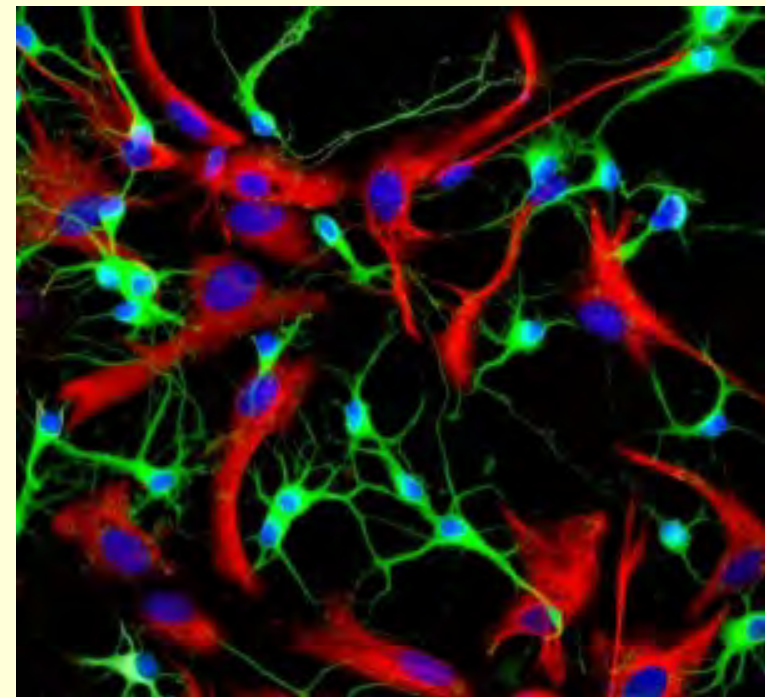
85 000 000 000
neurones !



Déjà, un vieux dogme à briser sur le nombre des cellules gliales:

La plupart des manuels de neurosciences affirment encore qu'il y a beaucoup plus de cellules gliales dans le cerveau que de neurones.

On lit souvent 10 fois plus.

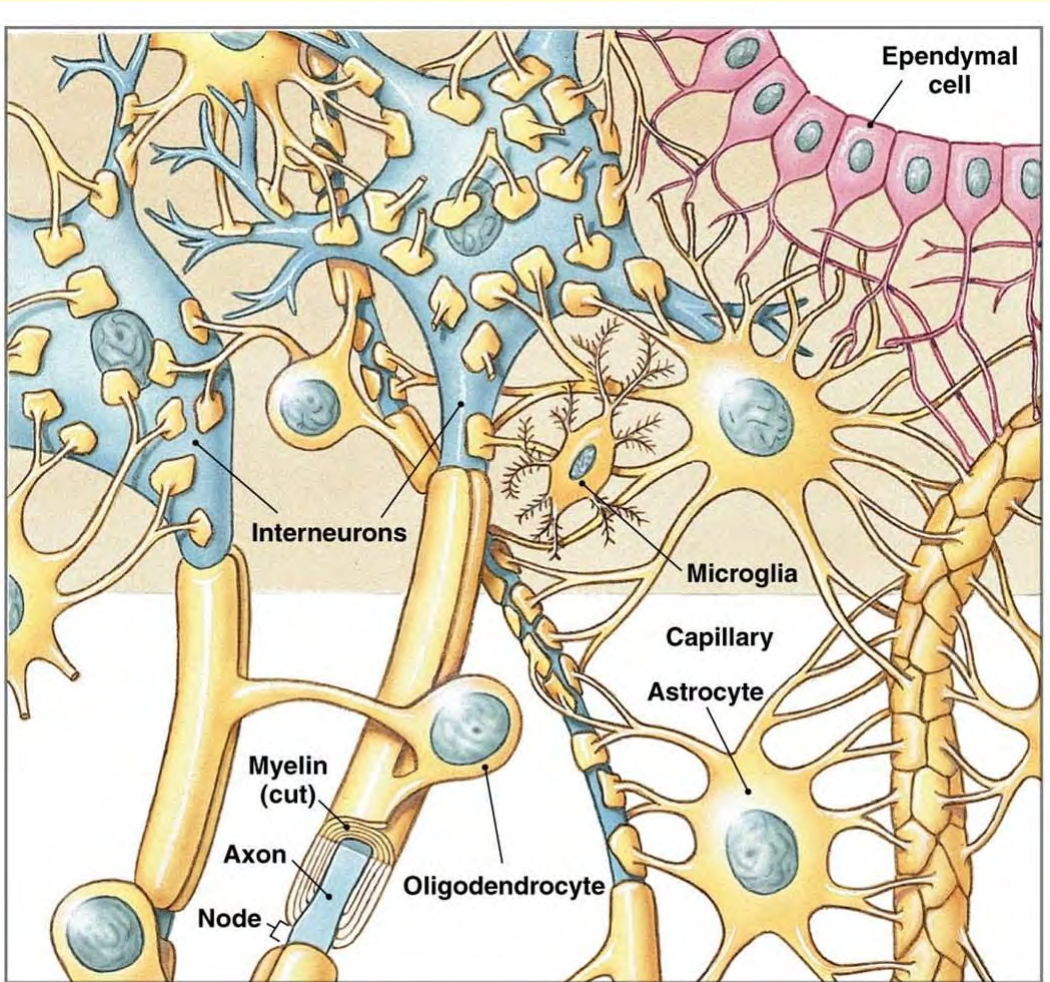


Or les études récentes penchent plus vers un ratio beaucoup plus conservateur, **autour de un pour un**.

Par exemple, en **2009**, Azevedo et ses collègues estiment qu'il y a environ **86 milliards de neurones et 85 milliards de cellules gliales** dans le cerveau humain adulte mâle.

Bien que ce ratio varie selon les structures cérébrales observées, et qu'il puissent être un peu plus élevé dans certaines structures sous-corticales où il y a beaucoup de cellules gliales, il ne dépasse jamais le deux pour un en faveur des cellules gliales dans le cortex.

Différents types de cellules gliales



En une phrase :
(on va détailler plus loin...)

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

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

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

Quelques découvertes récentes
sur les cellules gliales qui montrent qu'elles
**n'assurent définitivement pas qu'un rôle
de soutien ou de nutrition !**

Microglie

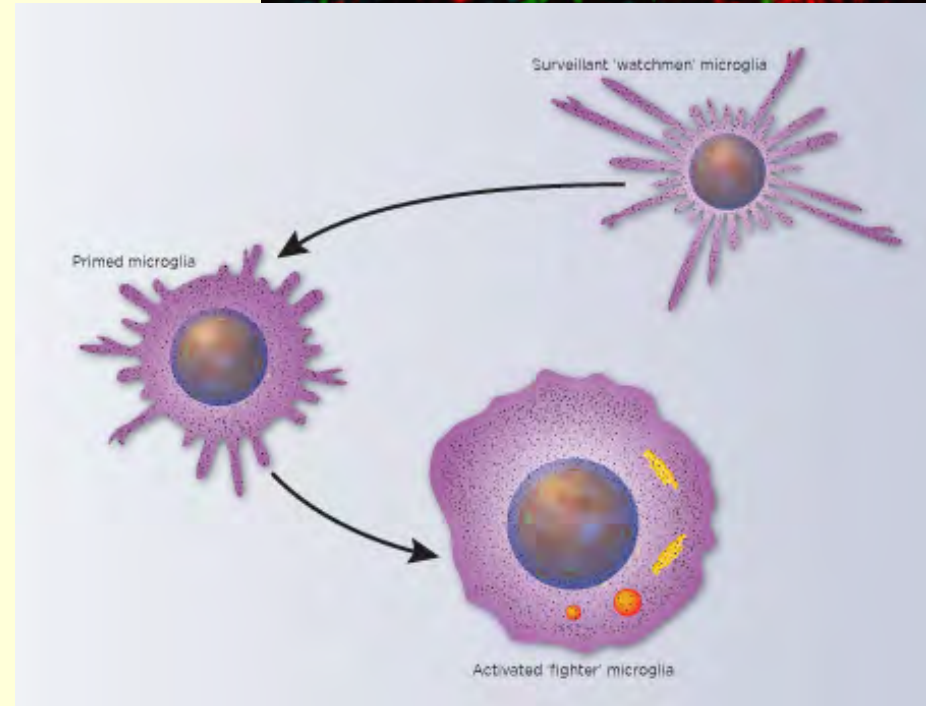
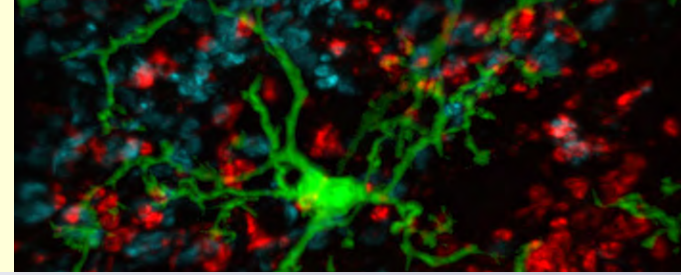
« Resting Microglial Cells Are Highly Dynamic Surveillants of Brain Parenchyma in Vivo » (2005)

<http://www.sciencemag.org/content/308/5726/1314.short>

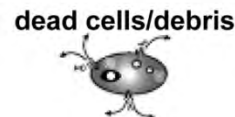
On connaissait le rôle de **cellules immunitaire du cerveau** de la microglie. Mais on les croyait inactives quand il n'y avait pas de microbes à combattre ou de neurones morts à éliminer.

Mais un article de 2005 a révélé qu'au contraire les cellules microgliales **patrouillent constamment leur entourage** en déployant et rétractant leurs prolongements membranaires.

Elles “mangent” aussi littéralement les synapses rejetées durant le éveloppement et probablement durant toute la vie adulte.



MICROGLIA STIMULATOR



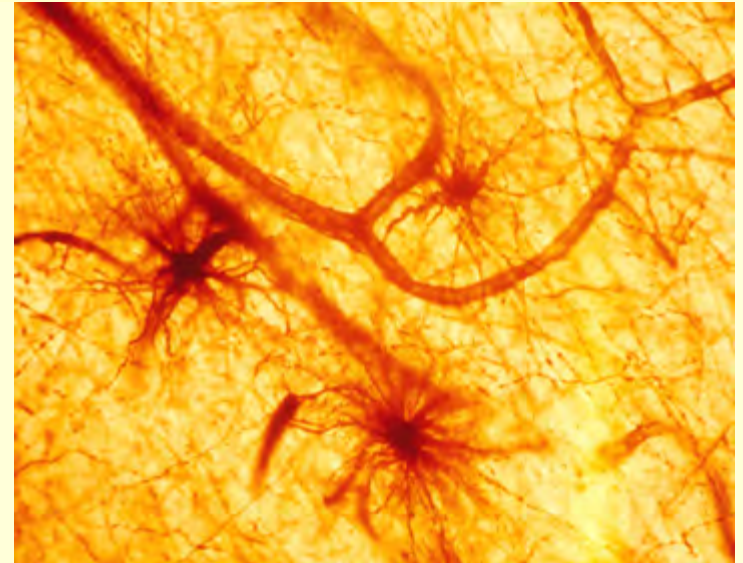
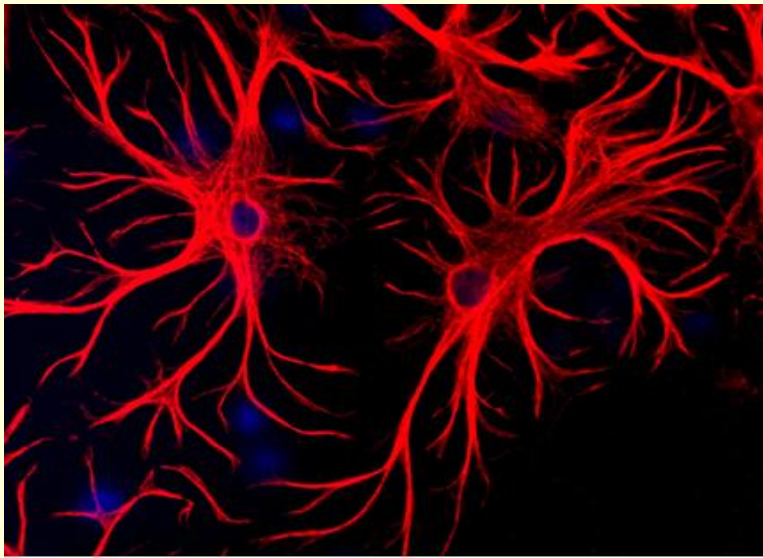
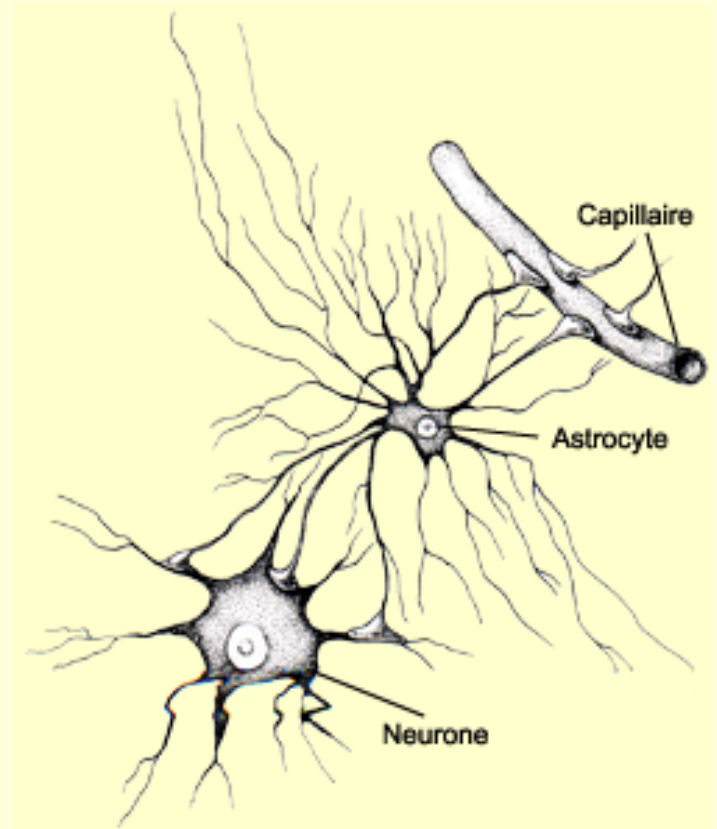
CNS toxins
ABeta40/42



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.



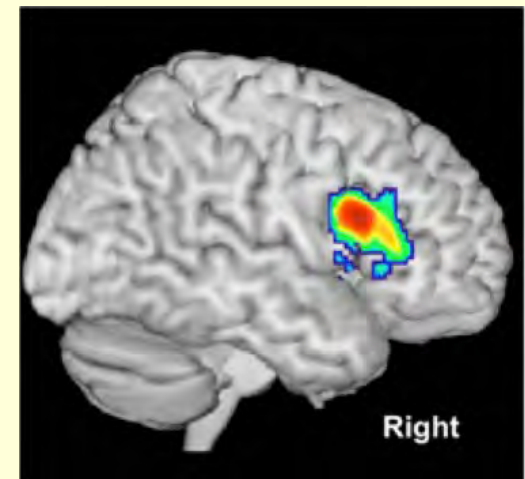
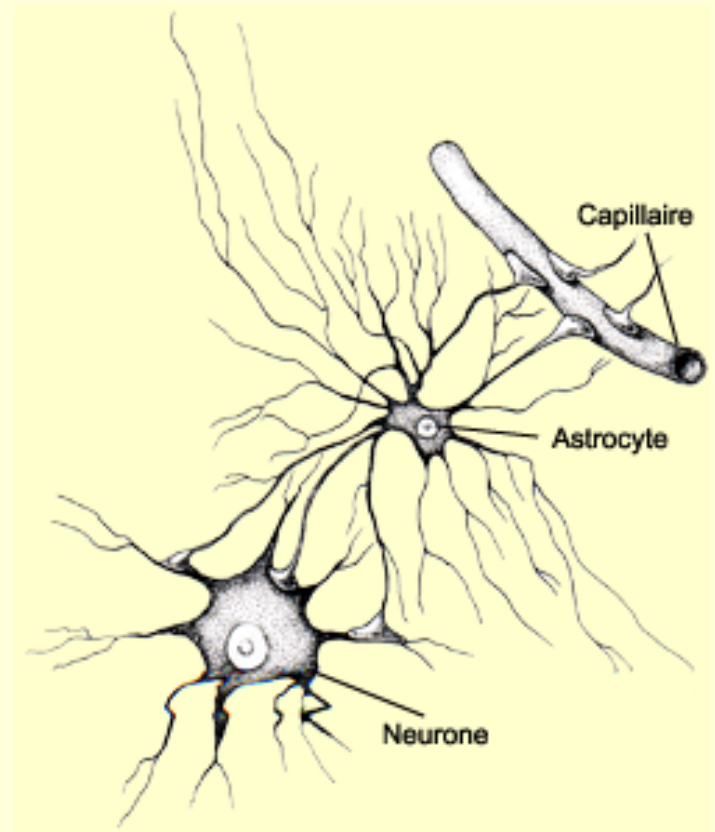
Astrocytes

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.

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...



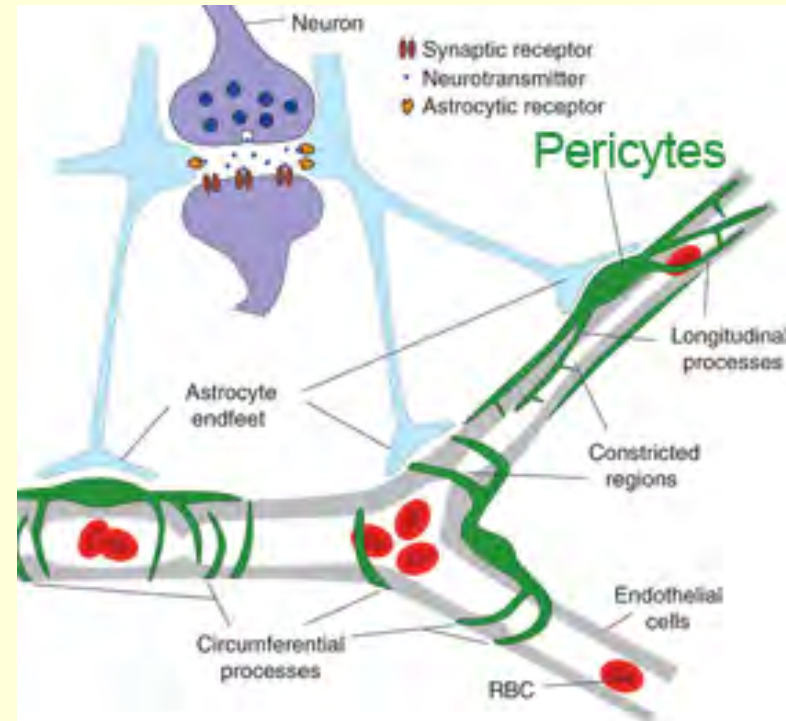
Mercredi, 3 juin 2015

Des péricytes qui font le travail attribué aux astrocytes ?

L'explication classique de ce phénomène est donc depuis longtemps attribué aux astrocytes.

Mais ce que suggère l'article du groupe de David Attwell, c'est un rôle majeur possible dans ce processus pour les **péricytes**, de petites cellules contractiles capables d'enserrer les vaisseaux sanguins.

Un rôle cependant à confirmer, car les données présentées n'apportent pas une preuve causale directe que la relaxation des péricytes observée avec l'activation neuronale produit effectivement une dilatation des capillaires.



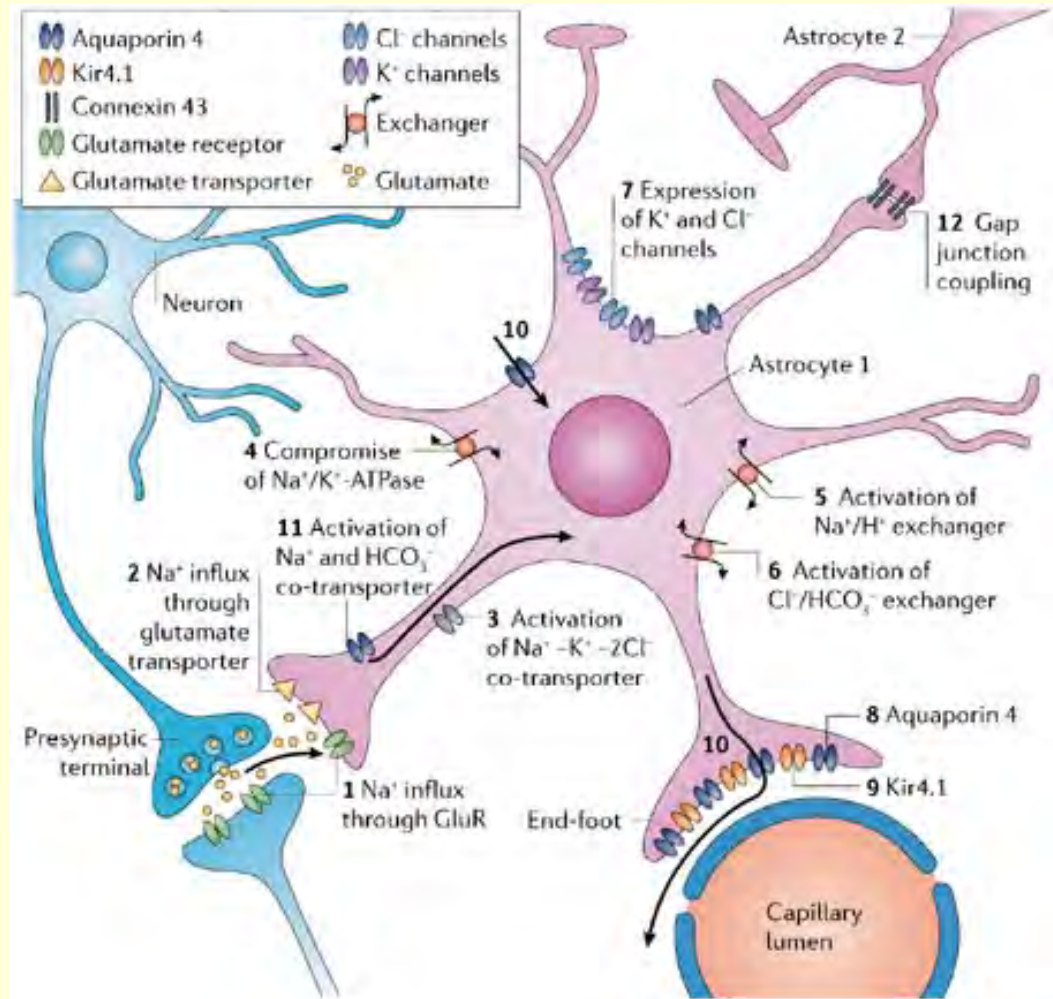
Glutamate Released from Glial Cells Synchronizes Neuronal Activity in the Hippocampus

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

4 August 2004.

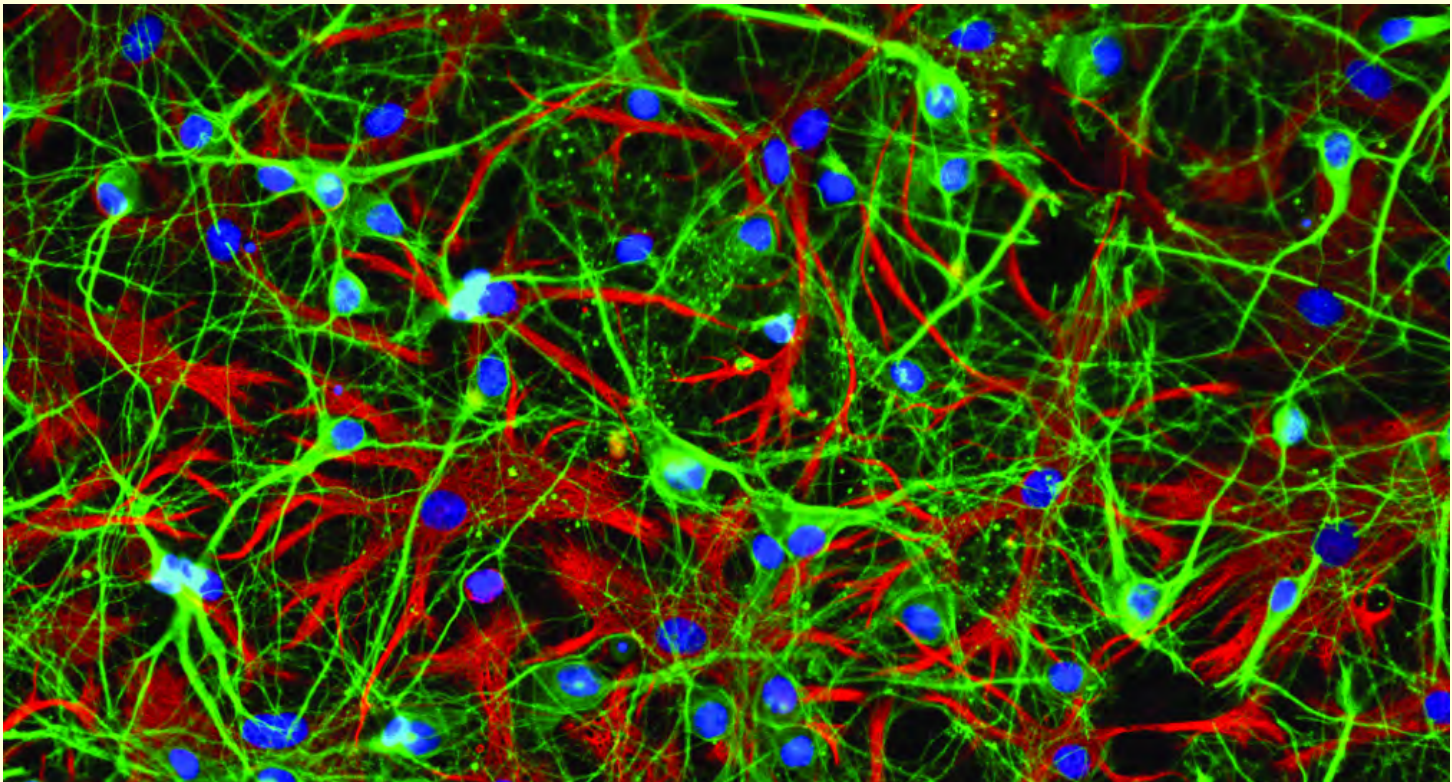
Cet article démontre que du **glutamate** relâché par des cellules gliales génère un courant transitoire

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



À cause de leur enchevêtrement avec de nombreux neurones :
possibilité pour les cellules gliales de contrôler simultanément
l'excitabilité de plusieurs neurones voisins.

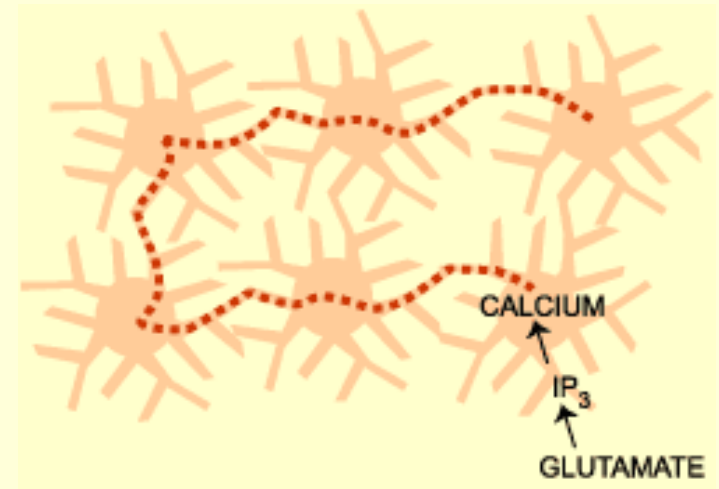
Et donc, selon ces auteurs, le glutamate relâché par les cellules gliales
contribue probablement à **synchroniser** l'activité neuronale dans
l'hippocampe.



Neurons and astrocytes isolated from rat hippocampus stained for DNA (blue), neuronal-specific β 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.

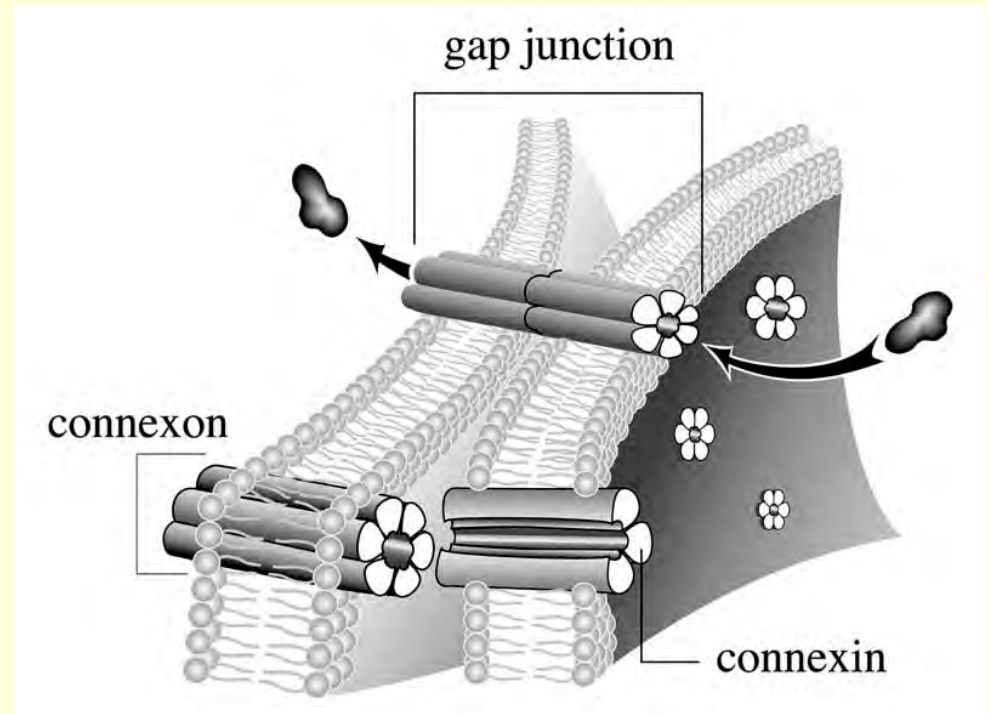
À travers ce réseau se propagent des **vagues d'ions calcium** dont l'effet régulateur pourrait se faire sentir dans un grand nombre de synapses entre neurones.



Vidéo de 10 sec. :

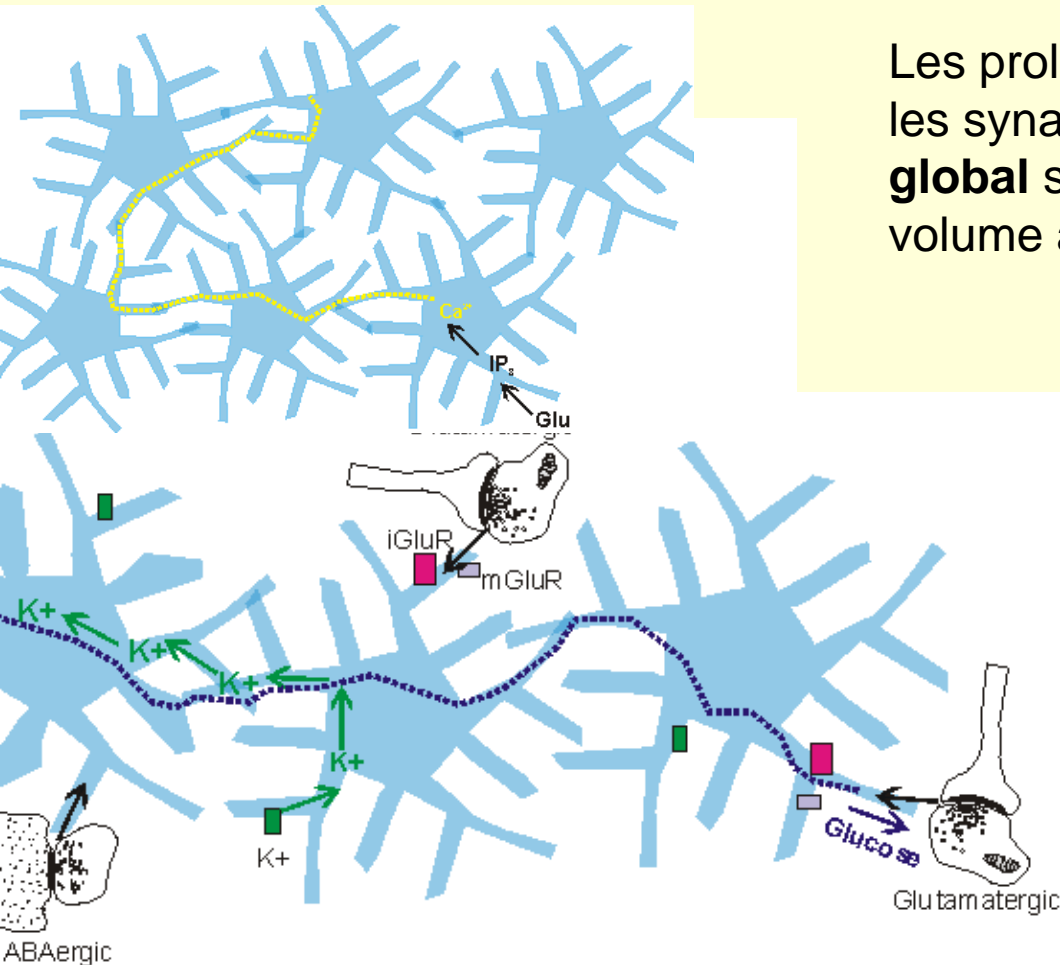
« This video captures the waves of calcium ions passing between rat astrocytes as they engage in non-electrical communication. »

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

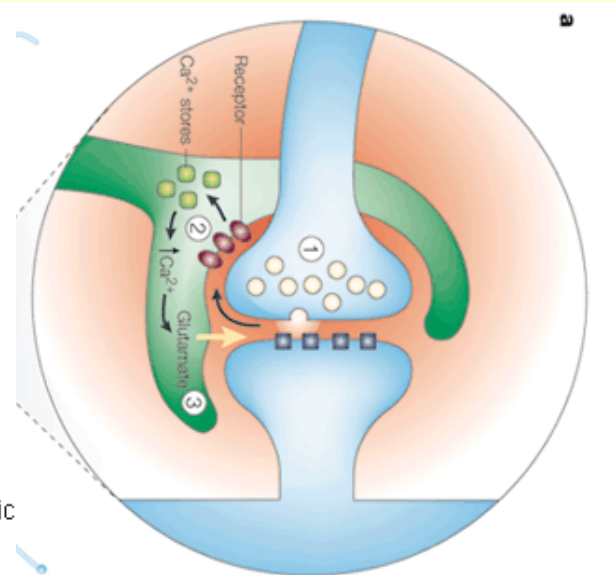


Emerging role for astroglial networks in information processing: from synapse to behavior,

Trends in Neurosciences, July 2013



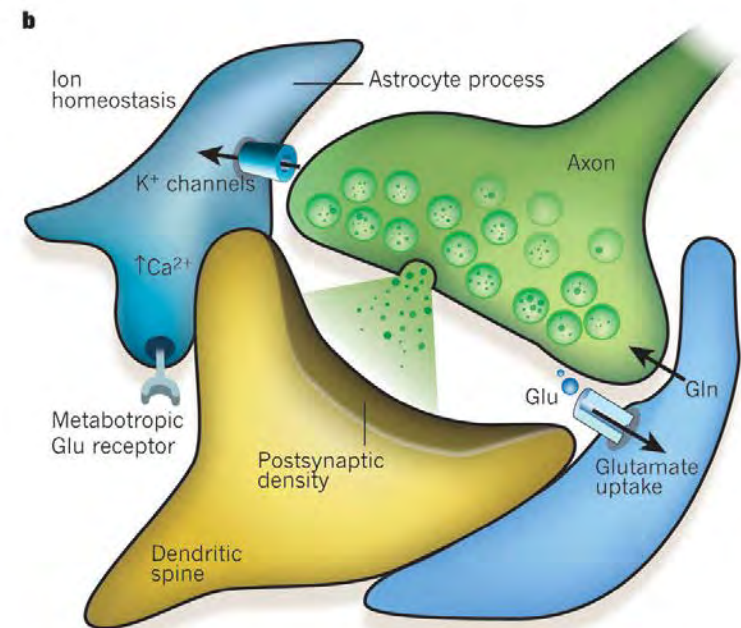
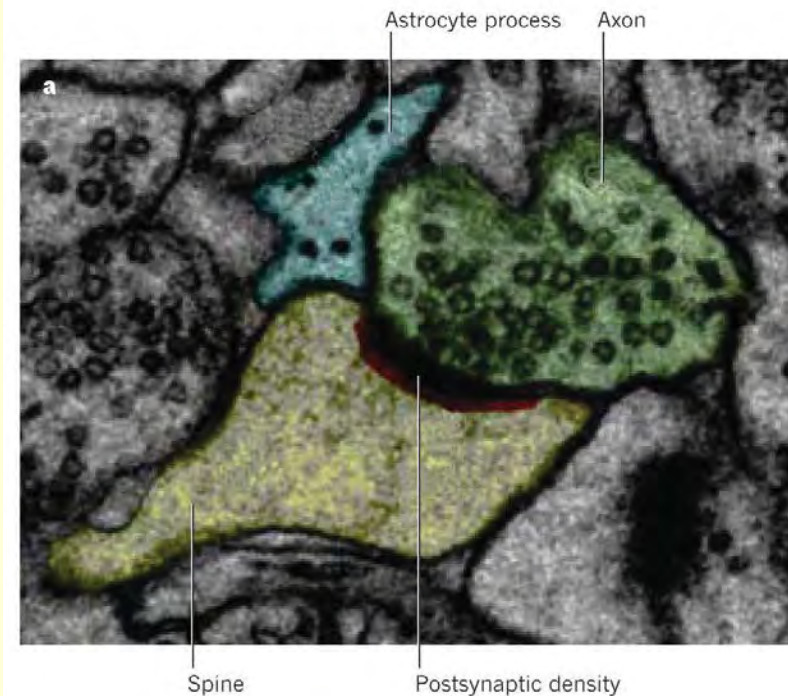
Les prolongements astrocytaires qui entourent les synapses pourraient **exercer un contrôle global** sur la concentration ionique et le volume aqueux dans les fentes synaptiques.



Tripartite synapses : astrocytes process and control synaptic information,

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

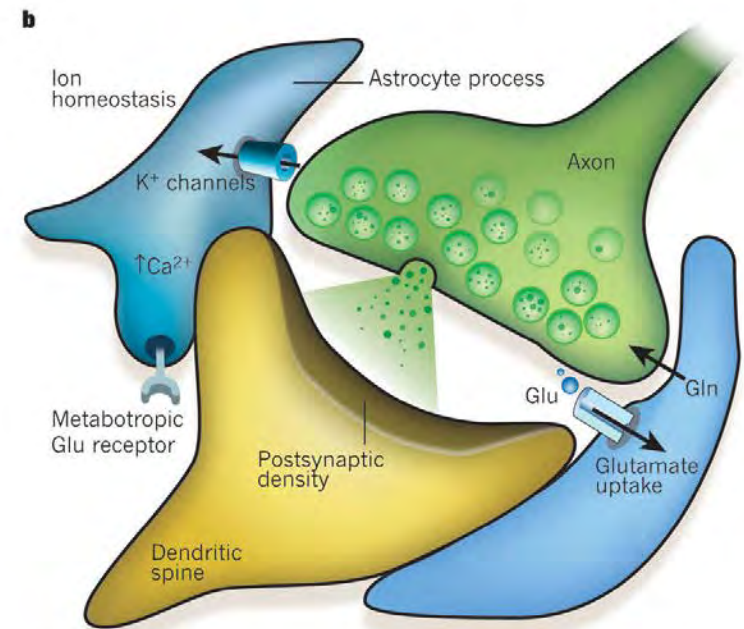
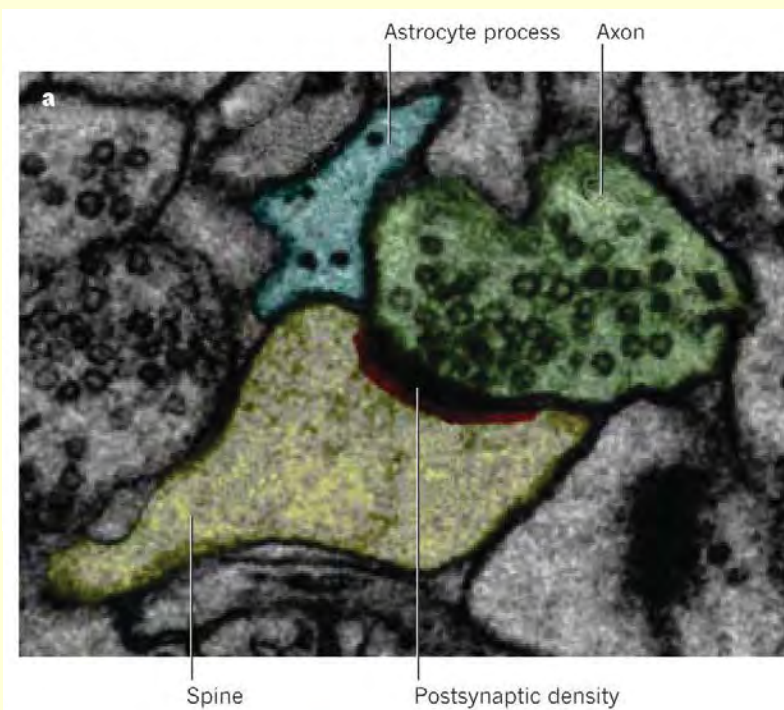
“**One human astrocyte**
(an intricate, bush-like cell)
can encompass, and therefore
influence, **two million**
synapses.⁹”



Tripartite synapses : astrocytes process and control synaptic information,

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

Idée (qui va revenir avec les oligodendrocytes) qu'une cellule gliale (ici l'astrocyte) peut influencer **plusieurs** circuits de neurones.



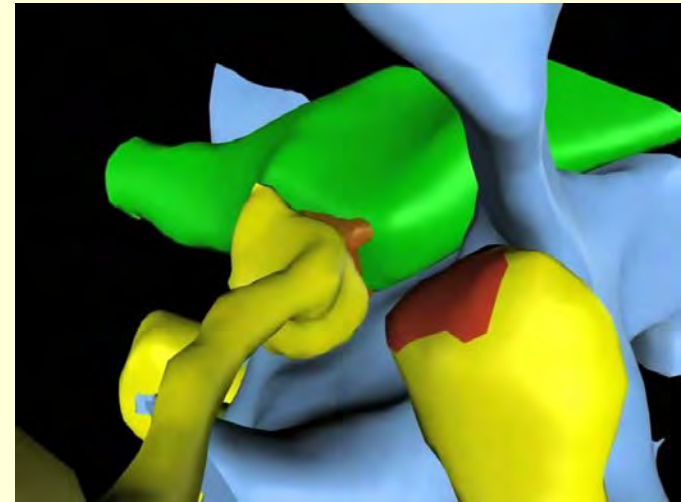
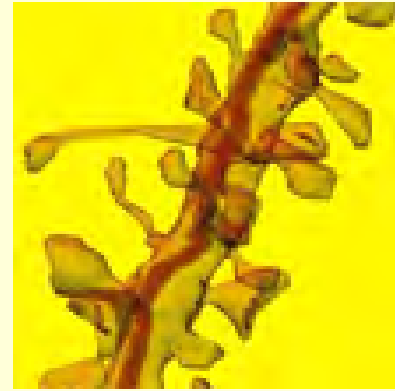
Richesse et complexité structurale du neurone

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

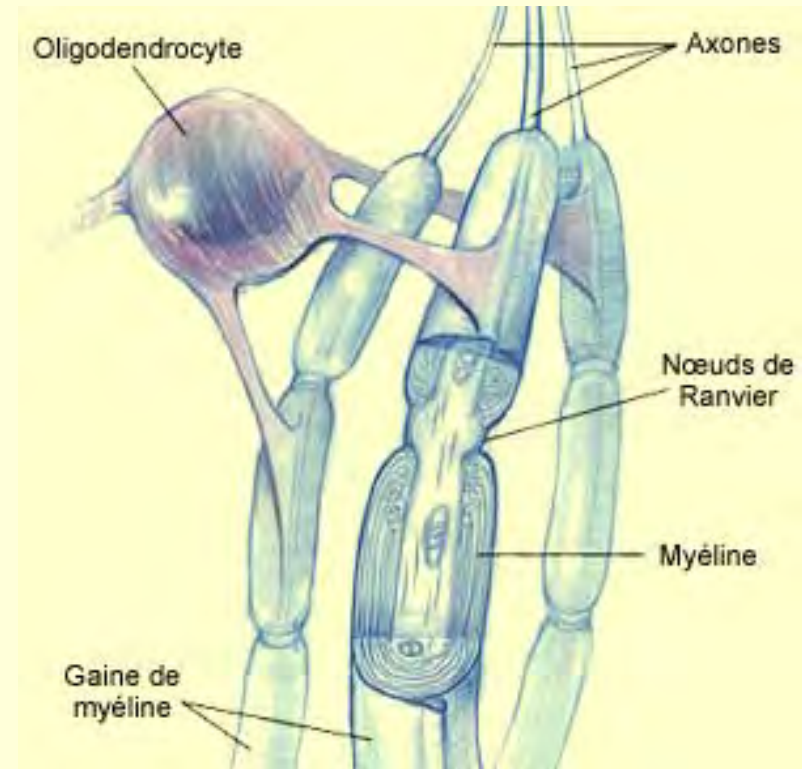
Neuron, Volume 67, Issue 6, p1009–1020, 23 September **2010**

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

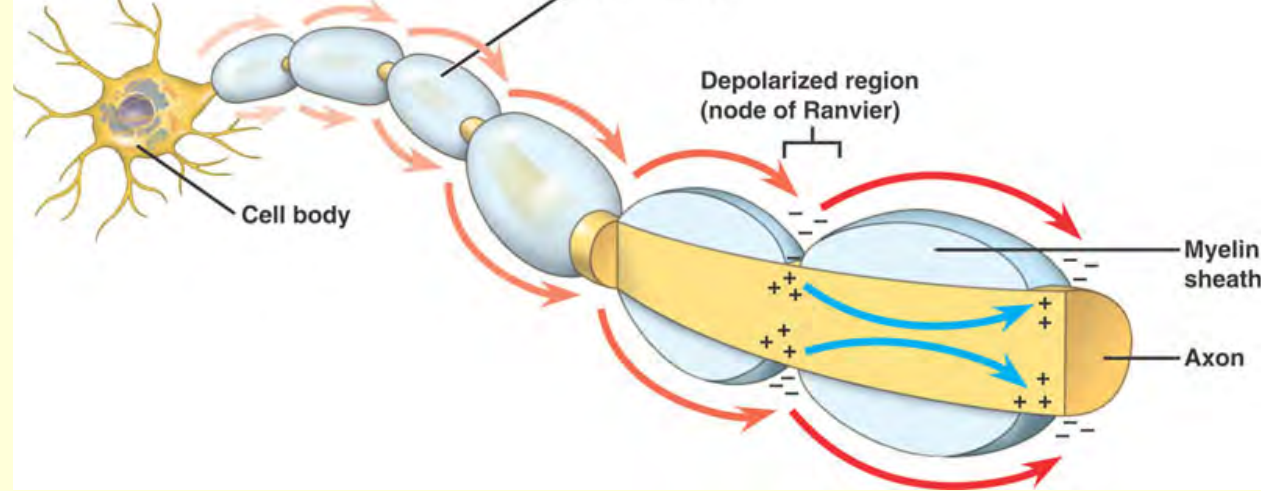
Oligodendrocyte

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

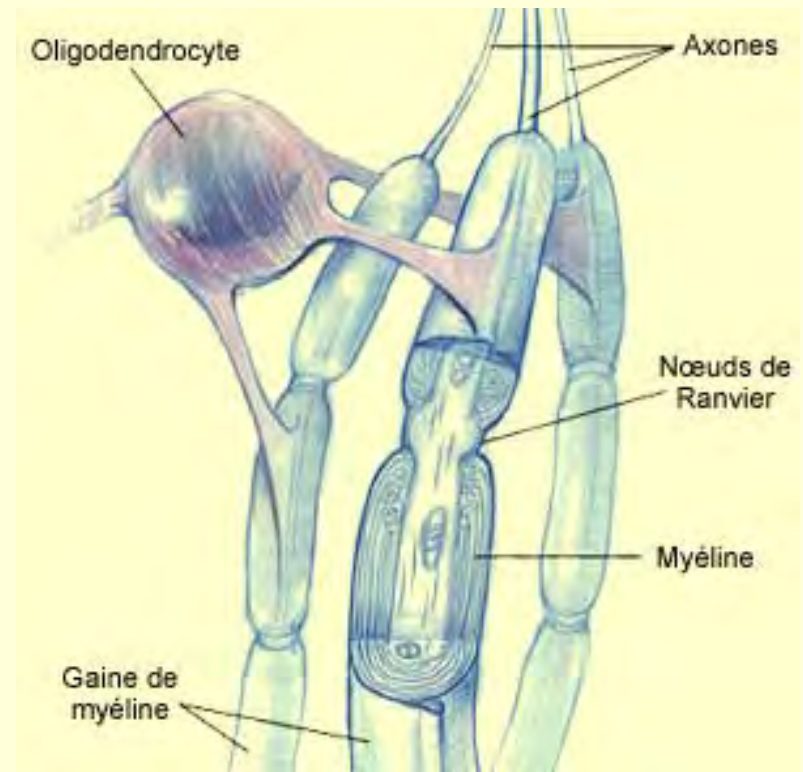
À titre de comparaison, la vitesse du signal électrique dans un fil de cuivre est de 983 millions de km/h, soit **2-3 millions de fois plus vite** que nos fibre A-alpha !

Spiking and nonspiking classes of oligodendrocyte precursor glia in CNS white matter.

Ragnhildur Káradóttir et al., Nature Neuroscience 11, 450 - 456 (2008)

Des **oligodendrocytes**, qui reçoivent des input synaptiques d'axones, peuvent **produire des potentiels d'action !**

En quoi est-ce si extraordinaire ?

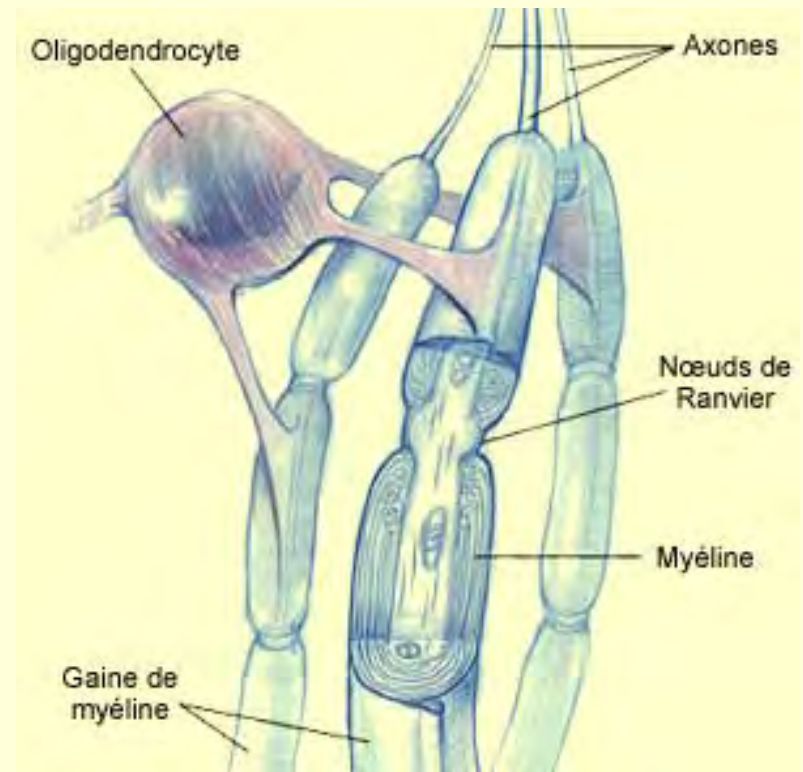


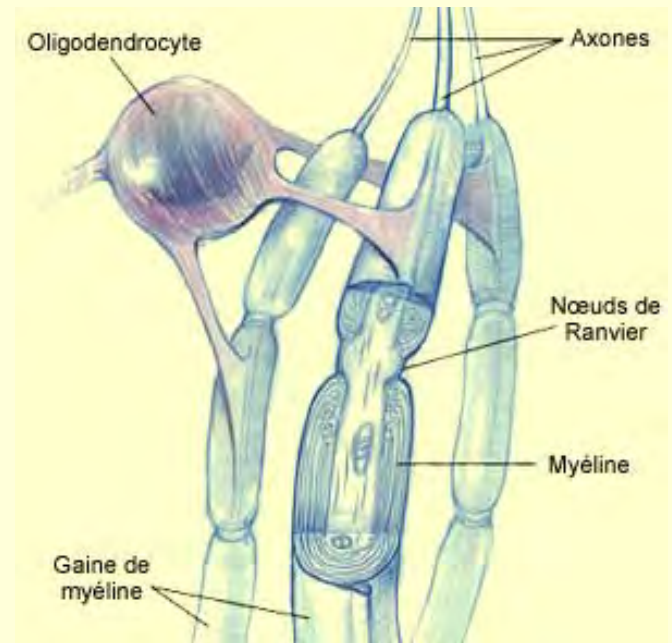
Spiking and nonspiking classes of oligodendrocyte precursor glia in CNS white matter.

Ragnhildur Káradóttir et al., Nature Neuroscience 11, 450 - 456 (2008)

Parce que par définition, l'incapacité des cellules gliales à produire des potentiels d'action est l'une des principales choses **supposées les distinguer des neurones !**

Et ce n'est pas tout...





Oligodendrocytes Changing the Rules:

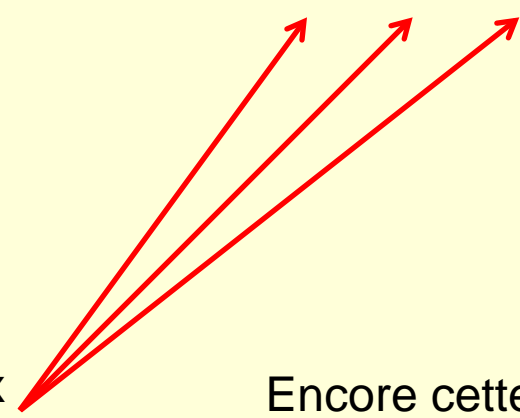
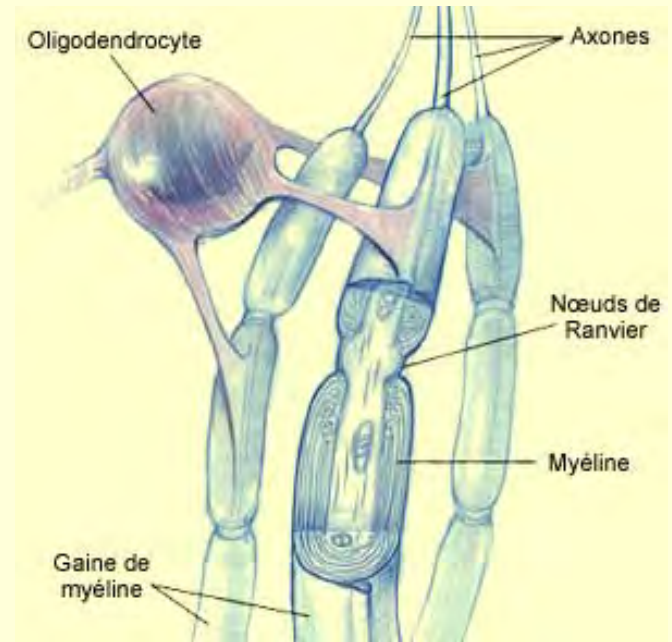
Action Potentials in Glia and Oligodendrocytes Controlling Action Potentials,

R. Douglas Fields, Neuroscientist. **2008** December; 14(6): 540–543.

Les oligodendrocytes de l'hippocampe de rat sont non seulement dépolarisés par l'activité des neurones qu'ils isolent avec leur gaine de myéline,

mais quand ils le sont (dépolarisés), ils **favorisent la conduction nerveuse sur ces axones.**

Cela suggère donc un rôle dynamique de la gaine de myéline dans la régulation de l'influx nerveux qui permettrait la **synchronisation** des différents neurones isolés par un même oligodendrocyte.



Encore cette intimité des cellules gliales avec les neurones et cette idée de synchronisation de leur activité...

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

Comment expliquer la **méconnaissance** générale que l'on observe encore à propos des cellules gliales et du rôle important qu'elles semblent jouer dans la communication cérébrale ?

Mapping the Other Brain, by R. Douglas Fields

http://worldsciencefestival.com/videos/world_science_festival_mapping_the_other_brain_by_douglas_fields

Pour Douglas Fields, les cellules gliales ont été négligées pour 3 raisons :

(1) Les neurobiologistes sont **encore formés selon la théorie du neurone** qui veut que toute l'intégration de l'information dans le cerveau se fait par la communication entre les neurones;

(2) Les neurophysiologistes utilisent des électrodes qui ne sont **pas les bons outils** pour observer la communication entre les cellules gliales qui ne communiquent généralement pas par des influx nerveux.

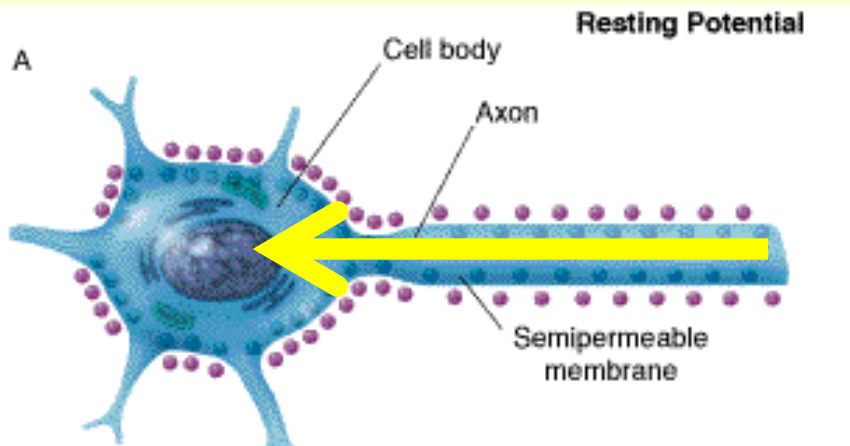
La communication entre les cellules gliales ne fut révélée que dans les années 1980 quand de nouvelles techniques ont permis **de visualiser les flux d'ions calcium** en utilisant des marqueurs fluorescents du calcium.

(3) L'aspect "business" de la science : les recherches sur les cellules gliales n'étant pas perçues comme importantes, elles étaient **peu subventionnées ni publiées dans les revues importantes** car pas jugées d'un grand intérêt. D'où un cercel vicieux qui les maintenaient relativement méconnues.



(3) L'aspect "business" de la science : les recherches sur les cellules gliales n'étant pas perçues comme importantes, elles étaient **peu subventionnées ni publiées dans les revues importantes** car pas jugées d'un grand intérêt. D'où un cercel vicieux qui les maintenaient relativement méconnues.

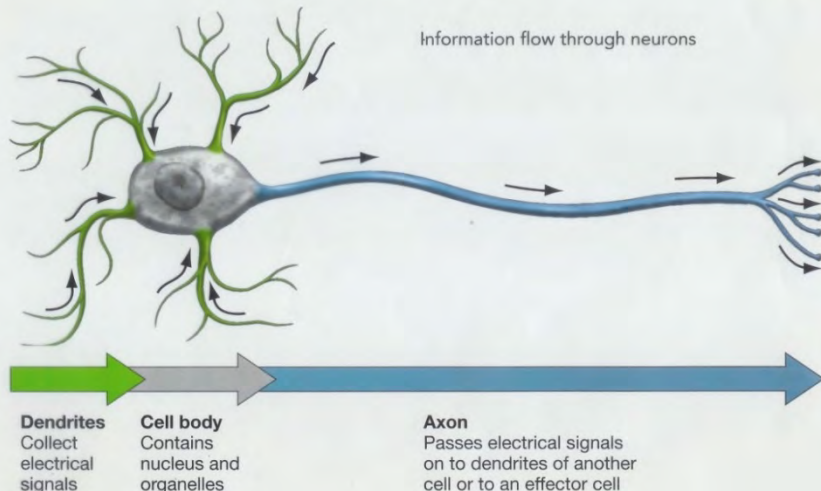
Des couplages électriques donnent lieu à des potentiels d'action antidromiques.



T-862

Figure 42.2b
How Does Information Flow in a Neuron?

Information flow through neurons



La « théorie 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).

Neuron. **2001** Sep 13;31(5):831-40.

Axo-axonal coupling.

A novel mechanism for ultrafast neuronal communication.

Schmitz D, et al.

Information processing in the axon.

Dominique Debanne. Nature Reviews Neuroscience 5, 304-316

(April **2004**)

« the functional capabilities of axons are much more diverse than traditionally thought. »

Electrotonic Coupling between Pyramidal Neurons in the Neocortex

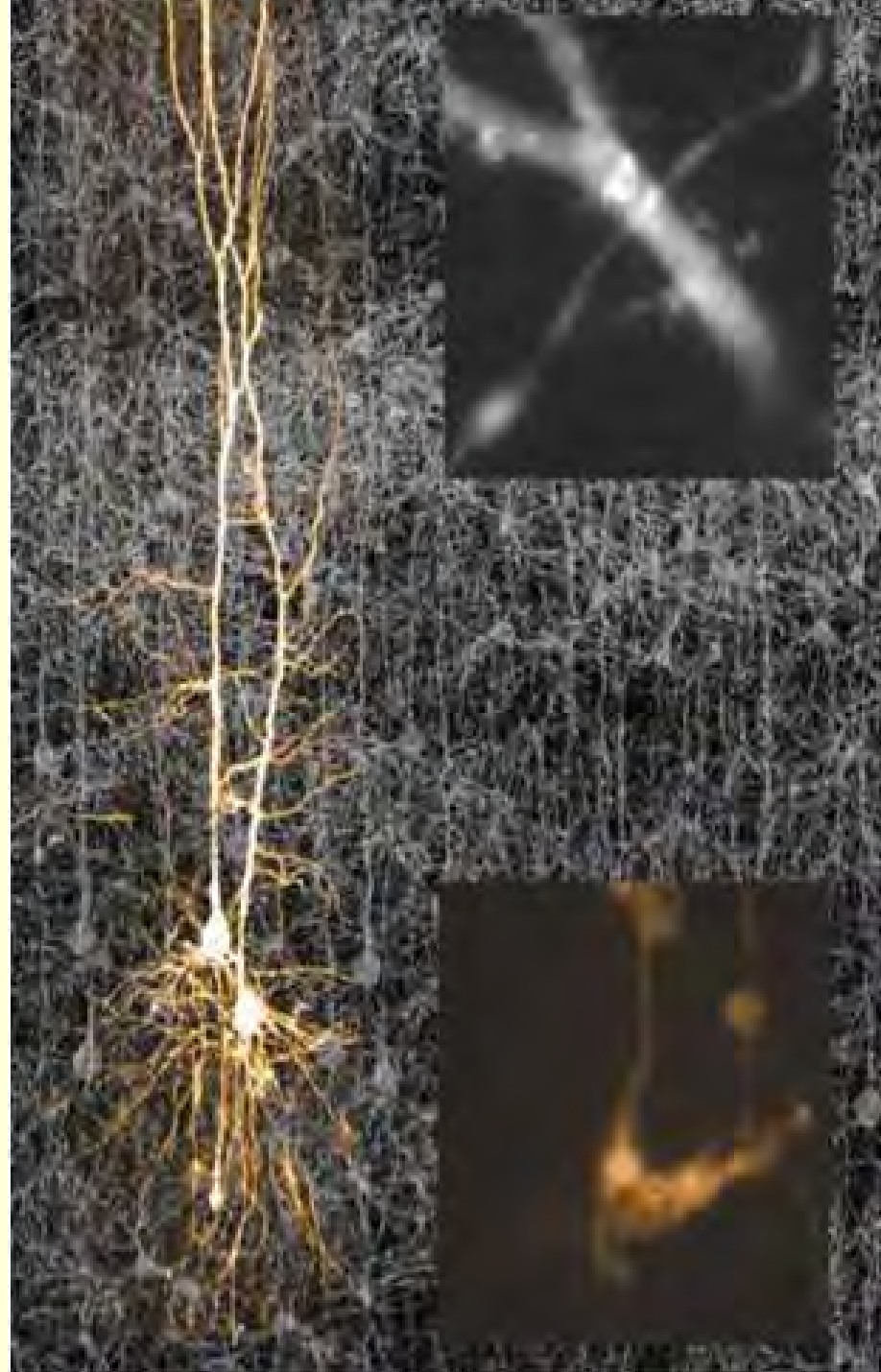
Yun Wang mail, et al., April 26, 2010

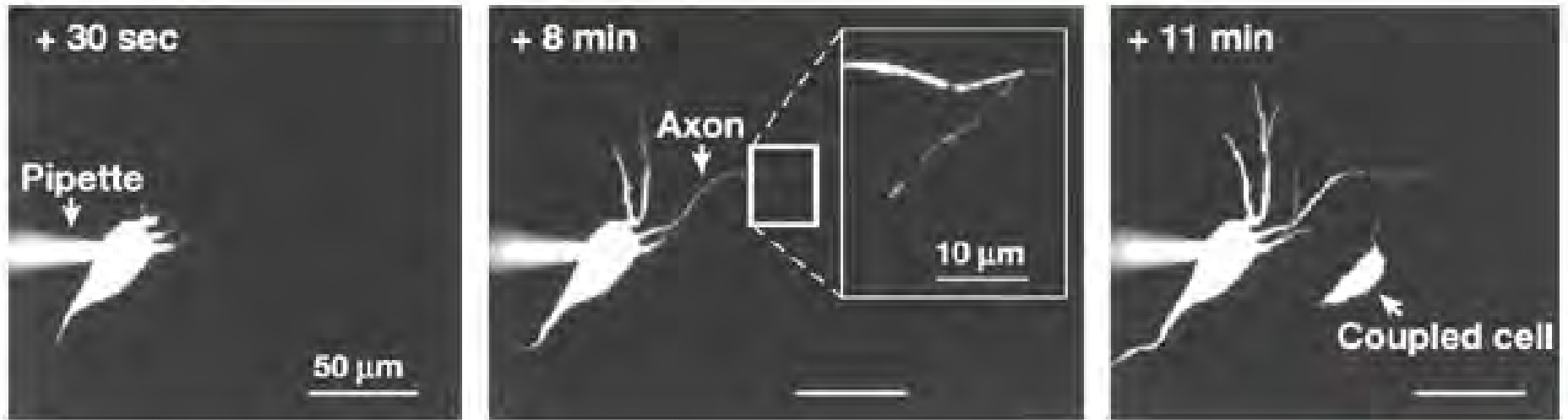
Couplages électriques enregistrés
entre des **neurones pyramidaux**

dans le **cortex préfrontal médian**
et dans le **cortex visuel**
du rat et du furet.

Potentiels d'action parfaitement
synchronisés entre
les neurones pyramidaux couplés.

Suggère un rôle dans la
synchronisation neuronale
dans le cortex...



b

Nature Reviews | **Neuroscience**

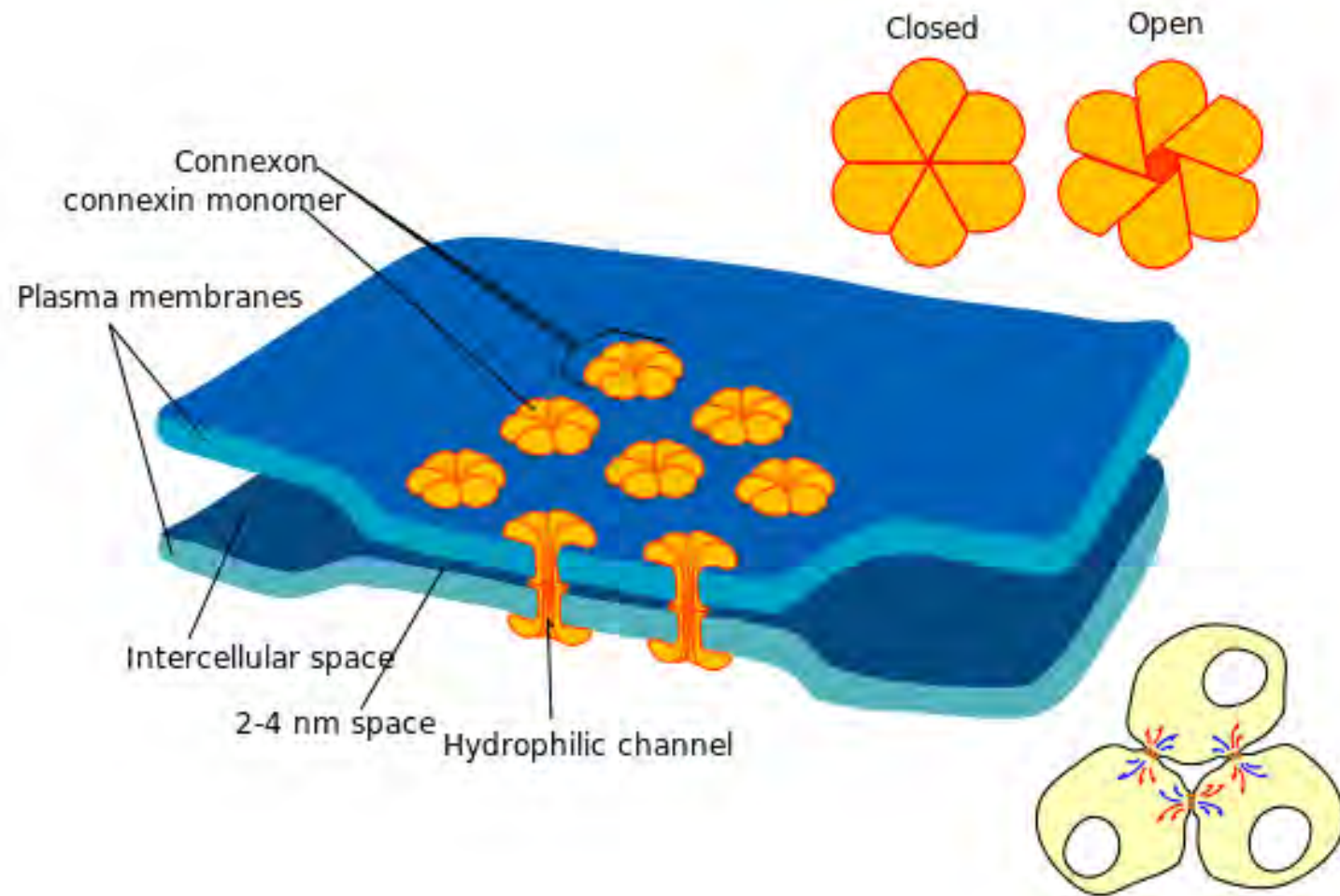
Données anatomiques :

Information processing in the axon.

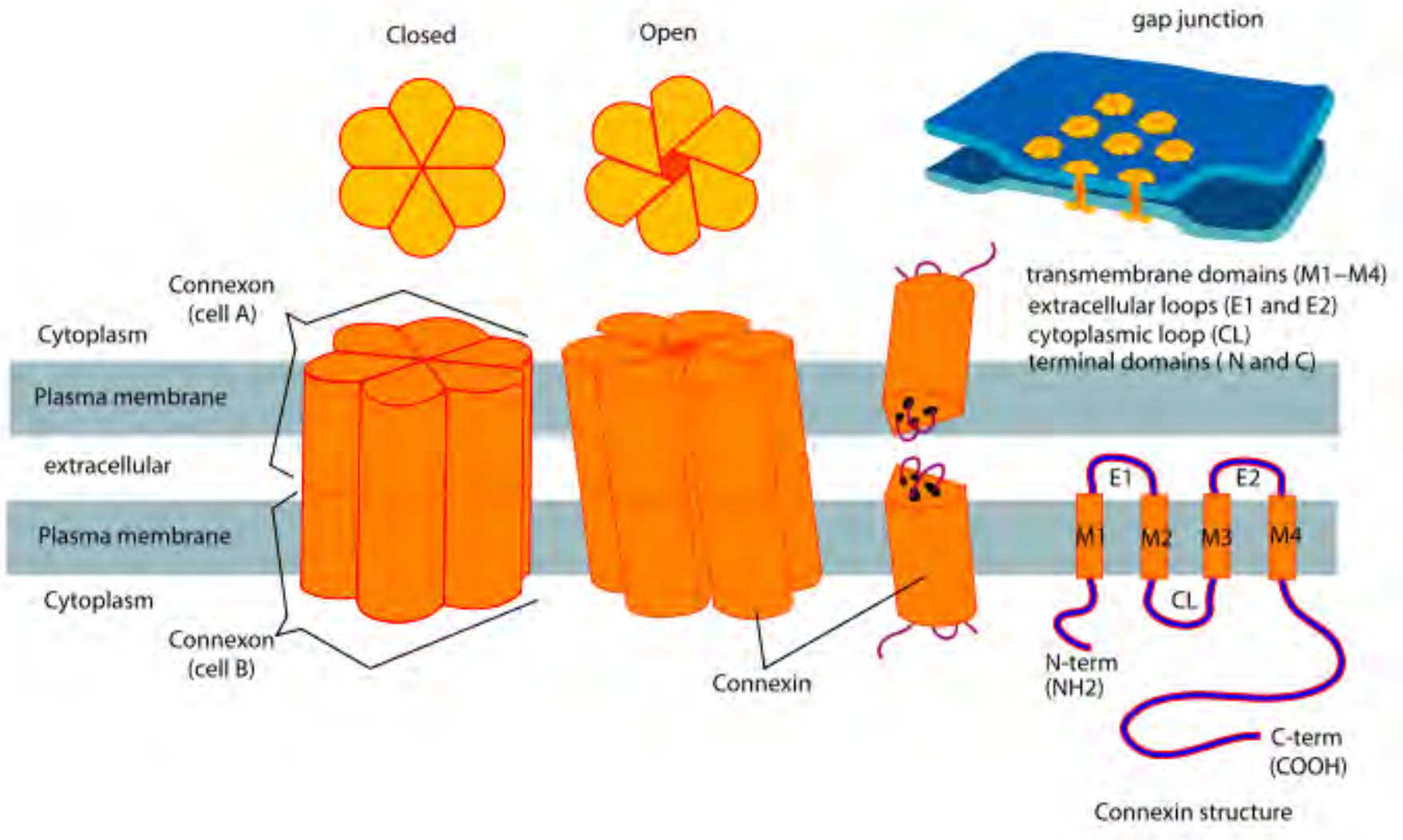
Dominique Debanne

Nature Reviews Neuroscience 5, 304-316

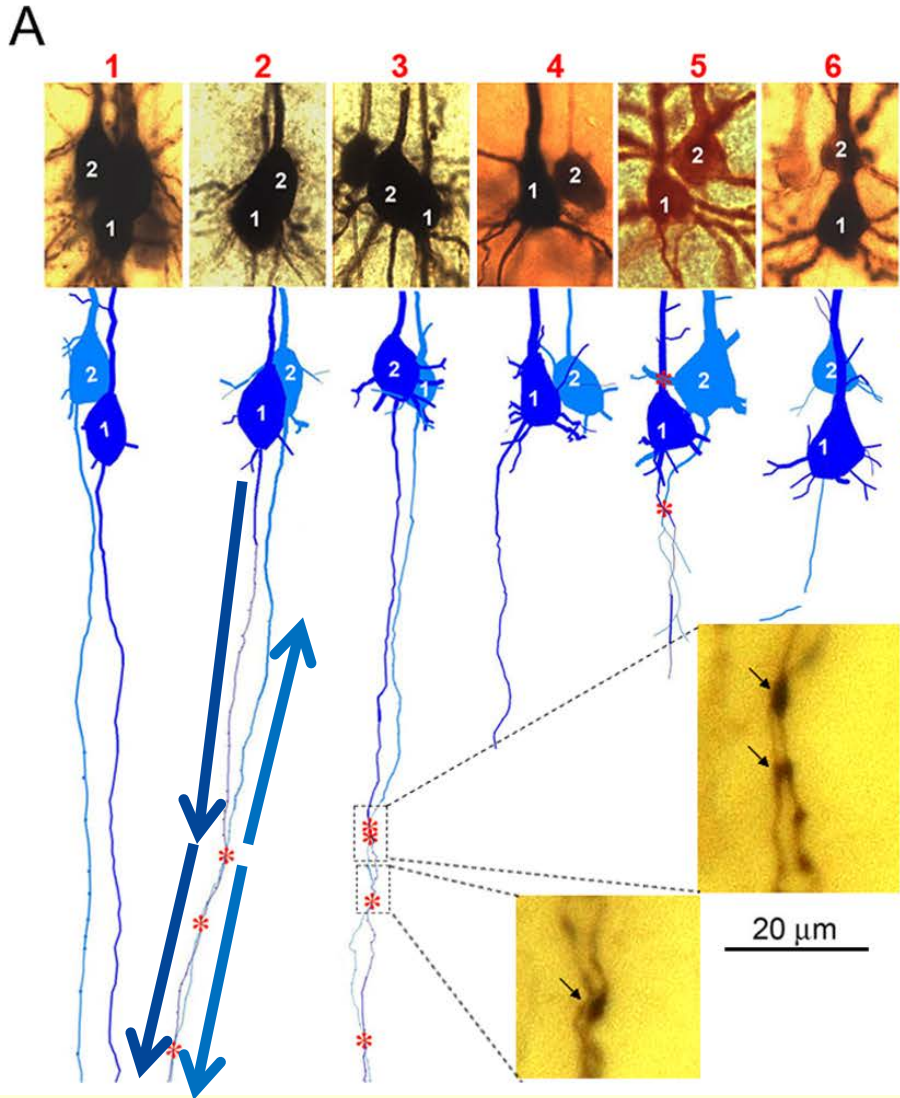
(April **2004**)



The gap junction is very small, 3 nanometers, (synapses that use neurotransmitters usually are 20 to 40 nanometers) and is very fast and bidirectional.



Two **connexin** six part molecules, one from each cell, form the channel.



Gap junctions create gaps that connect animal cells.

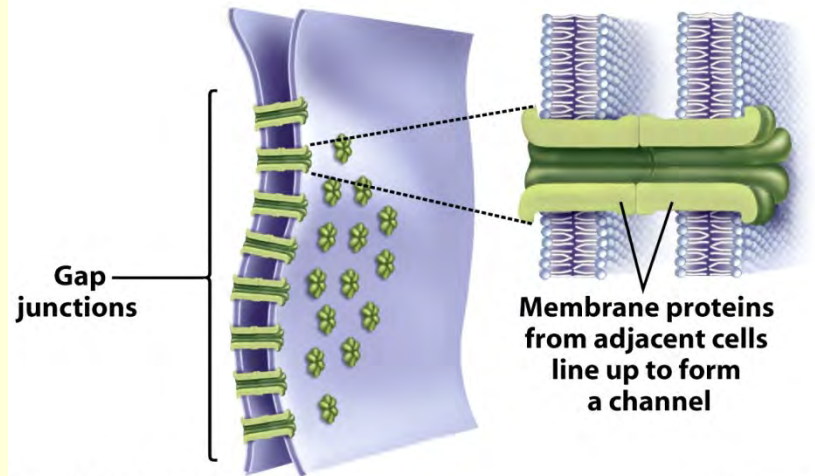
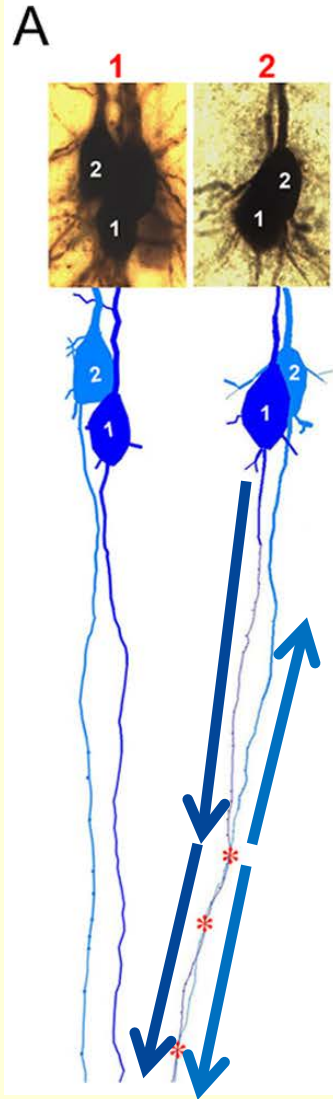
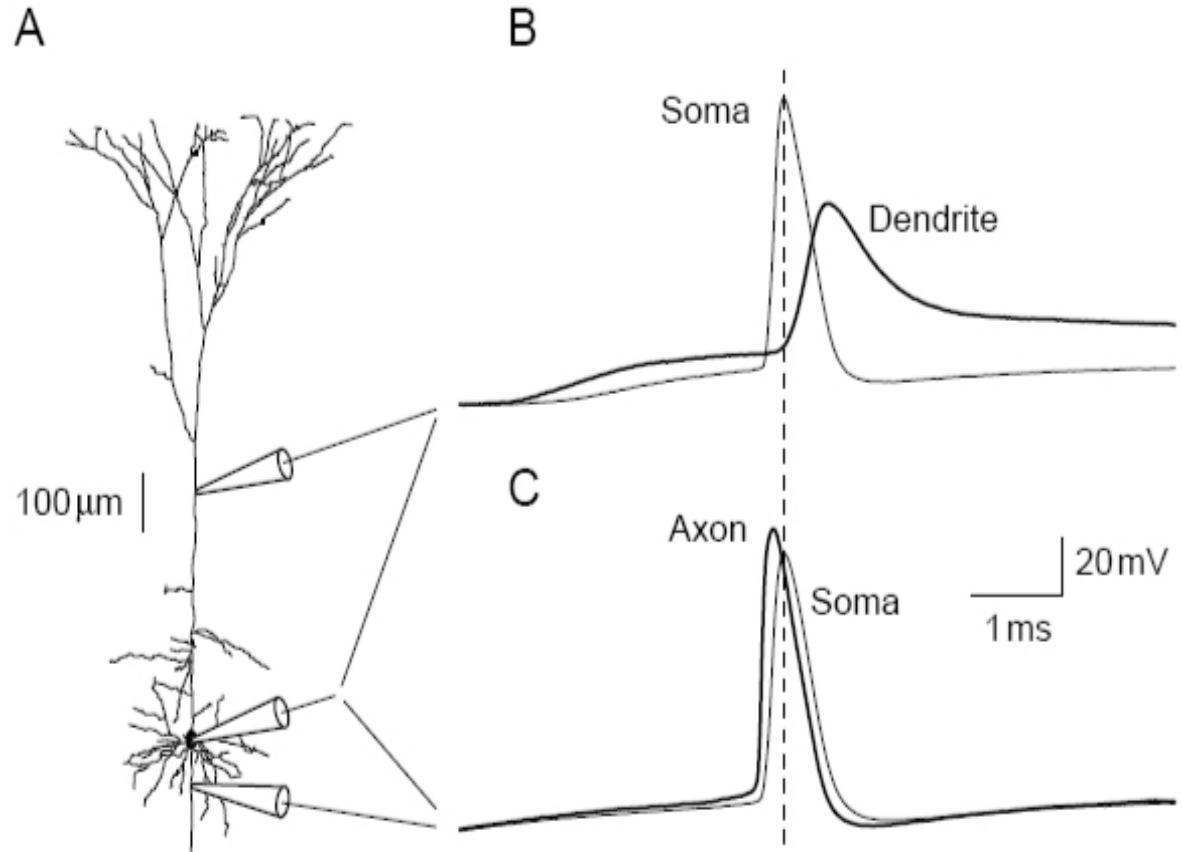


Figure 8-13b part 2 Biological Science, 2/e

On connaissait le phénomène depuis longtemps...



Spike is first recorded in the Axon than the soma and later in the



Le “coming out” de la synapse électrique

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2014/05/05/le-coming-out-de-la-synapse-electrique/>

Electrical synapses and their functional interactions with chemical synapses

Alberto E. Pereda

Nature Reviews Neuroscience 15, 250–263 (2014)

<http://www.nature.com/nrn/journal/v15/n4/full/nrn3708.html>

Un article parue dans la revue Nature Reviews Neuroscience en mars **2014** rapporte que les synapses électriques sont beaucoup **plus répandues** que ce que l’on croyait dans le cerveau humain.

Les synapses chimiques et électriques **interagiraient énormément**, que ce soit durant le développement de notre système nerveux que dans le cerveau humain adulte.

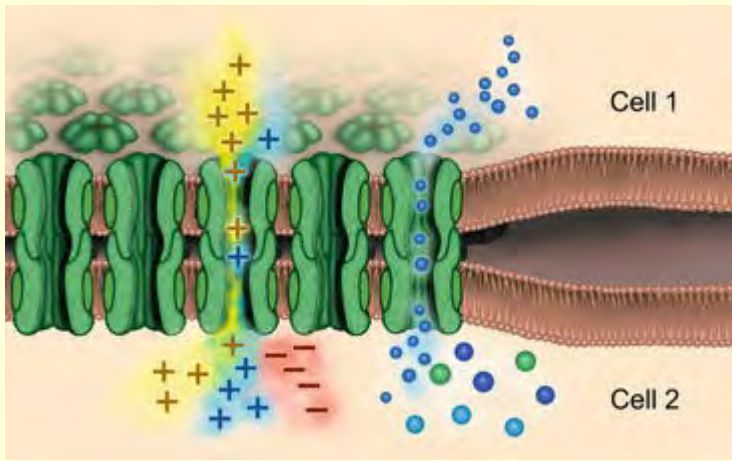
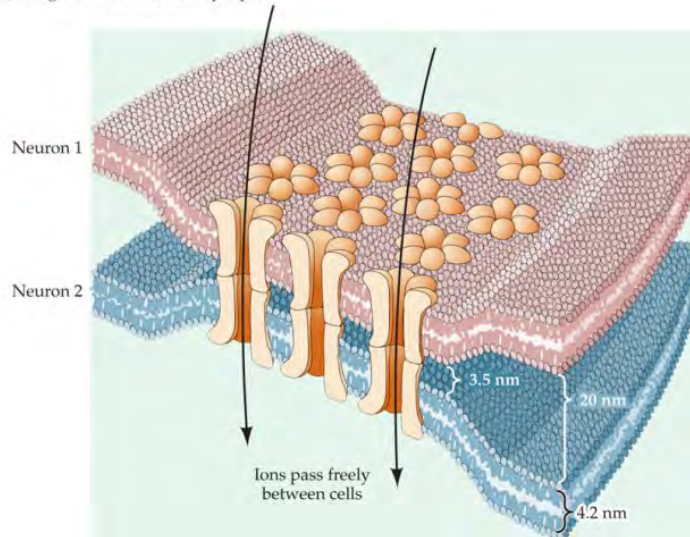
De plus, la synapse électrique atteindrait des niveaux de **complexité** et de **plasticité** tout à fait comparable à la synapse chimique.

Rappelons que ces connexions bidirectionnelles des synapses électriques étaient traditionnellement décrites comme rapides mais **rigides**, contrairement à la synapse chimique.

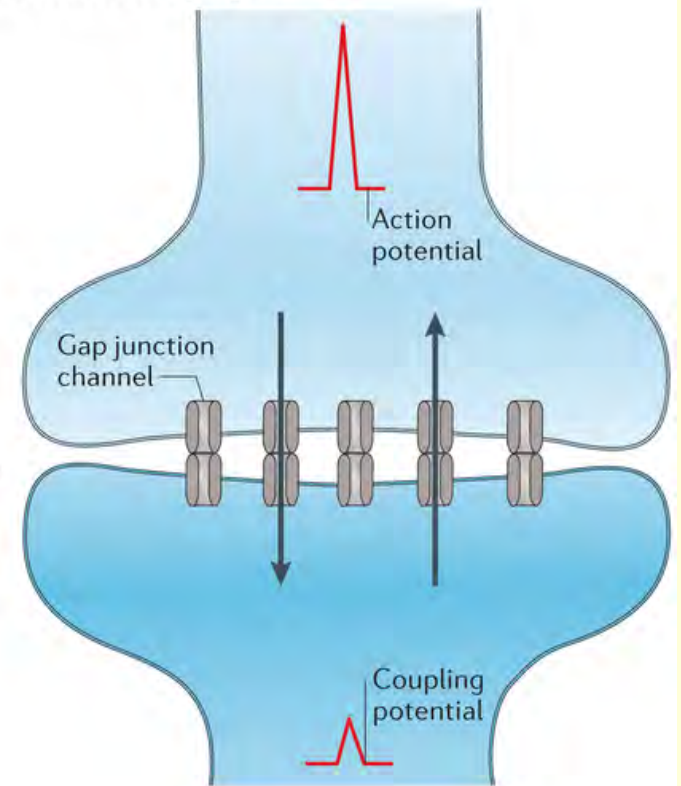
(a) Electron micrograph of an electrical synapse



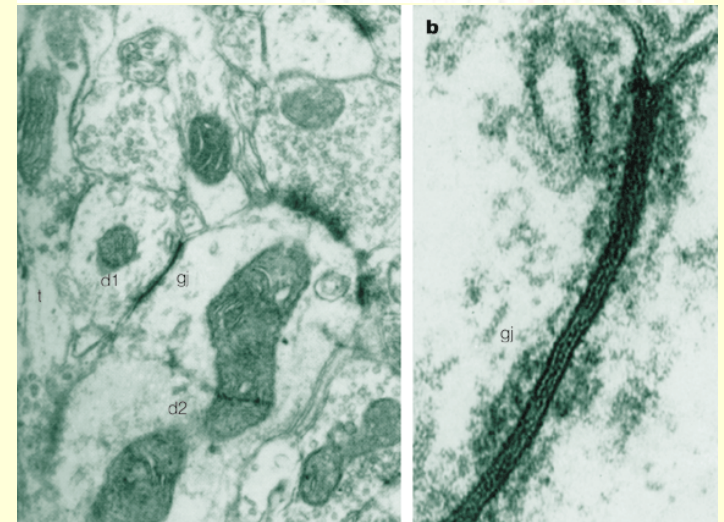
(b) Diagram of an electrical synapse



b Electrical synapse



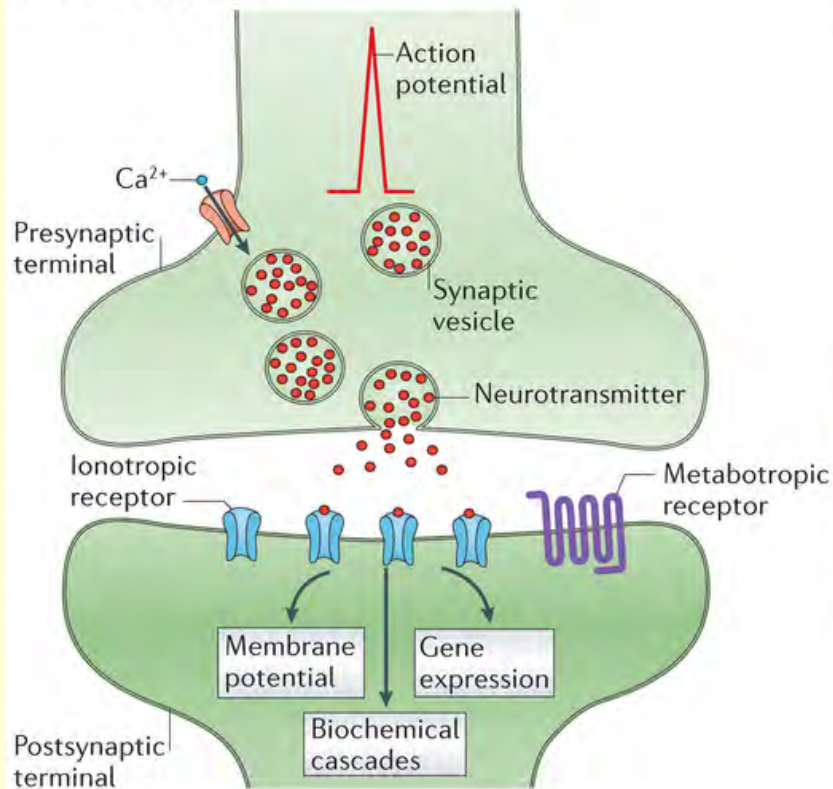
Nature Reviews | Neuroscience



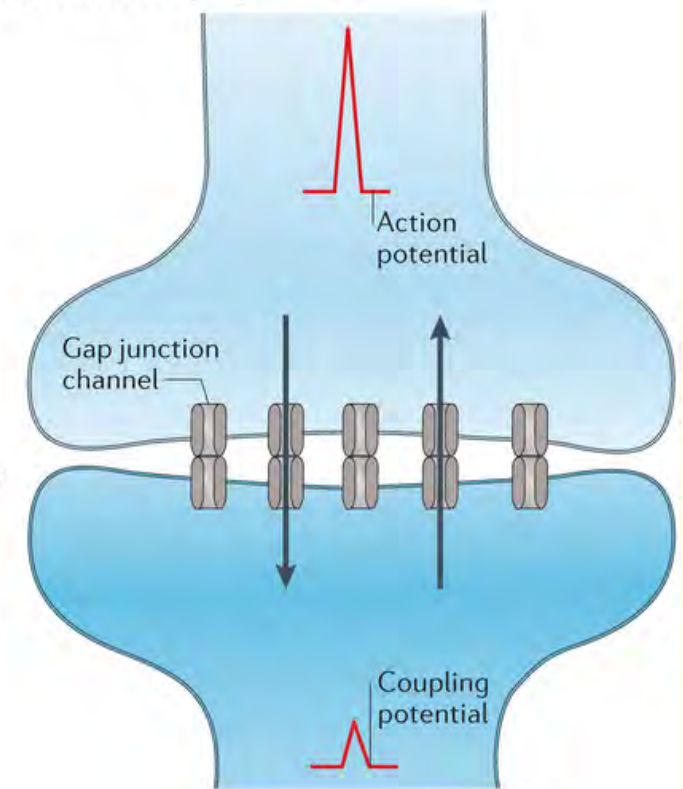
Synapse électrique

Origine évolutive ancienne.

a Chemical synapse

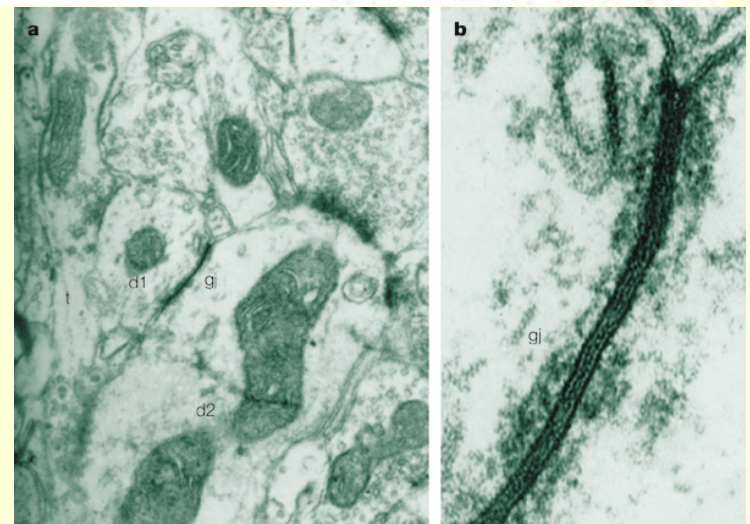


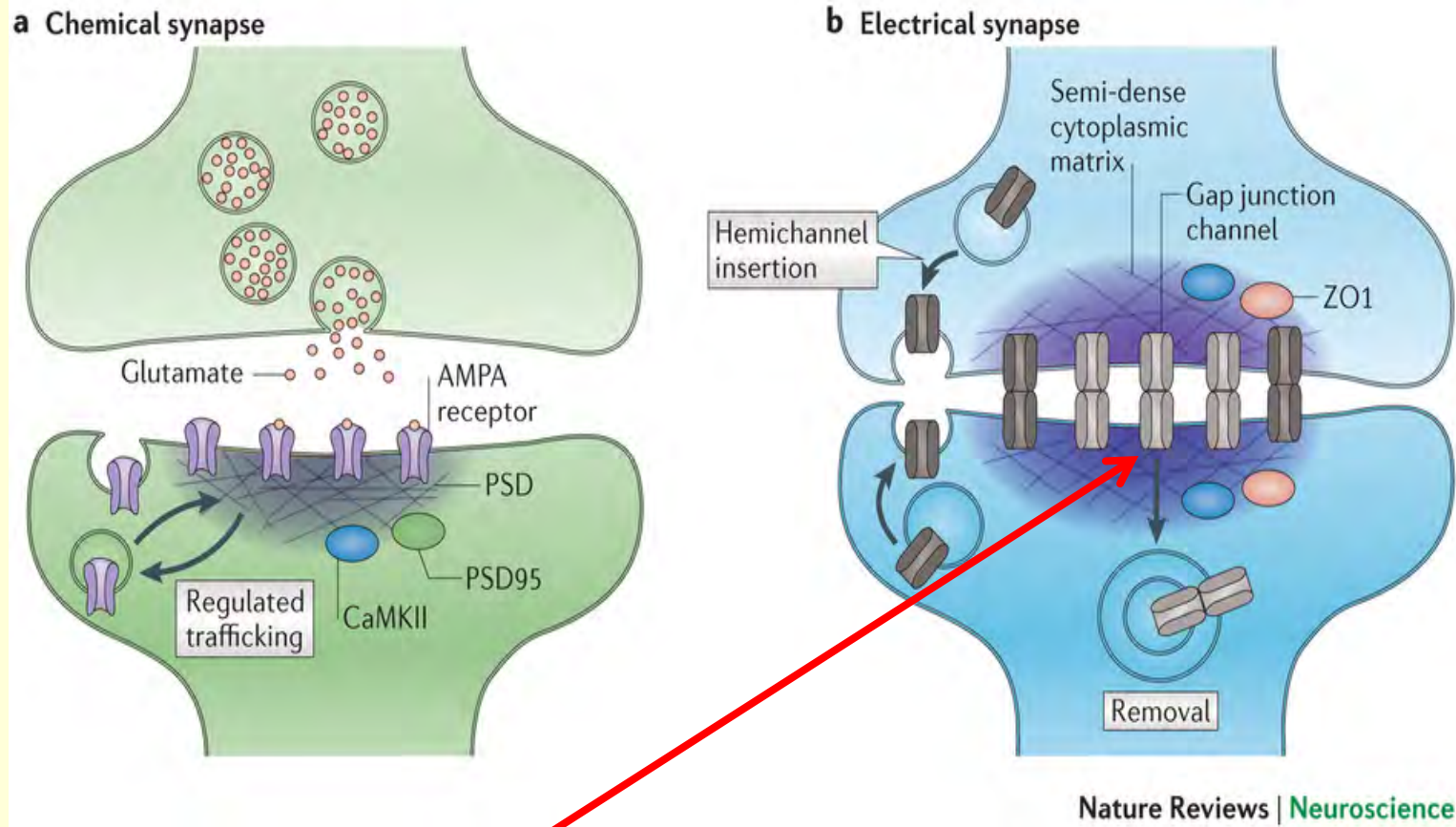
b Electrical synapse



Nature Reviews | Neuroscience

Synapse chimique,
que l'on va voir en détail dans un instant...

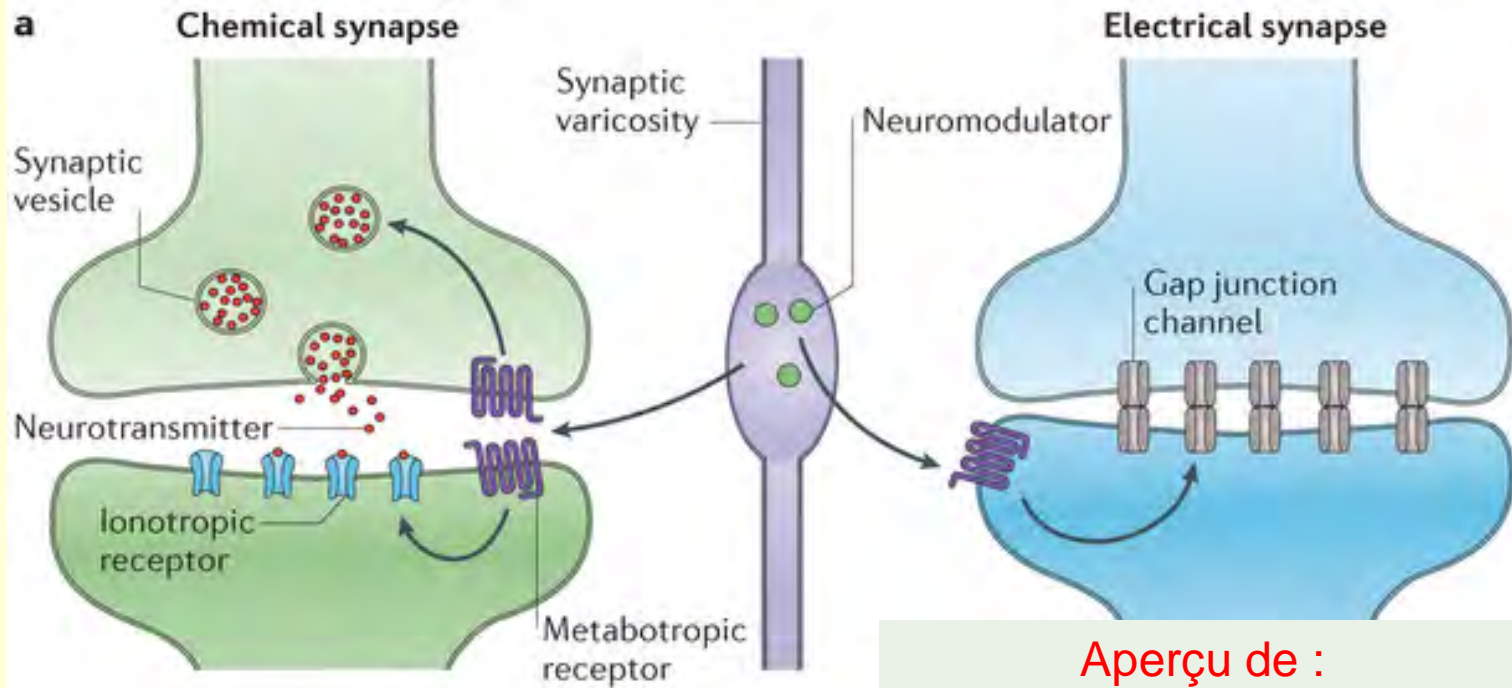




Plasticité :

Les molécules de **connexine** qui forment les synapses électriques peuvent être altérées afin d'en augmenter ou d'en diminuer la porosité, donc la facilité avec laquelle les petites molécules chargées peuvent la traverser,

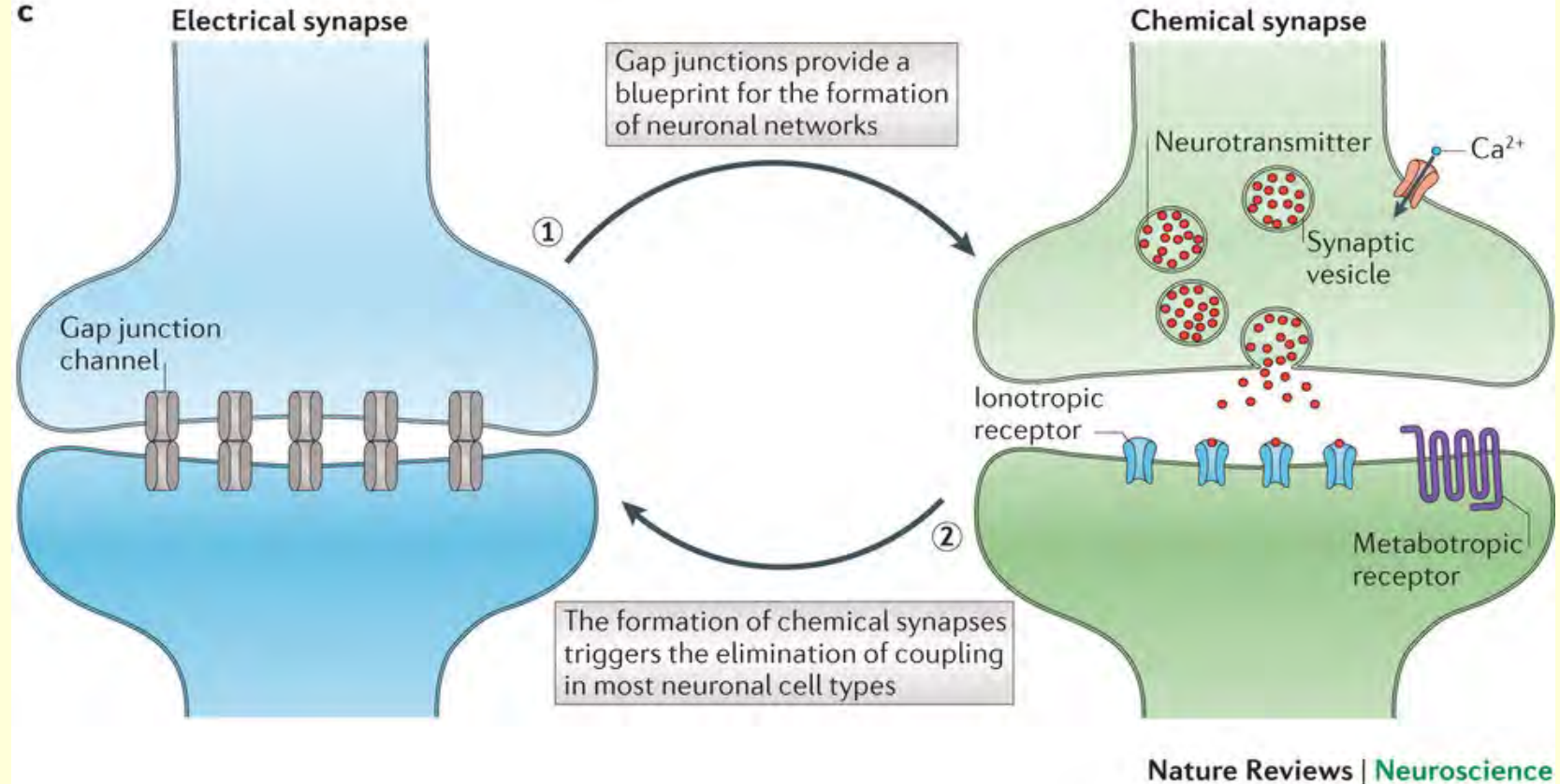
de la même manière qu'un récepteur à un neurotransmetteur peut être modifié pour renforcer une synapse chimique, comme on va le voir dans un instant !



Aperçu de :
**Le « corps-cerveau-
 environnement »**
 (12 juin pm)

Neuromodulation :

Il existe même des **substances modulatrices des connexines**, comme la **dopamine**, émise par d'autres neurones à une certaine distance de la synapse électrique et qui, en se fixant sur des récepteurs spécifiques, vont activer des réactions biochimiques capables de modifier l'efficacité de la synapse électrique.

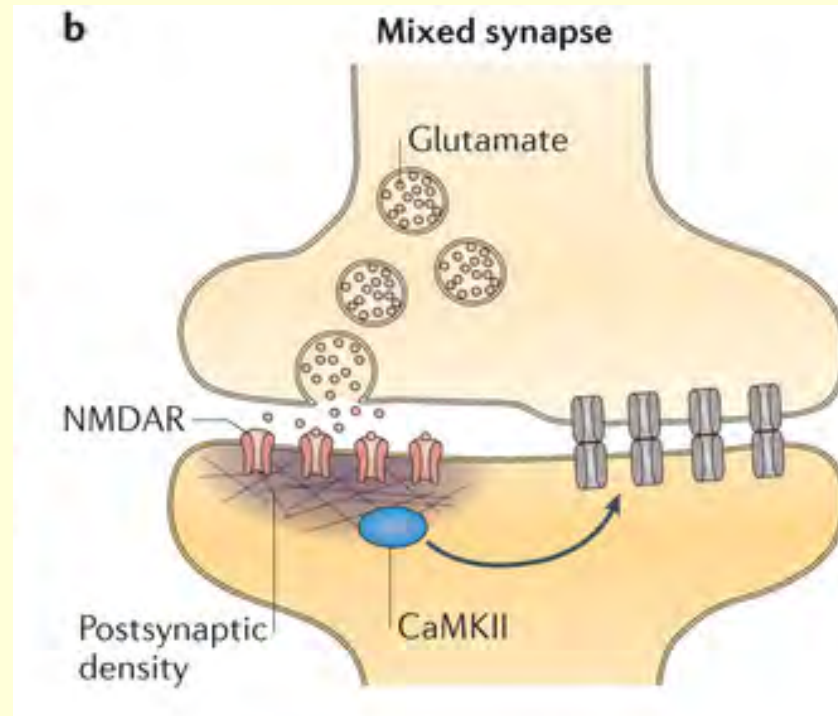


Développement :

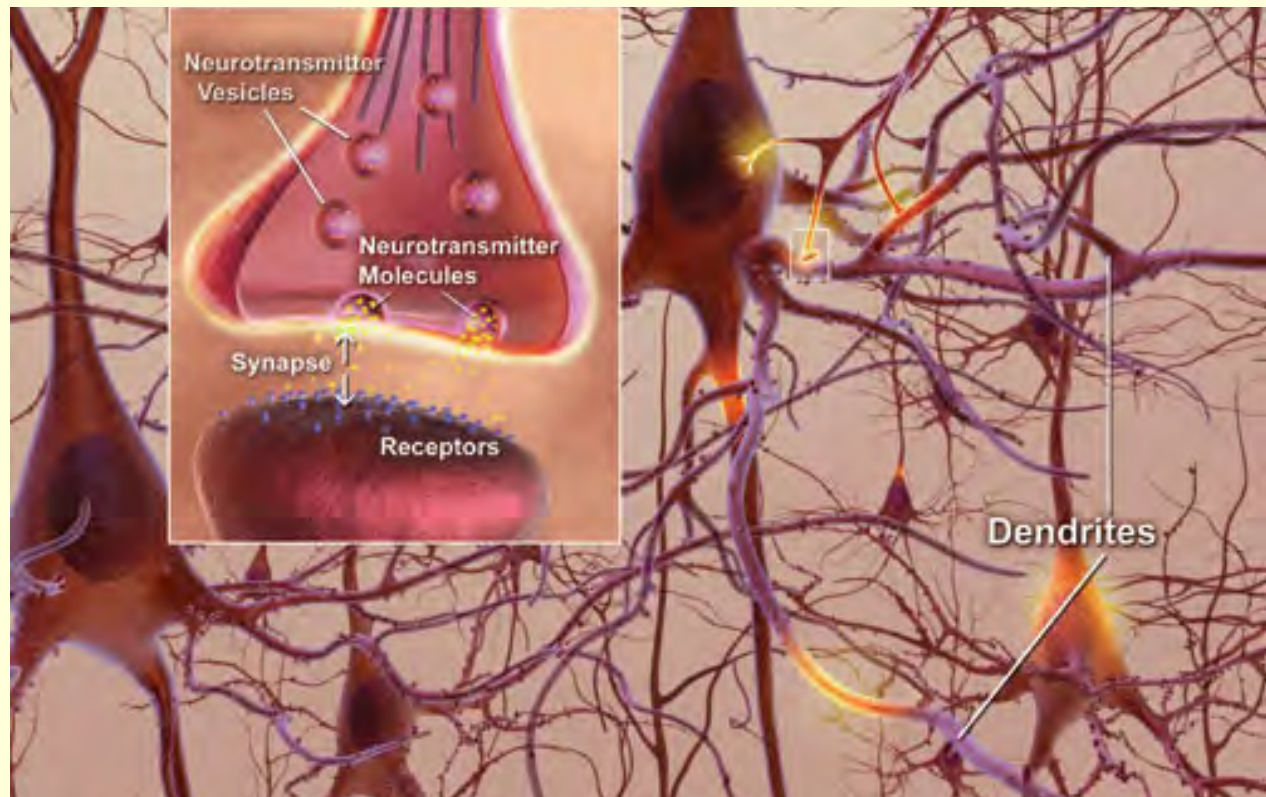
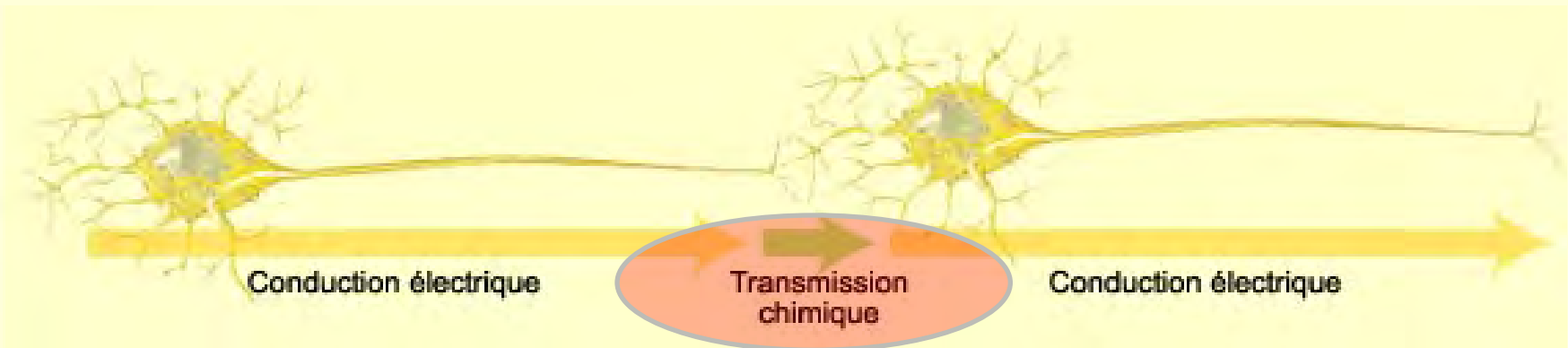
Sans parler de l'interaction entre les synapses électriques et chimique **durant le développement embryonnaire**, où l'activité électrique dans les réseaux de neurones due aux premières permet progressivement aux synapses chimiques de se mettre en place.

Synapses mixtes :

Le tableau se complique encore avec la découverte de **synapses « mixtes »** avec une composante chimique et une composante électrique dans la même région synaptique.



Allons voir justement...
...cette synapse chimique.



Presynaptic cell

Postsynaptic cell

action potential



Synaptic vesicles containing neurotransmitter

Presynaptic membrane

Voltage-gated Ca^{2+} channel

1 Ca^{2+}

Synaptic cleft

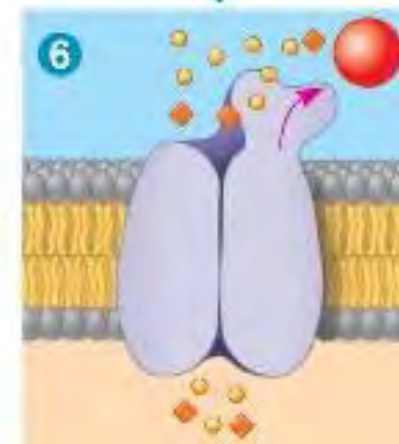
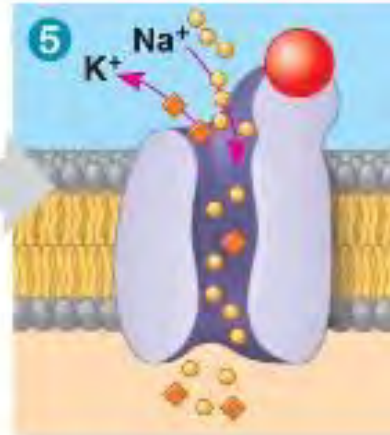
2

3

4

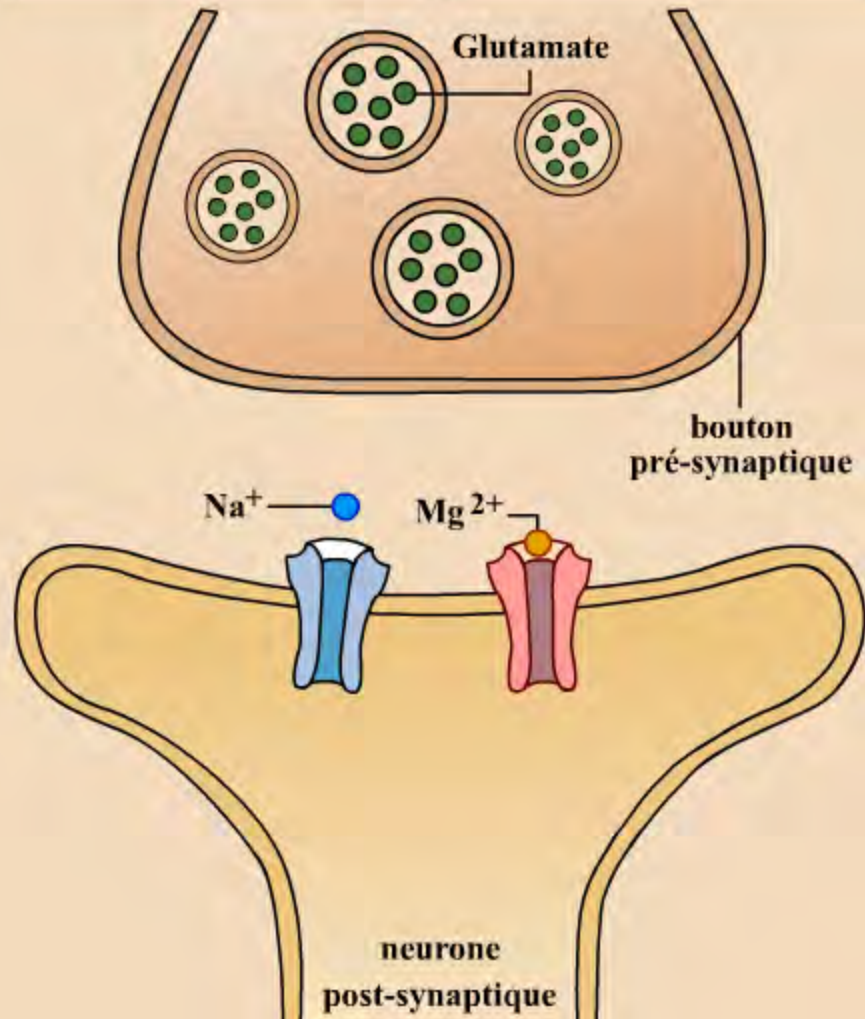
Ligand-gated ion channels

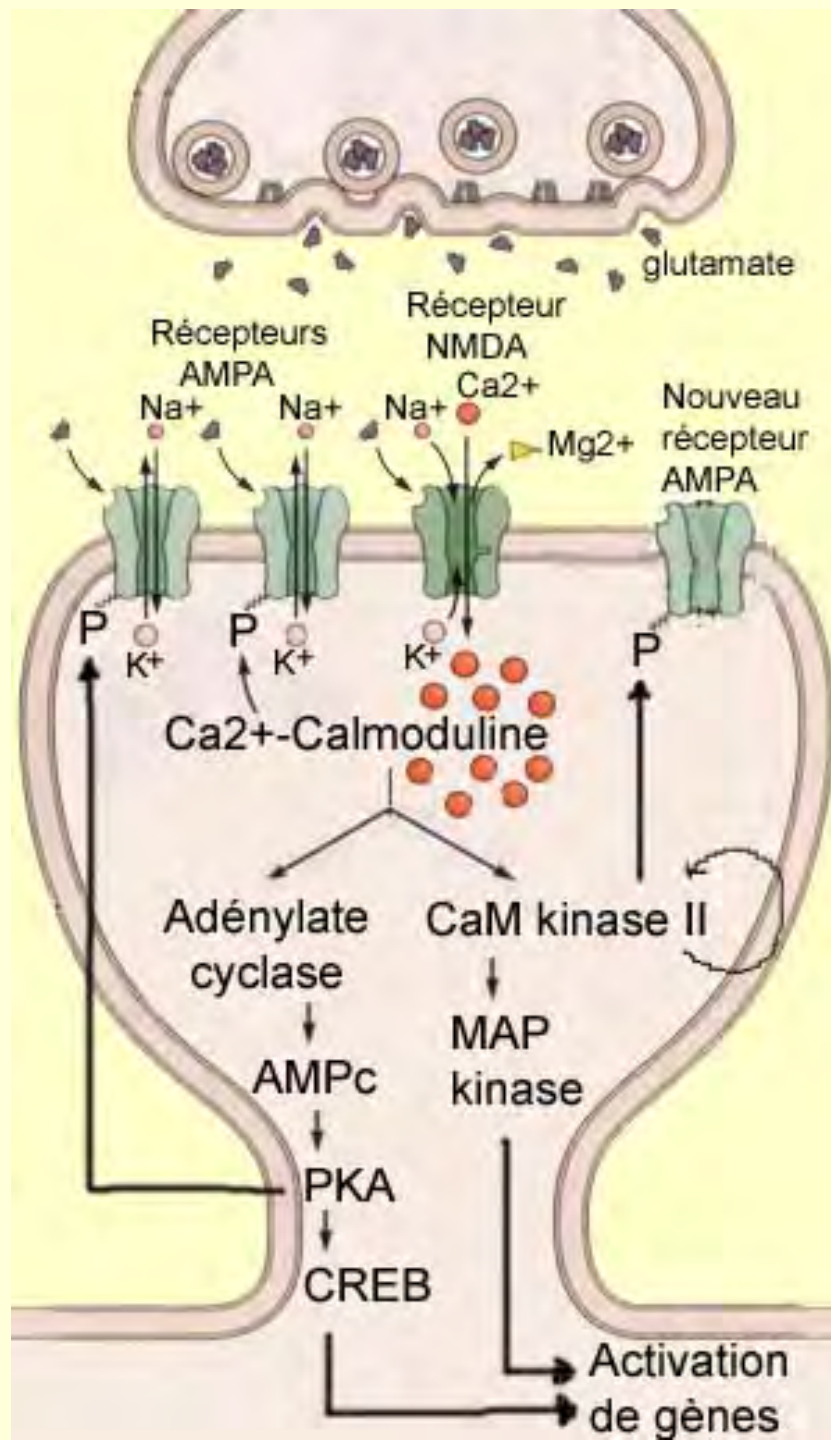
Postsynaptic membrane



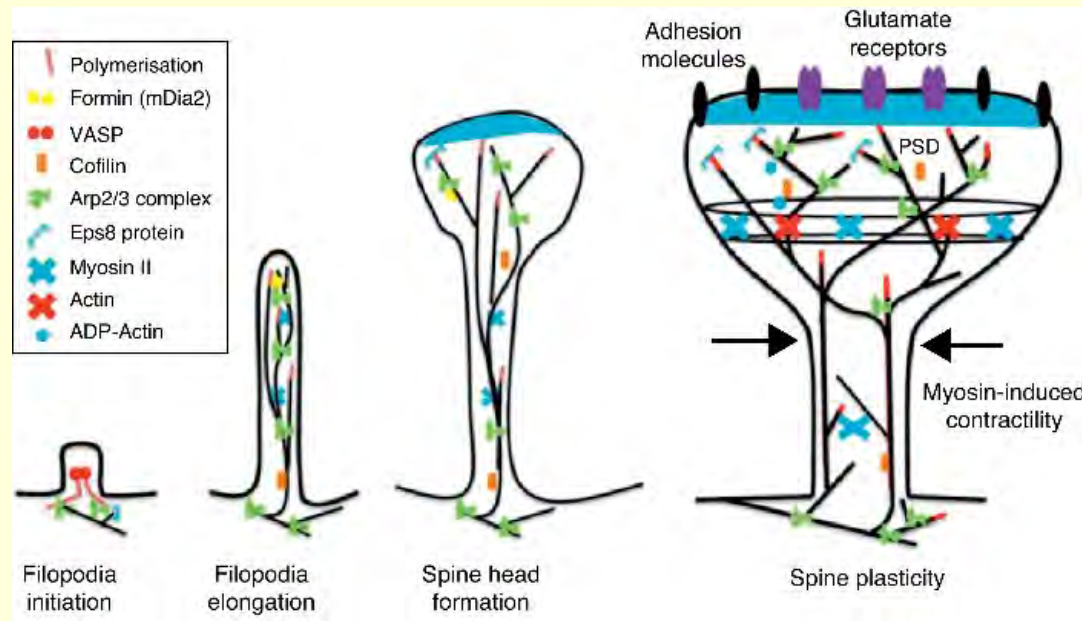
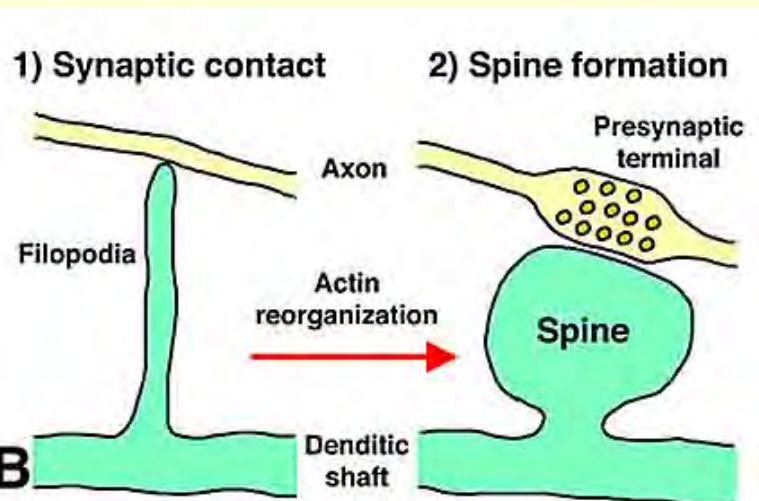
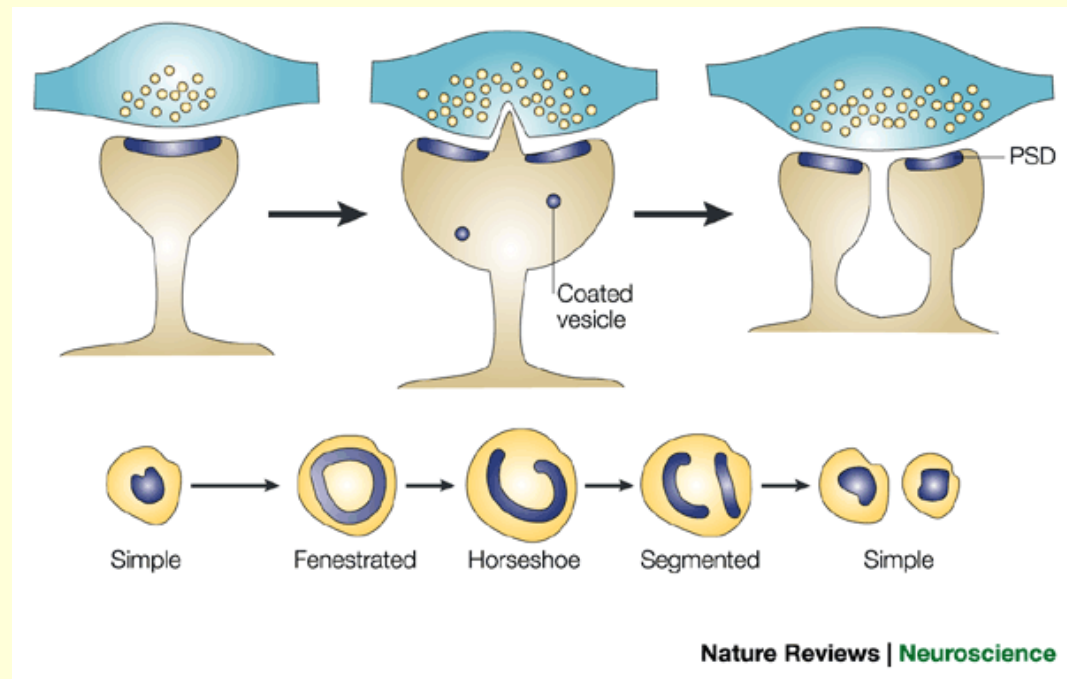
Transmission d'un
potentiel d'action
unique

Stimulation à haute
fréquence produisant
la PLT



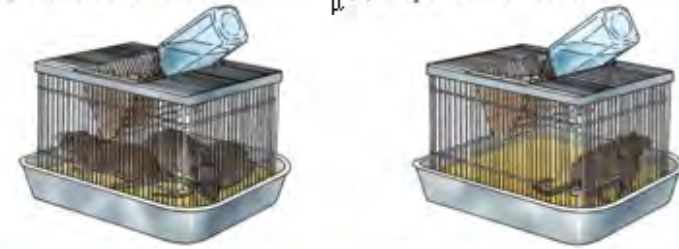


Les voies nerveuses qui servent souvent vont même pouvoir **modifier la microstructure complexe des épines dendritiques** pour que le contact synaptique entre deux neurones devienne plus intime.



a) Standard condition

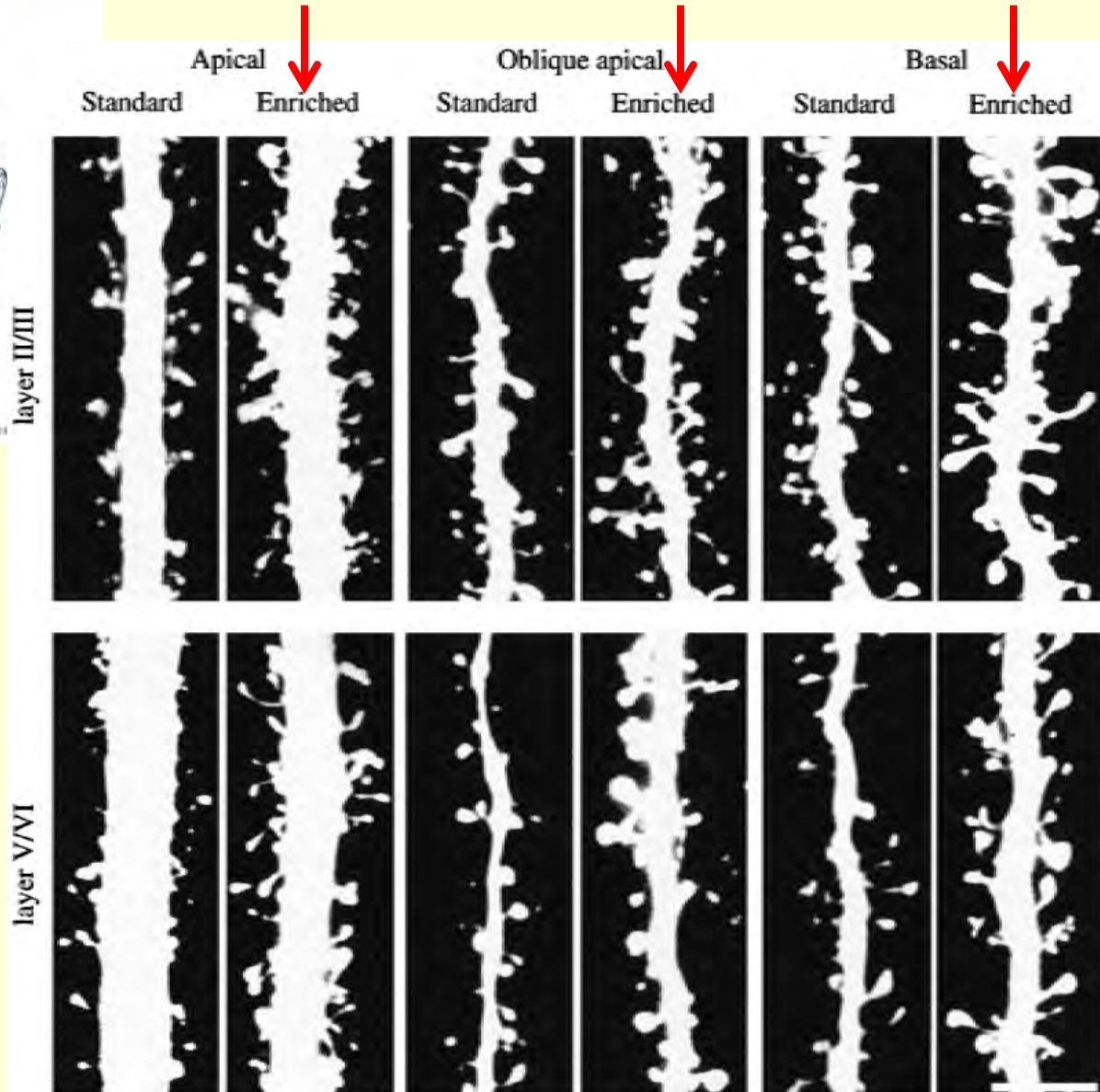
b) Impoverished condition



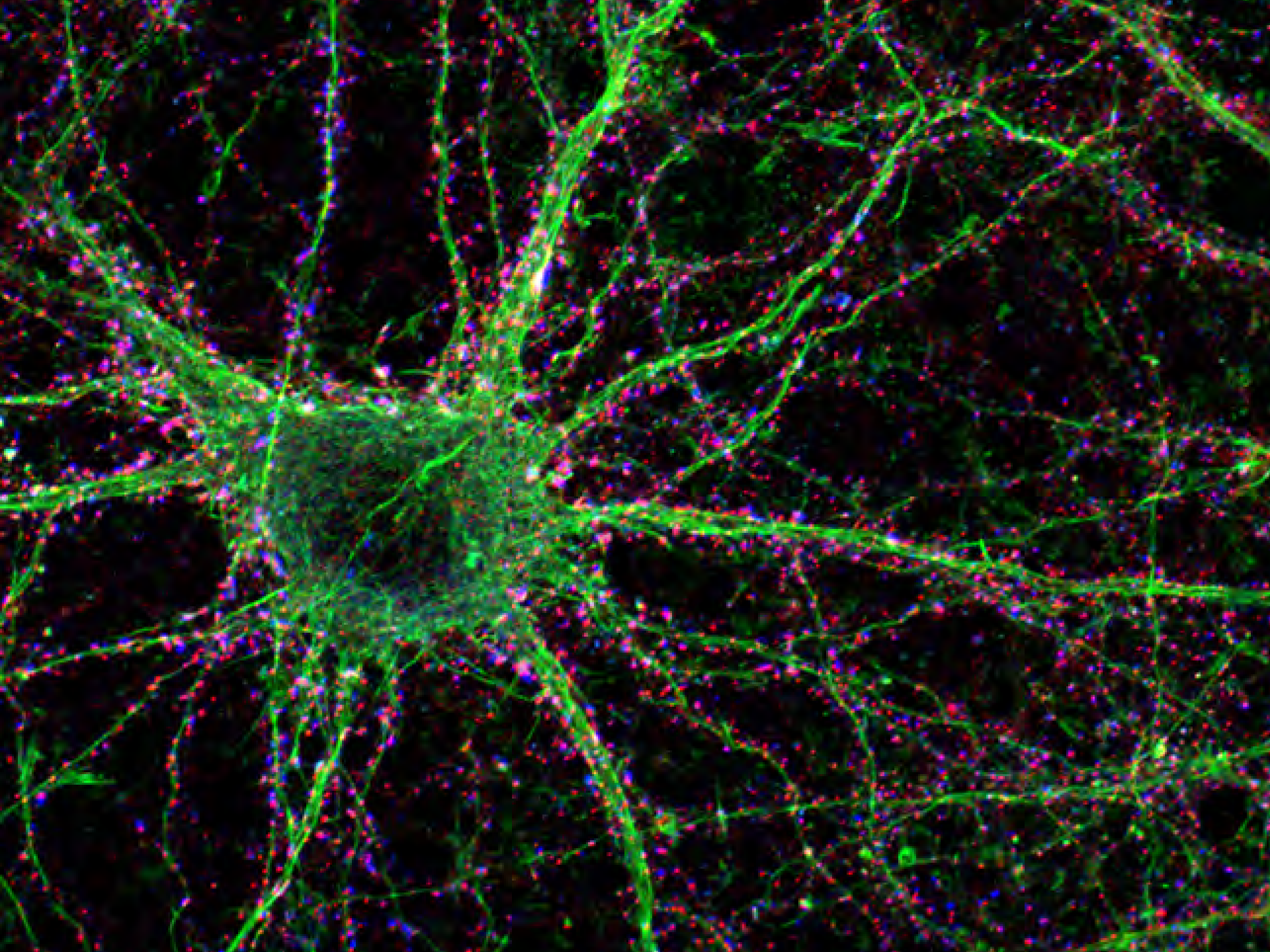
(c) Enriched condition

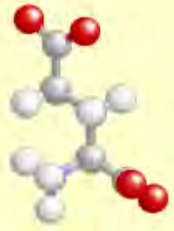
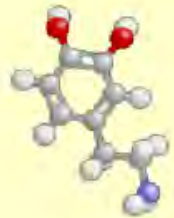
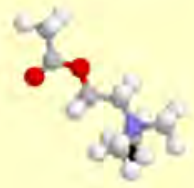
Psychology 6e, Figure 17.17

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.

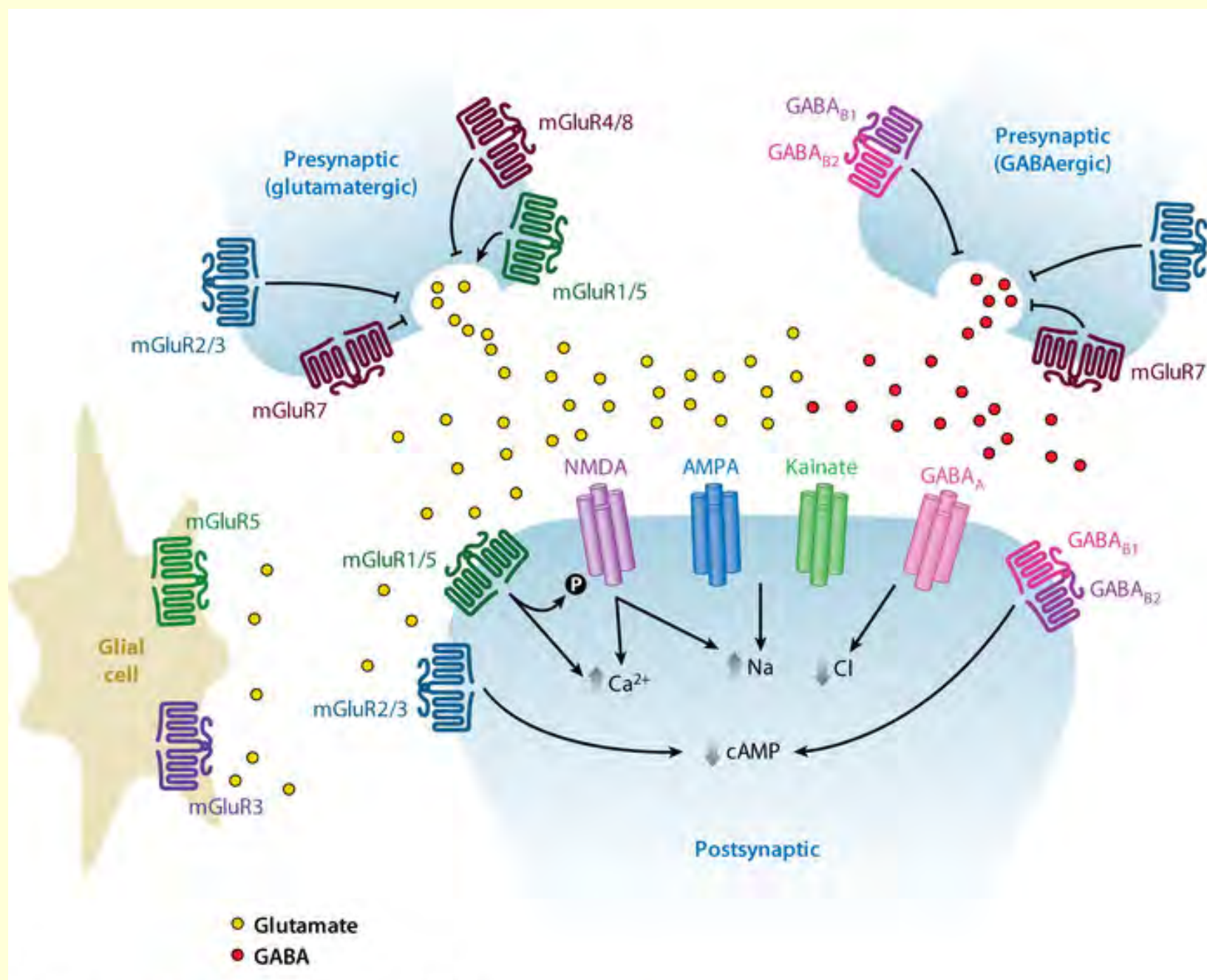


Épines dendritique de neurones du cortex somatosensoriel de rats adultes ayant grandi dans des cages **standard** ou dans un environnement **enrichi** durant 3 semaines.



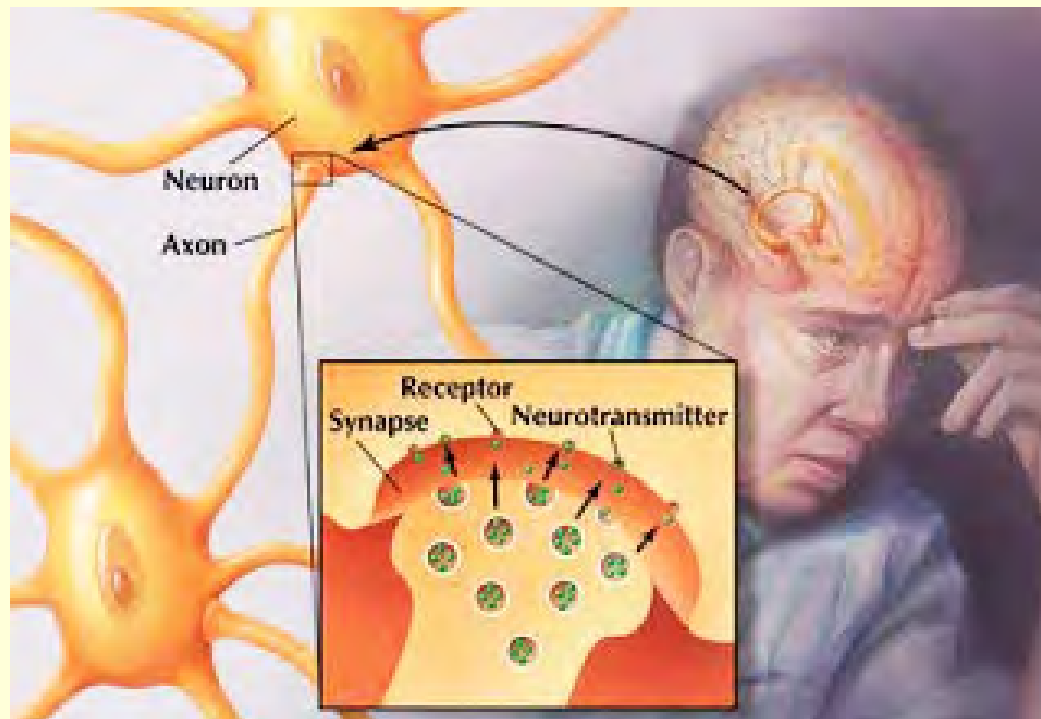


Etc, etc...

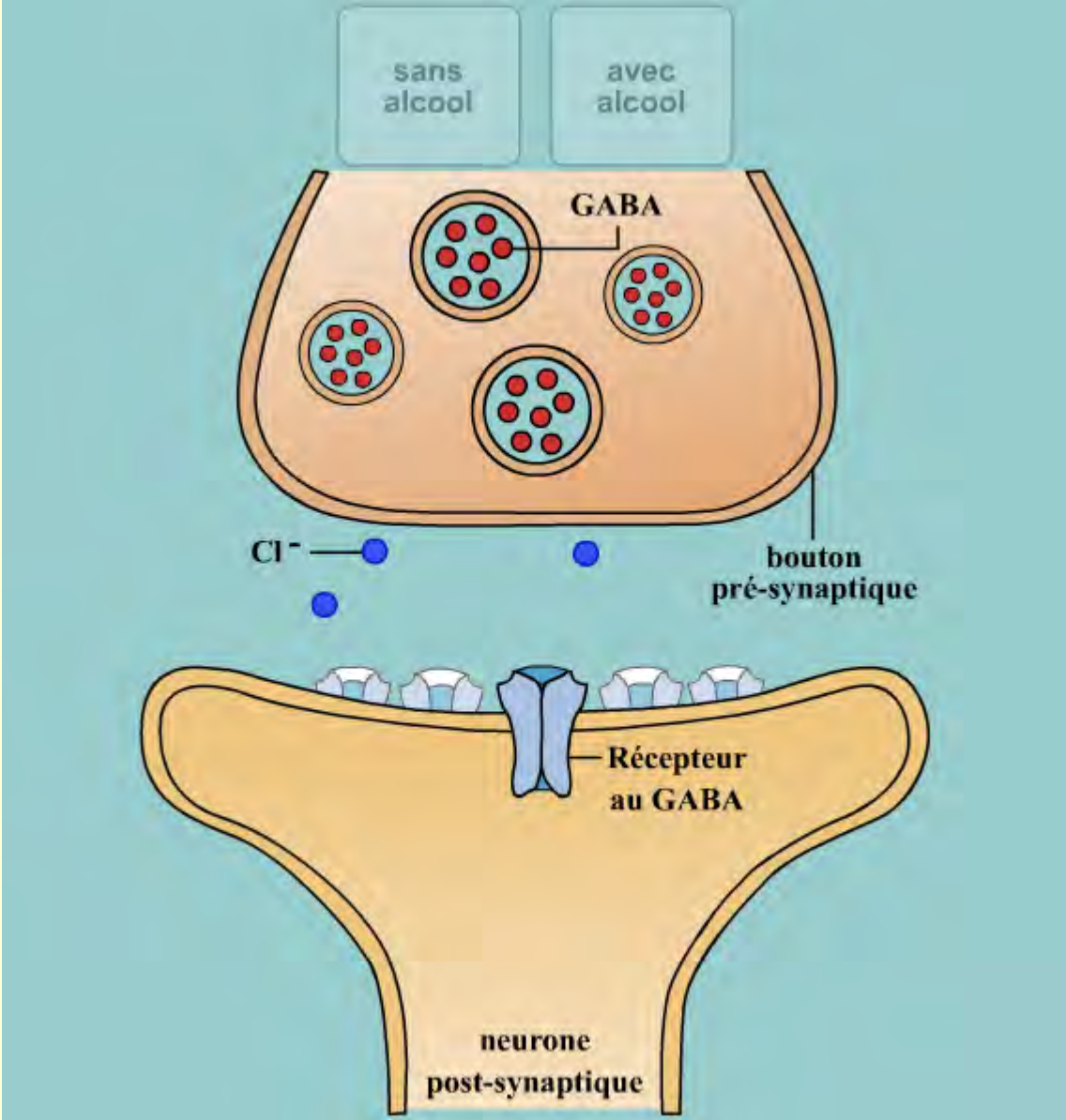


Neurotransmetteurs, médicaments, drogues

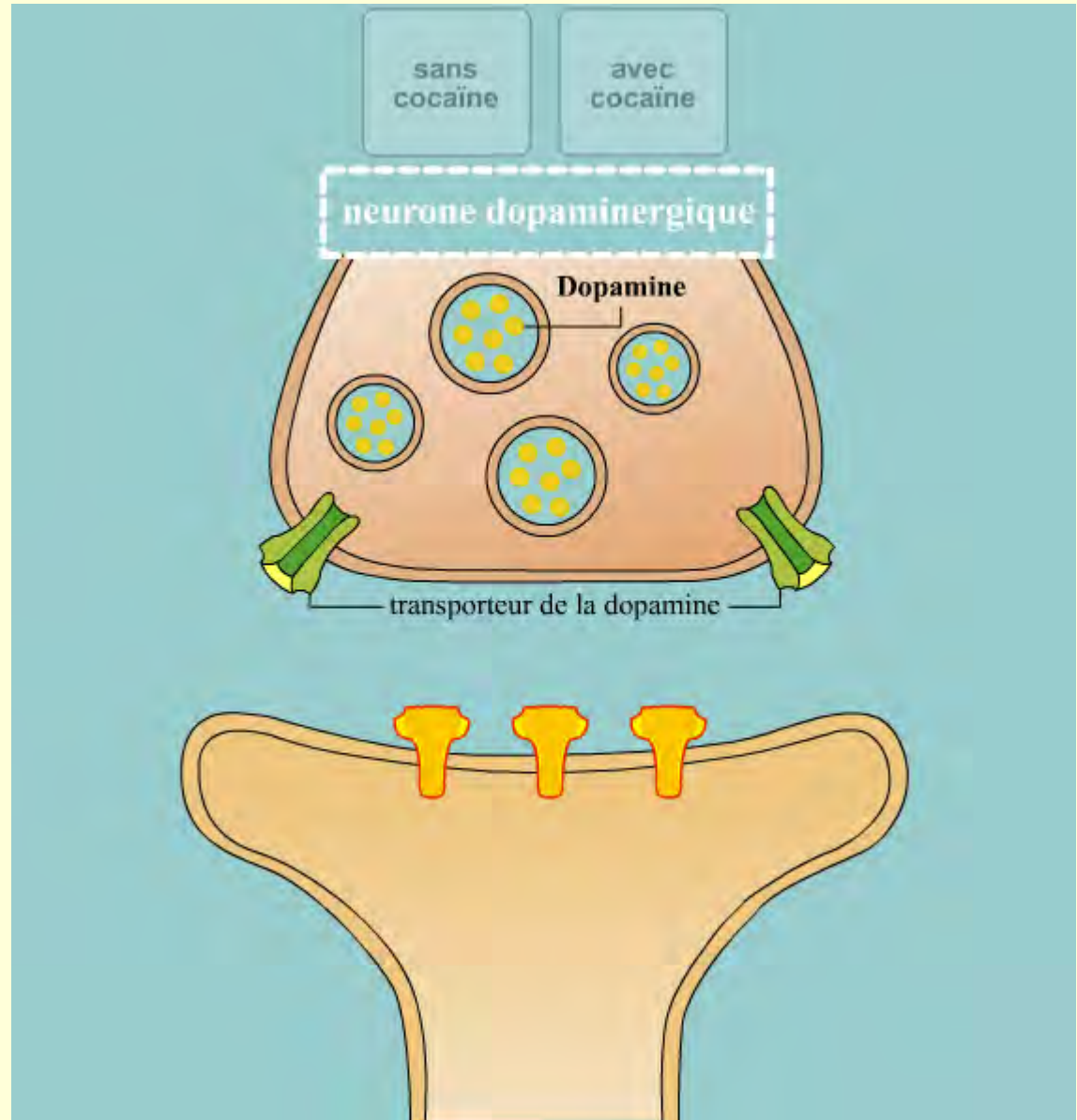
Les molécules qui affectent notre pensée



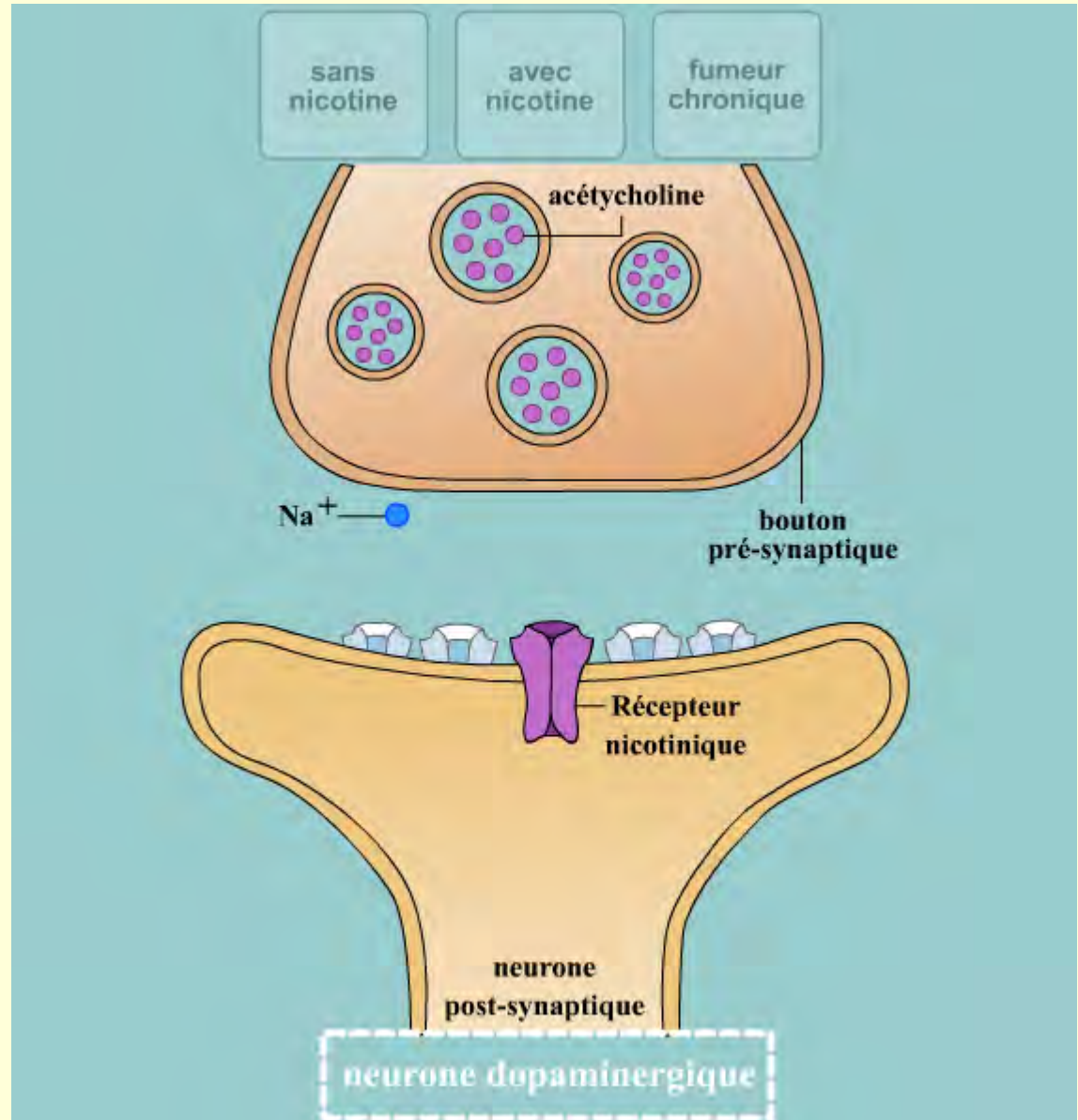
Alcool



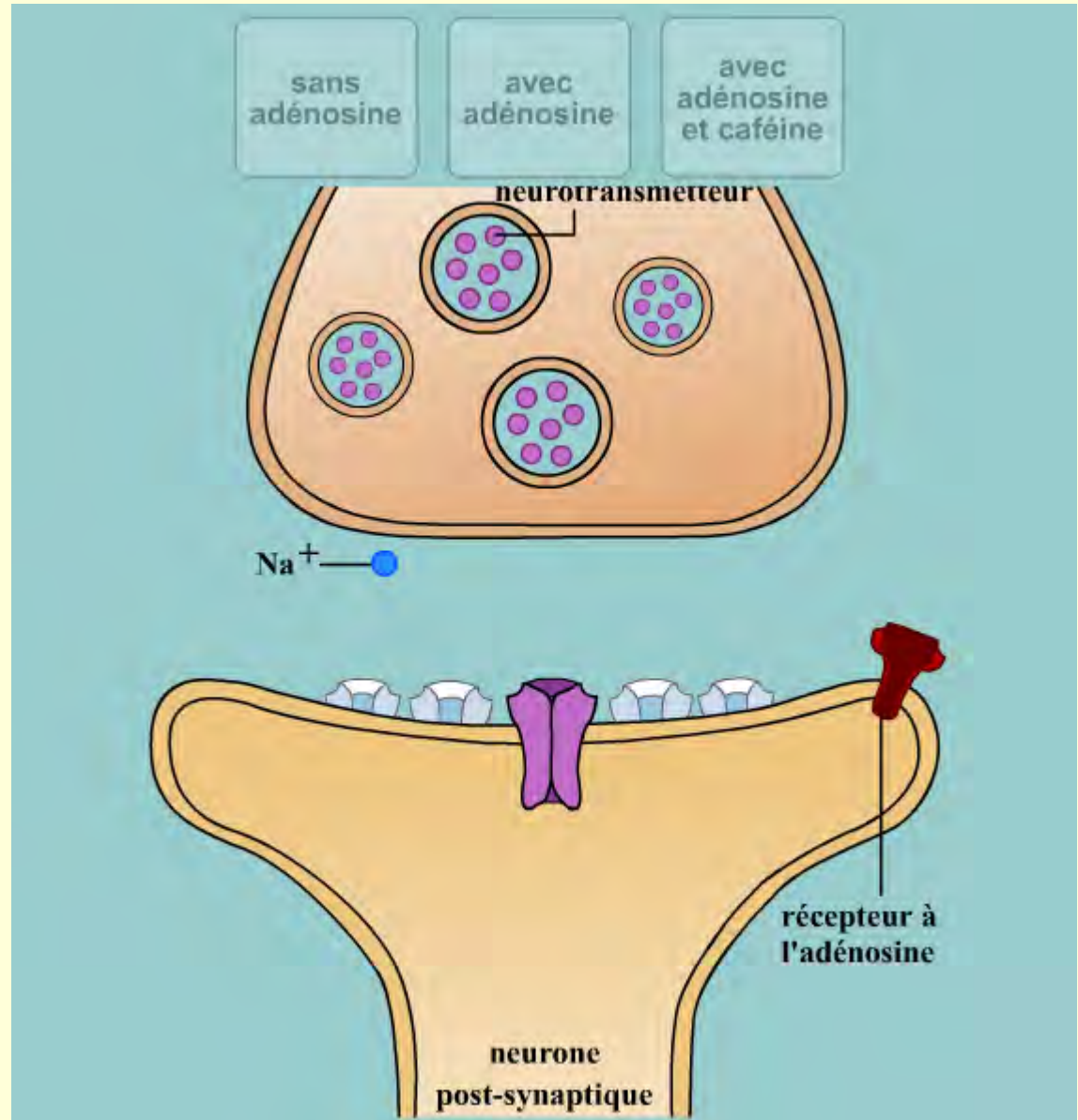
Cocaïne



Nicotine



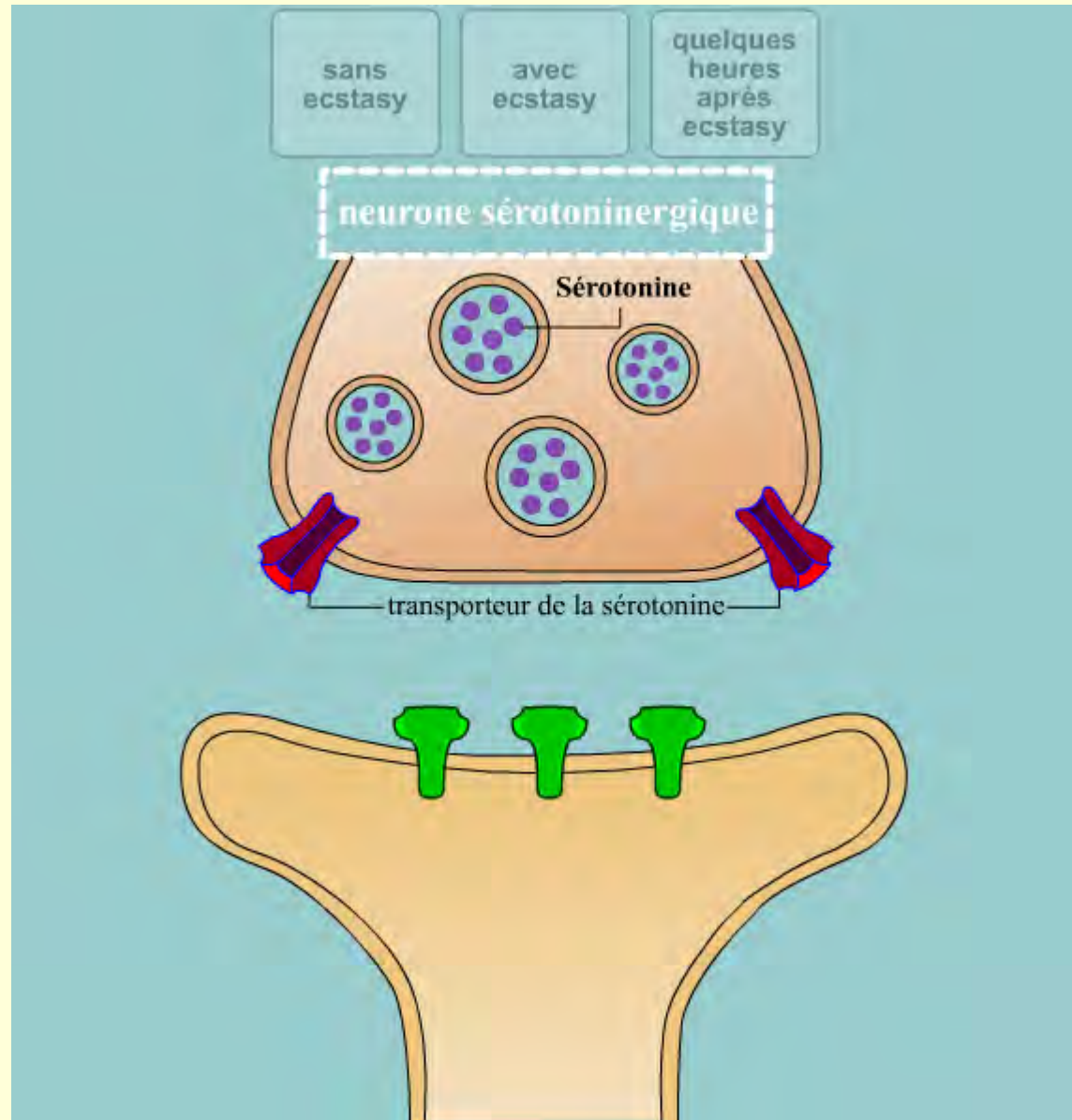
Caféine



Ecstasy

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, le système se retrouve en état de 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...

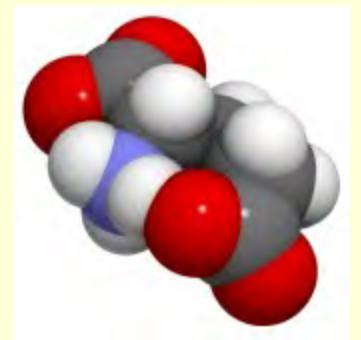
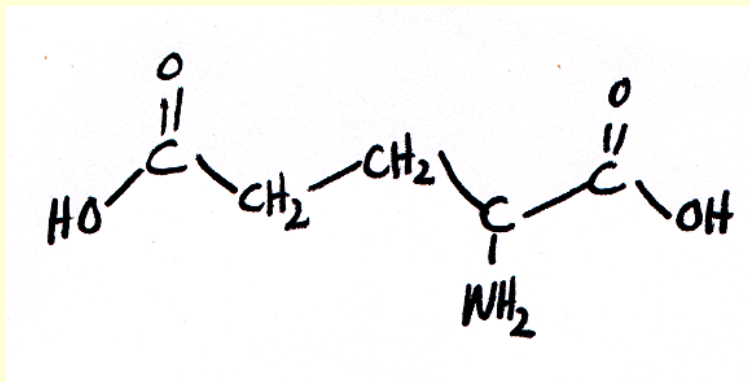
- La théorie du neurone
 - Ce qu'on peut garder
 - Tout ce qu'on sait maintenant qui lui manque...

Le récepteur NMDA du glutamate

Le récepteur NMDA du glutamate

“**Glutamate**, while not as widely recognized in the popular press as many other better-known neurotransmitters, is actually, by far, **the predominant neurotransmitter** in the brain.

Glutamate is used by up to **50% to 80% of all neurons** and 80% of all synapses in the brain use glutamate (many synapses use multiple neurotransmitters)”



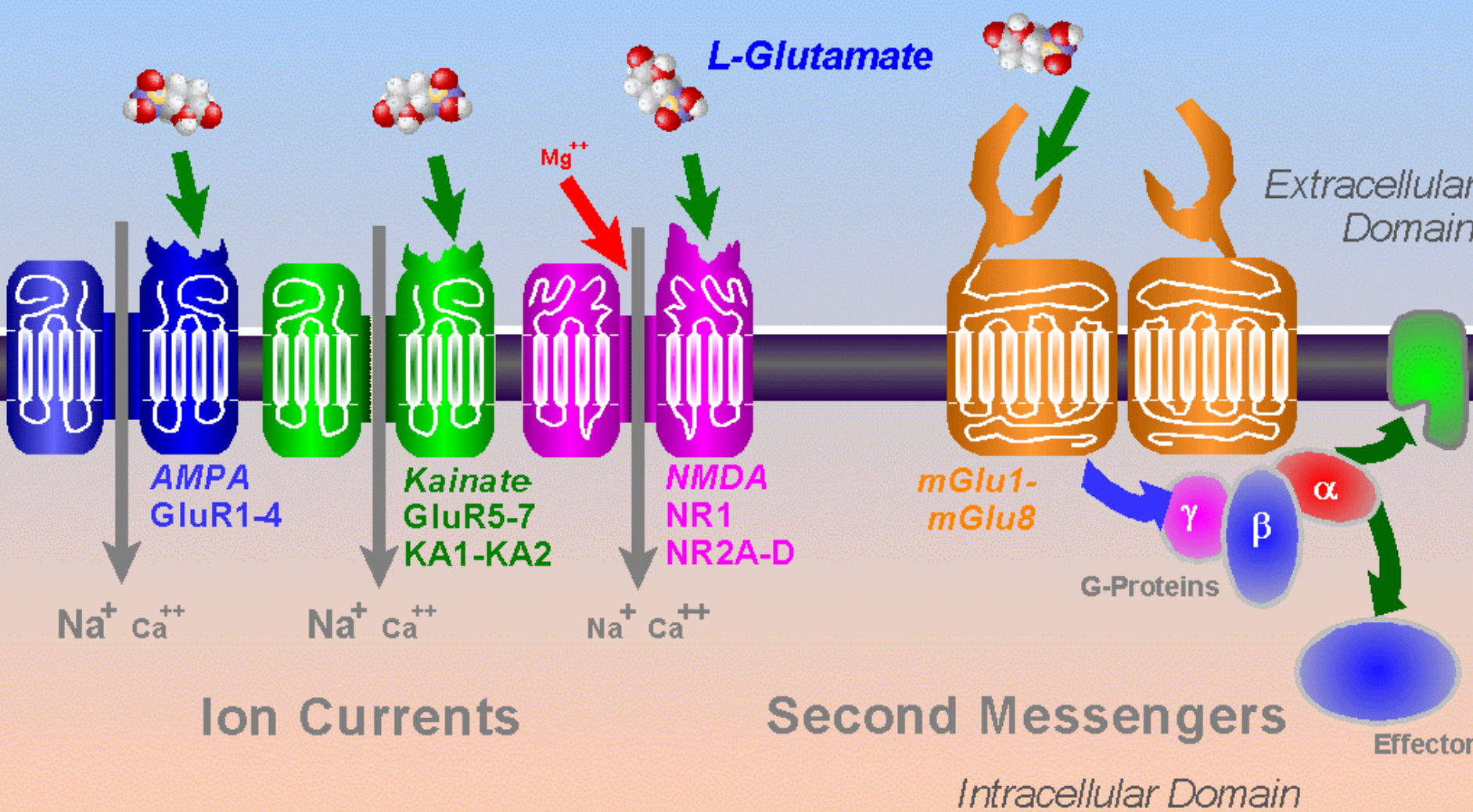
Another Form of Neuroplasticity by Switching Glutamate NMDA Subunits

July 14, **2013** (le résumé de l'article suivant)

<http://jonlieffmd.com/blog/another-form-of-neuroplasticity-by-switching-glutamate-nmda-subunits>

IONOTROPIC GLUTAMATE RECEPTORS

METABOTROPIC GLUTAMATE RECEPTORS



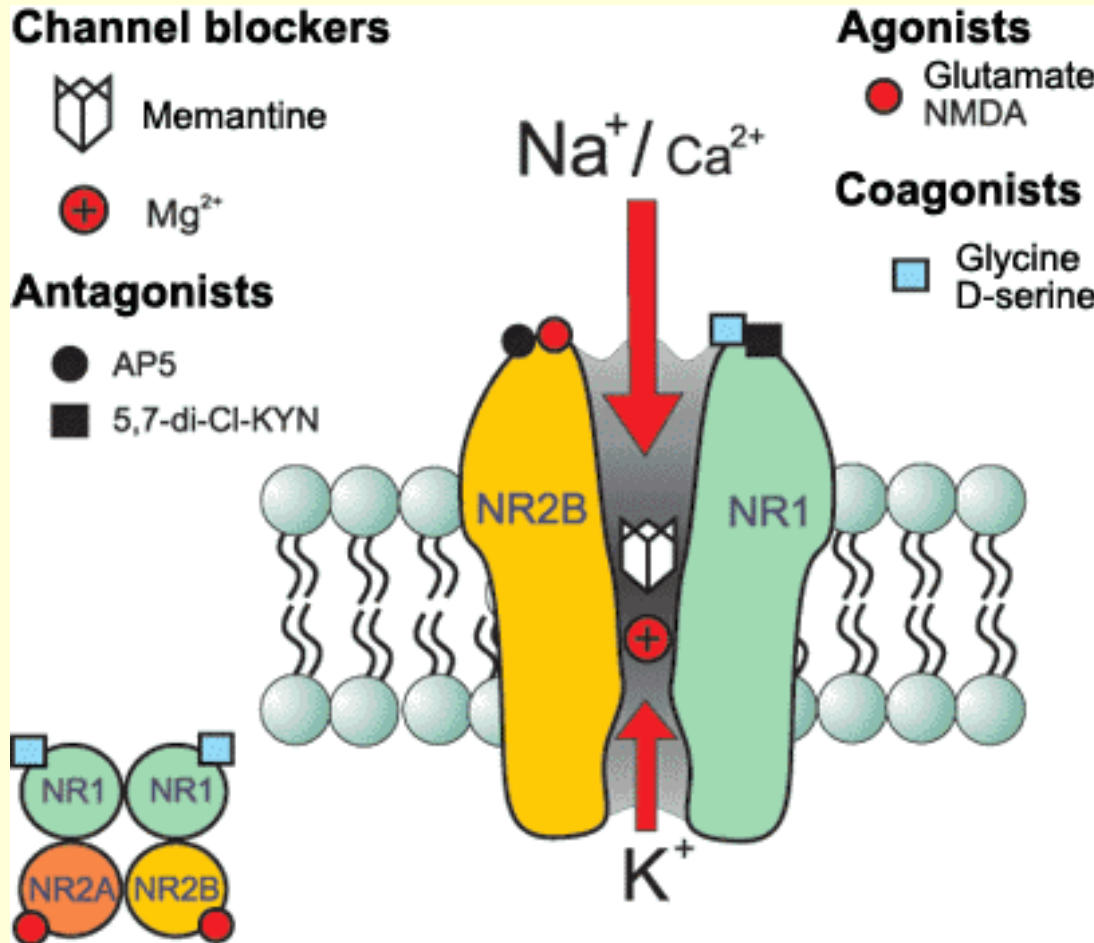
Le récepteur NMDA

a plusieurs caractéristiques uniques :

- Il est normalement **bloqué par un atome de magnésium** qui doit être enlevé pour que le canal s'ouvre;

- L'ouverture du canal NMDA est donc **à la fois** influencé par un **neurotransmetteur** et la **différence de voltage** entre l'intérieur du neurone et l'extérieur.

- Avec l'ouverture du canal, la **quantité de calcium** qui va pénétrer dans le neurone va être déterminante pour la **plasticité** de la synapse;



Récepteur NMDA au glutamate

NMDA receptor subunit diversity: impact on receptor properties, synaptic plasticity and disease

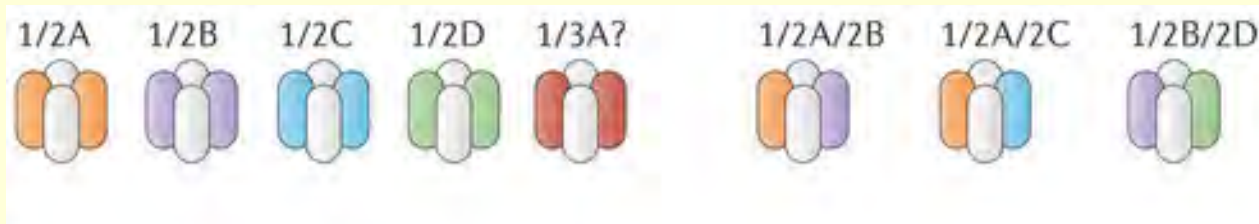
Pierre Paoletti, Camilla Bellone & Qiang Zhou

Nature Reviews Neuroscience 14, 383–400 (2013)

<http://www.nature.com/nrn/journal/v14/n6/full/nrn3504.html>

On savait que les récepteur NMDA forment des **complexes de 4 sous-unités homologues**.

Ce que cet article va montrer, c'est que **la composition** du récepteur NMDA est elle-même **plastique** à cause de la combinatoire de différentes sous-unités, ce qui donne lieu à un grand **nombre de sous-types de récepteurs possibles**.

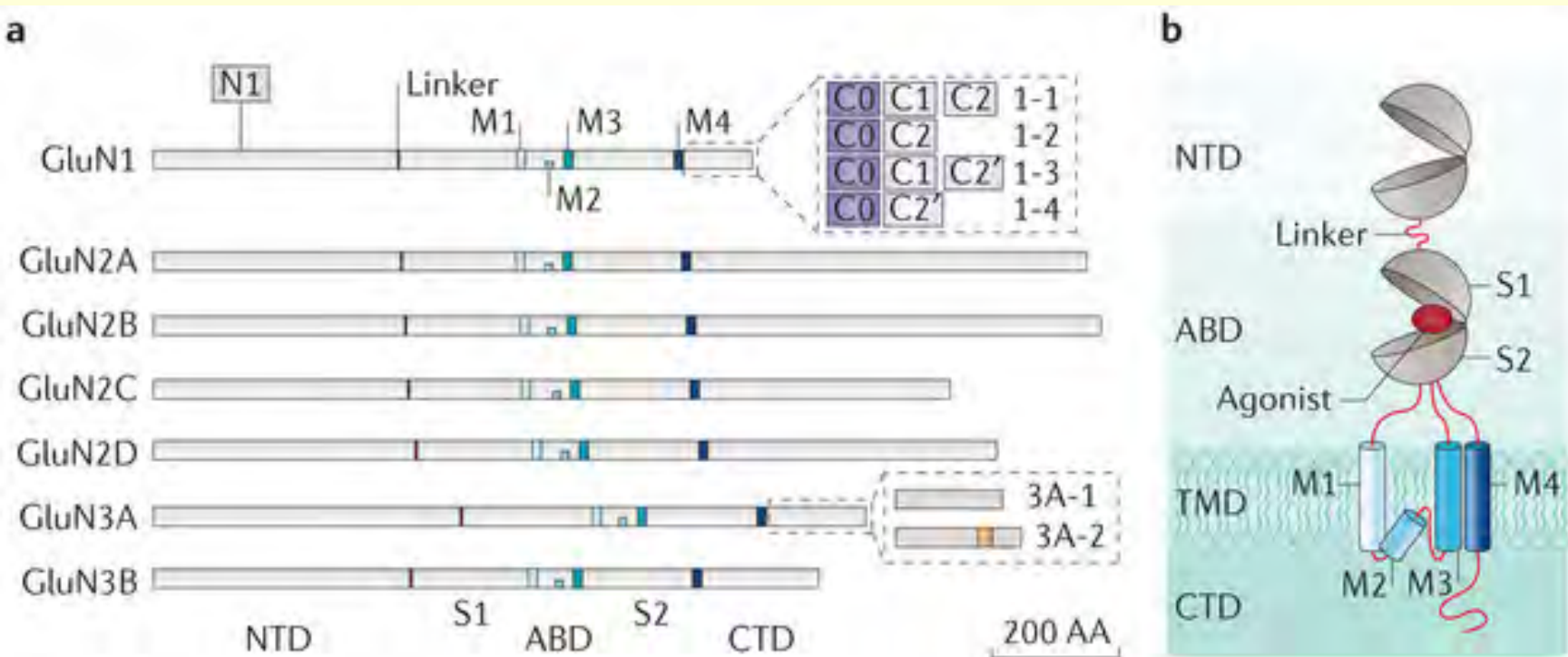


Cette étude explore donc les effets de la composition des différentes sous-unités sur un récepteur.

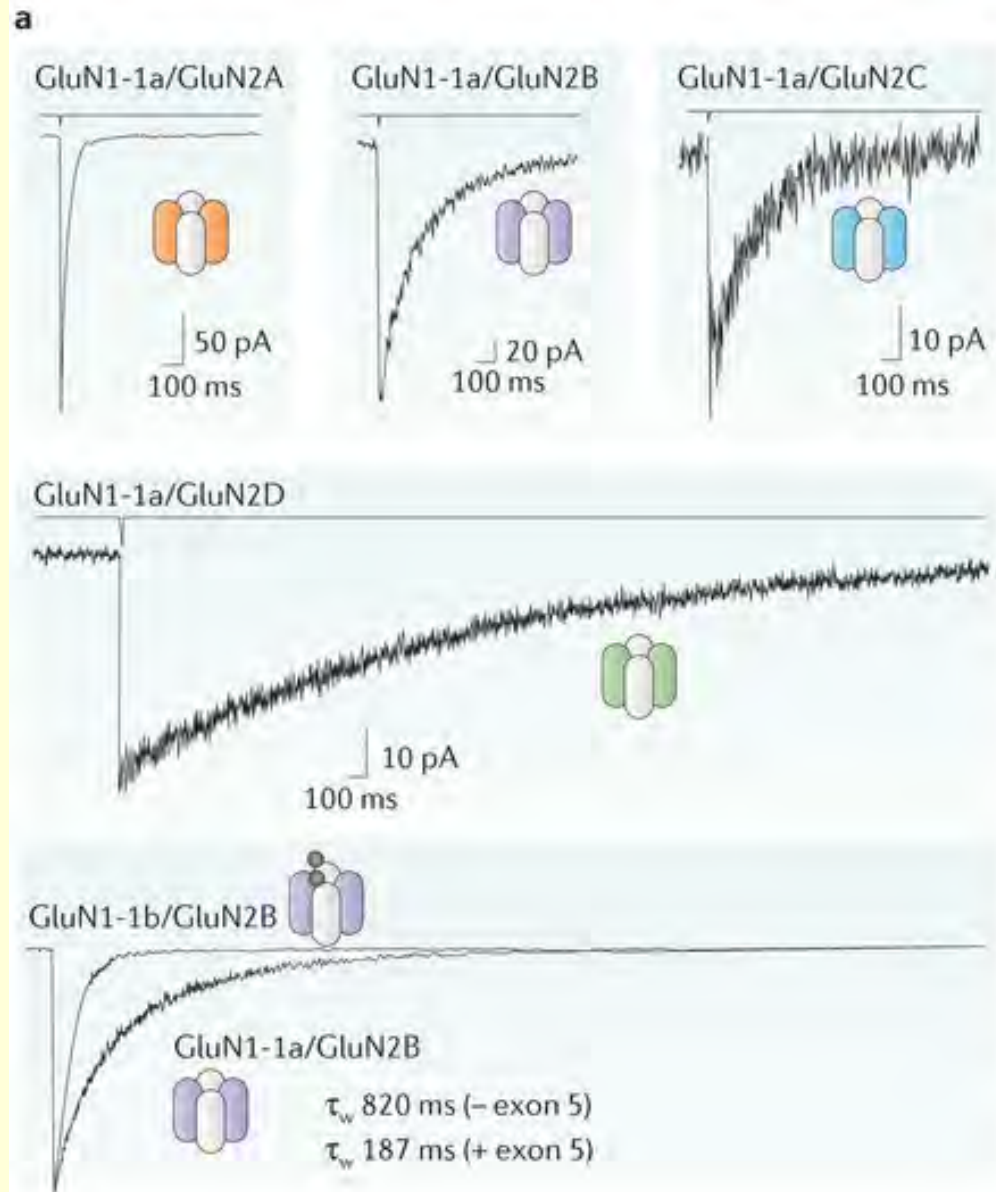
D'abord au niveau **structurel** :

a) 7 sous-unités ont été identifiées

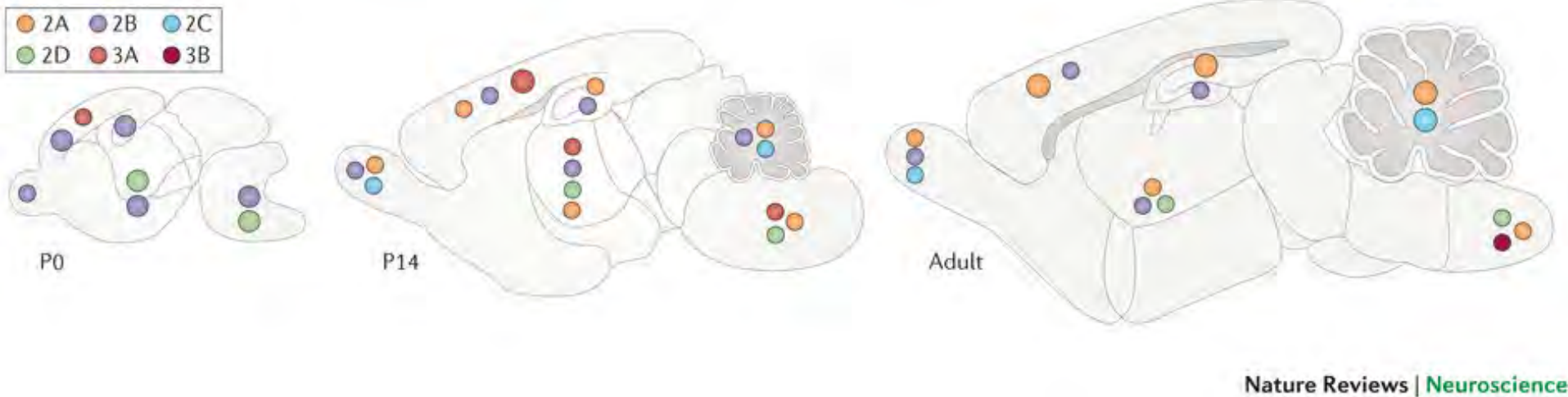
b) Toutes les sous-unités partagent une même architecture modulaire faite de 4 domaines distincts



Ensuite au niveau des **propriétés biophysiques** du récepteur (par exemple la durée d'ouverture suite à la fixation du glutamate).



Au niveau de leur **distribution** dans le cerveau durant le développement :



Distribution des différents sous-types de récepteur NMDA dans le cerveau de la souris à la naissance (P0), à 14 jours (P14) et à l'âge adulte.

On commence à peine à comprendre le langage des sous-unités du récepteur NMDA.

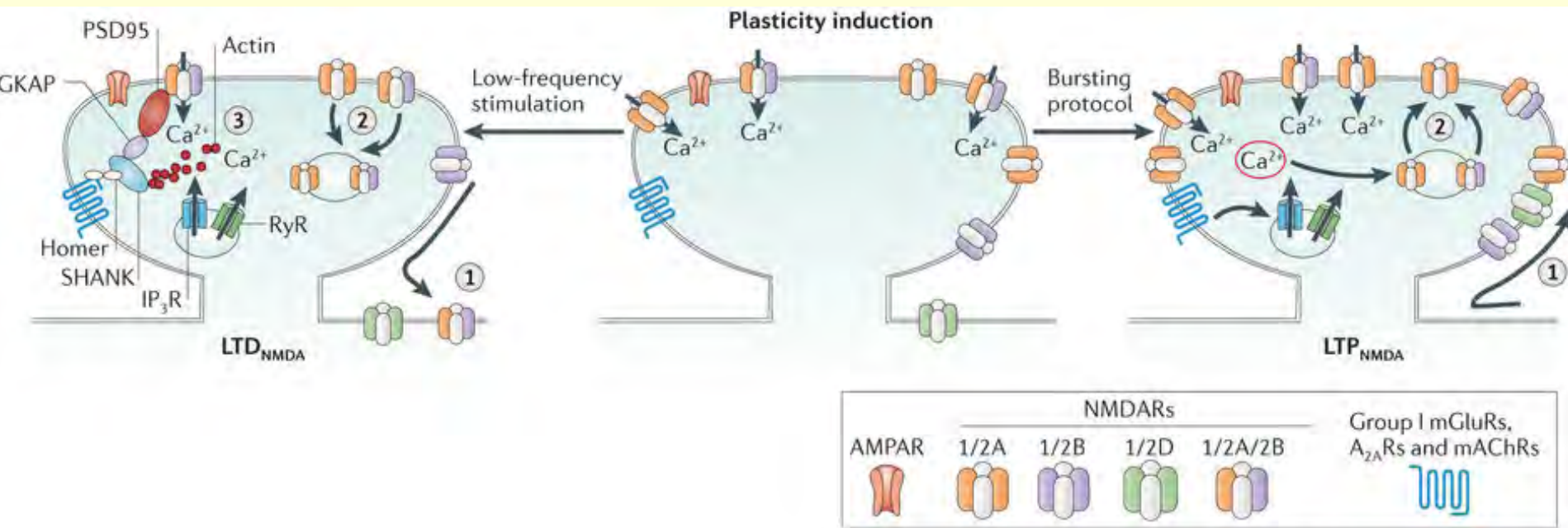
On estime que la composition **N1/N2A/N2B** est dominante dans l'hippocampe et le cortex avec possiblement **15 à 50%** du nombre total de récepteurs. Mais il y a d'autres double ou triple composition...

N2A est très importante pour la potentialisation à long-terme à la connexion **CA3-CA1** dans l'hippocampe.

N2B semble au contraire produire de la dépression à long-terme, mais dans certains cas, pas toujours...

Il y a aussi une grande différence de composition selon que le récepteur est sur un neurone ou une **cellule gliale**...

Et finalement il y a cette **nouvelle forme de plasticité** ou les sous-unités semblent mobiles et capables d'être échangées d'un récepteur à l'autre.



La cellule semble savoir comment ajuster la structure de ses propres composantes moléculaire en fonction de l'activité dans un circuits beaucoup plus large dont l'activité fluctue à l'échelle de la milliseconde...

On va reprendre tantôt en montrant comment cette plasticité synaptique va façonner nos réseaux de neurones en fonction de l'expérience.



Assemblées de neurones

Si on a le temps,
on pourrait ajouter
3 dernières choses...

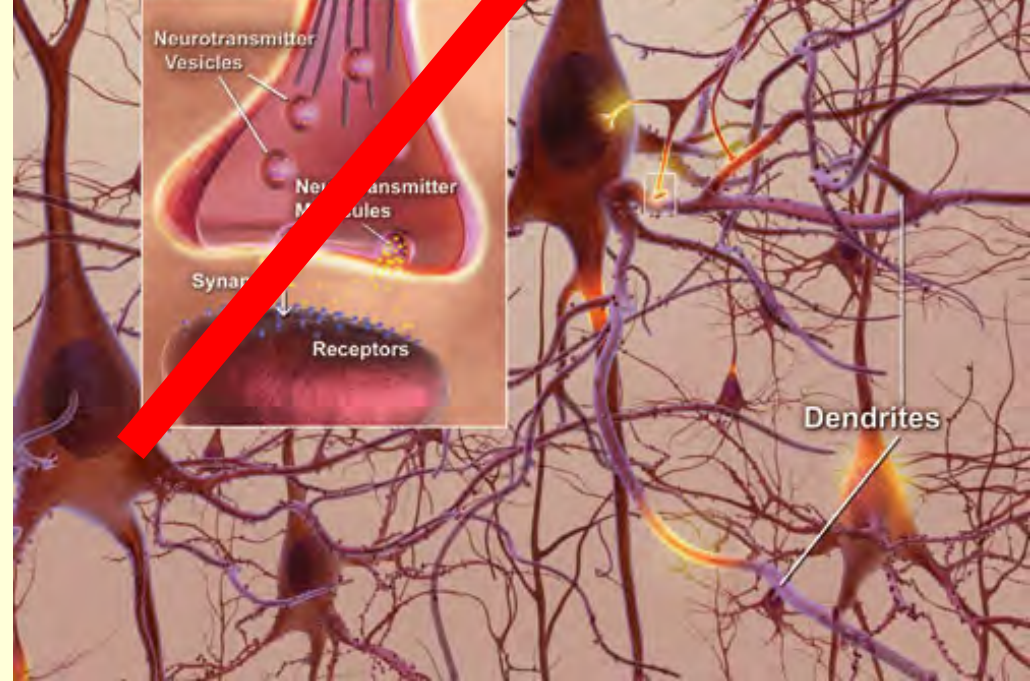
La **plasticité** n'implique pas que la synapse !

Trends in Neuroscience
Volume 33, Issue 1, Jan
2010, Pages 17–26

More than synaptic plasticity:

role of nonsynaptic plasticity in learning and memory

Riccardo Mozzachiodi, John H. Byrne

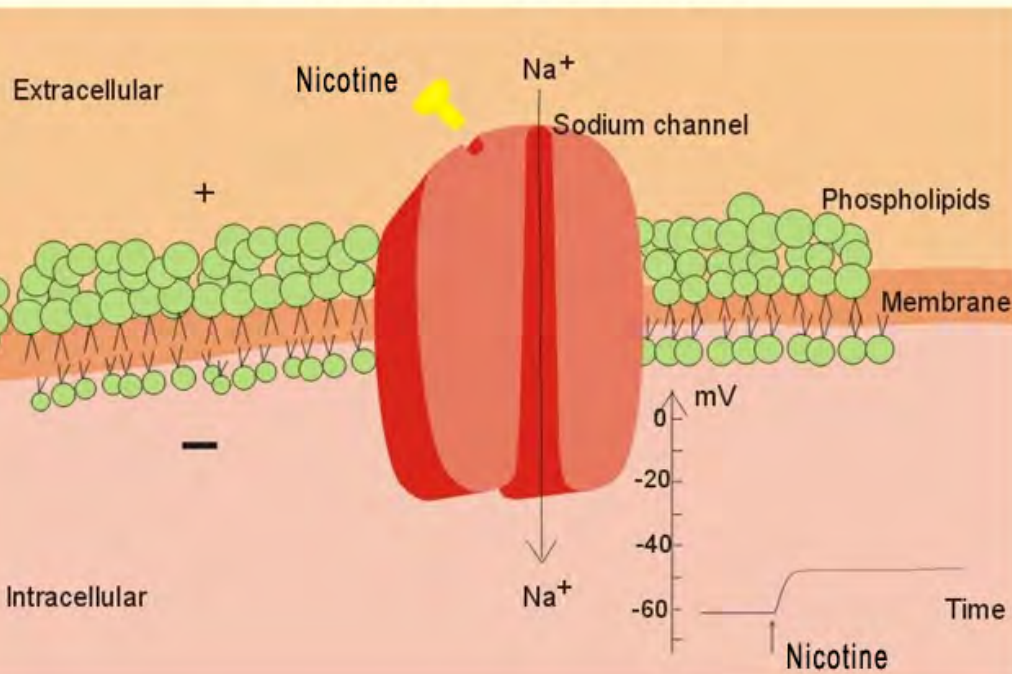


...par la modulation de la conductance membranaire de l'axone,
ce qui amène un changement dans **l'excitabilité neuronale**

Par exemple, **la nicotine** appliquée sur des axones entre le thalamus et le cortex du système auditif de la souris

réduit de moitié le seuil de déclenchement des influx nerveux en se fixant sur des récepteurs nicotiques à l'acétylcholine présents sur l'axone.

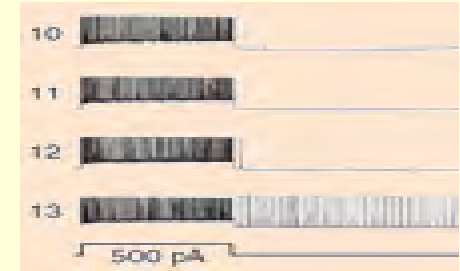
Nicotinic Cholinergic Receptor



Pourrait constituer soit **l'engramme lui-même**,

et / ou

établir un **“état permissif”** (baisse du seuil) facilitant l'activité du neurone et les modifications synaptiques subséquentes



Des neurones aux propriétés étonnantes

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2011/09/07/des-neurones-aux-proprietes-etonnantes/>

Mais ce que des chercheurs de l'université Northwestern, en Illinois aux États-Unis, ont publié, c'est la première observation chez des mammifères (ici des souris) de **potentiels d'actions qui sont initiés directement sur l'axone**.

Ce phénomène s'observe après que l'on ait stimulé le neurone à toutes les dix secondes pendant une ou deux minutes. Celui-ci se met alors à produire **spontanément** ces potentiels d'action **très loin sur l'axone**, et ce, pendant **une autre bonne minute !**

Cette mémoire cellulaire est d'autant plus surprenante qu'elle **sort de la fenêtre temporelle habituelle** de l'intégration neuronale (de la milliseconde à la seconde), le neurone répondant en effet durant une minute environ à ce qui lui est arrivé dans la minute ou deux qui précède.

Slow integration leads to persistent action potential firing in distal axons of coupled interneurons

Nature Neuroscience 14, 200–207 (**2011**)

<http://www.nature.com/neuro/journal/v14/n2/full/nn.2728.html> Aussi : <http://www.sciencedaily.com/releases/2011/02/110217171344.htm>

2^e chose :

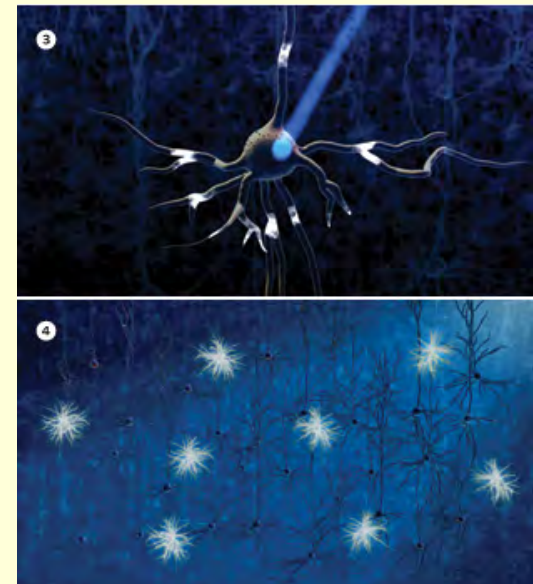
L'optogénétique



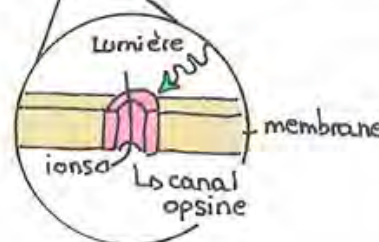
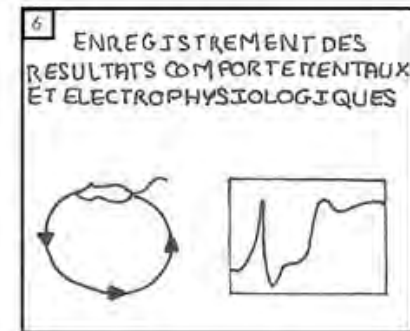
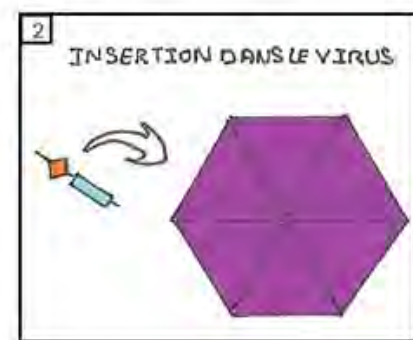
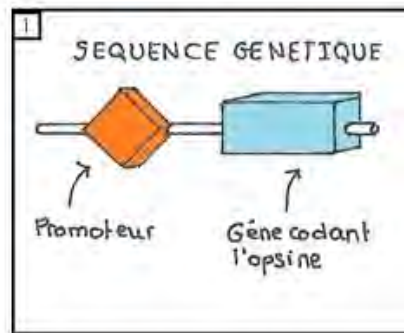
Un mélange de génétique, de virologie et d'optique permettant d'activer ou d'inactiver instantanément des groupes spécifiques de neurones dans le cerveau d'animaux vivants.

"This is God's gift to neurophysiologists"

En **2006**, une trentaine de laboratoires commencent à utiliser une technique nouvelle, l'**optogénétique**, mises au point par Karl Deisseroth et Ed Boyden l'année précédente.



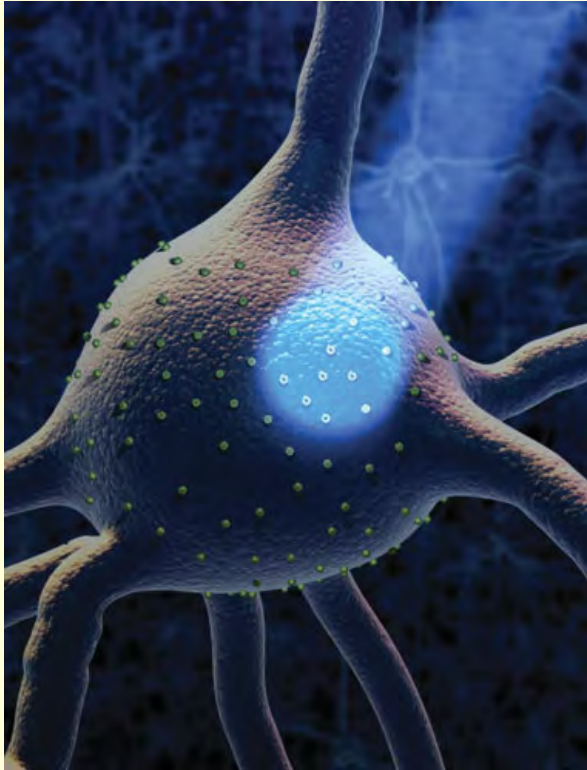
On peut utiliser des **promoteurs spécifiques** à un type cellulaire donné. Par exemple pour stimuler des neurones excitateurs du noyau subthalamique d'animaux modèles de la maladie de Parkinson, c'est le promoteur CamKIIa.



Et comme on peut faire s'exprimer dans une même population de neurones des **canaux à rhodopsine** excitateurs et inhibiteurs,

on peut, avec **différentes longueurs d'onde**, exciter ou inhiber sur demande cette population de neurones !





Comme le dit Gero Miesenböck, l'un des artisans principaux de l'optogénétique, « **pour briser un code, il faut pouvoir jouer avec**, n'importe quel « hacker » vous le dira. »

Et c'est exactement ce qu'apporte l'optogénétique :

la possibilité de « jouer avec » l'activité neuronale à une échelle temporelle (millisecondes) et spatiale (populations neuronales spécifiques) encore inégalée, et d'en observer l'effet sur le comportement.

A fait rentrer beaucoup de bouquins de biologie moléculaire et de virologie dans les labos d'électrophysiologie et occasionne encore bien des maux de tête techniques mais...

"Soon enough, this is going to be standard technology," says Philip Sabes.

Deux références :

The Birth of Optogenetics

An account of the path to realizing tools for controlling brain circuits with light.

By Edward S. Boyden | **July 1, 2011**

<http://www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/30756/title/The-Birth-of-Optogenetics/>

Optogenetics As Good As Electrical Stimulation

Neuroscience News

December 12, 2013

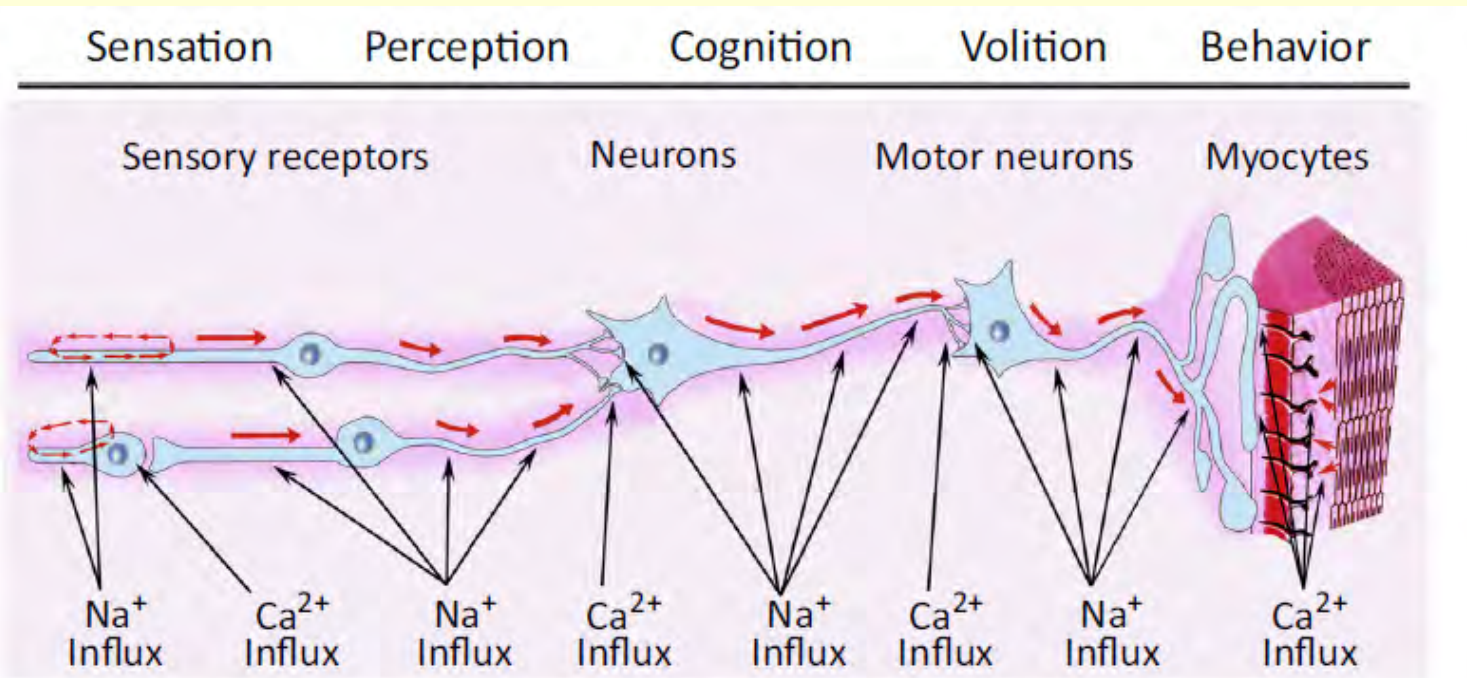
Optogenetics had been used in small rodent models. Research reported in *Current Biology* has shown that **optogenetics works effectively in larger, more complex brains.**

http://neurosciencenews.com/optogenetics-electrical-stimulation-neuroscience-research-675/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+neuroscience-rss-feeds-neuroscience-news+%28Neuroscience+News+Updates%29

Une dernière question intéressante :

Quel serait l'événement « premier » à partir duquel se construirait toute « sentience » subséquente dans la psychologie animale, du simple réflexe sensori-moteur jusqu'à la conscience humaine ?

Cette perturbation environnementale première qui alerte en quelque sorte la cellule qu'il se passe « quelque chose » qui la concerne dans l'environnement serait, selon N.D. Cook, G.B. Carvalho et A. Damasio, les **ions positifs**, essentiellement de sodium (Na^+) et de calcium (Ca^{2+}) qui entrent massivement dans la cellule...



From membrane excitability to metazoan psychology

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

Trends in
Neuroscience,

December 2014